

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)

«Оборудование и технология сварочного производства»  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология восстановления распределительного  
вала автомобиля "Урал-4320"

Студент

О.В. Васильев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор Г.М. Короткова

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Как показала многолетняя практика эксплуатации и ремонта деталей машин, порядка 75 % выбраковываемых деталей могут быть успешно восстановлены с получением исходных свойств. При этом современные технологии реновации позволяют не только восстановить свойства деталей до исходного состояния, но и существенно повысить их

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления распределительных валов на примере вала автомобиля "Урал-4320".

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- выполнить литературные исследования в области плазменного нанесения покрытия при восстановлении деталей типа «распределительный вал», на основании анализа источников научно-технической информации предложить мероприятия по повышению эффективности процесса восстановления;

- предложить проектную технологию восстановления детали с применением модернизированного способа плазменного нанесения покрытия и описать операции технологического процесса наплавки;

- на основании проведённых литературных исследований предложить оборудование для выполнения операций проектной технологии.

Анализ возможных способов сварки восстановления деталей машин типа валов позволил обосновать выбор плазменного нанесения покрытия как основного способа при построении проектной технологии сварки. Была составлена проектная технология восстановления распределительного вала, назначены параметры и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 2,11 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,5 года.

## Содержание

Введение .....	5
1 Анализ современного состояния восстановления деталей машин типа «распределительный вал» .....	7
1.1 Описание конструкции распределительного вала и условий его работы .....	7
1.2 Сведения о материале для изготовления распределительных валов .....	11
1.3 Обоснование выбора способа восстановления распределительных валов .....	12
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	17
2 Проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении распределительного вала .....	19
2.1 Повышение эффективности плазменной обработки вала .....	19
2.2 Выбор параметров режима и материалов для плазменного нанесения покрытия .....	23
2.3 Описание установки для плазменного нанесения покрытия .....	24
2.4 Описание операций технологического процесса плазменного нанесения покрытия .....	27
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	30
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	30
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	32
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	34
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	36
3.5 Обеспечение экологической безопасности .....	38
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии .....	40
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки	

предлагаемых технических решений . . . . .	40
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	42
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	43
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	45
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	49
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	52
Заключение . . . . .	55
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	56

## Введение

Дополнительным резервом для развития промышленности Российской Федерации является повышение эффективности использования имеющегося фонда оборудования. Это, в первую очередь, предусматривает увеличение его эксплуатационной надёжности, повышение качества ремонта и улучшение снабжения запасными частями [6], [13], [25].

Как показала многолетняя практика эксплуатации и ремонта деталей машин, порядка 75 % выбраковываемых деталей могут быть успешно восстановлены с получением исходных свойств. При этом современные технологии реновации позволяют не только восстановить свойства деталей до исходного состояния, но и существенно повысить их [6], [25].

Проведение ремонта деталей машин вместо их полной замены экономически более целесообразно. Ремонт детали требует меньших затрат времени и материалов, чем изготовление новой детали и её поставка потребителю. В связи с этим, следует признать, в качестве приоритетного направления энергосбережения и ресурсосбережения именно восстановление деталей машин.

Складывающаяся международная и внутривосточная обстановка требует постоянного поддержания в готовности парка специальной техники, в ближайшее время эксплуатация которой может значительно усилиться. В связи с этим необходимо расширять и совершенствовать базу ремонтных предприятий.

Типовой деталью автомобиля, требующей восстановления, является распределительный вал. Кулачки распределительного вала имеют сложную форму, зависящую от механизма взаимодействия с толкателем. Воспринимаемые распределительным валом нагрузки в процессе эксплуатации могут достигать предельно-допустимых нагрузок для материала вала, что приводит к интенсивному износу поверхностей, которые работают в условиях трения качения или трения скольжения.

Применение для этого методов газотермического напыления [9], [18] ограничено, так как высокая стоимость материалов существенно повышает себестоимость восстановления, «которая может достигать 50...60 % от цены нового вала. Также следует учитывать, что покрытие, полученное газотермическим напылением, обладает низкой когезионной и адгезионной прочностью. Это приводит к снижению усталостной прочности нанесённого покрытия» [12].

Одним из перспективных способов восстановления деталей машин может считаться лазерное нанесение покрытия и упрочнение. Этот способ позволяет достигать получать поверхностный слой с высоким качеством и эксплуатационными свойствами. Однако лазерные технологии не находят широкого применения из-за низкого коэффициента полезного действия процесса.

Перспективным также считается восстановление деталей машин с применением плазменных технологий, которые позволяют использовать порошковые износостойкие сплавы, что существенно повышает срок эксплуатации деталей машин [18], [23].

Плазменная наплавка обладает высокой универсальностью, при этом различные сочетания наплавочных порошков позволяют получать наплавленные поверхности с различными свойствами. При этом способе восстановления деталей машин достигается минимальное воздействие на основной металл детали, что позволяет сохранить и даже её повысить работоспособность [23].

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления распределительных валов на примере вала автомобиля "Урал-4320".

Достижение поставленной цели должно быть основано на изучении современных источников научно-технической информации о применении перспективных способов восстановления.

# **1 Анализ современного состояния восстановления деталей машин типа «распределительный вал»**

## **1.1 Описание конструкции распределительного вала и условий его работы**

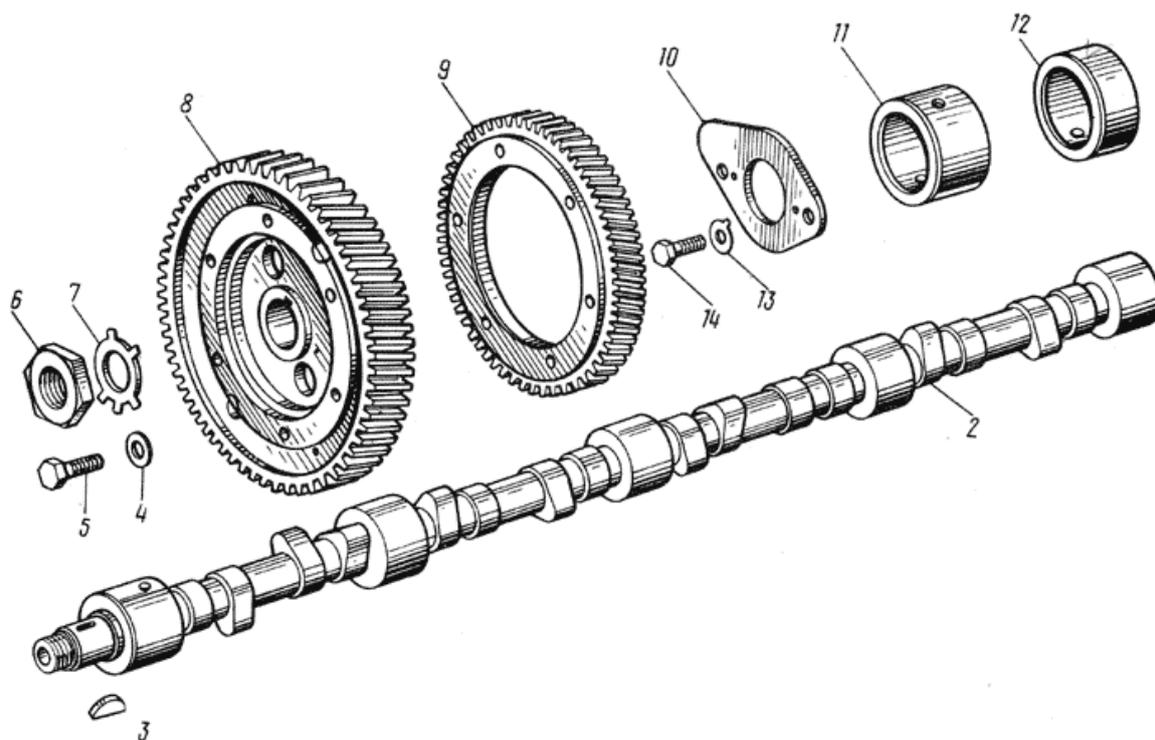
Спецавтомобиль 4320-АЗС, представленный на рисунке 1, вошёл в массовую эксплуатацию подразделениями РФ с 2005 года. Он выполнен на шасси «Урал-4320-40» (колёсная формула 6х6, с увеличенной колёсной базой – 4555+1400).

Специальная конструкция кузова и устройство отопительной системы автомобиля обеспечивают комфортные условия для охраны и задержанных. Система отопления состоит из трёх систем (отбора тепла жидкости системы охлаждения и двух независимых систем). Нагретый воздух подаётся под сиденья конвоя и спецконтингента в общих камерах. Имеются места для размещения личных вещей и продовольственных пайков. Также предусмотрена возможность оснащения автомобиля биотуалетом.



Рисунок 1 – Спецавтомобиль на базе Урал-4320

Распределительный вал автомобиля, представленный на рисунке 2, выполнен из стали 45. Выполнена закалка поверхностей опорных шеек, эксцентриков и шестерён на глубину 2...5 мм. При этом твёрдость поверхности зубьев составляет 40...56 HRC, а твёрдость других поверхностей - 52...62 HRC.



1 – коробка; 2 – вал распределительный 238-1006015-Г2; 3 – шпонка; 4 – Шайба 10Л; 5 – болт; 6 – гайка; 7 – шайба; 8 – шестерня привода распределительного вала; 9 – ведущая шестерня привода топливного насоса; 10 – фланец упорный; 11 – втулка передняя; 12 – втулка; 13 – шайба; 14 – болт

Рисунок 2 – Комплект поставки распределительного вала для автомобиля Урал-4320

В процессе работы распределительный вал подвергается действию различных переменных нагрузок. Приложение этих нагрузок по длине вала имеет некоторое распределение, сочетающееся с угловым смещением последующей нагрузки относительно предыдущей. В следствие этого нагружение распределительного вала происходит не только по длине - на изгиб, но и по сечению - на кручение. Кроме того, в местах касания «кулачек-толкатель» действуют значительные контактные давления. Поэтому в распределительный вал на этапе проектирования изначально заложена малая

жёсткость конструкции, что позволяет ему упруго деформироваться, не разрушаясь под действующими нагрузками.

В числе дефектов распределительного вала согласно рисунку 3, которые подлежат восстановлению, следует отметить: износ опорных шеек, износ шейки под распределительную шестерню, износ или повреждение резьбовой поверхности, износ шпоночной канавки и кулачков. При величине износа опорных шеек 0,1...0,4 мм требуется восстановление вала. Также восстановлению подлежит вал с износом кулачков 0,2...1,4 мм. Если вал в процессе эксплуатации получил прогиб порядка 0,1...0,15 мм на всю длину, то его следует править. Восстановление шпоночных пазов выполняют при износе по ширине 0,07...0,09 мм. Восстановление резьбовой поверхности выполняют, если наблюдается срыв или выкрашивание более двух ниток резьбы.

Для ремонта кулачков распределительного вала может быть применено шлифование с сохранением профиля кулачка. Для шлифования кулачков используется специализированный шлифовальный станок, оснащённый копиром. Вышлифовывание кулачка проводят до выведения следов износа.

Если износ кулачка имеет значительные размеры, то ремонт шлифованием становится невозможным. В этом случае снятие слоя металла значительной толщины уменьшит радиус закругления вершины кулачка и сделает невозможным эксплуатацию вала.

На основании анализа дефектности распределительных валов можно заключить, что в процессе эксплуатации возникают следующие дефекты: изгиб (с коэффициентом повторяемости 0,3), износ поверхности опорных шеек в пределах ремонта шлифованием (с коэффициентом повторяемости 0,04), износ поверхности опорных шеек за пределами ремонта шлифованием (с коэффициентом повторяемости 0,6), износ кулачков по высоте (с коэффициентом повторяемости 0,4), износ шейки под эксцентрик (с коэффициентом повторяемости 0,07), повреждение резьбы (с коэффициентом повторяемости 0,05) .

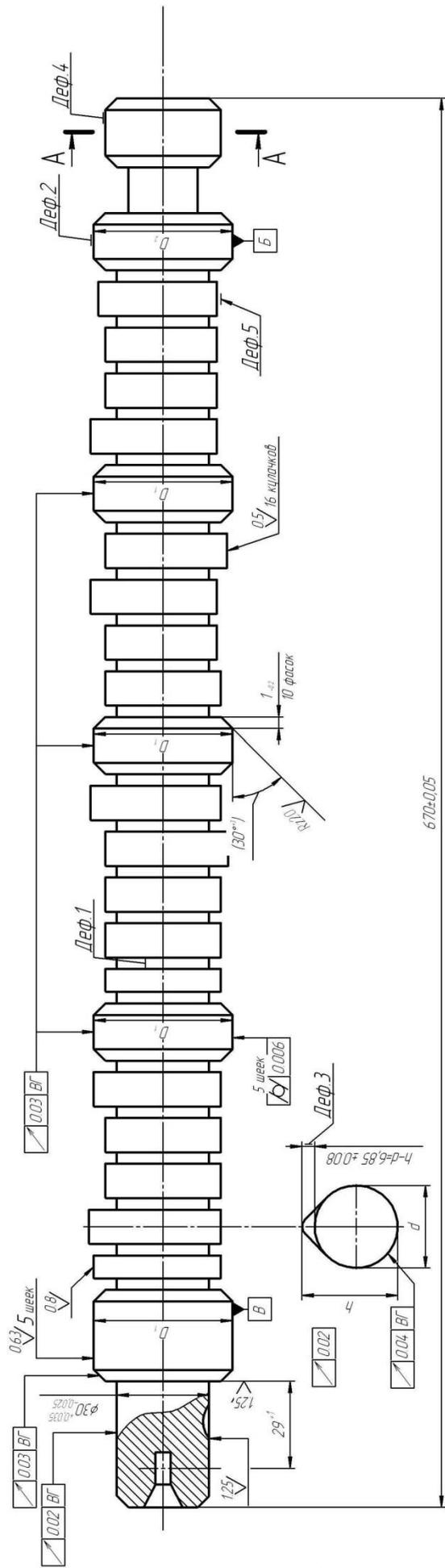


Рисунок 3 – Вал распределительный

## 1.2 Сведения о материале для изготовления распределительных валов

Распределительный вал изготавливается из стали 45, которая является конструкционной углеродистой качественной сталью [17], [23].

Механические свойства стали 45 и её химический состав представлены в таблице 1 и таблице 2, они обуславливают применение стали 45 для изготовления деталей машин, подвергающихся значительным нагрузкам в условиях трения качения и скольжения.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 45

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.42 - 0.5	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.25	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.25	до 0.08

Таблица 2 – Механические свойства стали 45

Сталь	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное		Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>
			Удлинение, %	Сужение, %	
45	355	430	17	35	340

Высокий уровень механических свойств, в том числе и повышенная износостойкость по сравнению с низкоуглеродистыми сталями в стали 45 достигается за счёт повышенного содержания углерода. Это в свою очередь приводит к ряду трудностей при сварке стали 45 и наплавке на детали из этой стали [17], [22], [23]. Во-первых, следует отметить склонность к появлению холодных трещин в околошовной зоне. Во-вторых, в металле сварного шва высока вероятность появления горячих (кристаллизационных) трещин. В-третьих, при сварке изделий из стали 45 из-за структурных изменений практически невозможно достижение равнопрочности металла сварного шва и основного металла.

### **1.3 Обоснование выбора способа восстановления распределительных валов**

Как показывает многолетняя практика эксплуатации специализированного транспорта, основной причиной отказа распределительного вала следует считать износ шеек. При этом выбраковка валов зачастую происходит, даже если сам вал не выработал положенного ему ресурса.

На основании поиска и анализа источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки деталей машин типа «распределительный вал» делаем заключение, что при восстановлении рассматриваемых деталей помимо классических способов восстановления могут быть использованы следующие перспективные методы:

- 1) при износе рабочей поверхности вала до 0,5 мм – нанесение гальванических покрытий хромированием, при износе рабочей поверхности вала более 0,5 – нанесение гальванических покрытий никелированием с последующим хромированием [24];
- 2) плазменное напыление [3], [12] и плазменная наплавка композитными материалами [12];
- 3) приварка тонкостенных ремонтной полуколец к восстанавливаемой шейке вала [5];
- 4) сверхзвуковая электродуговая металлизация [19], [20];
- 5) применение лазерных технологий - лазерная закалка и лазерное поверхностное легирование износостойкими порошками [7].

«Значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости, характеризующие распространённые способы восстановления деталей машин в таблице 3 позволяют рекомендовать для восстановления рассматриваемой детали такие способы, как: вибродуговая наплавка; наплавка в среде углекислого газа; газопламенное напыление; газоплазменное напыление; плазменная наплавка.

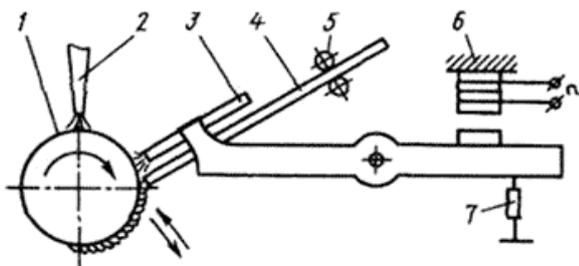
Таблица 3 – Характеристика различных способов восстановления деталей машин

Способы восстановления	Значения коэффициентов		
	Коэффициент износостойкости	Коэффициент выносливости	Коэффициент сцепляемости
Механическая обработка под ремонтный размер	1,0	1,0	1,0
Ручная дуговая наплавка	0,9	0,8	1,0
Наплавка в углекислом газе	0,85	0,9...1,0	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	1,0
Контактная наплавка (приварка металлического слоя)	0,9...1,1	0,8	0,8...0,9
Газопламенное напыление	1,0...1,3	0,6...1,1	0,3...0,4
Плазменное напыление	1,0...1,5	0,7...1,3	0,4...0,5
Наплавка под слоем флюса	0,90	0,82	1,0
Дуговая металлизация	1,0...1,3	0,6...1,1	0,2...0,3
Хромирование (электролитическое)	1,0...1,3	0,7...1,3	0,4...0,5
Железнение (электролитическое)	0,9...1,2	0,8	0,65...0,8
Клеевые композиции	1,00	—	0,7
Электрохимическая обработка (высадка и сглаживание)	до 3,00	0,8	1,0
Установка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0
Пластическое деформирование	0,8...1,0	1,0	1,0

Представленная таблица позволяет обосновать выбор способа восстановления детали» [12]. Выполнение вибродуговой наплавки по схеме на рисунке 4 предусматривает применение вибрирующего электрода, диаметр которого составляет от 1,5 до 2 мм. В ходе наплавки на электрод накладываются колебания частотой 30...100 Гц и амплитудой 0,5...1 мм. Из-за колебаний происходит периодическое закорачивание электрода на наплавляемое изделие, в результате чего на поверхности изделия остаётся часть расплавленного металла электрода. Вибродуговая наплавка позволяет существенно уменьшить термическое воздействие на наплавляемое изделие и повысить твёрдость наплавленного металла.

Недостатком вибродуговой наплавки является высокая вероятность получения наплавленного слоя с порами и неоднородной структурой. В наплавленном слое присутствуют значительные остаточные растягивающие

напряжения, которые приводят к снижению прочности на 30...40 %. Поскольку в процессе работы распределительный вал испытывает значительные динамические нагрузки, то применение вибродуговой наплавки к этим изделиям потребует выделения значительного внимания на обеспечение качества наплавленного слоя.



- 1 – наплавляемое изделие; 2 – сопло для подачи охлаждающей изделие жидкости;  
 3 – сопло для подачи жидкости в зону сварки; 4 – электродная проволока;  
 5 – электродоподающие ролики; 6 – электромагнитный вибратор; 7 – пружина

Рисунок 4 – Схема вибродуговой наплавки

Наплавка среде углекислого газа по схеме на рисунке 5 позволяет повысить качество наплавленного слоя. Также при применении этого способа повышается производительность наплавочных работ. Опыт эксплуатации деталей, восстановленных с применением наплавки в углекислом газе, показал высокую износостойкость наплавленного слоя. В тоже время, эта износостойкость меньше, чем в случае применения плазменной наплавки. Применение форсированных режимов при наплавке в углекислом газе приводит к значительному разбрызгиванию, что может существенно снизить качество наплавленного слоя и производительность наплавки. Как показывает практика, производительность наплавки в углекислом газе на 15...25 % меньше производительности плазменной наплавки.

Существенным недостатком газопламенного напыления по схеме на рисунке 6 является низкая прочность сцепления покрытия с основой. В результате существенно снижается ресурс эксплуатации восстановленных изделий, если они работают в условиях ударных нагрузок. При этом

прочность сцепления покрытия с основой ещё больше снижается при увеличении толщины наплавленного слоя более 1 мм.

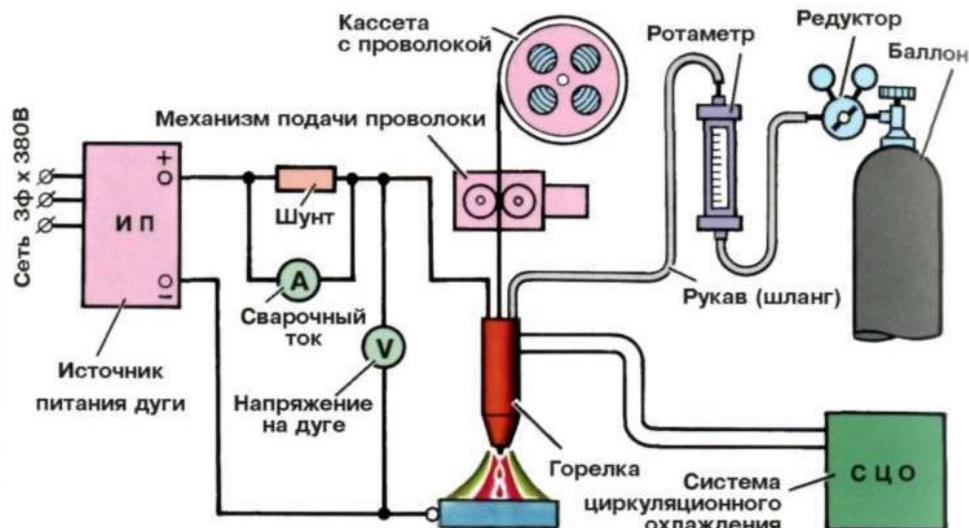


Рисунок 5 – Схема выполнения наплавки в углекислом газе

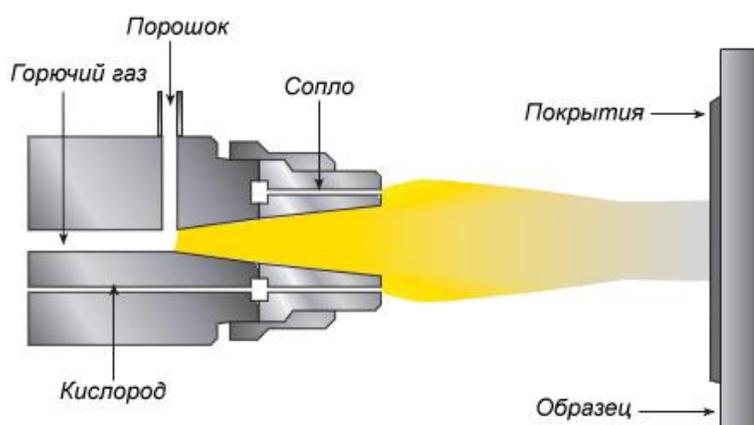


Рисунок 6 – Схема газопламенного напыления

При плазменном напылении, представленном на рисунке 7, обработка деталей проходит при существенно больших концентрации теплового потока и скорости течения струи. Наносимое покрытие может быть на основе тугоплавких металлов (тантал, молибден, вольфрам), силицидов ( $\text{MoSi}_2$ ), боридов ( $\text{ZnB}_2$ ,  $\text{HfB}_2$ ), окислов металла ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ), карбидов ( $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{SiC}$ ). При прохождении через плазменную струю частиц присадочного порошка с размерами 40...70 мкм происходит нагрев частиц порошка и их переход в пластическое состояние (без расплавления). Высокая скорость

плазменной струи придаёт частицам порошка существенную кинетическую энергию, которая при соударении с поверхностью наплавляемого изделия приводит к расплющиванию частиц порошка и их внедрению в неровности поверхности. При этом обеспечивается прочное сцепление ударяющихся частиц с поверхностью детали и друг с другом. Плазменная наплавка выполняется дугой косвенного действия, которая горит между медным водоохлаждаемым соплом и вольфрамовым водоохлаждаемым катодом.

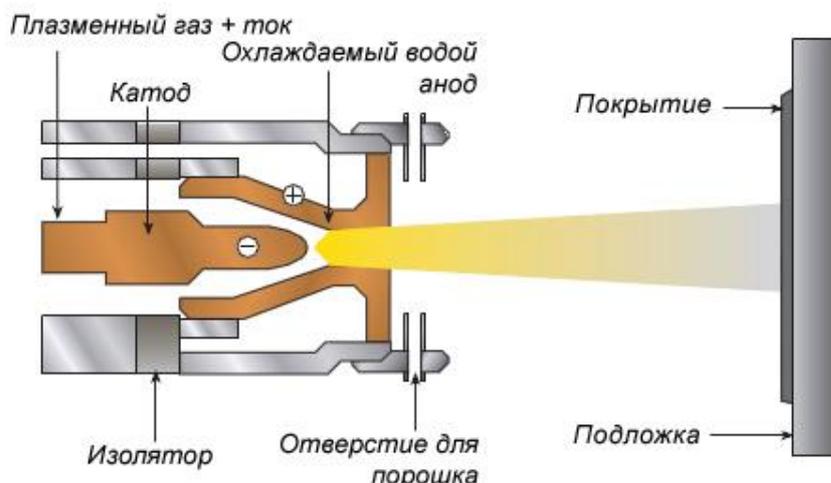
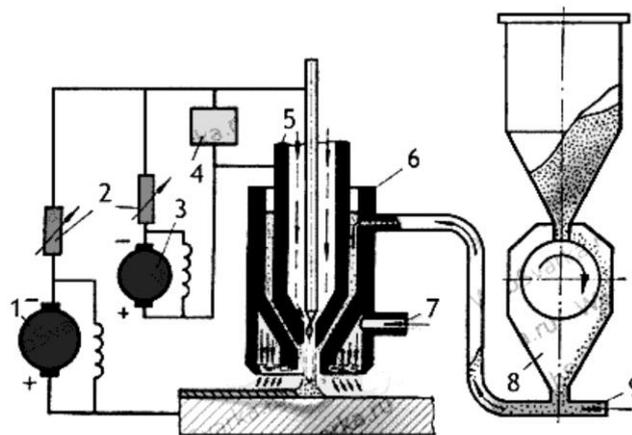


Рисунок 7 – Схема выполнения газоплазменного напыления

Анализ технологичности различных способов наплавки деталей машин, представленный в таблице 3, показывает, что плазменная наплавка согласно схеме на рисунке 8 обладает большей эффективностью по сравнению с наплавкой в углекислом газе и вибродуговая наплавка. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий. Плазменная наплавка с внесением порошка в плазменную струю характеризуется значительной производительностью наплавки, которая может достигать 6 кг/час. Также применение плазменной наплавки позволяет существенно снизить потребление наплавочного порошка по сравнению с другими способами восстановления деталей машин. Кроме того, при плазменной наплавке помимо дорогостоящих порошков на основе никеля и кобальта могут применяться существенно более дешёвые порошки на основе железа.



1 – источник питания дуги прямого действия; 2 – балластные сопротивления; 3 – источник питания дуги косвенного действия; 4 – осциллятор 5 – сопло для плазмообразующего газа; 6 – корпус горелки; 7 – отверстие для ввода защитного газа; 8 – питатель для подачи порошка; 9 – трубка, по которой подается газ, несущий порошок

Рисунок 8 – Схема плазменной наплавки

Необходимо также отметить, что применение плазменной наплавки порошками особенно эффективно при малой толщине наплавляемого слоя. Перечисленные преимущества плазменной наплавки «не только существенно расширяют технологические возможности их применения, но и позволяют получать значительный экономический эффект за счет наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления и сохранения, первоначальных физико-механических свойств при меньшем количестве наплавочного металла: изготовление деталей из низкоуглеродистых сталей с поверхностями, упрочненными твердыми сплавами, вместо дорогих легированных сталей, применение износостойких порошковых сплавов, повышающих срок службы наплавленных деталей, уменьшения припуска на механическую обработку» [14].

#### 1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества восстановления распределительных валов на примере вала автомобиля "Урал-4320".

Анализ конструкции распределительного вала, условий его работы и статистических данных по величине и характеру износа позволяет заключить, что внедрение технологии восстановления распределительных валов должно будет экономически эффективно.

Анализ альтернативных способов восстановления деталей машин выполнен с рассмотрением таких способов, как вибродуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, плазменное напыление и плазменная наплавка. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменное нанесение покрытия.

На основании вышеизложенного сформулируем задачи выпускной квалификационной работы, выполнение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- выполнить литературные исследования в области плазменного нанесения покрытия при восстановлении деталей типа «распределительный вал», на основании анализа источников научно-технической информации предложить мероприятия по повышению эффективности процесса восстановления;

- предложить проектную технологию восстановления детали с применением модернизированного способа плазменного нанесения покрытия и описать операции технологического процесса наплавки;

- на основании проведённых литературных исследований предложить оборудование для выполнения операций проектной технологии.

Также в оценочном блоке будут выполнены следующие работы:

- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;

- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

## **2 Проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении распределительного вала**

### **2.1 Повышение эффективности плазменной обработки вала**

Вопросу повышения эффективности нанесения покрытия при помощи плазменных технологий посвящено множество работ, выполненных мировыми и российскими исследователями.

Заслуживает внимания способ нанесения плазменного покрытия [2] при котором слой покрытия составляет 0,3...0,5 мм, при этом происходит периодическое уменьшение расстояния между соплом плазматрона и обрабатываемым изделием с 115...120 мм до 60...100 мм. Также в процессе приближения плазматрона к изделию прекращают подачу порошка. В результате приближения сопла плазматрона к изделию происходит подплавление наносимого слоя. После выдержки в течение 5...10 с расстояние между плазматроном и изделием восстанавливают до исходного. Недостатком данного способа является необходимость периодического изменения расстояния между плазматроном и изделием, что усложняет его применение. Кроме того, не обеспечивается прочность сцепления наплавленного слоя с основой.

Также следует обратить внимание на способ напыления порошковых покрытий [1]. При его осуществлении предусматривается горение двух дуг – прямого (между катодом плазматрона и деталью) и косвенного (между соплом и катодом плазматрона) действия. Дуга прямого действия горит на расстоянии приблизительно 1 мм, ток дуги составляет 1,6...2,0 А. Благодаря горению дуги прямого действия происходит термоактивация поверхности детали перед наплавкой. Недостатком данного способа является низкая стабильность горения дуги прямого действия, которая существенно снижает производительность наплавочных работ.

Также повышение эффективности плазменной наплавки достигается в способе нанесения покрытий [16], при котором термическая активация наплавляемой поверхности происходит за счёт горения выносной электрической дуги мощностью 1...8,5 кВт, модулируемой с частотой 25...100 Гц. Горение выносной дуги происходит одновременно с горением основной дуги косвенного действия. Недостатком этого способа является получение наплавленного слоя с неравномерной структурой, состоящей из чередующихся зон локального расплавления и неоплавленного покрытия.

Модернизированная установка плазменной обработки [15], представленная на рисунке 9, включает в себя плазматрон, который выполняет нанесение покрытия на восстанавливаемую деталь 2. Питание плазменной дуги происходит от источника постоянного тока 3, который подключается к изделию через дроссель 4. Система питания плазматрона предусматривает поддержание двух дуг прямого действия и одной дуги косвенного действия.

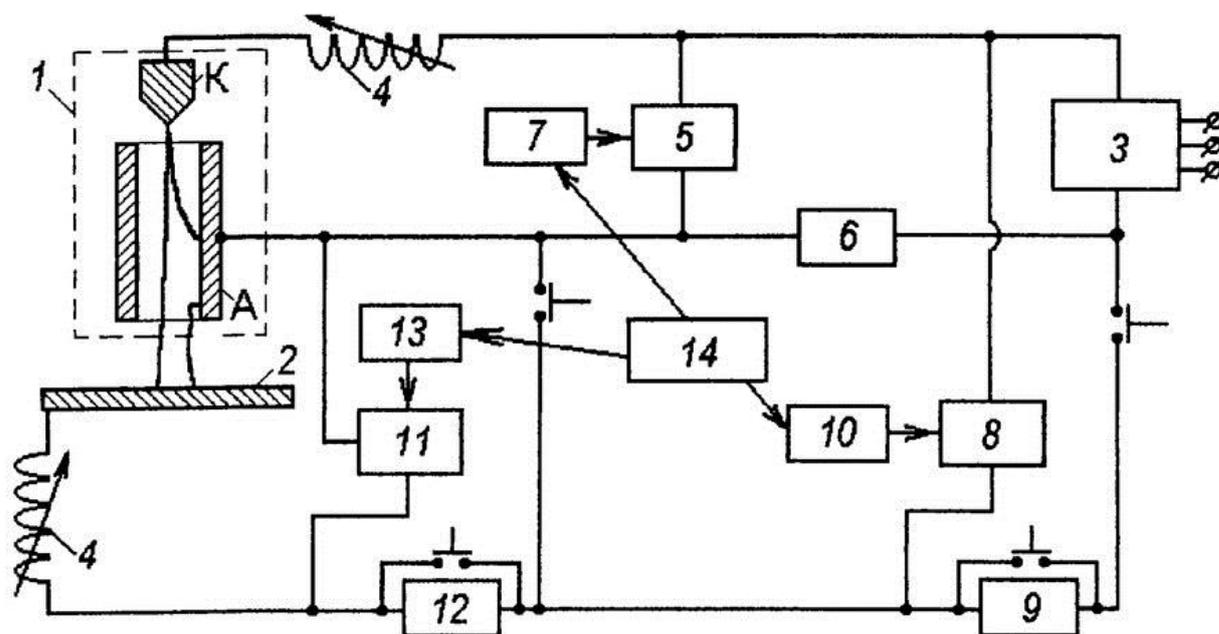
Первая дуга прямого действия горит между катодом «К» плазматрона и деталью, в цепь дуги прямого действия входит: катод плазматрона «К», деталь 2, модулятор 8 дуги прямого действия, балластное сопротивление 9 и блок управления 10. Первая дуга прямого действия служит для термической активации поверхности детали перед наплавкой. Среднее напряжение на этой дуге составляет 130...160 В. Дуга горит импульсами, частота следования которых равна 900...1600 Гц, длительность импульсов – 300...500 мкс, амплитуда мощности импульсов – 50...100 кВт.

Дуга косвенного действия горит между катодом «К» и анодом «А». В цепь дуги косвенного действия входит: катод «К», анод «А», источник питания 3, балластный реостат 6, модулятор 5 и блок управления 7. Косвенная дуга служит для наплавки покрытия, она горит импульсами с частотой следования – 4000...5000 Гц, амплитудой мощности – 10...50 кВт,

длительность импульсов – 50...60 мкс. Напряжение на дуге косвенного действия составляет 180...220 В.

Вторая дуга прямого действия горит между анодом «А» плазматрона и деталью 2, в цепь этой дуги входят: анод «А» плазматрона, деталь 2, модулятор 11, балластное сопротивление 12, блок управления 13, блок согласования 14. «Эта дуга служит для оплавления покрытия, горит при напряжении 110...150 В импульсами с частотой следования 300...400 Гц, амплитудой мощности 100...250 кВт и длительностью импульсов 1400...1600 мкс.

Модернизированная установка для плазменного восстановления валов представлена на рисунке 10



1 - плазматрон, 2 - обрабатываемая деталь, 3 - источник постоянного тока, 4 - дроссель, 5 - модулятор косвенной дуги, 6 - балластное сопротивление, 7 - блок управления, (контур дуги косвенного действия), 8 - модулятор дуги прямого действия, 9 – балластное сопротивление, 10 - блок управления, (контур дуги прямого действия между катодом "К" и деталью), 11 - модулятор, 12 - балластное сопротивление, 13 - блок управления, (контур дуги прямого действия между анодом "А" и деталью), 14 - блок согласования работы модуляторов

Рисунок 9 – Схема модернизированной установки для плазменной обработки при восстановлении распределительных валов» [15]

Таким образом, предварительный подогрев поверхности детали перед наплавкой выполняется за счёт горения первой дуги прямого действия. Эта дуга горит между катодом и деталью. Окончательное проплавление покрытия до основы происходит за счёт горения второй дуги прямого действия, которая горит между анодом и деталью. В результате этого «повышается прочность сцепления наплавляемого покрытия и основного металла, а модуляция тока дуги косвенного действия и дуг прямого действия стабилизирует процесс термоактивации, напыления и оплавления, повышает гибкость управления процессом оплавления, а совмещение процессов напыления и оплавления повышает производительность и снижает энергозатраты» [15].

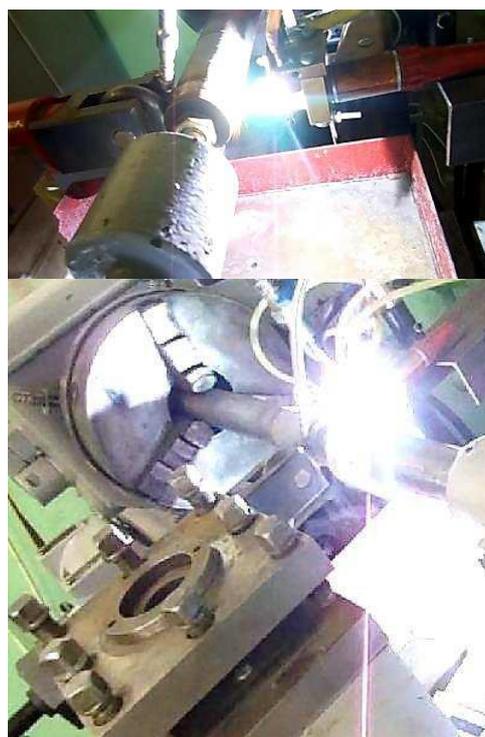


Рисунок 10 – Внешний вид модернизированного оборудования плазменной обработки цилиндрических деталей

## 2.2 Выбор параметров режима и материалов для плазменного нанесения покрытия

Работа распределительного вала проходит в условиях действия знакопеременных нагрузок. При этом восстановление большинства кулачков требует восстановления только верхушки кулачка. В случае значительного износа кулачка требуется нанесение покрытия по профилю кулачка с последующим шлифованием под размер. Для плазменного нанесения покрытия на кулачки стальных распределительных валов могут быть применены порошковые сплавы ПГ-СР4+3%А1, ПГ-ФБХ6-2+6%А1 и ПГ-С1+6%А1, состав которых приведён в таблице 4 [8]. При нанесении покрытия на вершину кулачка толщина наносимого слоя составляет 1,3...1,6 мм. При нанесении покрытия на цилиндрическую поверхность кулачка толщина наносимого слоя составляет 0,4...0,6 мм.

Параметры режима плазменного нанесения покрытия, представленные в таблице 5, принимаются по литературным данным [8], [21]. Также следует задаться такими параметрами, как: расстояние от сопла плазматрона до детали – 9...12 мм; расход транспортирующего газа – 7...9 л/мин; расход плазмообразующего газа – 1,2...2 л/мин; частота колебаний плазматрона – 0,4...0,5 Гц.

После нанесения покрытия необходимо выполнить шлифование с применением кругов из электрокорунда ЭБ16-25С1Б, ЭБ16-25С1К. Зернистость шлифовального круга должна быть порядка 16...25 [21].

Таблица 4 – Содержание химических элементов в порошках для плазменного нанесения покрытия на железной основе

Марка	Ni	C	Cr	Si	B	Fe	Mn	W	Mo
ПГ-ФБХ-6-2	1,3 – 2,5	3,5 – 6,5	32 – 37	1,0 – 2,5	1,3 – 2,0	Основа	0,4 – 1,5	1,5 – 4,0	-
ПГ-СР4	3 – 5	3,1 – 4,3	27 – 31	1,0 – 3,0	—	Основа	0,5 – 1,3	0,4 – 0,7	0,15

Таблица 5 – Параметры режима плазменного нанесения покрытий

Параметры	ПГ-СР4+3%А1	ПГ-ФБХ6-2+3%А1
Наплавка опорной шейки вала		
Сила тока, А	170 – 180	190 – 200
Напряжение, В	30	35
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	0,7 – 0,8	0,6 – 0,65
Расход порошка	12 – 14	10 – 12
Наплавка вершины кулачка		
Сила тока, А	120 – 140	125 – 150
Напряжение, В	25	30
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	0,45 – 0,50	0,30 – 0,45
Расход порошка	20 - 22	18 - 20
Наплавка цилиндрической поверхности кулачка		
Сила тока, А	160 – 170	180 - 190
Напряжение, В	30	30
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	0,65 – 0,70	0,5 – 0,6
Расход порошка, г/мин	14 – 16	12 – 14

### 2.3 Описание установки для плазменного нанесения покрытия

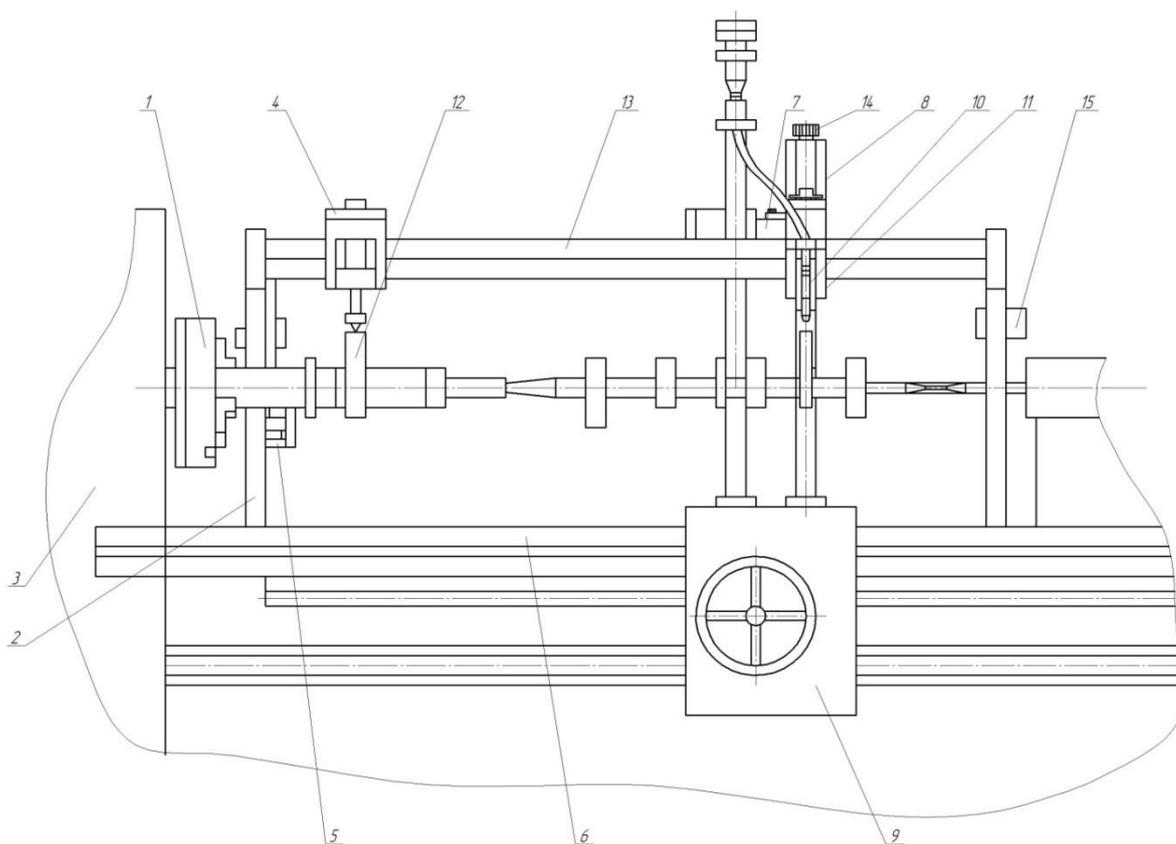
Для восстановления распределительного вала с применением плазменных технологий предложено использовать установку, которая собрана на основе токарного станка 16К20. Для осуществления проектной технологии установку необходимо дооснастить следующими элементами: плазматрон, порошковый питатель, механизм колебаний плазматрона, блок управления и перемещения плазматрона.

В основе блока получения плазмы лежит установка плазменного напыления УПП-5-68, которая была модернизирована в соответствии с предложенными выше техническими решениями, рисунок 11. Для наплавки кулачков вала по всей поверхности предложено использовать копирующее устройство, крепящееся на вращателе установки.

Работа установки для плазменного нанесения покрытий предусматривает выполнение определённой последовательности действий. Вал, который подлежит восстановлению, необходимо ввинтить по резьбе в резьбовое отверстие базирующего вала, расположенного на копире 12 и закрепить в патроне вращателя. Второй свободный конец

распределительного вала поддерживается задним центом. При помощи пружины и пазов во втулке выполняют фиксацию копируемой поверхности. На копируемую поверхность опускают копир 4, который подводится кареткой 12. Выполнение опорного элемента возможно в виде клина, конуса или пирамиды, при этом касание копирующего элемента с копируемой поверхностью возможно по линии или по точке.

Плазменная горелка 10 устанавливается на рабочей каретке 4. Перемещение рабочей каретки 4 происходит по направляющей 13, которая устанавливается вдоль восстанавливаемого распределительного вала. Перемещение горелки и её колебательные движения осуществляются при помощи продольного суппорта 9 и смонтированного на нём механизма колебаний 7 с поводковым элементом 11.



1 – патрон вращателя; 2 – механизм поперечных колебаний; 3 – вращатель; 4 – каретка; 5 – командоаппарат; 6 – рама станка; 7 – механизм продольных колебаний; 8 – каретка рабочая; 9 – суппорт продольный; 10 - горелка плазменная; 11 – поводок; 12 – копир; 13 – направляющая; 14 – крышка плазматрона; 15 – стойка баллонов

Рисунок 11 – Общий вид установки для плазменного нанесения покрытия

Вращение от патрона 1 к обрабатываемому распределительному валу передается через копир 12. Опорный элемент опирается на копируемую поверхность и толкает раму 6 по направляющей 13. Рама 6 в свою очередь передает движение плазменной горелке 10. Таким образом, при восстановлении распределительного вала на установке обеспечивается вращение детали и вертикальное перемещение плазменной горелки в соответствии с профилем восстанавливаемого кулачка. Поводковый элемент 11 служит для передаче рабочей каретки 4 колебательных движений от механизма 7.

Изменение угловой скорости вращения распределительного вала выполняется командоаппаратом 5. Установка снабжена противовесами, которые уменьшают давление опорного элемента на копирующую поверхность копира 12.

При помощи установочного винта происходит изменение крепления плазматрона 10 относительно каретки, что используется при вертикальной регулировке расстояния между поверхностью восстанавливаемой детали и торцом сопла плазматрона, которое должно составлять 10...12 мм.

При обработке детали необходимо добиваться, чтобы продольная ось плазматрона проходила через продольную ось восстанавливаемого распределительного вала. Регулировка положения продольной оси плазматрона относительно вала осуществляется регулировочным винтом.

При обработке детали колебательные движения плазматрона обеспечиваются колебательным механизмом каретки. «С этой целью опорный элемент необходимо установить на цилиндрической части кулачка - копира, а нижняя часть П-образной вилки должна быть установлена с зазором в 1,5...2 мм от нижней поверхности рабочей каретки. При этом верхняя часть вилки должна находиться в зацеплении с верхним пальцем каретки, а нижняя - с нижним. После этого кулачок - копир поворачивается до взаимодействия опорного элемента с вершиной. В таком положении пазы

вилки должны оставаться в зацеплении с пальцами каретки, причём верхняя часть вилки не должна касаться каретки» [8].

Настройка командоаппарата заключается в изменении положения концевого выключателя, которое обеспечивает автоматическое переключение режимов обработки при переходе опорного элемента копира 12 с цилиндрической части на поверхность опорного кулачка.

Также изменение геометрических параметров плазменной обработки возможно при смене копира в патроне 1 и при помощи регулирования положения опорного элемента и плазматрона.

## **2.4 Описание операций технологического процесса плазменного нанесения покрытия**

С использованием внутрицехового транспорта детали поступают на участок восстановления, где происходит их складирование на стеллажи.

Первой операцией технологического процесса восстановления является операция очистки – мойка. Очистка от загрязнений является одной из основных операций при восстановлении деталей машин, так как от правильности её проведения зависит качество всего ремонта, общий уровень культуру производства.

Мойка проходит с применением моечной машины Magido L331. Сначала проходит мойка в щелочном растворе с температурой 80...90 °С при частоте колебания 20...25 кГц. Продолжительность мойки 30...40 минут.

После мойки в щелочном растворе выполняют промывку детали проточной водой в течение 10...15 минут. Температура воды 20...30 °С.

Вторая операция – дефектовка. Детали после мойки поступают на стол дефектовщика, где выполняется их проверка на наличие недопустимых дефектов и измеряется величина износа. Для выполнения этой операции применяется микрометр MS-111 и призма базирующая.

Третья операция – подготовка поверхности, которая выполняется с применением дробеструйной обработки, которая повышает адгезию наплавленного слоя. Дробеструйная обработка проходит в дробеструйной камере ГАКС-ДК-М. Поверхности, которые необходимо защитить при плазменном восстановлении, покрываются защитной мастикой «Рунакром-М3» при помощи краскопульта SATA-LM2000.

Четвёртая операция – плазменное нанесение покрытия, проходит с применением плазменной установки ОКС-11233 и наплавочного порошка ПГ-СР4 (но может быть применен в качестве замены порошок ПГ-ФБХ6-2). В качестве защитного, плазмообразующего и транспортирующего газа применяется аргон.

При наплавке опорной шейки вала применяются параметры режима: сила тока – 170...180 А, напряжение – 30 В, скорость вращения вала – 0,7...0,8 мин<sup>-1</sup>, расход порошка – 12...14 г/мин, расстояние от сопла плазматрона до детали – 9...12 мм; расход транспортирующего газа – 7...9 л/мин; расход плазмообразующего газа – 1,2...2 л/мин; частота колебаний плазматрона – 0,4...0,5 Гц.

При наплавке вершины кулачка применяются параметры режима: сила тока – 120...140 А, напряжение – 25 В, скорость вращения вала – 0,4...0,5 мин<sup>-1</sup>, расход порошка – 20...22 г/мин, расстояние от сопла плазматрона до детали – 9...12 мм; расход транспортирующего газа – 7...9 л/мин; расход плазмообразующего газа – 1,2...2 л/мин; частота колебаний плазматрона – 0,4...0,5 Гц.

При наплавке цилиндрической поверхности кулачка применяются параметры режима: сила тока – 160...170 А, напряжение – 30 В, скорость вращения вала – 0,6...0,7 мин<sup>-1</sup>, расход порошка – 14...16 г/мин, расстояние от сопла плазматрона до детали – 9...12 мм; расход транспортирующего газа – 7...9 л/мин; расход плазмообразующего газа – 1,2...2 л/мин; частота колебаний плазматрона – 0,4...0,5 Гц.

Пятая операция – правка, выполняется на гидравлическом прессе ОКС 1671 Н. При этом допуск радиального биения цилиндрических поверхностей средних опорных шеек должен составлять не более 0,15 мм.

Шестая операция – шлифование, которая выполняется с применением копировально-шлифовального станка 3А433.

Седьмая операция – контроль качества, выполняется для выявления деталей с недопустимыми дефектами: отслоениями, трещинами, ненапылёнными участками. Выполняется с применением лупы с 4-кратным увеличением и индикатора ИЧ02.

### **Выводы по второму разделу**

На основании анализа источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменного нанесения покрытий при восстановлении деталей машин предложен способ импульсного плазменного напыления и оборудование для его осуществления.

Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении распределительного вала, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменное нанесение покрытия, правка, шлифование, контроль качества.

Приведены описания операций технологического процесса плазменного восстановления распределительного вала, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал. Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления рассматриваемого изделия.

### 3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

#### 3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности плазменного нанесения покрытий при восстановлении распределительного вала. Выполнение операций проектного технологического процесса, представленных в таблице 6, предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Таблица 6 - Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1. Мойка	Слесарь-сборщик	Моечная машина Magido L331	1) Щелочной раствор 2) Вода техническая
2 Дефектовка	Инженер - дефектоскопист	Штангенциркуль ШЦ, нутромер индикаторный НИ-50М, дефектоскоп ПМД-70	1) Масло
3. Подготовка дефектного места	Слесарь-сборщик	Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000	Воздух сжатый, мастика защитная РУНАКРОМ-М3
4. Плазменное нанесение покрытия	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка плазменной наплавки, патрон Т-100-0014, источник питания модернизированный	Порошок наплавочный ПГ-СРЧ+3%Al, аргон
5. Правка	Слесарь-сборщик	Гидравлический пресс ОКС 1671 Н	-
6. Механическая обработка	Токарь-фрезеровщик	Токарный станок 1К62Ф3С	Резец Р6М5, СОЖ "Укринал"
7. Проведение контроля качества	Инженер - дефектоскопист	Лупа х4, линейка, твердомер ТН-320, штангенциркуль, набор ДМК-4	-

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартных средств и мероприятий.

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменное нанесение покрытия, правка, шлифование, контроль качества.

Для выполнения первой операции применяются: моечная машина Magido L331, щелочной раствор, вода техническая.

Для выполнения второй операции применяется: штангенциркуль ШЦ, нутромер индикаторный НИ-50М, дефектоскоп ПМД-70.

Для выполнения третьей операции применяются: дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000, воздух сжатый, мастика защитная РУНАКРОМ-МЗ.

Для выполнения четвертой операции применяются: установка плазменной наплавки, патрон Т-100-0014, источник питания модернизированный, порошок наплавочный ПГ-СРЧ+3%Al, аргон.

Для выполнения пятой операции применяется: гидравлический пресс ОКС 1671 Н.

Для выполнения шестой операции применяется: Токарный станок 1К62Ф3С, резец Р6М5, СОЖ "Укринал".

Для выполнения седьмой операции применяется: Лупа х4, линейка, твердомер ТН-320, штангенциркуль, набор ДМК-4.

Применение оборудования при осуществлении операций проектного технологического процесса приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых будет выполнена во втором пункте настоящего раздела.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса, представленными в таблице 7.

Таблица 7 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1. Мойка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Моечная машина Magido L331
2 Дефектовка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Ультразвуковой дефектоскоп
3. Подготовка дефектного места	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000

Продолжение таблицы 7

1	2	3
4. Плазменное нанесение покрытия	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> </ul>	Установка плазменной наплавки
5. Правка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Гидравлический пресс ОКС 1671 Н
6. Механическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Токарный станок 1К62Ф3С
7. Проведение контроля качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Ультразвуковой дефектоскоп

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 8 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	-

Таким образом, реализация в производстве проектной технологии, операции которой подробно описаны в настоящей выпускной квалификационной работе, сопровождается опасными и вредными производственными факторами. Источниками этих опасных и вредных производственных факторов является применяемое технологическое оборудование и другие объекты производства. Эти источники были приведены и проанализированы выше при идентификации опасных и вредных производственных факторов.

На основании анализа профессиональных рисков, возникающих при воздействии описанных производственных факторов предложены стандартные мероприятия и средства защиты, которые позволяют полностью устранить влияние опасного фактора и представленные в таблице 8. Приведённые мероприятия и меры защиты позволили также снизить влияние вредных производственных факторов до приемлемого уровня.

Предложенные меры позволили исключить травматизм при реализации проектного технологического процесса и защитить работника от получения профессиональных заболеваний.

Однако осуществление проектной технологии предусматривает не только возникновение опасных и вредных факторов, влияющих на участников производственного процесса. Негативному воздействию подвергается окружающая среда. Таким образом, технологический процесс может представлять угрозу за счёт возникновения неблагоприятных экологических факторов (загрязнение воздуха, гидросферы и литосферы).

Кроме того, нормальное протекание технологического процесса может нарушаться при возникновении пожара, который становится ещё одним фактором отрицательного влияния на окружающую среду и участников производства (работающий персонал, производственные здания и оборудование).

Изучению вопроса экологической и пожарной безопасности посвящена вторая половина настоящего раздела выпускной квалификационной работы.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара согласно таблице 9 позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 10.

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

Таблица 9 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется плазменное нанесение покрытий	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 10 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Таблица 11 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для плазменного нанесения покрытий	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий, приведённых в таблице 11.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблице 12 этих негативных факторов и предложить меры защиты от них, приведённые в таблице 13.

Таблица 12 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Плазменное нанесение покрытий	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 13 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

## **Выводы по экологическому разделу**

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки емкости цистерны с применением механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

## **4 Оценка экономической эффективности проектной технологии**

### **4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений**

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности плазменного нанесения покрытий при восстановлении распределительных валов. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе плазменного напыления.

Базовая технология восстановления предусматривает применение вибродуговой наплавки. Проектная технология предусматривает плазменное нанесение покрытия с использованием модернизированной установки плазменного напыления. Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении распределительного вала, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменное нанесение покрытия, правка, шлифование, контроль качества.

Такая замена способа восстановления позволяет существенно повысить производительность выполнения восстановительных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов нанесения покрытия.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления распределительных валов.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям, приведённые в таблице 14.

Таблица 14 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	$P_p$		V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{об}$	Руб.	400000	800000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	15	20
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_{а}$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	$S$	$m^2$	800	800
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	$P/m^2$	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33

#### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных согласно таблице 14: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{\text{см}} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_{\text{п}} = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_{\text{п}} = 1$  час, принятое для

рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

$$F_{н} = (D_{р} \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_{н} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени  $B = 7 \%$ :

$$F_{э} = F_{н} (1 - B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_{э} = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время  $t_{шт}$  является суммой затрат времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени  $t_{маш}$ ; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени  $t_{всп}$ ; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования)  $t_{обсл}$ ; времени  $t_{отд}$  на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного

времени  $t_{П-З}$ :

$$t_{шт} = t_{МАШ} + t_{ВСП} + t_{ОБСЛ} + t_{ОТЛ} + t_{П-З}. \quad (3)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит:

$$t_{шт.баз} = 1,5 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1,89 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,6 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,76 \text{ ч.}$$

Годовая программа  $П_{Г}$  выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени  $F_{э}$  и согласно (3) штучного времени  $t_{шт}$ :

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (4) после подстановки численных значений:

$$П_{Г.баз.} = 2054 / 1,89 = 1086 \text{ деталей за год};$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054 / 0,76 = 2700 \text{ деталей за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы  $П_{Г} = 1000$  деталей в год.

При этом необходимое количество  $n_{расч}$  оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента  $K_{вн}$  выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем  $K_{вн} = 1,03$ ):

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

Требуемое количество оборудования  $n_{расч}$  для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (5), составляет:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{1,89 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,03} = 0,9, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{0,76 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,03} = 0,40.$$

Необходимое количество оборудования  $n_{пр}$ , которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному

вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ( $n_{пр} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов загрузки  $K_3$  для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{3б} = 0,9/1 = 0,9,$$

$$K_{3п} = 0,4/1 = 0,4.$$

#### **4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии**

Восстановление поверхности распределительного вала предусматривает расходование материалов. При вибродуговой наплавке расходным материалов будут сварочная проволока и углекислый газ. При плазменном нанесении покрытия расходными материалами будут присадочный порошок и аргон.

Затраты  $M$  на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов  $H_p$ , цены материалов  $C_m$  и коэффициента  $K_{тз}$  транспортно-заготовительных расходов:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{тз}, \quad (7)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{баз.} = 210 \cdot 0,448 + 40 \cdot 0,888 = 129,6 \text{ руб.}$$

$$M_{проектн.} = 310 \cdot 0,448 + 90 \cdot 0,213 = 158,05 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы  $Z_{осн}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии,

рассчитаем с учётом штучного времени  $t_{шт}$ , часовой тарифной ставки  $C_ч$  и коэффициента  $K_д$  доплат:

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

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (8) составляет:

$$Z_{осн.баз.} = 1,89 \cdot 200 \cdot 1,88 = 710,64 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн.проектн.} = 0,76 \cdot 200 \cdot 1,88 = 285,76 \text{ руб.}$$

Объём дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента  $K_{доп}$  дополнительных доплат ( $K_{доп} = 12 \%$ ):

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

Дополнительная заработная плата  $Z_{доп}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (9) после подстановки значений составляет:

$$Z_{доп.базов.} = 710,64 \cdot 12 / 100 = 85,28 \text{ рублей};$$

$$Z_{доп.проектн.} = 285,76 \cdot 12 / 100 = 34,29 \text{ рублей.}$$

Фонд заработной платы  $\Phi ЗП$  вычисляется как сумма основной  $Z_{осн}$  и дополнительной  $Z_{доп}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Phi ЗП_{базов.} = 710,64 + 85,28 = 795,92 \text{ рублей};$$

$$\Phi ЗП_{проектн.} = 285,76 + 34,29 = 320,05 \text{ рублей.}$$

Объём отчислений  $O_{сн}$  из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента  $K_{сн}$  отчислений на социальные нужды:

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

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (10) соответствующих значений:

$$\text{Осс}_{\text{баз.}} = 795,92 \cdot 34 / 100 = 270,61 \text{ руб.},$$

$$\text{Осс}_{\text{проектн.}} = 320,05 \cdot 34 / 100 = 108,82 \text{ руб.}$$

Затраты  $Z_{\text{об}}$  на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат  $A_{\text{об}}$  на амортизацию и  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию:

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

Величина  $A_{\text{об}}$  амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования  $C_{\text{об}}$ , нормы амортизации  $H_{\text{а}}$ , машинного времени  $t_{\text{маш}}$ , и эффективного фонда времени  $F_{\text{э}}$  с использованием зависимости:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (12) соответствующих значений, составляет:

$$A_{\text{об. баз.}} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 1,89 / 2054 / 100 = 79 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 0,76 / 2054 / 100 = 64 \text{ руб.}$$

Расходы  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования  $M_{\text{уст}}$ , цены электрической энергии  $C_{\text{эз}}$  для предприятий, машинного времени  $t_{\text{маш}}$  и КПД оборудования:

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

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{эз баз}} = 52 \cdot 25 \cdot 3,2 / 0,7 = 122 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{эз пр}} = 32 \cdot 40 \cdot 3,2 / 0,85 = 54 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$Z_{\text{об баз.}} = 79 + 122 = 201 \text{ рублей,}$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 64 + 54 = 118 \text{ рублей.}$$

Технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  рассчитывается как сумма затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы  $\Phi ЗП$ , отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$  и затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{СС}} + Z_{\text{ОБ}} \quad (14)$$

Рассчитанная после подстановки в (14) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 129 + 796 + 271 + 201 = 1397 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 158 + 320 + 109 + 118 = 705 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость  $C_{\text{цех}}$  рассчитывается с учётом технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{цех}}$  цеховых расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 1397 + 1,5 \cdot 711 = 1397 + 1067 = 2464 \text{ руб.,}$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 705 + 1,5 \cdot 286 = 705 + 429 = 1134 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость  $C_{\text{зав}}$  рассчитывается с учётом цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{зав}}$  заводских расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (16) соответствующих значений «заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 2464 + 1,15 \cdot 711 = 2464 + 818 = 3282 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 1134 + 1,15 \cdot 286 = 1134 + 329 = 1463 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 15.

Таблица 15 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	<i>М</i>	129	158
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	796	320
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	271	109
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	201	118
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	1397	705
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	1067	429
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	2464	1134
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	818	329
9. Заводская себестоимость	<i>Сзав</i>	3282	1463

Данные таблицы позволяют судить об экономической эффективности проектной технологии» [10].

#### 4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты  $K_{\text{общ. б.}}$  для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования  $C_{\text{об.б.}}$ , коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{з. б.}}$  рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{\text{общ. б.}} = C_{\text{ОБ.Б.}} \cdot K_{3.б.} \quad (17)$$

Остаточную стоимость  $C_{\text{об.б.}}$  оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования  $C_{\text{перв.}}$ , срока службы оборудования  $T_c$  и нормы амортизации  $H_a$  оборудования:

$$C_{\text{об.б.}} = C_{\text{ПЕРВ.}} - (C_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (18) соответствующих значений, составляет:

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 142000 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 142000 \cdot 0,90 = 127800 \text{ рублей}$$

Капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}}$  для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$ , вложений в производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , сопутствующих вложений  $K_{\text{соп.}}$ :

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

Капитальные вложения  $K_{\text{об. пр.}}$  в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования  $C_{\text{об. пр.}}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{\text{тз}}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{зп}}$  по проектному варианту:

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

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (20) соответствующих значений составляет:

$$K_{\text{об. пр.}} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 336000 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения  $K_{\text{соп.}}$  по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  базового оборудования и расходов на монтаж  $K_{\text{монт}}$  проектного оборудования:

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

Расходы на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  и монтаж  $K_{\text{монт}}$  рассчитываем с учётом стоимости оборудования  $Ц_{\text{б}}$  и  $Ц_{\text{пр}}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{м}}$  на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{\text{дем}} = Ц_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = Ц_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (21), (22) и (23) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 20000 + 40000 = 60000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (19) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр}} = 336000 + 60000 = 396000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения  $K_{\text{доп}}$  рассчитываем исходя из капитальных затрат  $K_{\text{общ.пр}}$  и  $K_{\text{общ.б.}}$  для проектного и базового вариантов технологии:

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

$$K_{\text{доп}} = 396000 - 127800 = 268200 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений  $K_{\text{уд}}$  рассчитываем с учётом годовой программы  $П_{\text{г}}$ :

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{П_{\text{г}}}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 127800/1000 = 127,8 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{удПроктн.}} = 296000/1000 = 296 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени  $t_{шт.б.}$  и  $t_{шт.пр.}$  по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{1,89 - 0,76}{1,89} \cdot 100\% = 60\%$$

Расчёт повышения производительности труда  $\Pi_T$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ :

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 60}{100 - 60} = 150\%$$

Расчёт снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{ТЕХ}$  при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{C_{ТЕХБ} - C_{ТЕХПР}}{C_{ТЕХБ}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{1397 - 705}{1397} \cdot 100\% = 50\%$$

Расчёт условно-годовой экономии  $Pr_{ож}$  (ожидаемой прибыли), которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$Pr_{ож.} = \Delta_{у.г.} = \left( C_{зав}^б - C_{зав}^{пр} \right) \cdot П_{Г} . \quad (29)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (29) соответствующих значений составила:

$$\Delta_{у.г.} = (3282 - 1463) \cdot 1000 = 1819000 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости  $T_{ок}$  дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{\Delta_{у.г.}} . \quad (30)$$

Срок окупаемости после подстановки в (30) соответствующих значений составил:

$$T_{ок} = \frac{296000}{1819000} = 0,16$$

Годовой экономический эффект  $\Delta_{г.}$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\Delta_{г.} = \Delta_{у.г.} - E_{н.} \cdot K_{доп} \quad (31)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (31) соответствующих значений составил:

$$\Delta_{г.} = 1819000 - 0,33 \cdot 296000 = 1721320 \text{ руб.}$$

### **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии восстановления распределительного вала применяется вибродуговая наплавка. Недостатком вибродуговой наплавки является высокая вероятность получения

наплавленного слоя с порами и неоднородной структурой. В наплавленном слое присутствуют значительные остаточные растягивающие напряжения, которые приводят к снижению прочности на 30...40 %. Также следует отметить низкую производительность способа по сравнению с перспективными высокотехнологичными способами восстановления деталей машин.

Проектный вариант технологии предполагает использование плазменного нанесения покрытий. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения восстановительных работ.

Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов наплавки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 60 %, повышение производительности труда на 150 %, уменьшение технологической себестоимости на 50 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1,8 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,7 млн. рублей.

Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,2 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления распределительных валов на примере вала автомобиля "Урал-4320".

Анализ конструкции распределительного вала, условий его работы и статистических данных по величине и характеру износа позволил заключить, что внедрение технологии восстановления распределительных валов должно быть экономически эффективно.

Анализ альтернативных способов восстановления деталей машин выполнен с рассмотрением таких способов, как вибродуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, плазменное напыление и плазменная наплавка. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменное нанесение покрытия.

На основании анализа источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменного нанесения покрытий при восстановлении деталей машин предложен способ импульсного плазменного напыления и оборудование для его осуществления.

Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении распределительного вала. Приведены описания операций технологического процесса, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,7 млн. рублей. Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1813790 СССР, МКИ С23С4/12. Способ напыления порошковых покрытий / Киселев Л. А., Мокрышев А. И., Голыш В. А., Блохин В. В. –№ 4910920/26, завл. 11.11.90; опубл. 07.05.93, Бюл. № 17. 2 с.
2. Авторское свидетельство № 2135630 СССР, МКИ С23С4/12. Способ плазменного покрытия электропроводных материалов / Чибирков В. К., Волокитин Г. Г., Шишковский В. И., Дедюхин Р. О. –№ 4091638/25, завл. 26.05.86; опубл. 07.07.93, Бюл. № 25. 2 с.
3. Беленов А. С., Шестаков А. И. Восстановление высоконагруженных коленчатых валов сверхзвуковым плазменным газоздушным напылением // Пленки и покрытия – 2001 (Труды 6-й междунар. Конференции «Пленки и покрытия»), 1998. С. 473–476.
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
5. Бурдо Н. А., Гуров Е. А., Федорищев А. А. Оценка локальной приварки тонкостенной ремонтной втулки к восстанавливаемой шейке коленчатого вала // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано до макроуровня: в 2 ч. Часть 1: Материалы 13-й Международной научно-практической конференции. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 72–74.
6. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин: учебное пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014.
7. Зяблов О. К. Применение лазерной технологии при ремонте коленчатых валов судовых двигателей : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Нижний Новгород, 2000.
8. Кадырметов А. М. Теоретические основы и технологическое обеспечение качества плазменного нанесения и упрочнения покрытия

модуляцией электрических параметров : дисс. на соискание уч. степени доктора технических наук, Воронежский государственный технический университет, 2013.

9. Камкин С. В., Возницкий И. В., Большаков В. Ф. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок. М.: Транспорт, 1996. 422 с.

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. Лиджи-Горяев Р. А. Исследование и совершенствование технологии восстановления шеек коленчатых валов судовых дизелей плазменным напылением проволокой из марганцовистой стали: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Астрахань : АТГУ, 2006.

13. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет.: К. В. Фролов (пред.) [и д.р.] – М.: Машиностроение. – Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т. III-7 / В. В. Клюев [и д.р.]; под общ. Ред. В. В. Клюева – 1996, 464 с.

14. Новиков В С., Очковский Н. А., Тельнов Н. Ф. Проектирование технологических процессов восстановления изношенных деталей : методические рекомендации к курсовому и дипломному проектированию. М. : МГАУ, 1998. 52 с.

15. Патент № 2211256 РФ, МКИ С23С4/12. Способ нанесения покрытия / Станчев Д. И., Кадырметов А. М., Винокуров А. В., Бухтояров В. Н. – № 2001115118/02, завл. 04.06.2001; опубл. 27.08.2003, RU2211256. 6 с.

16. Патент № 2155822 РФ, МКИ С23С4/12. Способ плазменного нанесения покрытий / Гонопольский А. М., Пузряков А. Ф. – завл. 08.25.1999; опубл. 10.09.2000, RU2155822. 4 с.

17. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышева. М.: Машиностроение, 2004

18. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А. И. Акулова, 1978. – 462 с.

19. Сергеев В. В., Корноухов А. А. Создание центра по восстановлению коленчатых валов дизельных двигателей электродуговой металлизацией // Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций: Материалы 6-й междунар. научно-практ. конференции. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2004. С. 227–230.

20. Сергеев В.В. Восстановление коленчатых валов дизельных двигателей сверхзвуковой электродуговой металлизацией // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: в 2 ч. Часть 1: Материалы 13-й Международной научно-практической конференции. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 244–247.

21. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М. : Машиностроение. 1987. 192 с.

22. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.

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

24. Хмелевская В. Б., Леонтьев Л. Б., Лавров Ю. Г. Технологии восстановления и упрочнения деталей судовых механизмов и триботехнические характеристики покрытий. СПб. : СПГУВК, 2002. 309 с.

25. Шиповалов А. Н. Технология восстановления кулачков распределительных валов плазменной наплавкой : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М. : Российский государственный аграрный заочный университет. 2010.