

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 вала кислородного компрессора

Студент

Д.В. Исаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.И. Плахотный

(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

Коленчатый вал компрессора в процессе работы подвергается значительным нагрузкам. Значительное количество циклов знакопеременного нагружения, контактные давления в трущихся сопряжениях определяют малый ресурс работы вала компрессорной установки.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления коленчатого вала компрессорного агрегата.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- повысить эффективность плазменного напыления применительно к рассматриваемой детали;
- составить проектную технологию плазменного напыления;
- предложить оборудование для реализации проектной технологии;
- назначить наплавочный материал и параметры режима плазменного напыления.

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

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,225 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,8 года.

## Содержание

Введение .....	5
1 Современное состояние восстановления коленчатых валов компрессорных установок. ....	7
1.1 Описание вала компрессорной установки. ....	7
1.2 Сведения о материале изделия. ....	10
1.3 Особенности восстановления коленчатого вала компрессорной установки по базовой технологии. ....	11
1.4 Анализ способов восстановления коленчатого вала .....	13
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	19
2 Проектная технология восстановления коленчатого вала компрессорного агрегата. ....	20
2.1 Описание установки для плазменного напыления. ....	20
2.2 Выбор материала для плазменного нанесения покрытия. ....	22
2.3 Описание операций технологического процесса плазменного нанесения покрытия при восстановлении коленчатого вала компрессорного агрегата. ....	24
2.4 Планировка участка восстановления валов .....	26
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	29
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	29
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	30
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	33
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	34
3.5 Обеспечение экологической безопасности .....	36
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии. ....	38
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений .....	38

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	40
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	41
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	43
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	47
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	50
Заключение . . . . .	53
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	54

## Введение

Для проведения восстановления изношенных деталей машин требуется объём затрат на порядок меньше, чем для приобретения новой детали. Это объясняется малыми объёмами наносимого металла. Так, примерно 85 % деталей, которые необходимо восстанавливать имеют величину износа, не превышающую 0,3 мм. Таким образом, восстановление работоспособности детали требует меньших затрат металла и энергии, чем изготовление новой детали. Исходя из этого, промышленное внедрение способов реновации деталей машин экономически оправдано и позволяет достигнуть значительного технологического (повышение работоспособности) и экономического (снижение финансовых и трудовых затрат) эффектов.

Основной причиной износа деталей аппаратов различного назначения (двигатели автомобилей, компрессорных установок и т.д.) является абразивный износ в парах трения, коррозионно-механический износ и кавитационный износ [1].

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 [1], [5].

Коленчатый вал компрессора в процессе работы подвергается значительным нагрузкам. Значительное количество циклов знакопеременного нагружения, контактные давления в трущихся сопряжениях определяют малый ресурс работы вала компрессорной установки. Потери в двигателе компрессора на преодоление трения в сопрягающихся парах могут достигать до 50 % от общих потерь в двигателе. Поэтому повышение экономичности работы двигателя компрессора может быть достигнуто при повышении антифрикционных свойств трущихся деталей, их износостойкости и защиты от коррозии [16].

Восстановление вала компрессора с применением газотермического напыления [6], [13] может быть затруднено, 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 [17].

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 [9], [17].

Плазменное напыление 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 [9].

На основании вышеизложенного следует признать актуальной **цель** выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления коленчатого вала компрессорного агрегата.

# **1 Современное состояние восстановления коленчатых валов компрессорных установок**

## **1.1 Описание вала компрессорной установки**

Форма коленчатого вала компрессорной установки, представленного на рисунке 1, достаточно сложная, на детали выполнены коренные и шатунные шейки. Вал воспринимает усилие от шатунов и преобразует его в крутящий момент.

На коленчатом валу развивается крутящий момент, который передаётся далее подвижным частям компрессорной установки. Коренные шейки вала служат для укладки вала и его вращения на опорных (коренных) подшипниках. Соединение вала с головками шатунов – шарнирное, происходит посредством шатунных шеек. При помощи щёк происходит фиксация шатунных и коренных шеек относительно друг друга. Колено вала представляет собой конструкцию из шатунной шейки, двух щёк и примыкающих к ним коренных шеек. Задняя часть вала заканчивается хвостовиком с фланцем, на котором выполняется крепление маховика.

В процессе работы коленчатый вал компрессора подвергается значительным нагрузкам, среди которых следует выделить механическое изнашивание, изгиб и скручивание. На коленчатый вал действуют силы от движущихся масс и давления газов. Во время запуска двигателя компрессора нарушается нормальная работа опорных подшипников, что вызывает интенсивный износ шеек вала и вкладышей. Также следует отметить наличие коррозионного воздействия на шейки коленчатого вала. Поскольку коленчатый вал работает в сложных условиях, происходит интенсивный его износ. В числе наиболее распространённых неисправностей коленчатых валов следует отметить: деформация вала вследствие его перегрева и износ опорных шеек. Кроме этого, поступающие в ремонт валы имеют износ фланцевых отверстий под крепление маховика и износ резьбы под храповик.

6.3  $\sqrt{V}$

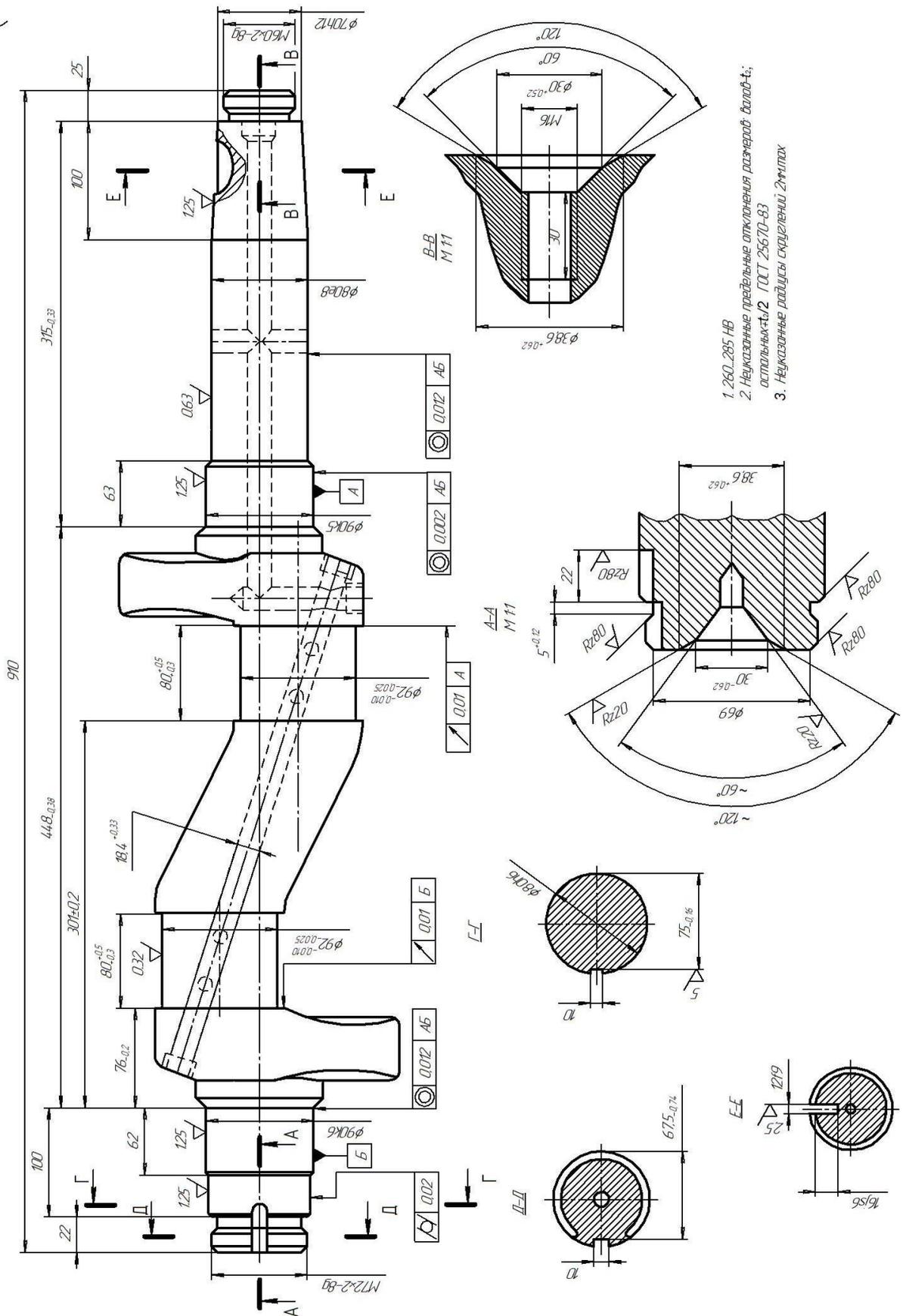


Рисунок 1 – Вал коленчатый компрессорной установки

В числе дефектов коленчатого вала, обнаруживаемых в процессе его длительной работы, «следует отметить:

- износ отверстия под подшипник,
- увеличение длины передней коренной шейки,
- увеличение длины шатунных шеек,
- износ шпоночной канавки по ширине,
- износ шейки под шестерню и ступицу шкива,
- износ наружной поверхности фланца,
- изгиб вала,
- износ коренных и шатунных шеек,
- износ маслосгонных канавок,
- биение торцевой поверхности фланца,
- износ отверстий под болты крепления маховика» [17].

Незначительный рабочий ресурс коленчатого вала компрессорной установки объясняется параметрами действующих нагрузок – значительным числом циклом знакопеременных нагружений и высоким контактным давлением в месте сопряжения «вкладыш-шейка».

В результате интенсивного изнашивания происходит уменьшение диаметра коренных и шатунных шеек от номинального размера. При изменении геометрии вала происходит нарушение режима смазывания вала, возникает так называемое «сухое» трение, происходит «схватывание» вкладышей.

Поэтому износ вала вызывает его выход из строя при неизрасходованном запасе прочности. Остаточный запас прочности вышедшего из строя вала может составлять до 70 % от нового вала, но при этом необходимость его замены продиктована износом, составляющим десятые доли миллиметра [6].

## 1.2 Сведения о материале изделия

Вал компрессорной установки выполнен из стали 45. Сталь 45 относится к конструкционной углеродистой качественной стали [13], [15].

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 [13], [14], [15]. 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 Особенности восстановления коленчатого вала компрессорной установки по базовой технологии**

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 ТЕКНОХ LAVAPEN 4/60, представленной на рисунке 2. Сначала проходит мойка в щелочном растворе с температурой 80...90 °С при частоте колебании 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.



Рисунок 2 – Моечная машина ТЕКНОХ LAVAPEN 4/60

Вторая операция – обжиг масла в масляных каналах. Для выполнения этой операции вал помещают в электропечь и нагревают до температуры 400 °С. Длительность обжига составляет 20 минут.

Третья 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.

Четвёртая операция - следует прочистить масляные каналы, раззенковать отверстия и закрыть их защитными асбестовыми пробками.

Пятая операция – восстановительная наплавка. Вал закрепляют в кулачках токарного станка. После этого выполняют наплавку порошковой самозащитной проволокой. Применяется проволока ПП-Нп-60Х5Г2СМ. Параметры режима наплавки: ток сварки – 140...170 А., напряжение на дуге – 22...24 В, скорость подачи проволоки – 1,5...1,8 м/мин, скорость наплавки – 10...12 м/час. Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности. В качестве источника питания применяется сварочный выпрямитель ВС-500, представленный на рисунке 3-а, и механизм подачи ПДПГ-500, представленный на рисунке 3-б.

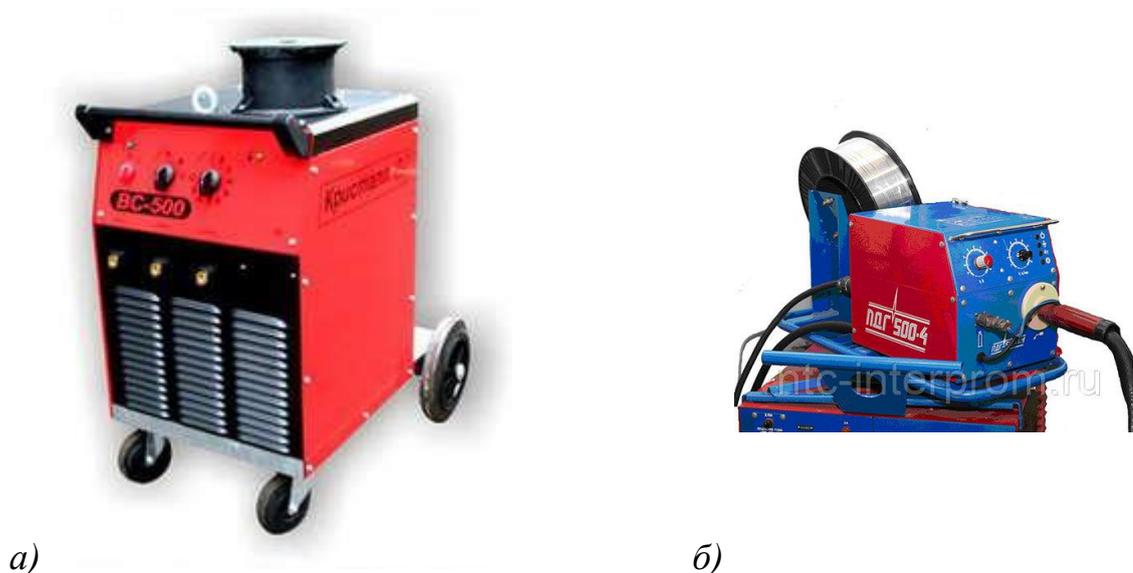


Рисунок 3 – Оборудование для наплавки: сварочный выпрямитель ВС-500 (а) и полуавтомат ПДПГ-500 (б)

Шестая операция – механическая обработка. После охлаждения вала удаляют из него асбестовые пробки и устанавливают вал на токарный станок. Выполняют шлифование шеек на параметрах режима: скорость линейная вращения вала – 0,2...0,3 м/сек, линейная скорость вращения шлифовального круга – 25...30 м/сек, глубина шлифования – 0,005 мм, продольная подача – 3...8 мм/об, расход охлаждающей жидкости – 0,3 л/мин.

Седьмая операция – раззенковка отверстий.

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

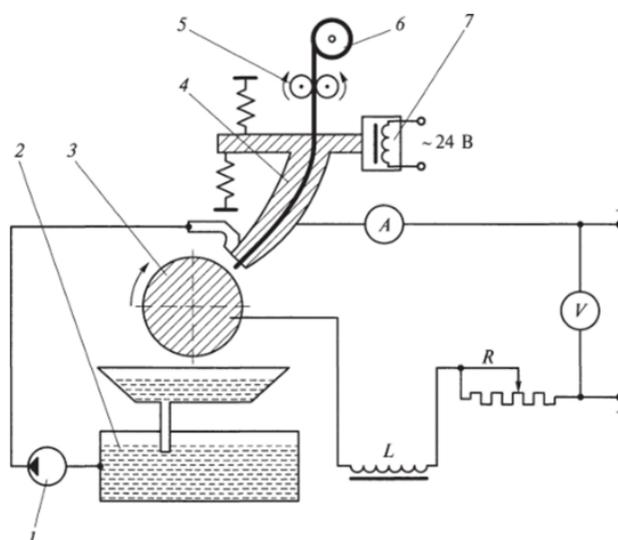
#### **1.4 Анализ способов восстановления коленчатого вала**

Значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости, характеризующие распространённые способы восстановления деталей машин [12], представленные в таблице 3, позволяют рекомендовать для восстановления рассматриваемой детали такие способы, как: вибродуговая наплавка; наплавка в среде углекислого газа; газопламенное напыление; плазменное напыление; плазменная наплавка.

Выполнение вибродуговой наплавки по схеме согласно рисунку 4 предусматривает применение вибрирующего электрода, диаметр которого составляет от 1,5 до 2 мм. В ходе наплавки на электрод накладывают 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.

Таблица 3 – Характеристика различных способов восстановления деталей машин [12]

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



1 – насос; 2 – бак; 3 – деталь; 4 – мундштук; 5 – механизм подачи; 6 – кассета; 7 – вибратор; А – амперметр; V – вольтметр; R – реостат; L – дроссель замыкания электродной проволоки и детали

Рисунок 4 – Схема вибродуговой наплавки

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.

Применение наплавки в защитных газах согласно схеме на рисунке 5 позволяет исключить трудности с подачей флюса и удавлением шлаковой корки. Этот способ считается самым технологичным и универсальным способом, который позволяет проводить наплавку большинства материалов в различных пространственных положениях.

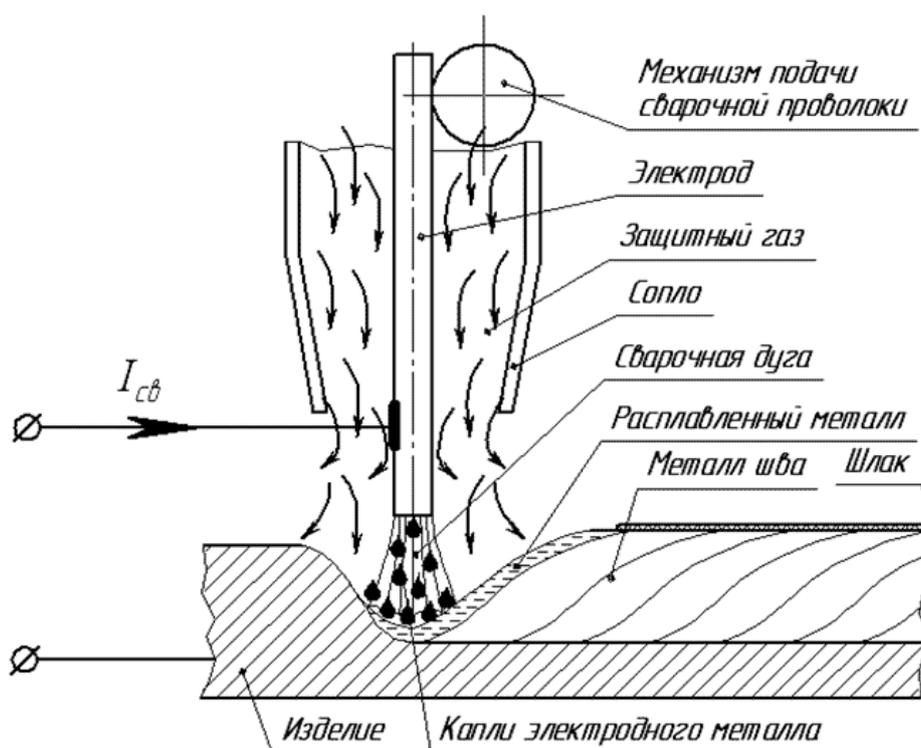


Рисунок 5 – Схема наплавки в защитных газах

Применяемый для защиты сварочной ванны и наплавляемого металла углекислый газ имеет относительно малую стоимость и широкую доступность. Обычно для такой наплавки применяется постоянный ток

обратной полярности. При использовании в качестве защитного газа углекислоты происходит окисление расплавленного металла, поэтому в наплавочную проволоку необходимо вводить раскислители (кремний и марганец).

Применение форсированных режимов при наплавке в углекислом газе ограничивается недостаточной эффективностью технологического управления процессом плавления и переноса электродного металла, который отличается низкой стабильностью. Также при наплавке в углекислом газе наблюдается интенсивное разбрызгивание, которое ухудшает условия труда сварщика, внешний вид и качество наплавленного слоя, увеличивает расход дорогостоящих наплавочных материалов.

Исследования в области повышения эффективности наплавки в защитных газах ведутся в направлении разработки компьютеризированных электроприводов подачи наплавочной проволоки. Вторым направлением исследований является управление горением дуги и переносом электродного металла [18], [19]. В качестве третьего направления можно выделить разработку новых наплавочных материалов [8], [20], [21], [22].

При восстановлении валов значительное распространение получили газопламенные способы нанесения покрытий, выполняемые по схеме на рисунке 6. В качестве преимуществ газопламенного напыления можно указать: высокую производительность, малое тепловое воздействие на деталь, высокое сопротивление наносимого покрытия износу, относительная простота способа [3], [10], [11].

Существенным недостатком газопламенного напыления 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.

При плазменном напылении, схема которого представлена на рисунке 7, обработка деталей проходит при существенно больших концентрациях 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 ( $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{SiC}$ ).

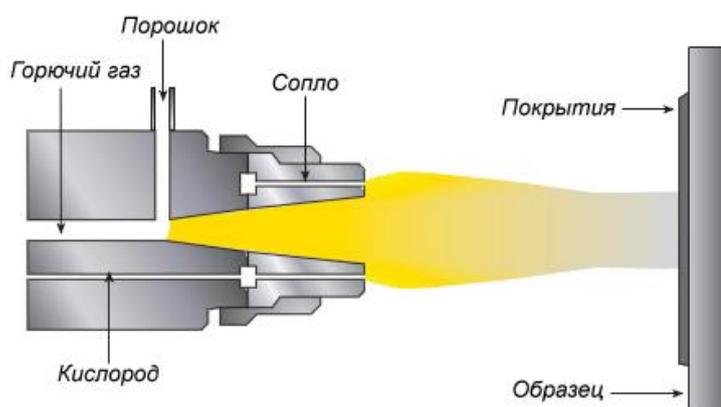


Рисунок 6 – Схема газопламенного напыления

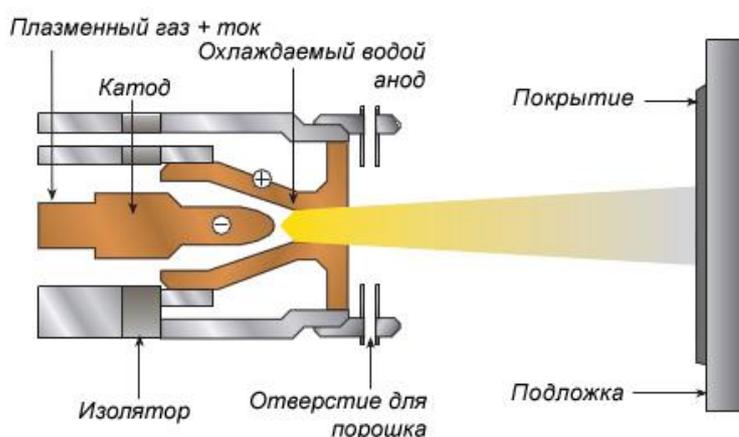
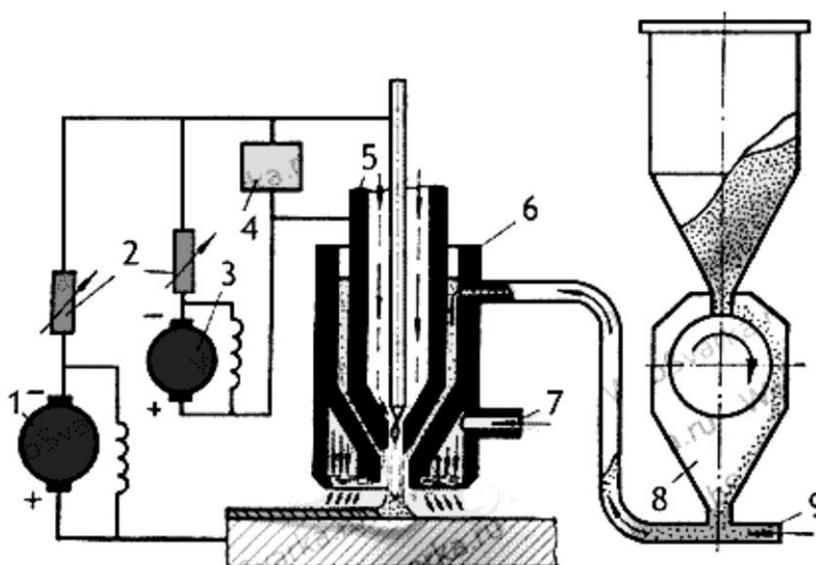


Рисунок 7 – Схема выполнения газоплазменного напыления

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.

Анализ технологичности различных способов наплавки деталей машин показывает, что плазменная наплавка, схема которой представлена на рисунке 8, обладает большей эффективностью по сравнению с наплавкой в углекислом газе и ручной дуговой наплавкой. 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 установки для плазменной наплавки

## 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления коленчатого вала компрессорного агрегата.

Анализ возможных способов восстановления коленчатого вала компрессорного агрегата выполнен с рассмотрением таких способов, как вибродуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, плазменное напыление, плазменная наплавка. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменное напыление. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы [4], последовательное решение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- повысить эффективность плазменного напыления применительно к рассматриваемой детали;
- составить проектную технологию плазменного напыления;
- предложить оборудование для реализации проектной технологии;
- назначить наплавочный материал и параметры режима плазменного напыления.

При выполнении оценочного блока выпускной квалификационной работы следует провести 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 восстановления вала.

## 2 Проектная технология восстановления коленчатого вала компрессорного агрегата

### 2.1 Описание установки для плазменного напыления

Установка для плазменного нанесения покрытия включает в себя следующие элементы согласно схеме на рисунке 9: станина 1, вращатель 2, пульт управления 3, суппорт 4, пиноль 5, сварочный пистолет 6, бункер для порошка 7, привод 8, заднюю бабку 9, защитный экран 10, приспособление установочное 11.

Компоновку оборудования выполним на базе токарного станка А364, который уже имеется в производстве и не задействован в других технологических процессах. Это позволяет сэкономить капитальные средства при внедрении проектной технологии восстановления вала. В процессе восстановления будет использован имеющийся на производстве токарный станок А364, что позволит получить экономию капитальных затрат в процессе внедрения проектной технологии в производство, сокращение площади участка и повышение коэффициента загрузки оборудования.

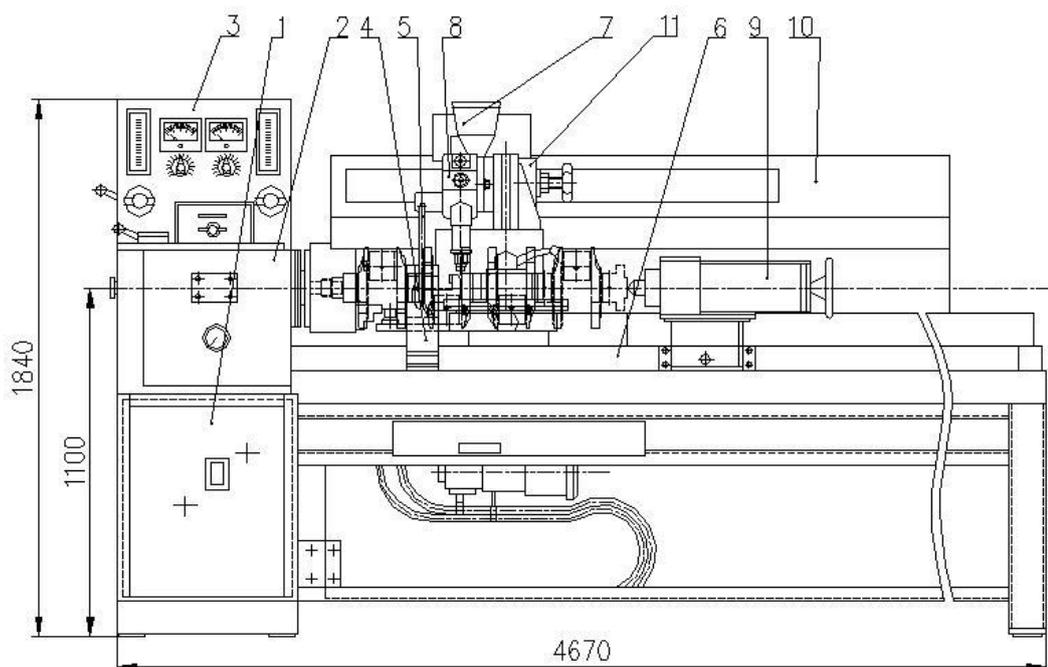
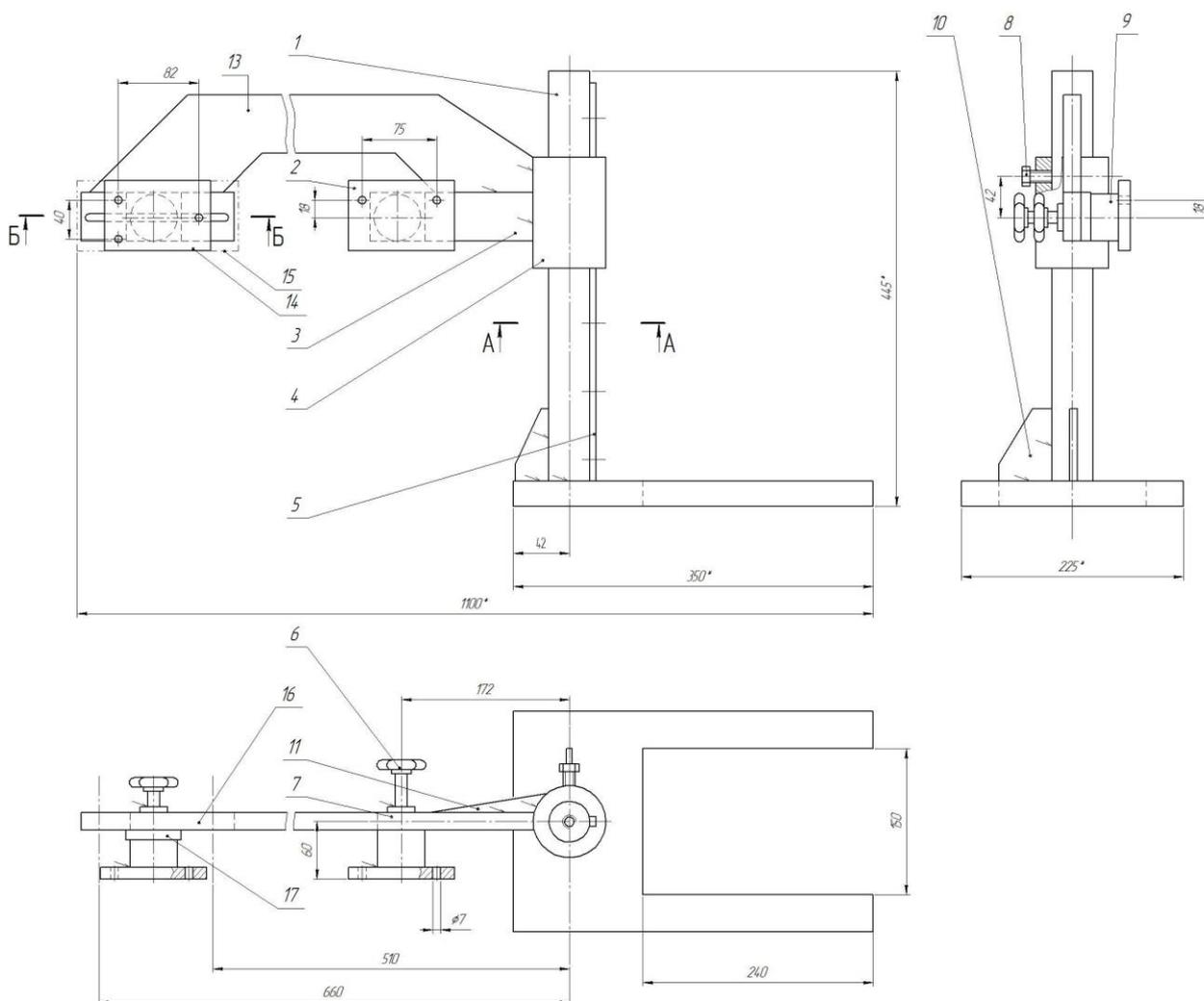


Рисунок 9 – Установка для плазменного напыления

С целью экономии средств при внедрении проектной технологии и повышения коэффициента загрузки оборудования предложено «не приобретать отдельный манипулятор, а использовать для вращения в процессе металлизации токарный станок А364 Для закрепления в суппорте станка плазматрона разработана оснастка, показанная на рисунке 10. Оснастка представляет собой п-образную пластину, закрепляемую в суппорте, к поперечине пластины закреплена стойка 1, на которой подвижно закреплена муфта 4 с ходовым винтом. К муфте крепится планка 3 к которой двумя винтами крепится плазматрон» [17].



1 – стойка; 2 – фланец; 3 – планка; 4 – муфта; 5 – направляющая; 6 – винт регулировочный; 7 – шайба; 8 – втулка; 9 – косынка; 10 – усилитель; 11 – коромысло; 12 – фланец; 13 – направляющая; 14 – прокладка; 15 – штифт

Рисунок 10 – Приспособление для крепления плазматрона

## 2.2 Выбор материала для плазменного нанесения покрытия

В качестве присадочного порошка может быть использован порок меди (ПМС-В или ПМС-Ву), применение которого позволяет получать покрытия с хорошими антифрикционными свойствами. Также следует отметить низкую стоимость этого наплавочного порошка. В числе недостатков применения медных порошков следует отметить, что получаемое покрытие обладает малой прочностью, жаропрочностью и жаростойкостью.

Возможно применение порошка молибдена (ПНЭ-1 или ПНЭ-2), которое позволяет получать наплавленный слой с высокой прочностью и твёрдостью, хорошо противостоящее абразивному изнашиванию. В качестве недостатков применения молибденового порошка следует отметить увеличенный расход порошка и его высокую стоимость.

Также при плазменном нанесении покрытий может быть использован порошок никеля (ПНК2К8 и ПНК2К9). Эти порошки позволяют получать хорошую адгезию покрытия к основе.

Возможно применение порошка титана (ПТС), который позволяет получать наплавленный слой с высокой прочностью и пластичностью. Однако наносимый с применением порошка слой имеет высокую склонность к отслаиванию.

Применение порошка хрома (ПХ1 или ПХ2) позволяет получать покрытия с высокой твёрдостью и прочностью. Однако такие покрытия плохо противостоят ударным нагрузкам и отличаются повышенной склонностью к отслаиванию из-за значительной разницы в коэффициентах термического расширения покрытия и основного металла.

В качестве порошка для плазменного нанесения покрытия может быть использован порошок нихрома (ПХ20Н80), позволяющий получать покрытия с высокой прочностью и твёрдостью. Недостатком применения порока нихрома является низкая пластичность покрытия, слабая адгезия к основе, повышенная склонность к отслаиванию.

При применении самофлюсующихся порошков системы Ni-Cr-B-Si (ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, СНГС-50, СНГС-55, СНГС-60, ПН70Х17С4Р4, Х17СР1) получается покрытие с хорошей адгезией, высокой прочностью сопротивлением ударным нагрузкам. Также следует отметить хорошее сцепление слоев покрытия друг с другом и малое тепловое воздействие на деталь. Также покрытие обладает хорошим сопротивлением износу. Главным недостатком самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-B-Si является их высокая стоимость. Также следует отметить значительную склонность к отслаиванию от детали.

В качестве порошка может быть применён сплав никель-алюминий (ПН70Ю30 и ПН85Ю15), позволяющий получать покрытия с хорошими антифрикционными свойствами и сопротивлению повышенным температурам. Следует отметить слабое сопротивление покрытия, полученных с применением этих порошков, абразивному изнашиванию.

Плазменное нанесение покрытия может быть выполнено с использованием композиционных порошков системы никель-алюминий (ПТ-НА-01, НА-67, ПНА-75, ПНА-80, ПНА-95). Применение этих порошков позволяет получать твёрдые покрытия с хорошими антифрикционными свойствами. Однако покрытие, полученное с использованием этих порошков, обладает малой сопротивляемостью знакопеременным нагрузкам.

Для построения проектной технологии можно предложить нанесение нескольких слоёв на деталь. При формировании подслоя применяется порошок ПТ-НА-01. После этого выполняют нанесение нескольких слоев смесью порошков системы никель-алюминий (ПН85Ю15) и самофлюсующегося порошка системы Ni-Cr-B-Si (Х17СР1). Применение сплава системы никель-алюминий позволит получить хорошие антифрикционные свойства поверхности вала. Применение самофлюсующихся сплавов позволит получить хорошее сцепление между слоями и сопротивление ударным нагрузкам.

### **2.3 Описание операций технологического процесса плазменного нанесения покрытия при восстановлении коленчатого вала компрессорного агрегата**

В оборотной таре изделия, которые необходимо восстановить, поступают на участок восстановления. Временное размещение изделий происходит на стеллаже для складирования.

Первая операция – очистка поверхности вала от загрязнений. Качество её проведения определяет правильность хода дальнейших операций и в конечном итоге производительность и качество восстановительных работ.

Вал очищают на установке MMA1, представленной на рисунке 11.



Рисунок 11 – Моечная машина MMA1

В качестве моющего раствора применяют щелочные препараты МЛ-51 или МЛ-52, концентрация которых составляет 10...30 г/литр, а температура нагрева – 75...80 °С. Продолжительность очистки составляет 30...40 минут.

Вторая операция – обжиг масла в масляных каналах. Для выполнения этой операции вал помещают в электропечь и нагревают до температуры 400 °С. Длительность обжига составляет 20 минут.

Третья 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.

Четвёртая операция - следует прочистить масляные каналы, раззенковать отверстия и закрыть их защитными асбестовыми пробками.

Пятая операция – дробеструйная обработка, которая введена в проектную технологию для улучшения адгезии напыляемого слоя.

Шестая операция – напыление. Сначала наносится подслой с применением порошка ПТ-НА-01. Далее наносят несколько слоёв смесью порошков ПН85Ю15М и Х17СР1 с различным соотношением компонентов. Первый слой: 95 % ПН85Ю15М + 5 % Х17СР1, второй слой: 90 % ПН85Ю15М + 10 % Х17СР1, третий слой: 85 % ПН85Ю15М + 15 % Х17СР1, четвёртый слой: 80 % ПН85Ю15М + 20 % Х17СР1, пятый слой: 75 % ПН85Ю15М + 25 % Х17СР1. Сама операция представлена на рисунке 12.

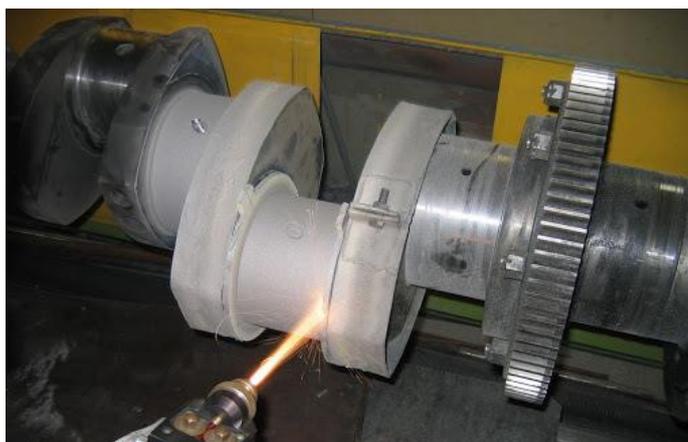


Рисунок 12 – Плазменное нанесение покрытия при восстановлении вала

После напыления каждого слоя выполняют дробеструйную обработку поверхности.

Ток напыления – 315 А, напряжение на дуге – 65 В. В качестве транспортирующего газа применяется азот, его расход составляет 0,5 л/мин. В качестве плазмообразующего и защитного газа применяется аргон, его расход составляет 1,5 л/мин. Применяется фракция присадочного порошка размером 60 мкм.

Седьмая операция – механическая обработка. После охлаждения вала удаляют из него асбестовые пробки и устанавливают вал на токарный станок.

Выполняют шлифование шеек на параметрах режима: скорость линейная вращения вала – 0,2...0,3 м/сек, линейная скорость вращения шлифовального круга – 25...30 м/сек, глубина шлифования – 0,005 мм, продольная подача – 3...8 мм/об, расход охлаждающей жидкости – 0,3 л/мин.

Восьмая операция – раззенковка отверстий.

Девятая 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.

## **2.4 Планировка участка восстановления валов**

При восстановлении вала выполняют следующие технологические операции: мойка, дефектация, подготовка поверхности, плазменное восстановление, контроля качества.

Ремонтный участок, представленный на рисунке 13, располагается в северной части ремонтного цеха производства и предусматривает размещение следующих основных видов оборудования: стеллаж для изношенных деталей (поз. 1), ванна для моющего раствора (поз. 2), верстак слесарный (поз. 3), комплекс контрольно-измерительный (поз. 4), станок сверлильный (поз. 5), электропечь СНО (поз. 6), камера дробеструйная (поз. 7), пост нанесения защитных покрытий (поз. 8), установка для напыления УПУ-8М (поз. 9), каналы вентиляционные (поз. 10), экран защитный (поз. 11), тележка для перевозки и хранения деталей (поз. 12), тележка для перевозки баллонов с газом (поз. 13), стеллаж для хранения готовой продукции (поз. 14), ванна помывочная (поз. 15), стеллаж для хранения ремонтного фонда и прочих инструментов и материалов (поз. 16), вентиляция приточная (поз. 17), циклон пылеотделяющий (поз. 18), вентилятор пылеудаляющий (поз. 19).

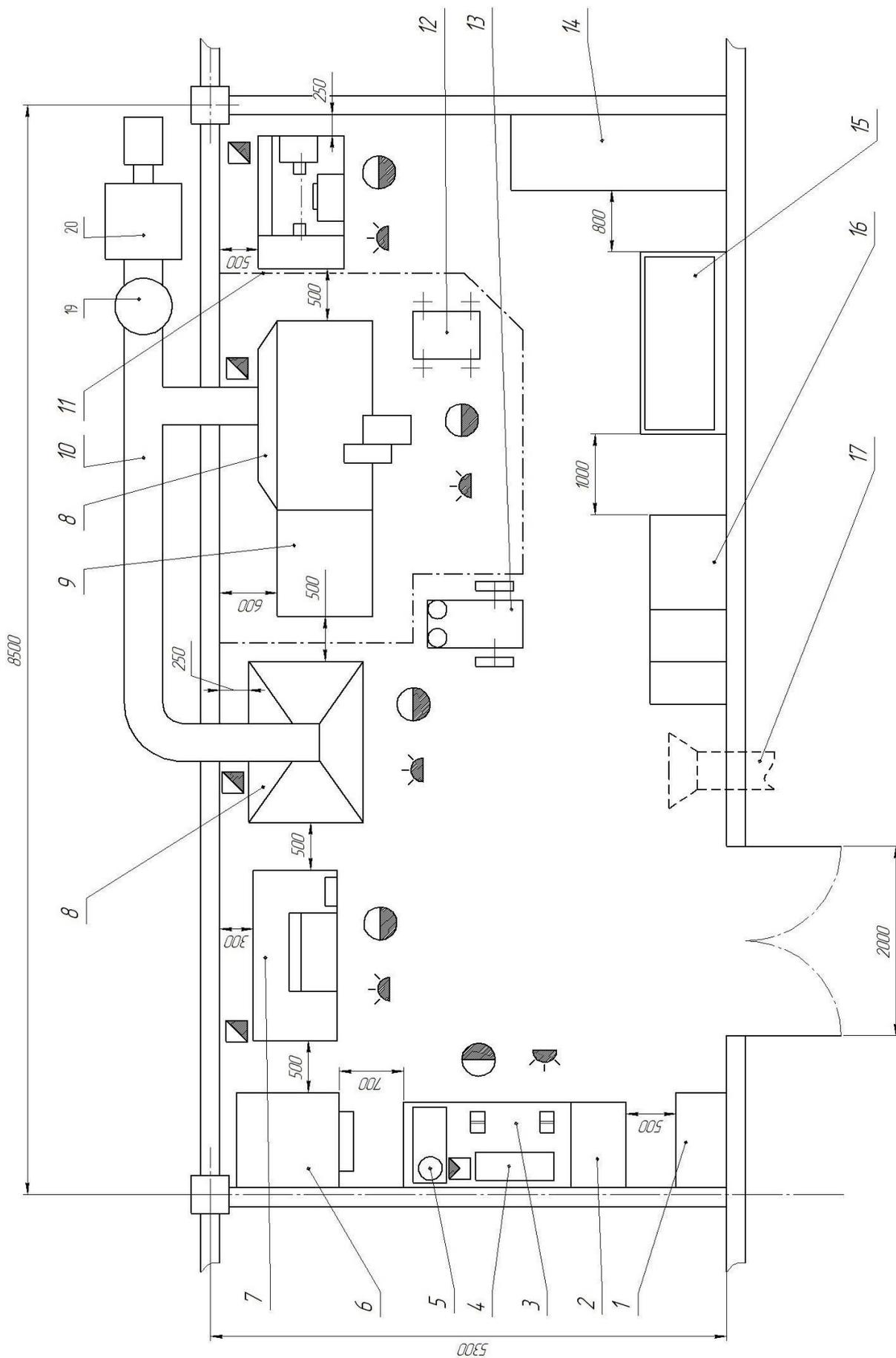


Рисунок 13 – Планировка участка восстановления деталей

## **Выводы по второму разделу**

На основании ранее проведённого анализа преимуществ и недостатков возможных способов наплавки принято решение в проектной технологии использовать плазменное напыление.

Выполнен анализ имеющихся на рынке порошков для плазменного нанесения покрытия, принято решение использовать порошок ПТ-НА-01 для выполнения подстоя. Для выполнения восстановительных слоёв предложено применять порошки ПН85Ю15М и Х17СР1.

Проектная технология плазменной наплавки валов включает в себя последовательно выполняемые операции. Первая операция – мойка, вторая операция – дефектовка, третья операция – подготовка поверхности, четвёртая операция – плазменное нанесение покрытия, пятая операция – контроль качества.

Для размещения технологического оборудования, задействованного в выполнении этих операций, выполнена планировка производственного участка.

Приведены описания операций технологического процесса восстановления вала с применением плазменного нанесения покрытия, 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 восстановления коленчатого вала компрессорной установки с применением плазменного нанесения покрытия. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

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 стандартным средств и мероприятий.

Таблица 4 – 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 ММА1	1) Щелочной раствор 2) Вода техническая
2 Дефектовка	Инженер - дефектоскопист	Штангенциркуль ШЦ, микрометр, дефектоскоп	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	Порошки наплавочные, аргон, азот
5. Проведение контроля качества	Инженер - дефектоскопист	Лупа х4, линейка, твердомер ТН-320, штангенциркуль, набор ДМК-4	-

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций, представленных в таблице 4: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, контроль качества.

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**

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.

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 5, который условно разбит на пять операций:

- мойка,
- дефектовка,
- подготовка дефектного места,
- плазменное нанесение покрытия,
- проведение контроля качества.

Таблица 5 – 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. 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
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> </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>- 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
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. 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

Таким образом, выделено восемь негативных производственных факторов:

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

Выявленные опасные и вредные производственные факторы, сведённые в таблицу 6, могут быть устранены или уменьшены до приемлемых значений с применением стандартных технических средств и методик [2], поиск и анализ которых будет выполнен в следующем подразделе настоящей выпускной квалификационной работы.

На основании идентифицированных профессиональных рисков, возникающих при реализации проектной технологии, возможен последующий их анализ и выработка решений по их снижению до приемлемого уровня, приведённые в таблице 6.

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 6 – 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	-

### 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, представленных в таблице 7, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 8.

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 7 – 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 восстановительная плазменная наплавка	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 8 – 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 9 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для плазменного нанесения покрытия	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, представленных в таблице 9.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности

Таблица 10 – 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 покрытия	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 11 – 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.

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 10 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов, сведённые в таблицу 11.

## **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 восстановления с применением плазменного нанесения покрытия.

Изучение особенностей технологического процесса восстановления вала компрессорной установки 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 покрытия при восстановлении коленчатого вала компрессорного агрегата. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе плазменного напыления.

Базовая технология восстановления предусматривает применение дуговой наплавки самозащитной порошковой проволокой. Проектная технология предусматривает плазменное нанесение покрытия с использованием модернизированной установки плазменного напыления. Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении изделия, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменное напыление, 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 наплавки.

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

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям, приведённые в таблице 12.

Таблица 12 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии [7]

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	250	250
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	$Цоб$	Руб.	1,5 млн.	2,0 млн.
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	12	40
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$На$	%	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	$Цэ-э$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 12

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	$S$	$m^2$	50	50
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
Цена материалов для восстановления:	$C$			
- порошковая проволока		руб/кг	3000	-
- порошок		руб/кг	-	2500
- аргон		руб/литр	-	30

#### 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, приведённых в таблице 12: суммарное число рабочих дней в

календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{см} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_{п} = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_{п} = 1$  час, принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

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

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)  $t_{\text{обсл}}$ ;  
 времени  $t_{\text{отд}}$  на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени  $t_{\text{п-з}}$ :

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

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

$$t_{\text{шт.баз}} = 0,35 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,42 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 0,18 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,22 \text{ ч.}$$

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

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

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

$$П_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054 / 1,5 = 4890 \text{ деталей за год;}$$

$$П_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054 / 0,6 = 9336 \text{ деталей за год.}$$

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

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

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

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

$$n_{РАСЧБ} = \frac{0,42 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,19, \quad n_{РАСЧП} = \frac{0,22 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,1.$$

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:

$$K_{3б} = 0,19/1 = 0,19,$$

$$K_{3п} = 0,10/1 = 0,10.$$

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

Восстановление поверхности коленчатого вала предусматривает расходование материалов. При дуговой наплавке расходным материалом будет сварочная проволока. 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:

$$M_{баз.} = 3000 \cdot 0,08 \cdot 1,05 = 252,00 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 2500 \cdot 0,1 \cdot 1,05 + 30 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 262,5 + 85,05 = 347,55 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$  и коэффициента  $K_{\text{д}}$  доплат:

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

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

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 0,42 \cdot 250 \cdot 1,88 = 197,40 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 0,22 \cdot 250 \cdot 1,88 = 103,40 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 197,40 \cdot 12 / 100 = 23,70 \text{ рублей};$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 103,40 \cdot 12 / 100 = 12,41 \text{ рублей.}$$

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

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 197,40 + 23,70 = 221,10 \text{ рублей};$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 103,40 + 12,41 = 115,81 \text{ рублей.}$$

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

$$O_{\text{сн}} = \Phi 3П \cdot K_{\text{сн}}/100. \quad (10)$$

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

$$O_{\text{сс}_{\text{баз.}}} = 221,10 \cdot 34/100 = 75,17 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сс}_{\text{проектн.}}} = 115,81 \cdot 34/100 = 39,38 \text{ руб.}$$

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:

$$A_{\text{об. баз.}} = 1500000 \cdot 21,5 \cdot 0,42 / 2054 / 100 = 65,94 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 2000000 \cdot 21,5 \cdot 0,22 / 2054 / 100 = 46,06 \text{ руб.}$$

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:

$$P_{\text{ээ баз}} = 12 \cdot 0,42 \cdot 3,2 / 0,7 = 24,48 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 70 \cdot 0,22 \cdot 3,2 / 0,85 = 37,40 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{об баз}} = 65,94 + 24,48 = 90,42 \text{ рублей},$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = ,06 + 37,40 = 83,10 \text{ рублей.}$$

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  $Z_{\text{об}}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{ПЛ}} \quad (14)$$

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 252,00 + 221,10 + 75,17 + 90,42 + 35,79 = 674,48 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 347,55 + 115,81 + 39,38 + 83,10 + 18,74 = 604,58 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 674,48 + 1,5 \cdot 197,40 = 674,48 + 296,10 = 970,58 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 604,58 + 1,5 \cdot 103,40 = 604,58 + 155,10 = 759,68 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{ЗАВБаз.} = 970,58 + 1,15 \cdot 197,40 = 970,58 + 227,01 = 1197,59 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 759,68 + 1,15 \cdot 103,40 = 759,68 + 118,91 = 878,59 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 13.

Таблица 13 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	$M$	252,00	347,55
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	221,10	115,81
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{СН}$	75,17	39,38
4. Затраты на оборудование	$Z_{об}$	90,42	83,10
5. Расходы на площади	$Z_{пл}$	35,79	18,74
5. Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	674,48	604,58
6. Цеховые расходы	$P_{цех}$	296,10	155,10
7. Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	970,58	759,68
8. Заводские расходы	$P_{зав}$	227,01	118,91
9. Заводская себестоимость	$C_{зав}$	1197,59	878,59

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

Капитальные затраты  $K_{общ.б.}$  для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования  $C_{об.б.}$ ,

коэффициента загрузки оборудования  $K_{з.б.}$  рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{общ.б.} = Ц_{ОБ.Б} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

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

$$Ц_{об.б.} = Ц_{ПЕРВ.} - (Ц_{ПЕРВ.} \cdot T_{СЛ} \cdot H_A / 100). \quad (18)$$

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

$$Ц_{ОБ.Баз.} = 1500000 - (1500000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 532500 \text{ рублей}$$

$$K_{ОБЩБаз.} = 1 \cdot 532500 \cdot 0,19 = 101175 \text{ рублей}$$

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

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

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

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

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

$$K_{об. пр.} = 2000000 \cdot 1,05 \cdot 0,1 = 210000 \text{ руб.}$$

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  $C_{\text{б}}$  и  $C_{\text{пр}}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{м}}$  на демонтаж и монтаж оборудования:

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

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

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

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 1500000 \cdot 0,05 = 75000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 2000000 \cdot 0,05 = 100000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 75000 + 100000 = 175000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = 210000 + 175000 = 385000 \text{ руб.}$$

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:

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

$$K_{\text{доп}} = 385000 - 101175 = 283825 \text{ руб.}$$

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

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

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 101175/1000 = 101 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 385000/1000 = 385 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Показатели экономической эффективности

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

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

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,42 - 0,22}{0,42} \cdot 100\% = 48\%$$

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Pi_{\text{T}} = (100 \cdot 48) / (100 - 48) = 92 \%$$

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

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

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{674,48 - 604,58}{674,48} \cdot 100\% = 10,4\%$$

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

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} . \quad (29)$$

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

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (1197,59 - 878,59) \cdot 1000 = 319000 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{283825}{319000} = 0,8$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{у.г.}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

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

$$\text{Э}_{\Gamma} = 319000 - 0,33 \cdot 283825 = 225337 \text{ руб.}$$

## **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии восстановления коленчатых валов компрессорного агрегата применяется дуговая наплавка порошковой самозащитной проволокой. Недостатком базовой технологии 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 покрытия. 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 48 %, уменьшение технологической себестоимости на 92 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 319 тыс. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 225 тыс. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,8 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления коленчатого вала компрессорного агрегата.

Анализ возможных способов восстановления коленчатого вала выполнен с рассмотрением таких способов, как вибродуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, плазменное напыление, плазменная наплавка. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменная наплавка. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий.

Составлена проектная технология восстановительной плазменной наплавки, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменное нанесение покрытия, контроль качества. Для размещения технологического оборудования, задействованного в выполнении этих операций, выполнена планировка производственного участка.

Приведены описания операций технологического процесса восстановления вала с применением плазменного нанесения покрытия, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Изучение особенностей технологического процесса восстановительной наплавки 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.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,225 млн. рублей. Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Борисов Ю. С., Кулик А. Я., Гольник В. Ф. Газотермические покрытия в дизелестроении и энергетике // Газотермические и вакуумные покрытия в энергетике и двигателестроении. Киев : ИЭС им. Е.О. Патона, 1989. С. 22–26.

2. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

3. Данилов П. А. Повышение эффективности восстановления работоспособности изношенных деталей на основе обоснованного выбора технологических методов восстановления их эксплуатационных свойств : дис. ... канд. техн. наук. М. : Московский гос. техн. университет «СТАНКИН». 2010.

4. Егоров А. Г., Виткалов В. Г., Уполовникова Г. Н., Живоглядова И. А. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие. Тольятти, 2012. 135 с.

5. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин : учебное пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014.

6. Жудра А. П., Кривчиков С. Ю. Технология широкослойной наплавки крупногабаритных коленчатых валов // Автоматическая сварка. 2010. № 2. С. 41–45.

7. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

8. Лебедев В. А., Лендел И. В., Яровицын А. В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 25–30.

9. 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.

10. Макаренко Н. А., Богуцкий А. А., Грановская Н. А., Синельник В. В. Разработка установки и плазмотрона для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.. Луганск : СНУ, 2010. № 2. С. 168–173.

11. Молодык Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин. М. : Машиностроение, 1989. 480 с.

12. 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.

13. 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.

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

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

16. Цымбалистая Т. В. Применение теплозащитных покрытия для двигателей внутреннего сгорания // Автоматическая сварка. 2012. № 6. С. 38–43.

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

18. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего :

монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

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

20. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю., Рябцев И. А. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34–42.

21. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.

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