

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные  
процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей в

машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Восстановление вала ротора компрессора

Студент

Ю.В. Полозов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Л. Федоров

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

Консультанты

к.т.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Цель настоящей работы – обеспечить экономию за счет продления срока службы валов роторов насосно-компрессорного оборудования.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи: разработан технологический процесс газотермического напыления; подобрано оборудование для реализации данного технологического процесса; разработаны мероприятия по защите жизни и здоровья производственного персонала, принимающего участие в восстановлении изделия; произведена экономическая оценка мероприятий технического характера, разработанных в работе.

Пояснительная записка содержит 55 стр., 8 рисунков, 11 таблиц.

Для восстановления изношенной поверхности рекомендовано

Для повышения срока службы вала ротора предложено восстанавливать изношенные поверхности нанесением покрытия, обладающего более высокими эксплуатационными характеристиками, чем исходный материал. Анализ способов восстановления показал, что наиболее эффективно для данного класса изделий применение газотермического напыления. Разработана технология газотермического напыления валов ротора. Подобрано соответствующее оборудование и разработана конструкция необходимой оснастки.

Для защиты персонала от вредных факторов предложены соответствующие технические и организационные мероприятия. Проведена экономическая оценка проекта.

## **Abstract**

The purpose of this work is to provide savings by extending the service life of the rotor shafts of pumping and compressor equipment.

To achieve this goal, the following tasks were solved: the technological process of gas-thermal spraying was developed; equipment for the implementation of this technological process was selected; measures were developed to protect the life and health of production personnel involved in the restoration of the product; an economic assessment of technical measures developed in the work was made. The explanatory note contains 55 pages, 8 figures, 11 tables.

To restore a worn surface, it is recommended to.

To increase the service life of the rotor shaft, it is proposed to restore worn surfaces by applying a coating that has higher performance characteristics than the original material. The analysis of the recovery methods showed that the most effective for this class of products is the use of gas-thermal spraying. The technology of gas-thermal spraying of the rotor shafts has been developed. The appropriate equipment was selected and the design of the necessary equipment was developed.

Appropriate technical and organizational measures are proposed to protect personnel from harmful factors. The economic evaluation of the project was carried out.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений .....	7
1.1 Описание ротора.....	7
1.2 Анализ вида, характера и механизма повреждений в соединениях с натягом.....	10
1.3. Применяемые способы восстановления изношенных поверхностей .....	11
1.4 Задачи работы .....	19
2 Технологический процесс восстановления .....	21
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	25
3.1 Технологическая характеристика объекта.....	25
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	27
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	29
3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	30
3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта .....	32
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии .....	34
4.1 Исходная информация для выполнения экономической .....	34
оценки предлагаемых технических решений .....	34
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования.....	36
4.3 Расчёт штучного времени.....	37
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии ..	40
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	45
4.6 Показатели экономической эффективности .....	47
Заключение .....	51
Список используемой литературы и используемых источников.....	52

## Введение

Роторы насосно-компрессорного оборудования относятся к высоконагруженным сборочным единицам, работающим в тяжелых условиях. Циклические режимы нагружения, перепады давления и динамические нагрузки вызванные остаточным дисбалансом вызывают в соединениях с натягом большие контактные деформации которые приводят к появлению осциллирующих возвратно-вращательных перемещений деталей и, как следствие, возникает фреттинг-коррозия.

Фреттинг-коррозия является инициатором многих процессов, происходящих в зоне силового контакта и приводящих к различного рода повреждениям. Наиболее опасными из них являются усталостное разрушение, часто приводящее к аварии, менее опасны изменения в следствии износа посадочных диаметров, в результате чего уменьшается натяг. В свою очередь изменение натяга приводит к преждевременному разрушению соединения. Из этого следует, что работоспособность и надежность соединений с натягом определяется контактным взаимодействием деталей и во многом зависит от таких эксплуатационных свойств как фреттингстойкость, усталостная прочность, контактная жесткость и коррозионная стойкость. При этом эксплуатационные свойства определяются микрогеометрией и физико-механическими параметрами поверхностей деталей. Применение традиционных методов, таких как наплавка с последующей механической обработкой с эксплуатационной и технологической точек зрения нецелесообразно для восстановления посадочных диаметров, износ которых к моменту проведения ремонтных работ составляет не более 0,08 мм.

«Существуют технологии нанесения покрытий, обеспечивающие как восстановление исходного размера так и повышение эксплуатационных характеристик изделия. При этом толщина наносимого слоя может составлять доли миллиметра» [6].

При внедрении прогрессивных технологий сварки, основанных на современных достижениях мировой науки, достигается множественный положительный эффект: производительность труда увеличивается, стабилизируется качество сварных соединений, улучшаются условия труда производственного персонала.

Цель работы – обеспечить экономию за счет продления срока службы валов роторов насосно-компрессорного оборудования.

Достижение поставленной цели предполагает анализ конструкции изделия, материала изделия, базовой технологии, обзор альтернативных способов нанесения покрытий с целью восстановления до исходного геометрических параметров вала ротора компрессорного оборудования и достижений современной науки в области повышения эффективности технологий нанесения покрытий.

# 1 Анализ исходных данных и известных технических решений

## 1.1 Описание ротора

На предприятиях химической промышленности эксплуатируются более 5,2 тысяч турбокомпрессорных установок и более 3,5 тысяч центробежных насосов импортного и отечественного производства [9]. Ротор насосно-компрессорного оборудования представляет собой гибкий длинный вал с большими присоединительными массами, является одной из самых сложных и ответственных сборочных единиц и во многом определяет надежность и долговечность агрегатов. Ротор относится к высоконагруженным деталям, работающим в агрессивных средах, в условиях высоких скоростей, перепадов давления и высоких температур. К основным деталям ротора относятся: нежесткий вал, рисунок 1, рабочие колеса, посаженные на вал с натягом, соединительные муфты, защитные гильзы, детали торцевых уплотнений и загрузочные устройства.

Следует отметить, что сборка вала с рабочими колесами и стяжными кольцами осуществляется с нагревом. При этом максимальная температура нагрева колес при сборке не превышает 300°C, а температура стяжных колец – 400°C. Сборка с нагревом производится для того, чтобы при запрессовке избежать появления таких дефектов как царапины и риски, которые впоследствии могут служить очагами зарождения усталостных трещин т.е. концентраторами напряжений. При этом натяг в соединении в зависимости от диаметра составляет от 50 до 90 мкм. От качества изготовления ротора и его технического обслуживания в процессе эксплуатации в значительной степени зависит напор, подача и потребляемая мощность, т.е. К.П.Д. насосно-компрессорного оборудования. При этом необходимо отметить, что основными операциями, обеспечивающими нормальную работу агрегатов, являются



При работе ротор испытывает действие нескольких сил. Определяющими являются осевые и радиальные усилия, действующие на рабочие колеса, крутящий момент, а также динамические нагрузки, вызванные дисбалансом и неустойчивыми режимами в работе [8]. К неустойчивым режимам можно отнести кавитацию, помпаж, резкие изменения в режимах работы, периоды пуска и остановки.

Напряженные условия эксплуатации агрегатов в агрессивных средах приводят к образованию различных дефектов ротора и как следствие, ухудшаются вибрационные характеристики оборудования и снижается К.П.Д установок.

К основным причинам, которые могут привести к выходу из строя роторов, можно отнести коррозионные и эрозионные повреждения выступов рабочих колес, кромочной части вала, износ опорных шеек вала в подшипниках скольжения, а также износ посадочных поверхностей вала под рабочие колеса и смежные кольца, образование в этих местах усталостных трещин.

Анализ разрушения трущихся поверхностей валов и роторов насосно-компрессорного оборудования на основе данных накопленных практикой ремонта позволяет выделить наиболее проблемные узлы трения, на которые необходимо сконцентрировать внимание.

При этом необходимо отметить что наибольшей интенсивностью износа обладают опорные шейки подшипников, где происходит абразивный износ. На предприятиях химической промышленности применяются различные методы контроля работы насосно-компрессорного оборудования, в том числе неразрушающие. Так например оценка объема предстоящих ремонтных работ турбокомпрессорного оборудования и центробежных насосов прогнозируется на основе эксплуатационного состояния с помощью изменений вибраций, которые проводят с периодичностью один раз в месяц. Уровень вибрации агрегатов так же контролируется после первого запуска перед текущим и

капитальным ремонтом, а также после их проведения. Для этого намечаются постоянные точки замера, так называемые «штатные точки».

Важно, что на основании эмпирических исследований для каждого типа роторов назначается допустимый уровень вибрации, при превышении которого дальнейшая эксплуатация прекращается.

## **1.2 Анализ вида, характера и механизма повреждений в соединениях с натягом**

В соединениях с натягом при знакопеременных нагрузках и действии агрессивной окружающей среды происходит образование оксидной пленки с последующим ее разрушением. Поскольку материал валов коррозионно-стойкая сталь, основу образующихся оксидов составляют оксиды хрома. Характерная особенность оксида хрома – высокая твердость. Таким образом частицы оксида хрома выступают в роли абразива. Сочетание всех изложенных факторов характерно для т.н. фреттинг-коррозия. О том, что данный процесс реально протекает в соединениях валов с натягом свидетельствует грязно-красный налет, выявляемый ремонтными службами химических предприятий при распрессовке соединений.

При этом необходимо отметить, что продукты фреттинг-коррозии не могут удаляться из соединений с натягом. Одним из следствий фреттинг-коррозии является развитие усталостных трещин. Рост трещины усталости может привести к разрушению вала и аварии. Менее опасным вариантом развития фреттинг-коррозии является распрессовка посадки с натягом.

Другие варианты воздействий эксплуатационных факторов на вал – коррозия в контакте с уплотнением. И износ по механизму трения металл о металл в контакте с подшипниковыми узлами.

В таблице 1 приведены требования к покрытиям, которые должны наноситься на изношенные поверхности валов.

Таки образом, при выборе наплавочного материала необходимо ориентироваться на материалы, обеспечивающие стойкость к окружающей среде, обеспечивающие сопротивление трению металла о металл и материалы, обеспечивающие сопротивление коррозии по механизму фреттинг-коррозии. .

Таблица 1 - Требования к износостойким покрытиям роторов и валов турбин компрессоров и насосов

Тип узла трения	Требуемые свойства	Толщина покрытия, мм	Твердость, HV, МПа	Пористость, %	$\sigma_B$ , МПа
Трение в подшипниках	Антифрикционность	1...1,2	2500-4500	10	100
Трение в паре с уплотнением	Коррозионная стойкость	0,2...0,7	4000-6000	10	150
Трение в узлах с натягом	Стойкость к фреттинг-коррозии	0,02...0,1	5000-7000	10	150

### **1.3. Применяемые способы восстановления изношенных поверхностей**

Выбор способа нанесения покрытия при построении технологии восстановления изношенных поверхностей валов играет решающую роль, так как от него зависит последовательность и режимы вспомогательных операций, состав технологического оборудования и экономические показатели эффективности проектной технологии.

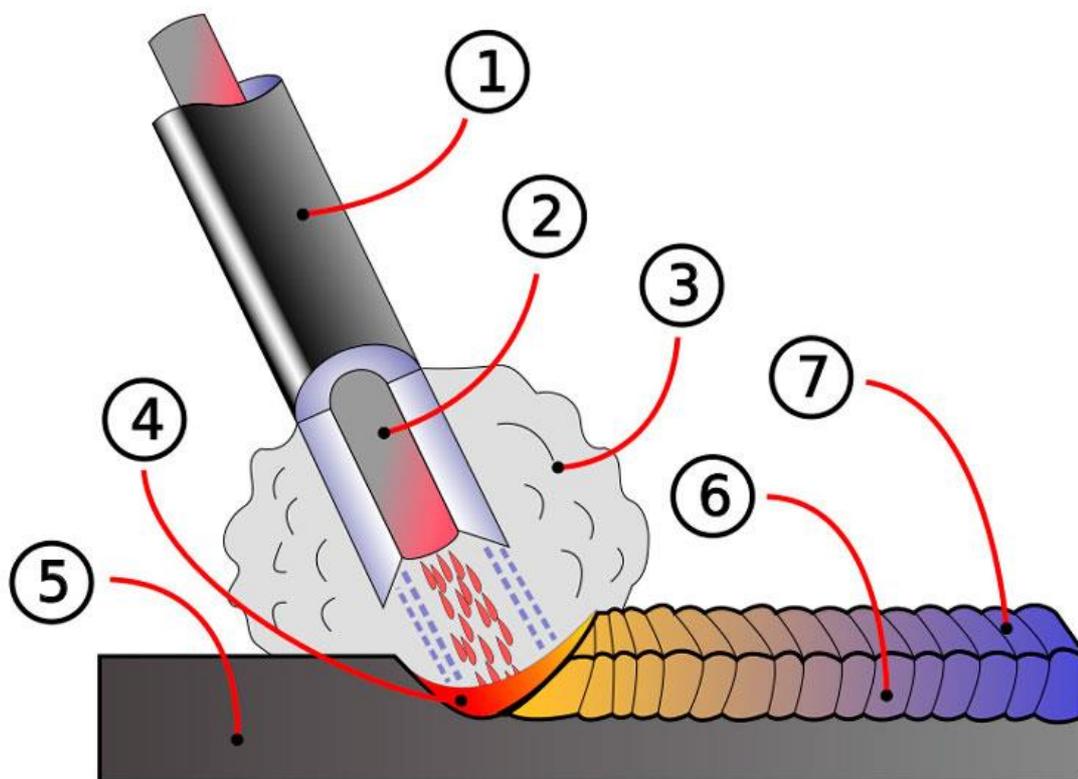
Выбор способа нанесения покрытий предусматривает анализ конструктивных особенностей изделия, возможностей конкретного производства и достижений современной науки в области сварочных технологий.

В числе основных критериев, которыми следует руководствоваться при выборе способа нанесения покрытий, следует назвать:

- 1) свойства и толщина металла заготовок, из которых состоит рассматриваемое изделие, химический состав и свариваемость металла заготовок;
- 2) геометрия изделия – длина, расположение в пространстве, форма;
- 3) при выборе того или иного способа нанесения покрытий следует руководствоваться приоритетом механизированных способов перед ручными и автоматическими способами перед механизированными, при этом из автоматических способов следует отдавать предпочтение способу, имеющему большую производительность;
- 4) оценка преимуществ и недостатков рассматриваемых способов нанесения покрытий с точки зрения экономичности и стабильности качества соединений.

Дуговая наплавка штучными электродами, рисунок 2, по прежнему широко применяется в практике восстановления и ремонта. Широкая номенклатура выпускаемых промышленностью электродов позволяет успешно наносить покрытия, обладающие стойкостью к коррозии, кавитационному разрушению, термической и контактной усталости. Дуговая наплавка металлическими электродами с покрытием в настоящее время остаётся одним из самых распространённых методов, используемых при восстановлении деталей машин [35]. Главная причина этого лежит в простоте и мобильности оборудования. Покрытие на электродном стержне обеспечивает ряд технологических функций. Вводимые в покрытия компоненты могут обеспечивать легирование сварочной ванны в нужном направлении. Компоненты покрытий облегчают зажигание сварочной дуги и ее устойчивое горение, обеспечивают защиту сварочной ванны от кислорода и азота воздуха.

Конечно, следует помнить и о недостатках. Главный из них – затраты времени на замену израсходованного электрода. Помимо затрат времени прерывание цикла сварки чревато появлением дефектов сварного шва. Кроме того, сварщик при выполнении соединения вручную, в соответствии со своим опытом и практическими навыками управляет процессом.



1 – покрытие электрода; 2 – стержень электрода; 3 – защитная газовая атмосфера; 4 – сварочная ванна; 5 – свариваемое изделие; 6 – сварной шов; 7 – застывший шлак.

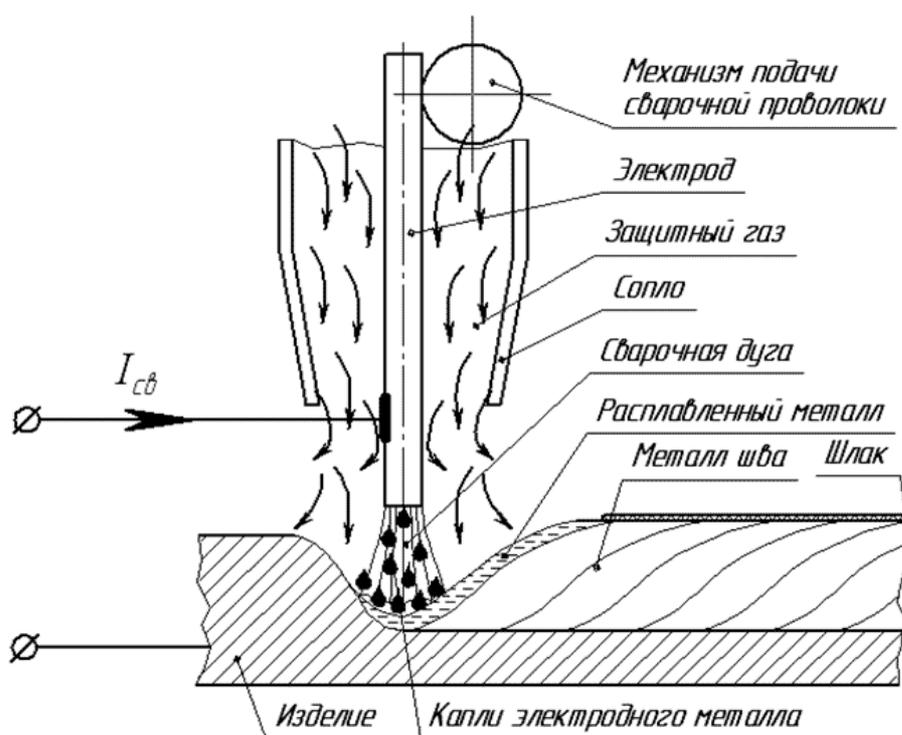
Рисунок 2 - Схема процесса ручной дуговой наплавки

В частности при получении сварного соединения способом ручной дуговой наплавки рабочему приходится выполнять движение электродом в трех направлениях. Первое направление – вдоль оси стержня электрода. Второе – вдоль оси наплавляемого валика, по сути оно определяет скорость сварки. Третье – поперек наплавляемого валика. Выполняя движения электродом в данном направлении рабочий обеспечивает высокую производительность процесса наплавки.

Необходимость управления и контроля множества параметров процесса требует высокой квалификации сварщика, приводит к быстрой его утомляемости.

Следует указать еще такой недостаток, как различная скорость плавления электрода в начале процесса сварки замененным электродом и в конце процесса, также и разный химсостав наплавленного покрытия получается.

В какой то степени перечисленные недостатки устраняются применением длинного электрода (присадочной проволоки), механизированная сварка, но данный способ требует обеспечения защиты сварочной ванны, наличия устройства, подающего из бухты в зону горения сварочной дуги проволоку, рисунок 3.



1 – дуга; 2 – сопло; 3- защитный газ; 4- основной металл.

Рисунок 3 - Схема наплавки в среде защитных газов

Кроме того, не требуются операции по удалению флюса, шлака, засыпке флюса. Есть возможность визуального контроля за процессом формирования покрытия, возможна наплавка как вручную, так полуавтоматически и автоматически.

Общим достоинством дуговых способов наплавки является хорошее сцепление наплавленного слоя с основой. Общим недостатком дуговых

способов наплавки является нанесение слоя толщиной не менее миллиметра за проход. Для наших величин износа это требует последующей механической обработки, что снижает общую производительность процесса восстановления. Применение дуговой наплавки рекомендуется при величине износа более 0,5 мм. В нашем случае величина износа достигает 0,08 мм.

Поэтому для нашего изделия рассмотрим способы химико-термического нанесения покрытий; термомеханического нанесения покрытий.

Металлопокрытия получаемые гальваническим осаждением применяются для восстановления размеров и форм изношенных деталей, рисунок 4. Возможно нанесение таким методом покрытий как малых так и больших толщин.

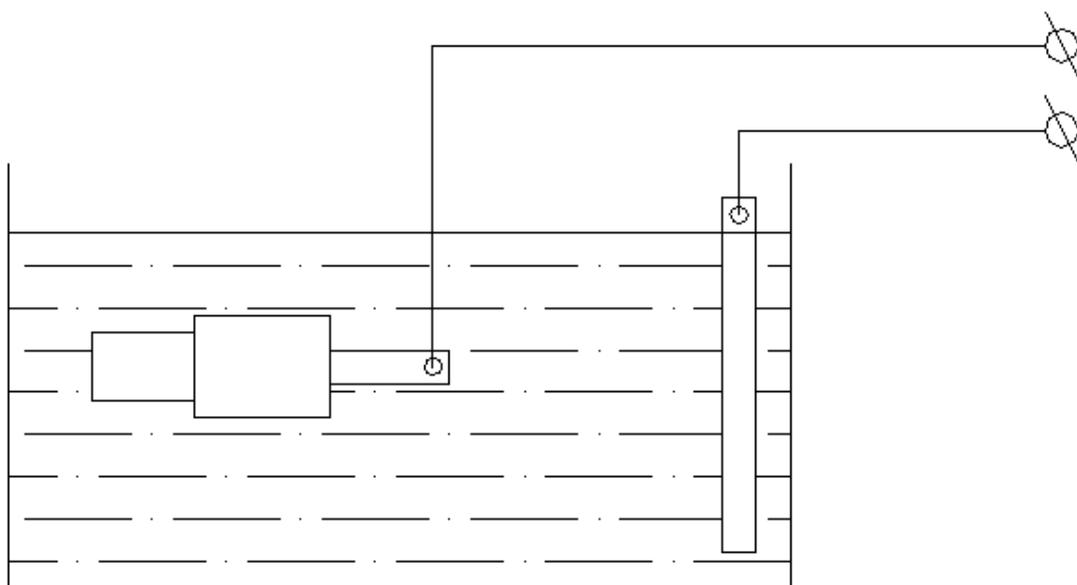


Рисунок 4 - Схема гальванического осаждения покрытий.

Недостатки: снижается сопротивление усталости из-за отрицательного воздействия растягивающих остаточных напряжений и высокой хрупкости покрытий. Их нельзя использовать в агрессивных средах из-за значительной пористости [6].

Методы химического осаждения из газовой фазы применяют только для нанесения покрытий на твердые сплавы т.к. температура нагрева покрываемой поверхности составляет 750-1050 С [6].

Применяют способы нанесения покрытий в вакууме. Для нанесения таких покрытий необходимо наносимое вещество разогреть до температуры испарения. Для разогрева применяют электронный луч, индуктивные методы и прочие варианты передачи тепла. При этом возможно как нанесение сплава различных компонентов, так и нанесение компонентов порознь, из разных испарителей. При втором методе сплав получается на наносимой поверхности. Метод характеризуется практически неограниченными возможностями управления структурой и свойствами покрытий. В покрытиях возможно получение сочетаний металл + неметалл. Данным методом можно получать покрытия очень малых толщин. Главный недостаток перечисленных методов – требуется вакуумная камера и системы откачки воздуха и контроля давления. Внедрение данных методов в производственную практику требует сложного конструктивно и в эксплуатации оборудования. Для обслуживания такого оборудования требуется высококвалифицированный производственный персонал. Также необходима высокая культура производства. Кроме того, работе [37] утверждается что получаемые вакуумными технологиями поверхности не всегда могут быть использованы для работы в условиях фреттинг-коррозии.

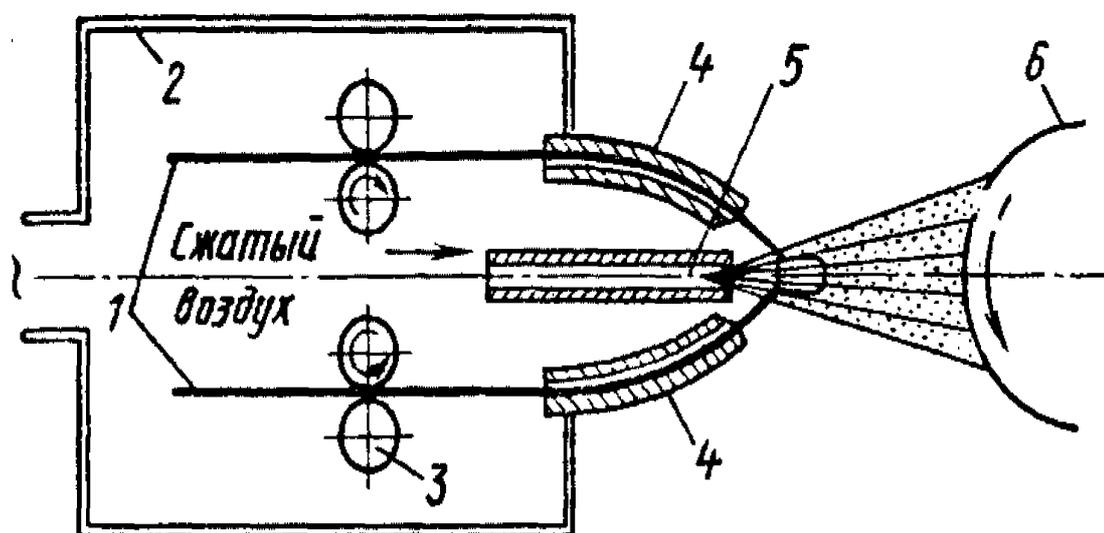
Технологии поверхностного легирования деталей позволяют увеличить их долговечность, восстанавливают изношенные участки [6]. Часто в практике восстановления применяют электроискровой метод поверхностного легирования [36]. Его достоинства локальность, малый расход энергии, отсутствие объемного нагрева материала [6]. Но шероховатость  $Ra = 0,9 \dots 2,5$  мкм слишком большая, кроме того, свойства нанесенного слоя в значительной степени определяются свойствами и природой материала подложки [8].

Широкое применение при восстановлении деталей оборудования в промышленности нашли газотермические способы нанесения покрытий [6, 7, 38]. Каждый из газотермических методов нанесения упрочняющих и защитных покрытий предполагает определенную область применения. Технология газопламенного нанесения слоев на изношенные поверхности деталей нашла широкое применение в промышленности. Данная технология может применяться как для увеличения толщины изношенного слоя, так и для нанесения на поверхность новой детали слоя, обладающего специфическими эксплуатационными характеристиками. Преимущества данного технологического процесса: возможно нанесение слоев из самого разнообразного сочетания материалов; деталь, на поверхность которой наносят слой, не нагревается до высоких значений температур, как правило 120...180° С; нанесенные слои обладают высокими механическими характеристиками; при нанесении слоя не требуется сложное оборудование и технологические приемы. К недостаткам данного технологического процесса следует отнести: в нанесенном слое остаточные напряжения растяжения характеризуются высокими значениями, что, в целом, снижает усталостную прочность; нанесенный слой характеризуется высокой пористостью, в поры могут попадать коррозионные компоненты окружающей среды и снижать значения коррозионной стойкости нанесенного слоя; нанесенное покрытие, что важно при получении соединений с натягом обладает высокими показателями шероховатости.

Технология электродуговой металлизации подразумевает предварительное плавление наносимого металла, затем струя газа обеспечивает его доставку к поверхности подложки. [37]. Для плавления наносимого металла или сплава применяется тепло дуги, горящей между электродами, рисунок 5. Электроды могут быть плавящимися и неплавящимися. Преимущества данного технологического процесса: процесс получения слоя характеризуется высокими значениями производительности; химический состав материала электродов

может быть различен; нанесенное покрытие характеризуется высокими значениями твердости.

К недостаткам данного технологического процесса следует отнести: при малых скоростях подачи электродной проволоки в зону горения дуги металл окисляется; при горении дуги выделяется значительное количество тепла; особенности нанесения слоя не приводят к увеличению значений прочности изделия в целом [6].



1—электродная проволока; 2—провода от трансформатора;  
3 – ролики; 4-направляющие; 5—сопло; 6—деталь.

Рисунок 5 - Схема процесса металлизации

Поэтому применять металлизацию для восстановления деталей с ослабленным сечением не следует. При восстановлении деталей, находящихся под действием динамических нагрузок, а также деталей, работающих при сухом или полусухом трении, необходимо знать, что сцепляемость напылённого слоя с основным металлом детали недостаточна [36].

При плазменном напылении износостойких покрытий для расплавления и переноса металла на поверхность детали используют тепловые и динамические

свойства плазменной струи. Плазменную струю получают в специальных устройствах, которые в сварочной технике называют плазменными горелками (плазмотронами).

Достоинства плазменного напыления покрытий в какой то степени повторяют достоинства газопламенного напыления. Можно напылять сочетания отличающихся по химическому составу материалов; деталь, на поверхность которой наносят слой, не нагревается до высоких значений температур. Однако скорость истечения частиц из сопла плазмотрона выше, чем при газотермическом напылении. Поэтому прочность сцепления с восстанавливаемой поверхностью нанесенного слоя достигает больших значений [34].

Недостатки: низкая прочность; высокая пористость; неоднородность структуры и растягивающие напряжения. Кроме того, сам метод характеризуется сложным оборудованием и технологии.

Таким образом, сопоставительный анализ позволяет выбрать из рассмотренных методов газотермическое напыление. Причем, источником нагрева будет выступать пламя, получаемое за счет сгорания в кислороде углеводородов.

#### **1.4 Задачи работы**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности процесса восстановления валов компрессорного оборудования. Во введении сформулирована цель – обеспечить экономию за счет продления срока службы валов роторов насосно-компрессорного оборудования.

Анализ условий эксплуатации валов компрессорного оборудования химических предприятий показал, что чаще всего вали выходят из строя по причине фреттинг-коррозии. Для нанесения покрытий, противостоящих данному негативному процессу целесообразно применить газотермическое напыление.

Анализ возможных технологических вариантов восстановления изношенных поверхностей валов компрессорного оборудования показал, что дуговые способы, хотя и обеспечивают превосходную адгезию нанесенного слоя с подложкой, нецелесообразны к применению для восстановления поверхностей с малой величиной износа. Рациональным вариантом здесь является применение газотермического напыления.

Следовательно, для того, чтобы достичь поставленной в выпускной квалификационной работе цели надо выполнить нижеперечисленные задачи: разработать технологический процесс газотермического напыления; подобрать оборудование для реализации данного технологического процесса; разработать мероприятия по защите жизни и здоровья производственного персонала, принимающего участие в восстановлении изделия; произвести экономическую оценку мероприятий технического характера, разработанных в работе.

## 2 Технологический процесс восстановления

Подбор напыляемого материала покрытие из которого будет обладать высокой стойкостью к фреттинг-коррозии представляет сложную задачу.

Предложено применить напыляемый материал в виде гибких жилок. Жилки состоят из порошка и связующего, которые заключены в оболочку из органического полимера, рисунок 6. В процессе напыления органическая связка и оболочка сгорают, причем их состав подобран так, чтобы не попадали сажистые частицы в покрытие [33].



Рисунок 6 – Строение шнурового материала для напыления

Достоинства: возможность нанесения покрытий из многокомпонентных смесей и сложных соединений, а также получение покрытий более высокого качества если сравнивать их с покрытиями из порошков.

Для получения покрытий с наибольшим сопротивлением фреттинг-коррозии предложено использовать материал предприятия «ТЕХНИКОРД» под названием Сфекорд-экзо №40 [32].

Этот материал для газотермического напыления содержит никель, хром, молибден, бор, кремний, алюминий. Сочетание указанных химических элементов обеспечивает получение твердости нанесенного слоя – 28-42 HRC [37].

Также указанное предприятие выпускает специализированный пистолет для нанесения слоев на поверхность деталей TOP-JET / 2, рисунок 7.

Особенностью данного оборудования является то, что он предназначен для нанесения слоев путем распыления монокристаллической проволоки диаметром от 1,5 до 5,0 мм и шнуровых материалов в виде гибких жилок диаметром 3,17 и 4,75 мм [33].

Для работы пистолета требуется:

- сжатый воздух или азот;
- кислорода:
- ацетилена.

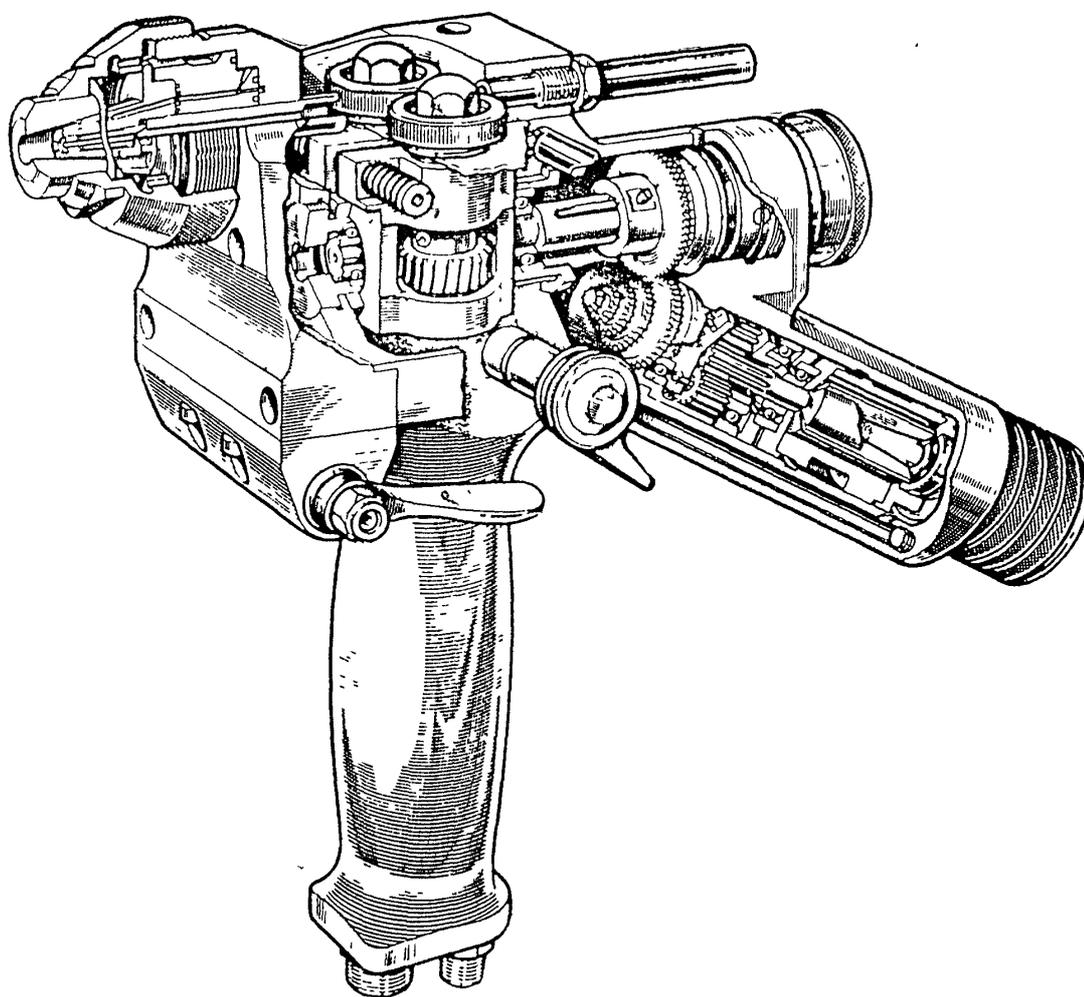


Рисунок 7 - Пистолет для газотермического нанесения покрытий TOP-JET/2

Габаритные размеры пистолета, мм: 265 x 205 x 85, масса пистолета 2,5 кг.

Пистолет входит в состав установки, рисунок 8, которая состоит из следующих узлов: 1 - Пульт управления; 2 - Подача воздуха; 3 - Выход воздуха; 4 - Подача кислорода; 5 - Выход кислорода; 6 - Подача горючего газа; 7 - Выход горючего газа; 8 - Редуктор кислорода, 1-я ступень; 9 - Кислородный баллон; 10 - Редуктор горючего газа, 1-я ступень; 11 - Баллон с горючим газом; 12 - Пистолет-напылитель TOP-JET/2; 13 - Кассета со шнуровым материалом.

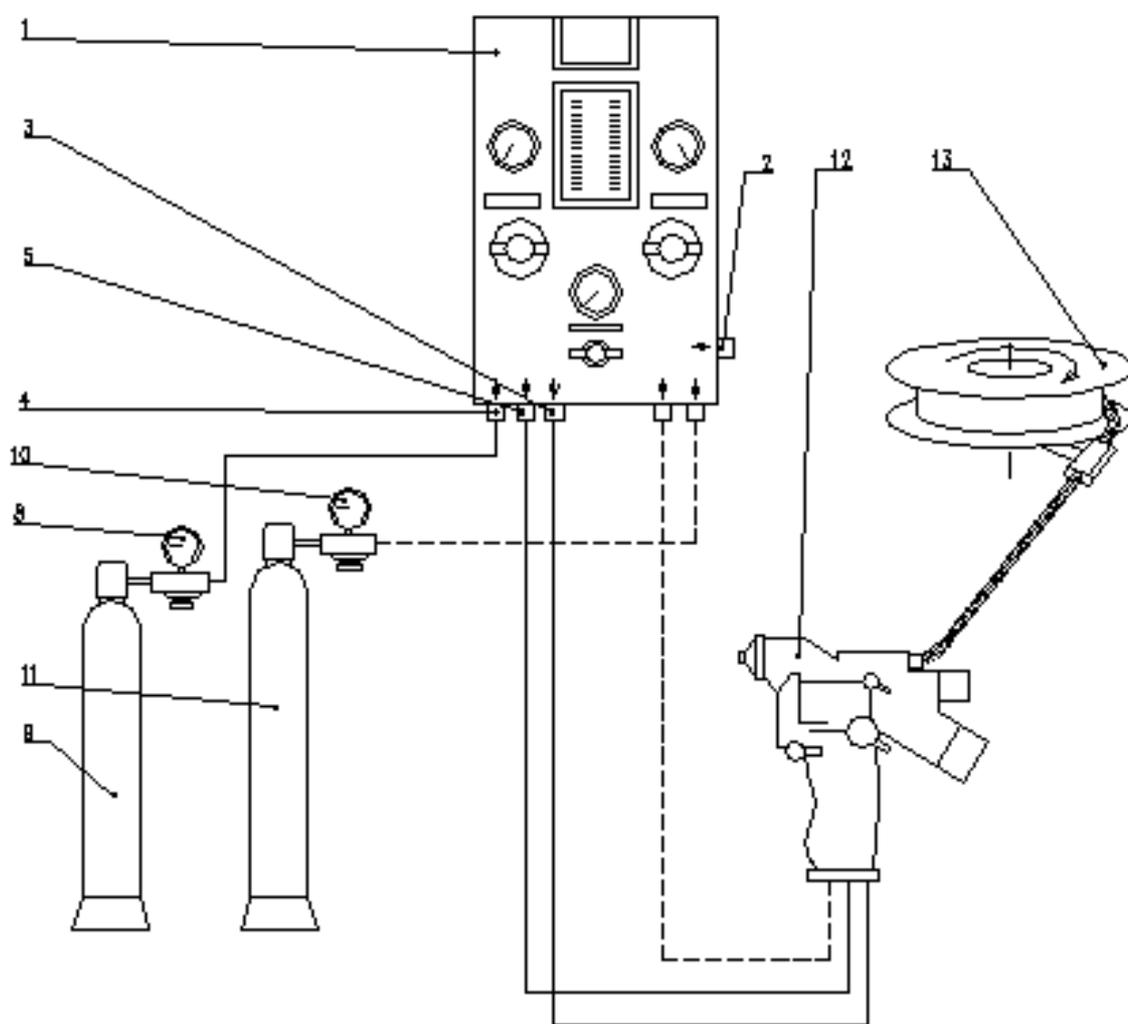


Рисунок 8 – Установка для напыления.

Технология восстановления выглядит следующим образом. Первая операция – очистка от загрязнений. Затем вал передается на подготовительные операции, замеряется величина износа, устанавливаются в шпоночные пазы технологические пробки. На токарном станке производят обточку поверхности подлежащей напылению. Данная операция необходима для улучшения сцепления напыляемого слоя с восстанавливаемой поверхностью вала.

Затем в суппорт токарного станка вместо резца помещают оснастку для пистолета TOP – JET / 2, закрепляют в оснастке пистолет и катушку со шнуровым материалом.

Режимы напыления устанавливают на пульте управления 1, см. рис. 2.3. Расход кислорода устанавливают  $2 \text{ м}^3/\text{час}$ , ацетилен  $0,7 \text{ м}^3/\text{час}$ . С помощью маховиков токарного станка устанавливают расстояние от сопла пистолета TOP – JET / 2 до напыляемой поверхности  $150 \text{ мм}$ . Также на токарном станке устанавливают такой параметр режима обработки как скорость вращения вала. Она должна составлять  $50 \text{ об/мин}$ . После того, как выполнены все настройки режима напыления зажигают горелку и включают подачу шнурового материала. Время напыления на поверхность должно составлять  $30 \pm 5$  секунд. По окончании напыления всех посадочных поверхностей производят удаление технологических пробок путем нагрева ацетилено-кислородной горелкой. Затем производится стабилизирующий отпуск. Валы загружают в электропечь типа СНО, греют до температуры  $200^\circ\text{C}$ , и выдерживают при такой температуре в течение 3х часов. Затем валы охлаждают до температуры  $30 \dots 50^\circ\text{C}$  и передают на операцию шлифовки. При шлифовании частоту вращения круга устанавливают  $350 \text{ об/мин}$ , подачу  $0,01 \text{ мм/об}$ .

### **3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

Проектная технология предусматривает напыление покрытия шнуровым материалом. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

«Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному ухудшению здоровья» [16].

«Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности» [16].

«Технологический процесс восстановления изношенных деталей связан с опасностями, вызванными различными причинами, которые могут привести человека к временной или полной нетрудоспособности, в зависимости от стечения обстоятельств или интенсивности воздействия» [5].

«Вредные вещества (газы, пары, аэрозоли) при напылении выделяются в результате физико-химических процессов, возникающих при горении ацетилена» [16].

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. Далее

следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций, таблица 2: 1) входной контроль (для выполнения операции применяются штангенциркуль, микрометр, индикатор стрелочный); 2) подготовительная операция (для выполнения операции применяются щетка металлическая, ветошь, ацетон); 3) нанесение покрытия (для выполнения операции применяются пистолет TOP – JET / 2, шнуровой материал, горючий газ, кислород, сжатый воздух, токарный станок); 4) термообработка (для выполнения операции применяются электропечь типа СНО); 5) контроль качества (для выполнения операции применяется набор визуально-измерительного контроля, набор для проведения капиллярного контроля, а также средства увеличения, лупа, например).

Таблица 2 - 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) входной контроль	Дефектоскопист	штангенциркуль, микрометр, индикатор стрелочный	Рукавицы
2) подготовительная операция	Слесарь-сборщик	Щетка металлическая, стол для подготовки к напылению	Рукавицы, ветошь, ацетон
3) нанесение покрытия	Электросварщик	пистолет TOP – JET / 2, токарный станок, система управления пистолетом	шнуровой материал, горючий газ, кислород, сжатый воздух,
4) термообработка	Электросварщик	Электропечь типа СНО	Рукавицы, клещи кузнечные
5) контроль качества	Дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля, набор капиллярного контроля, лупа	Кисточка, жидкости №1 и №2

### 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, таблица 3. 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 [14].

Таблица 3 – 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) входной контроль	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях валов, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> </ul>	штангенциркуль, микрометр, индикатор стрелочный
2) подготовительная операция	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях валов, 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>	Щетка металлическая, стол для подготовки к напылению

Продолжение таблицы 3

1	2	3
3) нанесение покрытия	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях валов, 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>	пистолет TOP – JET / 2, токарный станок, система управления пистолетом
4) термообработка	<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>	Электрод печь типа СНО
5) контроль качества	<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>	набор визуально-измерительного контроля, набор капиллярного контроля, лупа

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 4 – 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	2	3
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) токсичность применяемых растворов №1 и №2	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

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, таблица 5, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, таблица 6.

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 5 – 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 сборки и сварка	Пистолет ГОР – JET / 2, токарный станок, система управления пистолетом, электропечь типа СНО	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е) [14]	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 [16].	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения [14].

Таблица 6 – 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

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий, таблица 7.

Таблица 7 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для восстановления газотермическим напылением.	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами [14].	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр [14].

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

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, таблица 8, этих негативных факторов и предложить меры защиты, таблица 9 от этих факторов.

Таблица 8 – 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
Газотермическое напыление	Дефектация, подготовительная операция, операция напыления покрытия, контрольные операции	«Выделяемые в процессе горения пламени аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы» [14]	«Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления изображения» [14].	«Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный» [14].

Таблица 9 – 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» [14].
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек индикаторных жидкостей при проведении капиллярного контроля.
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» [14].

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён

поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии восстановления изношенных поверхностей рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса нанесения упрочняющего покрытия на изношенные поверхности валов компрессорного оборудования 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 предложено для восстановления изношенных поверхностей валов компрессорного оборудования применить современные достижения сварочной науки в области нанесения покрытий. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе пистолета TOP-JET/2 предназначенного для напыления покрытий шнуровыми материалами.

Базовый вариант технологии предполагает использование механизированной дуговой сварки по методу MAG. Проектный вариант технологии предполагает использование газотермического напыления шнуровым материалом.

Такая замена способа нанесения покрытия позволяет существенно повысить производительность. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов покрытия. Впоследствии чего увеличивается срок эксплуатации восстановленного вала.

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

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям, таблица 10.

Таблица 10 – 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	IV
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	175
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.	15000	75000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	5	8
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_a$	%	21,5	21,5
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- 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 10

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	$S$	$m^2$	11	11
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{экс}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	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
- коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33

#### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов нанесения покрытий на изношенные поверхности валов 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, см. табл. 4.1: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{\text{см}} = 8$  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:

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

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 нанесения покрытий, 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 рассчитаем исходя из длины сварного шва, коэффициента наплавки и величины сварочного тока.

Для определения численных значений машинного времени воспользуемся формулой:

$$t_0 = \frac{60 * M_{напл.мет} * L_{ш}}{I_{св.} * \alpha_{напл}}, \quad (4)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (4), составит:

$$t_{машб} = \frac{60 * 0,561 * 0,238}{120 * 9} = 0,05 \text{ час} = 6,0 \text{ мин.}$$

$$t_{машпр} = \frac{60 * 0,561 * 0,238}{210 * 9} = 0,025 \text{ час} = 3,0 \text{ мин.}$$

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

$$t_{штб} = 6,0 + 0,6 + 0,3 + 0,48 + 0,06 = 7,34 \text{ мин.} = 0,122 \text{ час.}$$

$$t_{штпр} = 3,0 + 0,3 + 0,15 + 0,24 + 0,03 = 3,72 \text{ мин} = 0,062 \text{ час}$$

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

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы  $P_r=500$  валов в год.

При этом необходимое количество  $n_{об.расч}$  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  $K_{вн} = 1,03$ ):

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{пр} \cdot t_{шт}}{F_э \cdot 60} \quad (5)$$

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

$$n_{об.расчетн.б} = \frac{500 \cdot 7,34}{2054 \cdot 60} = 0,029 \text{ шт}$$

$$n_{об.расчетн.пр} = \frac{500 \cdot 3,72}{2054 \cdot 60} = 0,014 \text{ шт}$$

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:

$$k_3 = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} \quad (6)$$

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

$$k_{зб} = \frac{0,029}{1} = 0,029$$

$$k_{зпр} = \frac{0,014}{1} = 0,014.$$

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

При получении сварных соединений деталей днища резервуара вертикального требуются вспомогательные сварочные материалы. Применяемый на предприятии комбинированный технологический процесс сварки балки характеризуется расходом штучных электродов по способу ММА. Разработанный и предлагаемый к применению технологический процесс на базе способа MIG/MAG характеризуется расходом защитной смеси газов и сварочной проволоки.

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:

$$ЗM_{б} = 9,99 \text{ руб.}$$

$$ЗM_{пр} = 15,66 + 0,55 = 6,21 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы  $З_{осн}$  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  $K_d$  доплат:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot k_{зпл} \quad (8)$$

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

$$Z_{\text{ОСНБАЗ}} = 0,122 \cdot 200 \cdot 1,79 = 43,67 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ОСНПР}} = 0,062 \cdot 175 \cdot 1,79 = 19,42 \text{ руб.}$$

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 ( $K_{\text{доп}} = 12\%$ ):

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

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

$$Z_{\text{ДОПБАЗ}} = 43,67 \cdot 12/100 = 5,24 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ДОППР}} = 19,42 \cdot 12/100 = 2,33 \text{ руб.}$$

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:

$$\Phi ЗП_{\text{БАЗ}} = 43,67 + 5,24 = 48,91 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_{\text{ПР}} = 19,42 + 2,33 = 21,75 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$O_{\text{СНБАЗ}} = 48,91 \cdot 30/100 = 14,67 \text{ руб.}$$

$$O_{\text{СНПР}} = 21,75 \cdot 30/100 = 6,52 \text{ руб.}$$

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

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

Величина  $A_{об}$  амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования  $C_{об}$ , нормы амортизации  $H_a$ , машинного времени  $t_{маш}$ , и эффективного фонда времени  $F_э$  с использованием зависимости:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot H_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

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

$$A_{об}^Б = \frac{40000 \cdot 6,00 \cdot 18}{2054 \cdot 100 \cdot 60} = 0,24 \text{ руб.}$$

$$A_{об}^{ПР} = \frac{70000 \cdot 3,00 \cdot 18}{2054 \cdot 100 \cdot 60} = 0,21 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_{о}}{КПД} C_{э-э}. \quad (13)$$

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

$$Z_{\text{Э-ЭБАЗ}} = \frac{3,6 \cdot 0,05}{0,7} 3,02 = 0,77 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{Э-ЭПР}} = \frac{6,3 \cdot 0,025}{0,75} 3,02 = 0,63 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{об баз.}} = 0,24 + 0,77 = 1,01 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 0,21 + 0,63 = 0,84 \text{ руб.}$$

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  $Z_{\text{об}}$ :

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

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 9,99 + 48,71 + 14,67 + 1,01 = 74,38 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 6,21 + 21,75 + 6,52 + 0,84 = 35,32 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 74,38 + 1,5 \cdot 43,67 = 74,38 + 65,50 = 139,88 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 35,32 + 1,5 \cdot 19,42 = 35,32 + 29,13 = 64,45 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 139,88 + 1,15 \cdot 43,67 = 139,88 + 50,22 = 190,10 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 64,45 + 1,15 \cdot 19,42 = 64,45 + 22,33 = 86,78 \text{ руб.}$$

Расчетные значения составляющих экономических показателей заводской, цеховой и технологической себестоимости для применяемого на предприятии технологического процесса сварки балки и разработанного в ВКР и предлагаемого к внедрению отражены в таблице 11.

Таблица 11 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Услов. обозн.	Калькуляция, руб	
		Применяемый	Предлагаемый
1. Расходы на основные материалы	<i>M</i>	9,99	6,21
2. Расходы на заработную плату	<i>ФЗП</i>		
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>		
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	1,01	0,84
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	74,38	35,32
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	65,50	29,13
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	139,88	64,45
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	50,22	22,33
9. Заводская себестоимость	<i>Сзав</i>	190,10	86,78

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

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

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:

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 15000 - (15000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 8550 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 8550 \cdot 0,027 = 230 \text{ руб.}$$

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  $Ц_{об. пр.}$ , 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:

$$K_{ОБ.ПР} = 75000 \cdot 1,05 \cdot 0,012 = 945 \text{ руб.}$$

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

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

Расходы на демонтаж  $K_{дем}$  и монтаж  $K_{монт}$  рассчитываем с учётом стоимости оборудования  $Ц_б$  и  $Ц_{пр}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_д$  и  $K_м$  на демонтаж и монтаж оборудования:

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

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

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

$$K_{дпм} = 1 \cdot 15000 \cdot 0,05 = 750 \text{ руб.},$$

$$K_{монт} = 75000 \cdot 0,05 = 3750 \text{ руб.},$$

$$K_{соп.} = 750 + 3750 = 4500 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ.пр}} = 945 + 4500 = 5445 \text{ руб.}$$

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:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} \quad (24)$$

$$K_{\text{доп}} = 5445 - 230 = 5215 \text{ руб.}$$

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

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

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 230/500 = 0,46 \text{ руб./ед.}; K_{\text{удПроектн.}} = 5215/500 = 10,43 \text{ руб./ед.}$$

#### 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:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,122 - 0,062}{0,122} \cdot 100\% = 50\%$$

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot 50}{100 - 50} = 100\%$$

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:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{74,38 - 35,32}{74,38} \cdot 100\% = 52\%$$

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

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

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

$$\mathcal{E}_{y.g.} = (190,10 - 86,78) \cdot 500 = 51660 \text{ руб.}$$

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

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{\mathcal{E}_{y.g.}} \quad . \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = \frac{5215}{51660} \approx 0,1 \text{ года}$$

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_g$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\mathcal{E}_g = \mathcal{E}_{y.g.} - E_n \cdot K_{доп} \quad (31)$$

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

$$\mathcal{E}_g = 51660 - 0,33 \cdot 5215 = 49880 \text{ руб.}$$

Проектный вариант технологии предполагает использование газотермического напыления шнуровыми материалами. Подобранные шнуровые материалы являются более предпочтительным вариантом при нанесении покрытий, чем порошковые материалы. Производитель шнуровых материалов для газотермического напыления также предлагает и соответствующее оборудование. При подборе оборудования принято решение остановить свой выбор на оборудовании данного производителя.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 50%, повышение производительности труда на 100%, уменьшение технологической себестоимости на 52%.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 51660 рублей.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 49580 рублей. Срок окупаемости капитальных затрат в размере 75000 рублей, стоимость пистолета для напыления шнуровых материалов, составляет 0,5 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии и позволяет рекомендовать технологию к внедрению в производственные условия.

## Заключение

Был выполнен анализ возможных способов восстановления поверхностей валов компрессорного оборудования, которые могут быть применены при восстановлении поверхности подверженной фреттинг-износу. Были рассмотрены способы дуговой наплавки штучными электродами, механизированной наплавки в среде защитных газов, гальванического нанесения покрытий, вакуумные технологии нанесения покрытий, различные варианты металлизации и газотермическое напыление. Рассмотрены достоинства и недостатки перечисленных способов восстановления.

По результатам анализа перечисленных вариантов нанесения покрытий предложено применить газотермическое напыление.

Предложено применить новые технологические решения для данного способа, такие как применение гибких шнуровых материалов. В качестве гибкого шнурового материала предложено использовать хорошо зарекомендовавший себя при получении покрытий противостоящих фреттинг-коррозии Сфекорд-экзо №40.

Выполнен выбор оборудования для напыления. Предложено использовать рекомендованный производителями пистолет для напыления TOP-JET/2.

Разработанный технологически процесс восстановления включает в себя операции мойки, входного контроля. Затем выполняются подготовительные операции. Затем следует операция обточки поверхности подлежащей напылению и наконец выполняется замена резца в суппорте токарного станка на пистолет для напыления и напыляется поверхность.

Применение указанных технических решений позволяет продлить срок службы вала компрессорного оборудования.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высшая школа, 1986. 167 с.
2. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений. М.: Машиностроение, 2006. 368 с.
3. Аманов С.Р., Кислов А.В., Юков А.В. Влияние поверхностной обработки штампов на коэффициент трения при вытяжке // Кузнечно-штамповочное производство. 2003. №1. С. 35-39
4. Антошин, Е.В. Газотермическое напыление покрытий. М.: Машиностроение, 1974. 95 с.
5. Балашова С.А. Математическое моделирование взаимодействия лазерного излучения с плазменным потоком для повышения прочности покрытий. Автореферат диссертации кандидата техн. наук. Иваново. 2009. 20 с.
6. Бондарев А.А. Технология ремонта изношенных поршней. Сварщик. – 1999. № 6. – С. 17.
7. Воропай Н.М., Лесных В.В., Мишенков В.А. Двухдуговая наплавка алюминиевых поршней комбинированным неплавящимся и плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 1996. № 6. С. 21–25.
8. Горбатов И.Н., Шкиро В.М., Терентьев А.Е. Исследование свойств газотермических покрытий из композиционных порошков никель-карбид титана и хрома // Физико-химическая обработка материалов. – 1991. – № 4. – С. 102–106.
9. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учеб. пособие. Л. Н. Горина. Гриф УМО. Тольятти : ТолПИ. 2000. 79 с.
10. Гостюшин А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций. М.: Изд. «Зеркало», 1995. 288 с.

11. Гринин А. С., Орехов Н.А. Экологический менеджмент : учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2001. 206 с.
12. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. М.: МЧС России. 1995. 230 с.
13. Доронин О.Н. Разработка электроискровой технологии упрочнения прокатных валков из белого чугуна. Автореферат диссертации кандидата технических наук. М.: 2013. 22 с.
14. Егоров А.Г., Уполовникова Г.Н., Живоглядова И.А. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учебно-методич. пособие по выполнению дипломного проекта. Тольятти.: ТГУ, 2011. 87 с.
15. Зайцев К.В. Совершенствование технологии процесса ультразвуковой обработки поверхностей стальных деталей перед нанесением газотермических покрытий. Автореферат диссертации кандидата техн. наук. Тюмень. 2011. 19 с.
16. Землянушнова Н.Ю. Совершенствование технологии ремонта колец опорно-поворотных устройств // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009. №4. С. 34
17. Климов А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение». Тольятти: ТГУ, 2014. 52с.
18. Козулин М.Г. Технология изготовления сварных конструкций. Учеб-метод. пособие к курсовому проектированию. - Тольятти: ТГУ 2008. 77 с.
19. Колганов Л. А. Сварочное производство. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 512 с.
20. Коротков В.А., Бердников А.А., Толстов И.А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями. Челябинск: Изд-во Metallургия. 1993. 144 с.

21. Косинцев В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.

22. Мяконьков М.Б., Хмелевская В.Б. Сравнительные исследования способов нанесения покрытий на поршневые кольца для уменьшения их износа // Металлообработка. 2010. № 3. С. 36-40

23. Никонов В.О. Совершенствование технологии восстановления шеек коленчатых валов автомобильных двигателей плазменным напылением с одновременной электрохимической обработкой. Автореферат диссертации кандидата техн. наук. Владимир. 2013. 17 с.

24. Пархимович Э.М., Голозубов А.Л. Исследование физико-механических и триботехнических свойств тонкопленочных упрочняющих покрытий // Трение и износ. 1995. Т.16. № 4. С. 766-771.

25. Соснин Н.А., Вичик Б.Л., Ермаков С.А., Тополянский П.А., Райчук Д.Ю. Плазменное упрочнение изделий на базе серийной установки для сварки УПС-301 // ЭИ Всесоюз. научно-исслед. института научно - техн. пропаганды и экономики промышленности строительных материалов. Серия 15. Ремонт и эксплуатация оборудования. Вып. 6. М.: 1987. С. 8-11.

26. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник. М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.

27. Цыганова Е.С. Технология и оборудование для ремонта трубного пучка теплообменника [Электронный ресурс] // Бакалаврская работа. Тольятти, ТГУ. – 2020. – 64 с. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/13202> (дата обращения 24.05.2021).

28. Черноиванов В.И. Голубев И.Г. Восстановление деталей машин. – М.: ФНГУ «Росинформагротех», 2010. 376 с.

29. Чудинов Б.А., Жмиевский В.Ф. Упрочнение верхней поршневой канавки поршней двигателей внутреннего сгорания ОАО «АВТОВАЗ» //

Материалы 6-й Междунар. практ. конф.-выставки, С.-Пб.: Альфаред, 2004. С. 89–90.

30. Юрков М.А. Микроплазменное напыление объемно-пористых покрытий для катализаторов паровой конверсии углеводородного сырья в водородосодержащее топливо и водоактивируемых химических источников тока. Автореферат дис. кандидата техн. Наук. М.: 1994. 18 с.

31. Ягафаров И. И. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя и точности прецизионных деталей машин при осаждении покрытия из плазмы вакуумно-дугового разряда. Автореферат диссертации. кандидата технических наук. Рыбинск: 2014. 19 с.

32. Cresswell R. A. Gases and gas mixtures in MIG and TIG welding // *Welding and Metal Fabrication*. – 1972. – 40, № 4. – P. 114–119.

33. Dilthy U., Reisgen U., Stenke V. et al. Schutgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // *Schweissen und Schneiden*. – 1995. – 47, № 2. – S. 118–123.

34. Dixon K. Shielding gas selection for GMAW of steels // *Welding and Metal Fabrication*. – 1999. – № 5. – P. 8–13.

35. Enhancement of steels wear resistance in corrosive and abrasive medium / V. Kaplun, P. Kaplun, R. Bodnar, V. Gonchar // *Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy : monograph* /ed. by J. Shalapko, B. Zoltowski. – Bydgoszcz, 2013. – P. 320–329.

36. Lucas, W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // *Welding and Metal Fabrication*. – 1992. – № 6. – P. 269–276.

37. Malinov L.S., Malinov, L.V. Burova D.V., Anichenkov V.V. Increasing the abrasive wear resistance of low-alloy steel by obtaining residual metastable austenite in the structure // *Journal of Friction and Wear*. – 2015. – №3. – P. 237–240.

38. Salter, G. R., Dye S. A. Selecting gas mixtures for MIG welding // *Metal Constr. and Brit. Weld. J.* 1971. № 6. P. 230–233.