

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 Технология восстановления вала нагнетателя  
газоперекачивающего агрегата

Обучающийся

А.Н. Емельянов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Н.Г. Спиридонов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности восстановления деталей машин.

В качестве конкретной детали в настоящей работе рассматривается вал нагнетателя газоперекачивающего агрегата.

При анализе свойств стали рассматриваемой стали сформулированы трудности при восстановительной сварке и наплавке – образование холодных и горячих трещин.

При анализе базового технологического процесса восстановительной наплавки вала с применением механизированной наплавки порошковой самозащитной проволокой сформулированы недостатки.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить плазменно-порошковую наплавку.

Для повышения эффективности плазменной порошковой наплавки применим способ, предложенный сотрудниками Томского политехнического института им. С. М. Кирова. Способ позволяет уменьшить перегрев тугоплавких частиц при выполнении плазменной порошковой наплавки композитных материалов.

Выполнена оценка проектной технологии на предмет обеспечения экологической безопасности. Предложены организационные мероприятия по защите окружающей среды от возникающих при реализации проектной технологии негативных антропогенных факторов.

Производительность труда повышается на 150 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 48 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,75 млн. рублей.

## **Abstract**

The title of the graduation work «Technology for restoring the blower shaft of a gas compressor unit»

The effectiveness of the repair to a large extent depends not only and not so much on the correct design of the part in question, but also on the construction of the repair process, which should involve new technical solutions and materials offered by researchers to the modern manufacturer.

The aim of the work is increase in productivity and quality of work when restoring worn surfaces of the natural gas blower shaft.

To improve the efficiency of plasma powder surfacing, we apply the method proposed by the staff of the Tomsk Polytechnic Institute named after V.I. S. M. Kirov. The method allows to reduce the overheating of refractory particles when performing plasma powder surfacing of composite materials.

Labor productivity increases by 150%. The reduction in technological cost amounted to 48%. At the same time, by increasing labor productivity and reducing costs, it was possible to obtain an annual economic effect in the amount of 1.75 million rubles.

## Содержание

Введение . . . . .	6
1 Современное состояние ремонтной наплавки валов нагнетателей природного газа. . . . .	8
1.1 Особенности конструкции и эксплуатации валов нагнетателей природного газа. . . . .	8
1.2 Сведения о материале для изготовления вала нагнетателя природного газа. . . . .	11
1.3 Особенности выполнения операций при осуществлении базовой технологии ремонтной наплавки. . . . .	12
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	15
2 Построение проектной технологии восстановления вала нагнетателя природного газа . . . . .	17
2.1 Обоснование выбора способа восстановления. . . . .	17
2.2 Описание плазматрона. . . . .	24
2.3 Выбор наплавочного порошка. . . . .	26
2.4 Повышение эффективности плазменной порошковой наплавки. . . . .	28
2.5 Описание операций проектного технологического процесса . . . . .	30
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений. . . . .	34
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта. . . . .	34
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков. . . . .	35
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков. . . . .	36
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта. . . . .	38
3.5 Защита окружающей среды. . . . .	40
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной	

квалификационной работе решений. . . . .	42
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям. . . . .	42
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования. . . . .	44
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии . . . . .	45
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам. . . . .	47
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии. . . . .	51
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	53
Заключение . . . . .	55
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	57

## Введение

Существенное внимание при работе на объектах ПАО «Газпром» уделяется решению проблем рационального использования добываемого природного газа, повышению эффективности управления транспортной системой и обеспечению экологической безопасности [13]. Современная газовая промышленность неуклонно повышает требования, предъявляемые к надежности, длительности ресурса и эффективности проведения ремонтных работ на агрегатах выполняющих перекачку природного газа. К таким агрегатам относится нагнетатель природного газа, надежность которого главным образом определяет производительность и безопасность транспортирования продукта по магистральному газопроводу [6], [7], [10], [15].

Обеспечение бесперебойной работы агрегатов требует поддержания в рабочем состоянии их элементов, для чего необходимо выполнять периодическую замену или ремонт вышедших из строя деталей машин.

Для того, чтобы восстановить работоспособность детали, зачастую требуется значительно меньшее количество энергии и материалов, чем для изготовления новой детали. Кроме того, возможность оперативного восстановления позволяет уменьшить заделы из новых деталей на случай выхода из строя. При этом проблемы с логистикой могут значительно усугубить ситуацию, так как затягивание поставок новых деталей может привести к остановке производства. Следует принимать во внимание, что восстановительная технология может применяться к детали многократно, поэтому срок службы элементов техники продляется в несколько раз.

Эффективность проведения ремонта в значительной степени зависит не только и не столько от правильности проектирования рассматриваемой детали, но и от построения ремонтного процесса, в который следует вовлекать новые технические решения и материалы, предлагаемые современному производителю исследователями.

Актуальность построения ремонтных технологий повышается вследствие необходимости предприятий придерживаться современной экологической повестке. Соблюдение требования энергосбережения и ресурсосбережения делает необходимым повсеместное применение технологий реновации, которые позволяют применять восстановленные детали машин вместо вновь приобретаемых деталей машин. Восстановление детали требует меньших затрат энергии и металла, чем изготовление новой детали. Также при возможности восстановления изношенной детали и её повторного использования нет необходимости дожидаться поставок новых деталей или хранить запас деталей на складе.

На основании вышеизложенного следует признать актуальность поставленной в выпускной квалификационной работе цели – повышение производительности и качества работ при восстановлении изношенных поверхностей вала нагнетателя природного газа.

Достижение поставленной цели должно выполняться на основании изучения современных технологических решений, предложенных сварочному производству отечественными и зарубежными исследователями. С учётом настоящей специфики, характеризующей политическую и экономическую обстановку в России и за рубежом, предпочтение следует отдавать отечественным разработкам, внедрение которых в современное производство не потребует применения импортного оборудования и элементной базы [17], [21].

Таким образом, выпускная квалификационная работа направлена не только на повышение экономической эффективности отечественного производства, но и позволяет снизить зависимость ключевых производств Российской Федерации от поставок иностранных комплектующих.

## **1 Современное состояние ремонтной наплавки валов нагнетателей природного газа**

### **1.1 Особенности конструкции и эксплуатации валов нагнетателей природного газа**

На рисунке 1 представлен нагнетатель природного газа 370-18-1, который представляет из себя одноступенчатую центробежную машину. Функциональная схема нагнетателя, представленная на рисунке 2, включает в себя корпус (обозначен на схеме позицией 1), который выполняется в виде стального цилиндра и закрывается крышкой (обозначена на схеме позицией 2). На крышке 2 выполнен монтаж всасываемой и сборной кольцевых камер. Лопаточный диффузор (обозначен на схеме позицией 3), крепится на фланце гильзы и выполнен в виде круговой решётки из профильных лопаток. Работа нагнетателя выполняется за счёт вращения рабочего колеса (обозначено на схеме позицией 4), которое смонтировано на валу, вращающемся в гильзе (обозначена на схеме позицией 5). Для регулирования работы нагнетателя служит зубчатая муфта (обозначена на схеме позицией 6). Нагнетатель через клиновидные прокладки (обозначены на схеме позицией 7), крепится при помощи анкерных болтов (обозначены на схеме позицией 8).

Наиболее нагруженным элементом нагнетателя является ротор, который представлен на рисунке 3. На роторе нагнетателя смонтировано одно рабочее колесо. Фиксирование рабочего колеса на валу ротора выполняется при помощи шпоночного соединения, при этом конец нагнетателя имеет конический участок, на котором происходит центрирование рабочего колеса при посадке «с натягом».

Проведённый ранее анализ причин отказов нагнетателей природного газа, позволяет заключить, что значительное количество дефектов образуется на валу ротора и могут быть устранены при их своевременном обнаружении.



Рисунок 1 – Нагнетатель природного газа

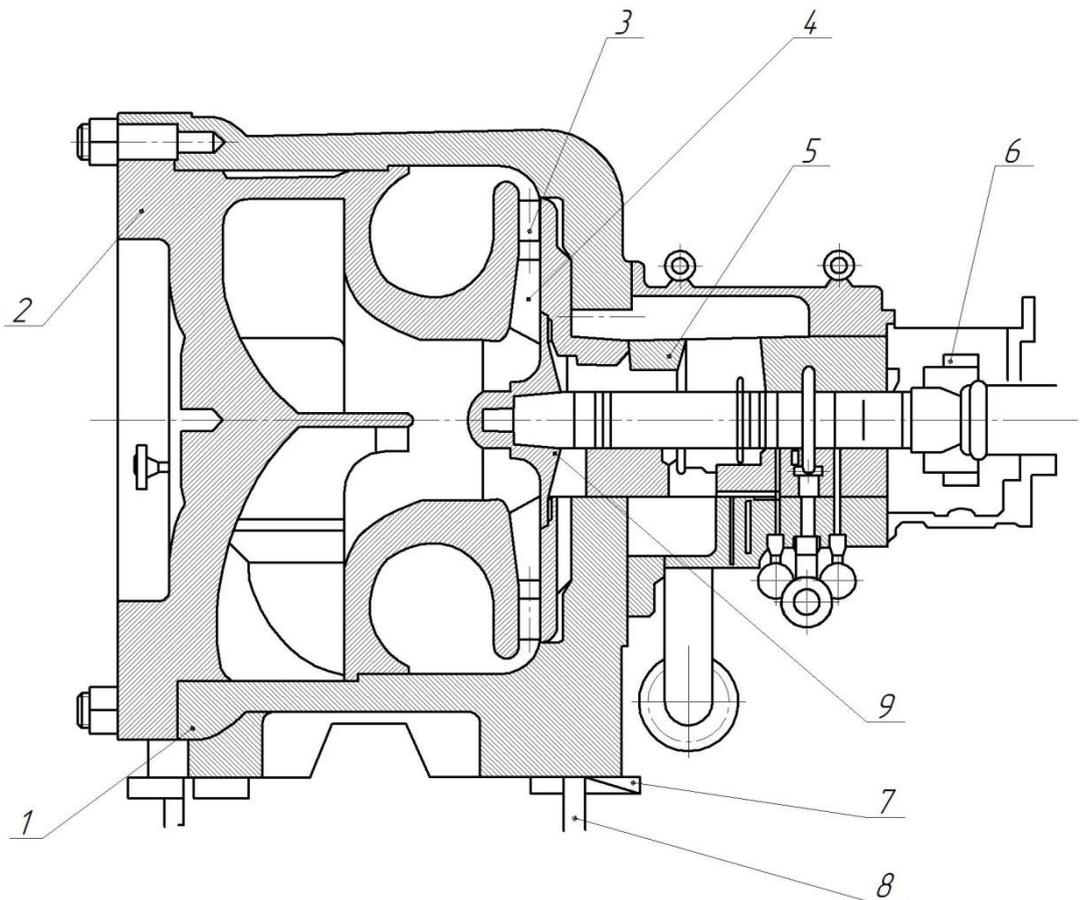


Рисунок 2 – Функциональная схема нагнетателя природного газа



Рисунок 3 – Ротор нагнетателя природного газа



Рисунок 4 – Вал нагнетателя природного газа

При проведении ремонтных работ на роторе нагнетателя обнаруживаются риски на шейках вала, кольцевые риски на упорном гребне и контактная коррозия конуса вала.

Причиной износа является наличие твёрдых частиц в масле и коррозионные процессы. На рисунке 4 представлен вал нагнетателя с демонтированным рабочим колесом. Этот вал подлежит проведению восстановительных работ по устранению образовавшихся рисок и повреждённой коррозией контактной конусной поверхности.

## 1.2 Сведения о материале для изготовления вала нагнетателя природного газа

Для изготовления вала нагнетателя природного газа применяются заготовки из стали 34ХН3М, которая относится к конструкционным легированным сталям и применяется для изготовления ответственных деталей машин с особыми свойствами. В таблице 1 приведено содержание химических элементов в стали 34ХН3М [16], [26].

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 34ХН3М

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo
0,3-0,4	0,17-0,37	0,5 – 0,8	2,75 – 3,25	до 0,035	до 0,03	0,7 – 1,1	0,25 – 0,4

Повышенное содержание углерода в стали 34ХН3М по сравнению с низкоуглеродистыми сталями позволяет существенно повысить износостойкость, прочность и коррозионную стойкость.

Легирование стали хромом позволяет повысить ударную вязкость, прочность и твёрдость стали. Легирование никелем позволяет дополнительно повысить прочность и твёрдость стали, сохраняя её ударную вязкость. Введение в сталь молибдена способствует измельчению зерна, повышает усталостную прочность стали. Комплексное действие хрома, никеля и молибдена в стали позволяет существенно повысить её коррозионную стойкость по сравнению с низкоуглеродистыми сталями. Однако следует принимать во внимание, что повышение содержания молибдена в стали вызывает повышение её хрупкости и красноломкости [20].

Сталь 34ХН3М относится к ограниченно свариваемым сталям. При ремонтной сварке и наплавке возникают трудности, которые следует учитывать при построении технологии ремонта деталей машин из этой стали.

Первой трудностью является образование горячих трещин, причиной которых является пониженная деформационная способность металла в нагретом состоянии. Переход расплавленного металла из жидкого состояния

в твёрдое сопровождается уменьшением его объёма и образованием растягивающих напряжений, величина которых превышает пороговое значение напряжения для нагретого состояния. Термическая обработка сварного шва не снижает вероятности получения горячих трещин, а наоборот, может привести к её повышению.

Второй трудностью при ремонте деталей машин из стали 34ХН3М является образование холодных трещин, которые характеризуются замедленным развитием, их образование происходит при температуре металла ниже 200 °С. После зарождения холодной трещины, она развивается в течение нескольких часов или даже суток. При этом трещины могут обнаруживаться как в наплавленном металле, так и в основном металле.

Назначение параметров режима наплавки при ремонте деталей машин из стали 34ХН3М требует более тщательной теоретической и экспериментальной проработки по сравнению с низкоуглеродистыми сталями, так как эксплуатационные свойства восстановленной детали зависит от размеров зерна в наплавленном слое [24].

### **1.3 Особенности выполнения операций при осуществлении базовой технологии ремонтной наплавки**

При восстановлении рабочих поверхностей вала нагнетателя в соответствии с базовой технологией применяют наплавку порошковой проволокой.

Технология восстановительной наплавки предусматривает выполнение следующих операций: подготовка вала, предварительный подогрев, наплавка, охлаждение и контроль качества.

На операции подготовки вымачивают вал в керосине в течение 6...8 часов, что позволяет удрать с его поверхности смазку и ржавчину. При подаче в ёмкость с керосином перегретого водяного пара интенсивность

очистки может быть значительно увеличена. После отмачивания детали её насухо протирают тканью.

При обнаружении на валу поверхностных дефектов, их следует удалить механическим путём. Также до здорового металла удаляется наклёпанный слой. Если изношенная поверхность имеет неравномерную выборку с переходами более 2 мм, её следует выровнять на станке.

На операции предварительного подогрева проводят предварительный подогрев с использованием газового пламени. Для нагрева применяют ацетилен и кислород, при помощи газовых редукторов ДКП-165 и ДАП-1-65 устанавливают восстановительное пламя. Температура предварительного нагрева составляет 200...300 °С, которую контролируют с применением контактной термопары. В процессе предварительного подогрева нельзя допускать локального перегрева детали до температуры красного каления.

На операции наплавки применяется порошковая проволока ПП–Нп–30Х5Г2СМ. Наплавку ведут, закрепляя вал в токарном станке, на постоянном токе обратной полярности. Питание сварочной дуги обеспечивается выпрямителем ВС-500, который представлен на рисунке 5-а. Подача порошковой проволоки обеспечивается механизмом ПДПГ-500, который представлен на рисунке 5-б. При наплавке задают значения параметра режима: ток сварки 140...170 А, напряжение на дуге 22...24 В, скорость подачи проволоки 1,5...1,8 метров в минуту, скорость наплавки составляет порядка 10...12 метров в час.

После наплавки вала его следует поместить в ящик с песком, в котором происходит равномерное охлаждение вала. Время вылёживания вала в ящике с песком составляет не менее 6 часов.

При наплавке для контроля качества применяют визуальный контроль, контроль проникающими веществами и ультразвуковой контроль.

Визуальный контроль является первичным и служит для выявления очевидных несоответствий и отклонений от требований нормативной документации. Применяют лупу с увеличением 10 крат.



Рисунок 5 – Оборудование для наплавки: сварочный выпрямитель BC-500 (а) и полуавтомат ПДПГ-500 (б)

После визуального контроля качества проводят механическую обработку вала для получения заданного размера поверхности.

Для обнаружения недопустимых поверхностных дефектов проводят контроль проникающими веществами. При этом недопустимыми являются такие дефекты, как одиночные трещины, сетки трещин, поры с выходом на поверхность.

Контроль проникающими веществами проводят после механической обработки поверхностей вала. Шероховатость поверхности не должна превышать Rz 20. Перед проведением контроля следует очистить контролируемую поверхность ацетоном. Далее наносят на поверхность пенетрат Sherwin и выдерживают его в течение 15 минут. После этого смывают пенетрат с использованием очистителя Sherwin при помощи смоченной матерчатой ткани. Далее на контролируемую поверхность наносят проявитель Sherwin и выдерживают в течение 30 минут.

Для проведения ультразвукового контроля применяется дефектоскоп УД 2-70, представленный на рисунке 6 и контактная жидкость.

Далее при помощи твердомера контролируют твердость наплавленной поверхности, которая должна быть не менее 60...62 HRC.

Главным недостатком наплавки самозащитной проволокой является неравномерность плавления оболочки проволоки и порошкового

наполнителя, что вызывает осыпание нерасплавленного флюса в сварочную ванну, образование пор и шлаковых включений. Кроме того, при наплавке порошковой проволокой наблюдается повышенная текучесть расплавленного металла, из-за чего усложняется формирование наплавленного слоя. Также порошковая проволока из-за своей мягкости застревает в подающем механизме.



Рисунок 6 – Дефектоскоп УД 2-70

Кроме перечисленного следует указать, что наплавка порошковой проволокой ПП–Нп–30Х5Г2СМ не позволяет повысить эксплуатационные свойства восстановленного вала, что заставляет проводить в скором времени повторную восстановительную наплавку.

#### **1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановления вала нагнетателя природного газа, который выполнен из стали 34ХН3М.

При анализе свойств стали рассматриваемой стали сформулированы трудности при восстановительной сварке и наплавке – образование холодных и горячих трещин.

При анализе базового технологического процесса восстановительной наплавки вала с применением механизированной наплавки порошковой самозащитной проволокой сформулированы недостатки.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи, решению которых будет посвящен исполнительский раздел настоящей выпускной квалификационной работы.

В ходе решения первой задачи предстоит выполнить обоснование выбора способа восстановления рассматриваемой детали. При этом следует перечислить все возможные способы восстановления, выбрать из них наиболее эффективные и провести экспертную оценку с использованием экономических и технологических критериев. Далее следует обосновать выбор оптимального способа восстановления.

В ходе решения второй задачи необходимо предложить средства для расширения технологических возможностей выбранного способа восстановления. Выработку решений следует проводить на основании современных разработок в области сварки и восстановления деталей машин.

В ходе решения третьей задачи необходимо составить проектный технологический процесс восстановления рассматриваемой детали. Следует дать перечень технологических операций, требования к их выполнению. Необходимо выбрать оптимальные параметры режима и необходимое технологическое оборудование.

На основании решений, полученных в ходе выполнения первой, второй и третьей задач выпускной квалификационной работы, следует провести оценку её результатов. Для этого в оценочном блоке выполняются ещё две задачи.

Во-первых, следует провести оценку промышленной и экологической безопасности производственного участка, на котором предстоит внедрение результатов выпускной квалификационной работы [4], [9].

Во-вторых, необходимо оценить экономическую эффективность предложенных решений путем сравнения экономических показателей базового и проектного вариантов технологии [18], [19].

## 2 Построение проектной технологии восстановления вала нагнетателя природного газа

### 2.1 Обоснование выбора способа восстановления

Для построения проектной технологии восстановления вала нагнетателя природного газа необходимо обосновать выбор способа восстановления. Эксплуатационные свойства детали после ремонта и экономический эффект от внедрения проектной технологии в значительной степени будут зависеть от правильности выбора способа восстановления.

В соответствии с результатами работ [11], [22], [23] для восстановления деталей машин может быть применён ряд способов, оценка эффективности которых представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка эффективности различных способов восстановления деталей машин

Способы восстановления	Значения коэффициентов		
	Коэффициент износостойкости	Коэффициент выносливости	Коэффициент сцепляемости
«Механическая обработка под ремонтный размер	1,0	1,0	1,0
Ручная дуговая наплавка	0,9	0,8	1,0
Наплавка в углекислом газе	0,85	0,9...1,0	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	1,0
Контактная наплавка (приварка металлического слоя)	0,9...1,1	0,8	0,8...0,9
Газопламенное напыление	1,0...1,3	0,6...1,1	0,3...0,4
Плазменное напыление	1,0...1,5	0,7...1,3	0,4...0,5
Наплавка под слоем флюса	0,90	0,82	1,0
Дуговая металлизация	1,0...1,3	0,6...1,1	0,2...0,3
Хромирование (электролитическое)	1,0...1,3	0,7...1,3	0,4...0,5
Железнение (электролитическое)	0,9...1,2	0,8	0,65...0,8
Клеевые композиции	1,00	—	0,7
Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	до 3,00	0,8	1,0
Установка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0
Пластическое деформирование» [23]	0,8...1,0	1,0	1,0

Применяемые способы наплавки имеют различия по толщине слоя наплавки и производительности, что показано в таблице 3, в которой представлены сравнительные характеристики различных способов наплавки.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика способов наплавки [5]

Способ наплавки	Производительность, кг/ч	Доля основного металла, %	Толщина наплавленного слоя, мм
«Газовая с присадкой прутков или проволоки	0,5-1,5	1	0,8-5,0
Газопорошковая	0,5-3,0	1	0,3-3,0
Аргонно-дуговая неплавящимся электродом	1,0-7,0	10-30	2,5-5,0
Плавящимся электродом в защитном газе	1,5-9,0	30-60	3,0-5,0
Ручная дуговая, покрытыми электродами	0,8-3,0	20-50	2,0-5,0
Плазменная порошком	0,8-6,0	5-15	0,3-6,0
Индукционная» [5]	2-15	5-15	0,4-3,0

Анализ данных таблицы 2 и таблицы 3 позволяет рекомендовать для рассматриваемой восстанавливаемой детали такие способы: «ручная дуговая наплавка, наплавка в среде углекислого газа; лазерная наплавка, газопламенное напыление; плазменная наплавка» [22].

Ручная дуговая наплавка, схема проведения которой представлена на рисунке 7, имеет ряд преимуществ, которые обеспечивают широкое применение этого способа в промышленности:

- позволяет получить наплавленный слой значительной толщины, что обеспечивает высокую производительность;
- относительная простота и дешевизна применяемого оборудования для наплавки, которое не потребует затрат для приобретения, так как уже имеется на предприятии;
- высокая универсальность применяемой технологии и оборудования, которые могут быть использованы для восстановительной наплавки других деталей;

- технология ручной дуговой наплавки хорошо отработана и не требует приобретения дополнительных приборов метрологического обеспечения и переобучения персонала.



Рисунок 7 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки

Технология ручной дуговой наплавки имеет ряд недостатков:

- малая производительность ручной дуговой наплавки, которая не может быть повышена за счёт форсирования режимов или применения новых электродов;
- вредность условий труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере сварочного аэрозоля и излучения от дуги;
- увеличение расхода наплавочных материалов из-за затрат на огарки;
- необходимость прерывания горения дуги при смене электрода приводит к снижению производительности и качества наплавки;
- малая стабильность качества, имеющая прямую зависимость от квалификации сварщика.

Значительное распространение для восстановления работоспособности деталей машин получила наплавка в углекислом газе, схема выполнения которой представлена на рисунке 8. В патрон токарного станка помещают деталь (обозначена на схеме позицией 8), на суппорте станка помещают наплавочную головку (обозначена на схеме позицией 2). Защитный газ

поступает из баллона (обозначен на схеме позицией 7). Для подготовки газа перед подачей в редуктор (обозначен на схеме позицией 4) применяется подогреватель и осушитель (обозначены на схеме позициями 6 и 5). Расход углекислого газа контролируют при помощи расходомера (обозначен на схеме позицией 3).

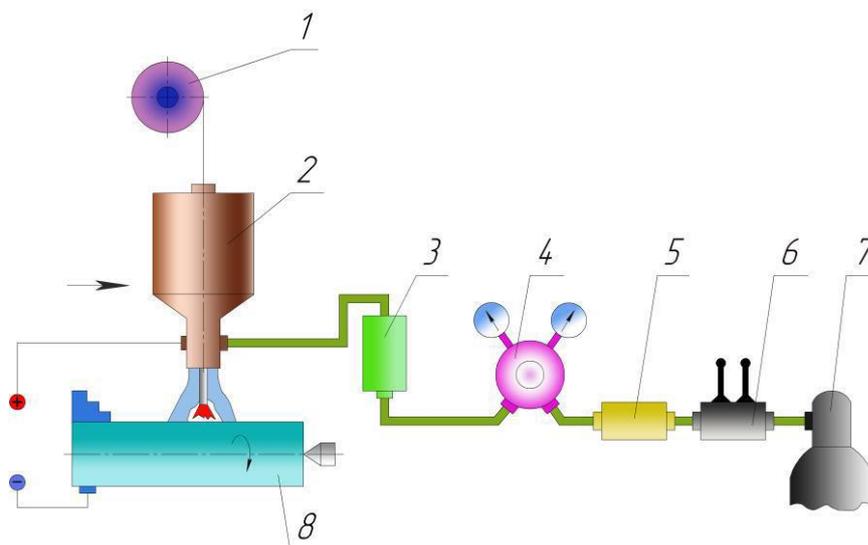


Рисунок 8 – Схема выполнения наплавки в углекислом газе

Наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения может считаться одним из самых технологичных способов, так как газовая защита позволяет отказаться от использования флюса и получать наплавленный слой без шлаковой корки. Наплавка может вестись в различных пространственных положениях. Применение в качестве защитного газа углекислого газа позволяет существенно снизить затраты на осуществление способа.

Следует отметить недостатки наплавки проволокой сплошного сечения в защитных газах:

- сильное разбрызгивание электродного металла при применении форсированных режимов;
- высокая стоимость и сложность изготовления проволоки сплошного сечения при необходимости использования проволоки со специфическим химическим составом;
- низкая пространственная устойчивость дуги, что отрицательно сказывается на качестве наплавки.

При восстановлении деталей машин распространены газопламенные способы нанесения покрытий, которые выполняются по представленной на рисунке 9 схеме. Преимуществами газопламенного напыления являются малое тепловое воздействие на восстанавливаемую деталь, простота и дешевизна применяемого оборудования, высокая производительность и сопротивляемость нанесённого слоя износу [11], [22]. Способ позволяет выполнять нанесение слоёв толщиной от десятых до нескольких миллиметров.

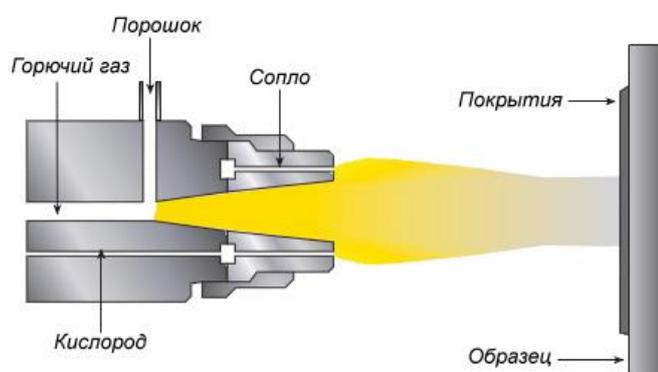


Рисунок 9 – Схема газопламенного напыления

В качестве главного недостатка газопламенного нанесения покрытий следует указать низкую прочность сцепления наносимого слоя с основой детали, что становится причиной отслаивания покрытия при длительной работе и снижает эксплуатационные свойства восстановленных деталей машин. Увеличение толщины наносимого слоя более 1 мм приводит к усугублению этого эффекта.

Лазерная наплавка, применение которой представлено на рисунке 10, предусматривает использование в качестве источника нагрева энергии лазерного луча. При лазерной наплавке выделяют три схемы выполнения способа. Первая схема предусматривает плавление лазерным лучом предварительно нанесённого на восстанавливаемую поверхность порошка. Вторая схема предусматривает применение боковой подачи. Применение этой схемы до недавнего времени было самым распространённым и позволяет получать покрытия различной толщины и состава. Самым главным

недостатком такой схемы является несимметричная подача порошка относительно оси горелки. Третья схема предусматривает коаксиальную подачу порошка, что позволяет получить симметричность относительно оси горелки. Однако аппаратное обеспечение коаксиальной подачи порошка при лазерной наплавке сложнее, чем боковой подачи порошка.



Рисунок 10 – Применение лазерной наплавки для восстановления валов

Плазменная наплавка позволяет формировать на детали слой толщиной 0,2...5 мм. При этом малый диаметр детали не составляет проблемы при выполнении плазменной наплавки, как это происходит при других способах восстановления деталей машин. Также при плазменной наплавке удаётся получить малый припуск на механическую обработку, который составляет 0,4...0,9 мм. Плазменная наплавка характеризуется малой глубиной проплавления, которая составляет 0,3...3,5 мм, при этом доля основного металла в наплавленном слое составляет порядка 30 %. Производительность плазменной наплавки может достигать 12 кг порошка в час.

На рисунке 11 представлена схема плазматрона для выполнения плазменной порошковой наплавки. Анодом выступает сопло плазматрона (обозначено на схеме позицией 1). Подведение и отведение охлаждающей воды выполняется через штуцеры (обозначены на схеме позициями 2 и 3). В схеме предусмотрено изолирующее кольцо (обозначено позицией 4). Подвод плазмообразующего газа происходит через штуцер (обозначен на схеме

позицией 5). В конструкции плазматрона предусмотрено наличие неплавящегося электрода (обозначен на схеме позицией 6). Подача порошка на схеме плазматрона обозначена позицией 7.

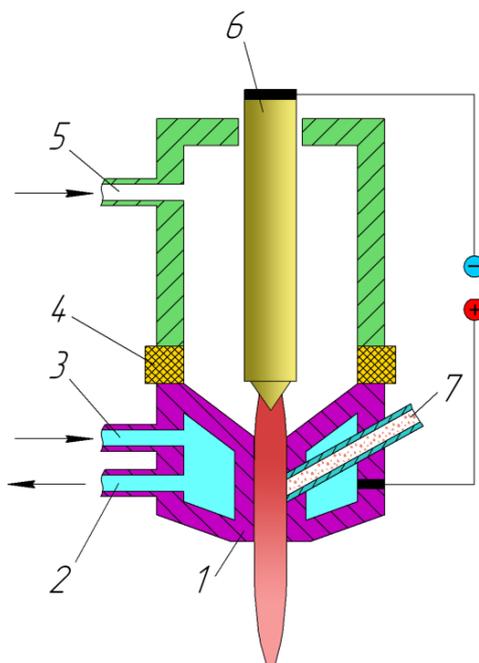


Рисунок 11 – Схема плазматрона для выполнения плазменной порошковой наплавки

При плазменной наплавке удаётся получить наплавляемый слой с самой высокой долговечностью. Также следует принимать во внимание, что плазменная наплавка характеризуется самой высокой экономичностью по сравнению с другими рассмотренными способами восстановления деталей машин, так как позволяет использовать порошки меньшей стоимости при получении аналогичного эффекта [27], [28].

На основании сформулированных ранее преимуществ и недостатков каждого способа следует выполнить экспертную оценку по критериям, сформулированным в работах [3], [8], [12]:

- интегральная экономическая эффективность способа восстановления,
- условия труда сварщика,
- производительность процесса восстановления,

- эксплуатационные качества восстановленного изделия после выполнения ремонтных работ,
- стоимость применяемого в технологическом процессе оборудования и материалов.

По результатам оценки альтернативных способов восстановления, которые могут применяться для трансмиссионного вала, предложим использовать плазменную наплавку.

## **2.2 Описание плазматрона**

Наплавку порошковыми сплавами выполняют при помощи плазматронов, которые работают на постоянном токе прямой полярности. Принцип действия плазматрона основан на формировании сжатой дуги за счёт обжатия горячей дуги соплом плазматрона и струёй газа. Катод и анод плазматрона отделены друг от друга изолятором. Вольфрамовый электрод крепится в катоде. В аноде предусмотрено наличие каналов, обеспечивающих подачу газа для формирования плазменной дуги. Также в аноде есть каналы для подачи наплавочного порошка и защитного газа [31].

Конструкция плазматрона должна обеспечивать продолжительный срок службы при непрерывной работе, стабильную работу плазматрона на заданных параметрах режима наплавки, защиту зоны наплавки от окружающей среды, стабильное охлаждение нагреваемых участков плазматрона, стабильную подачу наплавочного порошка.

На рисунке 12 представлена предлагаемая конструкция плазматрона, применение которой позволяет повысить ресурс работы плазматрона и тепловой КПД плазматрона по сравнению с ранее применяющимися конструкциями. В схему плазматрона включены катодный корпус и анодный корпус (обозначены на рисунке позициями 1 и 2), а также сопло плазматрона (обозначено на рисунке позицией 3). Между анодным и катодным корпусом помещается изолирующая прокладка (обозначена на схеме позицией 5).

Питание плазматрона обеспечивается через токоподводы (обозначены на рисунке позициями 4 и 11). Также конструктивными элементами плазматрона являются фланец, винт, штуцер и втулка (обозначены на схеме позициями 7, 8, 9 и 12). Неплавящийся электрод обозначен на схеме позицией 10. Крепление плазматрона происходит через рукоять (обозначена на схеме позицией 14), а защита элементов оборудования обеспечена щитком (обозначен на схеме позицией 13).

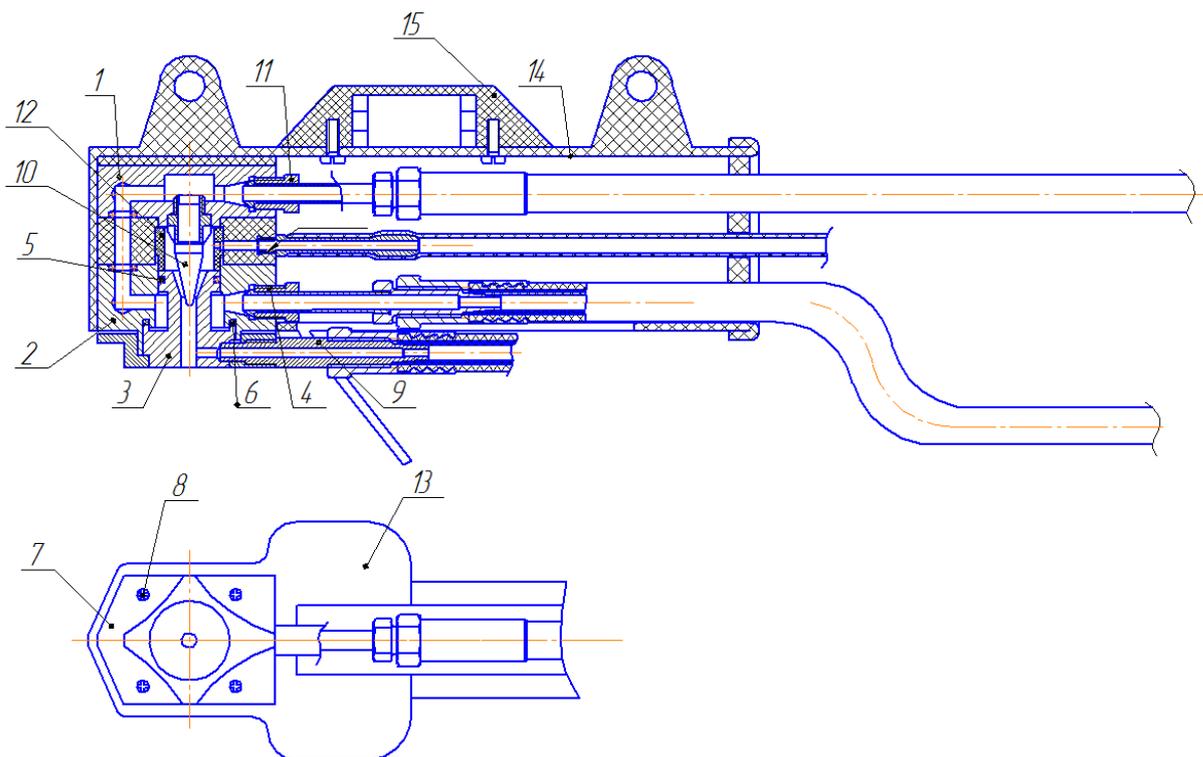


Рисунок 12 – Предлагаемая конструкция плазматрона

Крепление плазматрона на установке происходит с использованием двух проушин на корпусе плазматрона. Охлаждение интенсивно нагреваемых участков плазматрона обеспечивается подводом охлаждающей воды, которая подается через гибкие шланги. Также к плазматрону подают наплавочный порошок и плазмообразующий газ.

Кроме плазматрона в установку для плазменной наплавки необходимо включить источник питания, вращатель детали, порошок питатель, шкаф управления и систему подачи газа.

## 2.3 Выбор наплавочного порошка

Широкое применение для износостойкой плазменной наплавки получили твёрдые сплавы на железной основе: Сормайт-1, ПГ-СП4, УС-25. Преимуществом этих сплавов является малая стоимость, выпуск наплавочных порошков этих сплавов налажен отечественной промышленностью. В качестве недостатка этих сплавов следует указать хрупкость наплавленного слоя, в котором происходит образование трещин. Снижение растрескивания достигается за счёт добавки в сплавы порошка алюминия до 8 % по весу. Добавка алюминия в таком количестве не приводит к снижению износостойкости наплавленных слоёв [29], [30].

Также для плазменной наплавки могут применяться твердые сплавы на никелевой основе: ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-Н77Х15С3, ПР-Н73Х16С3Р3. Эти сплавы обеспечивают хорошее сцепление наплавляемого слоя с основным металлом, позволяют получать наплавленные слои с высоким сопротивлением ударным нагрузкам, обеспечивают хорошее сцепление наносимых слоёв друг с другом. Образующаяся наплавленная поверхность обладает хорошим сопротивлением против износа. Недостатком применения этих сплавов является их высокая стоимость.

Для выполнения ремонта вала нагнетателя в качестве порошка применим ПР-Н73Х16С3Р3, который позволяет получать наплавленные слои до 1,2 мм. Для исследования микроструктуры наплавленного слоя и основного металла применялся микроскоп «Нефот-2», исследования проводились при увеличении 100 и 500 крат. На рисунке 13 представлены микроструктуры наплавленного слоя без дефектов (рисунок 13-а) и зоны термического влияния (рисунок 13-б).

Микротвёрдость наплавленного слоя при использовании порошка ПР-Н73Х16С3Р3 составляет 620...890 НV при микротвёрдости основного металла 400...420 НV, что свидетельствует о повышении твёрдости наплавленного металла в 1,5...2 раза по сравнению с основным металлом.

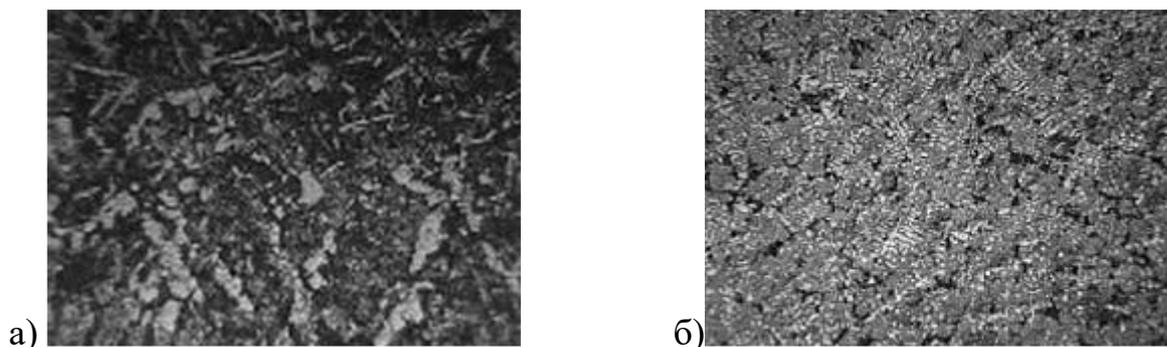


Рисунок 13 – Микроструктура при плазменной наплавке порошком ПР-Н73Х16С3Р3 (увеличение 100 крат): наплавленного слоя (а) и зоны термического влияния (б)

В порошке ПР-Н73Х16С3Р3 основу составляет никель. Содержание углерода составляет 0,6...0,9 %. Легирующими элементами являются хром в составе 15...17 %, кремний в составе 2,7...3,7 % и бор в составе 2,3...3,0 %. В порошке может содержаться железо до 5 %.

#### **2.4 Повышение эффективности плазменной порошковой наплавки**

Для повышения эффективности плазменной порошковой наплавки применим способ, предложенный сотрудниками Томского политехнического института им. С. М. Кирова [1]. Способ позволяет уменьшить перегрев тугоплавких частиц при выполнении плазменной порошковой наплавки композитных материалов. В плазменную струю осуществляют подачу смеси порошка из тугоплавких и легкоплавких компонентов. Выполняют периодическое изменение состава смеси, которое соответствует кривой изменения силы тока наплавки.

При увеличении тока наплавки концентрацию легкоплавких компонентов в смеси повышают, а концентрацию тугоплавких компонентов снижают. При увеличении тока дуги повышается мощность сжатой дуги, в результате интенсифицируется плавление легкоплавких компонентов и прогрев основного металла детали. Это позволяет получить оптимальные тепловые условия для смачивания подложки расплавленным порошком и формирования сварочной ванны.

После того, ток дуги был уменьшен, повышают концентрацию в смеси тугоплавких элементов, а концентрацию легкоплавких элементов уменьшают. Таким образом, в течение паузы в сжатую дугу поступает, в основном, тугоплавкий компонент. Эти тугоплавкие компоненты, проходят через столб малоамперной дуги и не перегреваются, попадая в сварочную ванну неоплавленными. Далее тугоплавкие компоненты перемешиваются с жидким металлом сварочной ванны. Таким образом, в наплавленном слое идёт формирование композитного сплава, основой которого является легкоплавкая пластичная матрица, в которую внедрены тугоплавкие соединения. При повторном зажигании высокоамперной дуги процесс повторяется.

На рисунке 14 представлена функциональная схема устройства, реализующего предлагаемый способ плазменной порошковой наплавки.

Функциональная схема предлагаемого способа включает в себя плазматрон (обозначен на схеме позицией 1), к которому через патрубки (обозначены на схеме позицией 2) присоединены два порошковых питателя (обозначены на схеме позициями 3 и 4). Через питатель 3 поступают тугоплавкие компоненты, а через питатель 4 поступают легкоплавкие компоненты. Источник питания (обозначен на схеме позицией 5) подключается к плазматрону и наплавляемой детали (обозначена на схеме позицией 6). В якорную цепь электрических двигателей питателей 3 и 4 включены коммутирующие устройства (обозначены на схеме позициями 7 и 8), которые шунтируются регулируемыми резисторами. Блок управления (представлен на рисунке позицией 9) управляет коммутирующими устройствами 7 и 8, а также блоком временной задержки (обозначен на схеме позицией 10).

При работе установки источник питания 5 подаёт модулированный ток, параметры которого определяются установками блока управления 9. При этом отдельно задаются продолжительность импульса и продолжительность

паузы. Осциллограммы тока и изменения концентрации тугоплавких компонентов  $C_T$  и легкоплавких компонентов  $C_L$  представлены на рисунке 15.

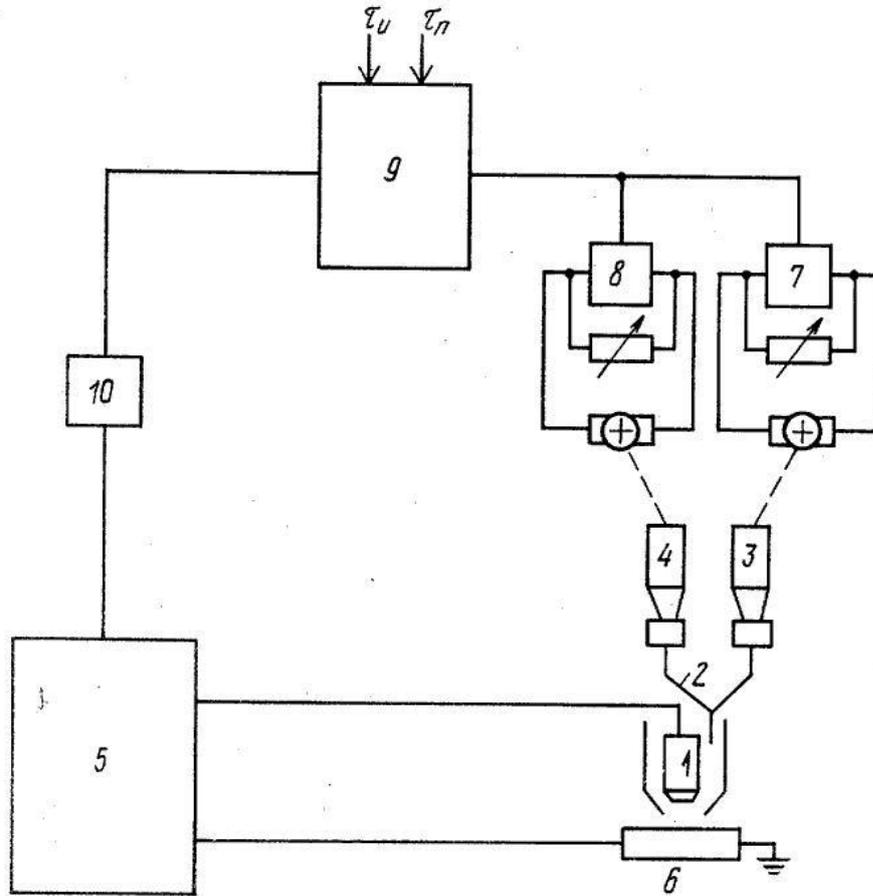


Рисунок 14 – Функциональная схема предлагаемого способа наплавки

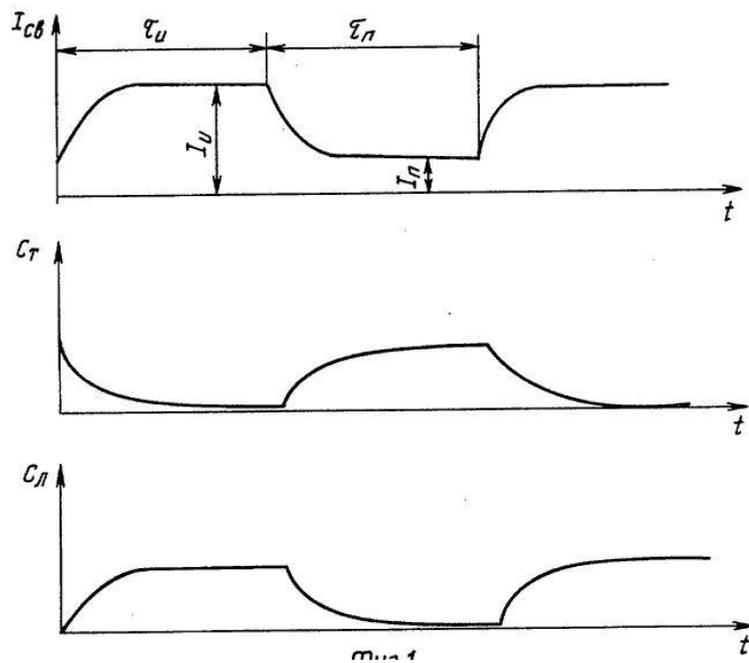


Рисунок 15 – Осциллограммы тока и изменения концентрации тугоплавких компонентов  $C_T$  и легкоплавких компонентов  $C_L$

Ток импульса устанавливают 160 А, ток паузы устанавливают 70 А. Длительность импульса и длительность паузы составляет 0,7 с. Скорость наплавки принимается 4,5 м/ч, частота колебаний плазматрона составляет 0,7 Гц при размахе колебаний 5 мм. Расход плазмообразующего газа составляет 1 литр в минуту, расход транспортирующего (защитного) газа составляет 16 литров в минуту. В качестве защитного транспортирующего и плазмообразующего газа применяют аргон. Максимальный расход каждого порошка составляет 2,2 кг в час. В качестве первого (тугоплавкого) порошка применяют Х16СЗРЗ, в качестве второго (легкоплавкого) порошка применяют порошок никеля ПНЭ-2. Применение такого двухкомпонентного состава позволяет сформировать на поверхности детали слой, соответствующий по составу применению порошка ПР-Н73Х16СЗРЗ, но при этом твёрдость и износостойкость наплавленного слоя будут увеличены.

## **2.5 Описание операций проектного технологического процесса**

Детали, подлежащие наплавке с применением внутрицехового транспорта перемещают на участок восстановления и размещают на стеллажах.

Мойку валов перед восстановлением проводят в машине М-216Е2, которая представлена на рисунке 16. Отчистка от загрязнений происходит с применением синтетического моющего препарата МЛ-51, который получают растворением препаратов в воде с концентрацией 10...30 грамм на литр. Температура моющего состава задаётся 60...80 °С. Моечный препарат МЛ-51 включает в себя тринатрийфосфат, кальцинированную соду и каустическую соду. Продолжительной мойки составляет 30..40 минут. Частота колебаний при мойке задаётся в диапазоне 20...25 кГц.

После мойки выполняют промывку вала в проточной воде, при этом температуру проточной воды задают 20...30 °С, а длительность такой промывки составляет 10...15 минут.

Далее выполняют дробеструйную обработку поверхности вала. Эта операция введена в проектный технологический процесс для улучшения соединения наплавляемого слоя к основе детали. Применяют дробемётную установку ТВ-S, которая представлена на рисунке 17.

В качестве установки для плазменной наплавки применяется установка для плазменно-порошковой наплавки УППН-305, которая представлена на рисунке 18. В качестве источника питания применён EuTronic GAP 5011 DC, который представлен на рисунке 19.



Рисунок 16 – Моечная машина М-216Е2



Рисунок 17 – Дробемётная установка ТВ-S



Рисунок 18 – Установка для плазменно-порошковой наплавки УППН-305



Рисунок 19 – Источник питания EuTronic GAP 5011 DC

Далее вал закрепляют на вращателе. Далее засыпают порошки в соответствующие бачки питателей, устанавливают плазменную горелку в заданное положение. При помощи редукторов устанавливают требуемый расход газа, включают подачу охлаждающе воды. Включают привод вращения вала. Включают работу местной вентиляции. Начинают наплавку.

Ток импульса устанавливают 160 А, ток паузы устанавливают 70 А. Длительность импульса и длительность паузы составляет 0,7 с. Скорость наплавки принимается 4,5 м/ч, частота колебаний плазматрона составляет 0,7 Гц при размахе колебаний 5 мм. Расход плазмообразующего газа составляет 1 литр в минуту, расход транспортирующего (защитного) газа составляет 16 литров в минуту. В качестве защитного транспортирующего и плазмообразующего газа применяют аргон. Максимальный расход каждого порошка составляет 2,2 кг в час.

После наплавки проводят контроль визуальный качества на наличие в наплавленном слое трещин, непроваров, выходящих на поверхность пор и раковин.

После визуального контроля качества проводят механическую обработку вала для получения заданного размера поверхности.

Для обнаружения недопустимых поверхностных дефектов проводят контроль пронимающими веществами. При этом недопустимыми являются такие дефекты, как одиночные трещины, сетки трещин, поры с выходом на поверхность.

Для проведения ультразвукового контроля применяется дефектоскоп УД 2-70.

Далее при помощи твердомера контролируют твёрдость наплавленной поверхности, которая должна быть не менее 60...62 НРС.

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решались задачи, поставленные в первом разделе.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [14] в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда [4], [9].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [18], [19].

### **3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений**

#### **3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности восстановления деталей машин типа валов. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить порошково-плазменную наплавку.

При осуществлении проектной технологии восстановления вала предусматривается последовательное выполнение операций в соответствии с предлагаемым в работе технологическим процессом. Особенности выполнения операций проектного технологического процесса представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Особенности выполнения операций проектного технологического процесса

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования
1. Мойка	Слесарь-сборщик	Моечная машина, дробеструйная камера
2. Наплавка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка плазменной наплавки, источник питания, устройство подачи порошка
3. Контроль качества	Дефектоскопист	Набор визуально-измерительного контроля, твердомер

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к

возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы. Представленные в таблице 4 особенности выполнения операций технологического процесса позволят в дальнейшем идентифицировать опасные производственные факторы и предложить методы защиты от них.

### 3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

При проведении операций технологического процесса, который был разработан в ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы, возникают профессиональные и производственные риски, представленные в таблице 5. Наличие этих факторов обусловлено особенностями выполнения каждой операции технологического процесса, которые были рассмотрены выше.

Таблица 5 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование операции в	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
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> </ul>
2. Наплавка	<ul style="list-style-type: none"> <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>
3. Контроль качества	<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> </ul>

В ходе оценки выделено семь 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.

Источником возникновения негативных производственных факторов является применяемое на участке технологическое оборудование. Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании ранее представленных данных.

### **3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков**

Ранее выполненная идентификация профессиональных рисков позволяет выработать решения по обеспечению безопасности производственного процесса, которые представлены в таблице 6.

Следует отметить, что для обеспечения защиты персонала от возникающих негативных производственных факторов не требует разработки специальных методик и технических средств.

Таблица 6 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса	Перечень организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих устранение вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски

Представленные в таблице 6 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса. Анализ данных в таблице 6 позволяет заключить, что устранение влияния негативных производственных факторов или их снижение до приемлемого уровня может быть выполнено путём применения стандартных методик и технических решений.

### 3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

Следует принимать во внимание, что сварочные работы в рамках настоящей выпускной квалификационной работы проводятся на опасном технологическом объекте. При выполнении операций предлагаемого проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов существует опасность возникновения пожара. В первую очередь это связано с тем, что сварочные и наплавочные работы являются источником высокой температуры и излучения. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 7.

Таблица 7 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется ремонтная сварка
Наименование оборудования	шлифовальная машина, набор для проведения предварительного подогрева, источник питания сварочной дуги, механизм подготовки смеси защитного газа
Классификация по виду горящего вещества	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха, открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе. Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к которым относят нарушение

целостности изоляции и порчу электрического оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами.

На основании собранных данных возможный пожар, который может произойти на рассматриваемом производственном участке, относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения. В таблице 8 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 8 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

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

Пожарная безопасность рассматриваемого производственного участка обеспечивается а счёт применения различных технических средств. В качестве первичных средств тушения применяются: огнетушители, ящик с песком, кошма. В качестве средств индивидуальной защиты применяется план эвакуации. В качестве пожарного инструмента применяется топор, багор и лопата. В качестве средств оповещения применяются речевые, световые и звуковые оповещатели. Предложенные в настоящем разделе технические средства и мероприятия позволяют максимально снизить риск возникновения пожара и своевременно устранить негативные факторы при его возникновении.

### 3.5 Защита окружающей среды

Реализация предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений приводит к возникновению негативного антропогенного действия на окружающую среду. Следует принимать во внимание необходимость взятых на себя Российской Федерацией обязательств по обеспечению защиты окружающей среды. Поэтому в рамках выполнения настоящей выпускной квалификационной работы необходимо следовать международной экологической повестке. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы.

Предложены технические средства и организационные мероприятия, применение которых позволит устранить влияние на окружающую среду негативного антропогенного фактора или уменьшить его влияние до приемлемого уровня. Предлагаемые средства для этого представлены в таблице 9 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 9 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
Атмосфера	Установка в вентиляционную систему цеха специальных улавливающих фильтров, обеспечивающих задержку выделяющихся при сварке и работе оборудования вредных веществ
Гидросфера	Обеспечить отсутствие протечек масла из гидравлических систем применяемого оборудования. В случае обнаружения таких протечек своевременно их устранять
Литосфера	Размещение на территории предприятия специализированных емкостей для селективного сбора производственного мусора. Проведение инструктажа работников на предмет соблюдения мероприятий по сбору промышленного мусора и отходов.

Особое внимание следует уделить организации селективного сбора мусора, который в значительных количествах накапливается на

производственных участках. Раздельный сбор отходов позволяет выполнять эффективный рециклинг, что не только уменьшает нагрузку на окружающую среду, но и позволяет получать значительный экономический эффект за счёт экономии ресурсов.

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений**

### **4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности восстановления деталей машин.

В качестве конкретной детали в настоящей работе рассматривается вал нагнетателя газоперекачивающего агрегата.

При анализе базового технологического процесса восстановительной наплавки вала с применением механизированной наплавки порошковой самозащитной проволокой сформулированы недостатки.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить плазменно-порошковую наплавку.

Так как проектная технология предусматривает применение прогрессивных технологий, приходится считаться с дополнительными финансовыми и трудовыми затратами. При этом необходимо выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений, от реализации которых в производстве экономический эффект должен быть положительным. Следует рассчитать капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии, себестоимость изготовления продукции и на основании этого оценить целесообразность внедрения предлагаемых решений с использованием показателей экономической эффективности.

В таблице 10 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии сборки и сварки с учётом рыночной стоимости используемого оборудования и вспомогательных затрат.

Таблица 10 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам 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
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	200 тыс.	600 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	50	50
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ $m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [18]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие расчёты с использованием представленных выше данных предполагают оценку затрат на осуществление технологического процесса по проектному и базовому вариантам.

## 4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

При выполнении операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса происходит работа оборудования в течение заданного времени. Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. Также следует принимать во внимание, что время работы оборудования позволяет рассчитать амортизационные отчисления и затраты на производственные площади. В проектом технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

Количество рабочих дней для одного года принимаем равным  $D_p=277$ , при этом продолжительность рабочей смены составляет  $T_{см}=8$  часов. Также следует принимать во внимание уменьшение рабочей смены на величину  $T_{п}=1$  час в предпраздничные дни, количество которых для одного календарного года составляет  $D_{п}=7$  дней. Для количества рабочих смен  $K_{см}=1$  рассчитываем годовой фонд времени:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$  часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени  $V=7\%$ :

$$F_3 = F_H(1 - V/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$  часов.

### 4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии

Величину штучного времени, которое будет затрачиваться на выполнение операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса, рассчитываем с учётом нормирования труда по выполняемым операциям согласно технологической карте. Штучное время  $t_{шт}$  включает в себя затраты времени на выполнение основных операций проектного и базового технологического процессов (машинное время  $t_{маш}$ ), подготовительных и вспомогательных операций (вспомогательное время  $t_{всп}$ ), личный отдых (время отдыха  $t_{отд}$ ), подготовительно-заключительное время  $t_{п-з}$  и времени на мелкий ремонт и обслуживание оборудования (время обслуживания  $t_{обсл}$ ):

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $t_{шт.баз} = 1,5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,89$  часа и  $t_{шт.проектн.} = 0,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,76$  часа.

Размер годовой программы  $\Pi_r$  рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

$$\Pi_r = F_{\text{в}} / t_{шт} . \quad (4)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $\Pi_{r.баз.} = 2054 / 1,89 = 1086$  деталей для базового технологического процесса и  $\Pi_{r.пр.} = 2054 / 0,76 = 2700$  деталей для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности отрасли в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии  $\Pi_r = 1000$  деталей в год.

Требуемое количество технологического оборудования определяем с учётом ранее рассчитанного штучного времени для проектного варианта технологии и базового варианта технологии. При этом следует учесть коэффициент выполнения нормы  $K_{\text{вн}} = 1,03$ . Выполняем расчёт:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $n_{\text{расч}} = 1,89 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$  для базового варианта технологического процесса;  $n_{\text{расч}} = 0,76 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$  для проектного варианта технологического процесса.

В дальнейшем при выполнении экономических расчётов количество оборудования для выполнения операций базового технологического процесса принимаем  $n=1$ . Количество оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса принимаем  $n=1$ . На основании этого выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{з}}$  для базового и проектного вариантов технологии:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $K_{\text{з}} = 0,9/1 = 0,9$  для базового варианта технологического процесса и  $K_{\text{з}} = 0,4/1 = 0,4$  для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{з}}$  для проектного и базового вариантов технологического процесса в дальнейшем понадобятся для расчёта капитальных затрат на построение технологии.

При расчётах следует принимать во внимание, что производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается количество используемого оборудования.

#### 4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам

Выполнение операций проектного технологического процесса и операций базового технологического процесса происходят с применением расходных материалов, затраты на которые рассчитываются в зависимости от коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$ , цены материалов  $C_M$  и нормы расходов материалов  $N_p$  по формуле:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $M=270 \cdot 0,48 = 129,6$  рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса:  $M=310 \cdot 0,448 + 90 \cdot 0,213 = 158,05$  рублей.

Величина основной заработной платы рассчитывается на основании штучного времени  $t_{шт}$ , часовой тарифной ставки  $C_ч$  и коэффициента доплат  $K_d$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_d = 1,88$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $Z_{осн} = 1,89 \cdot 200 \cdot 1,88 = 710,64$  рублей для базового варианта технологического процесса и  $Z_{осн} 0,76 \cdot 200 \cdot 1,88 = 285,76$  рублей для проектного варианта технологического процесса.

Величина дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$  рассчитывается в зависимости от рассчитанной выше основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента доплат  $K_{доп}$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_{доп} = 12 \%$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $Z_{доп} = 710,64 \cdot 12 / 100 = 85,28$  рублей для операций

базового технологического процесса и  $Z_{\text{доп}} = 285,76 \cdot 12 / 100 = 34,29$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$ . Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $\text{ФЗП} = 710,64 + 85,28 = 795,92$  рублей для операций базового технологического процесса и  $\text{ФЗП} = 285,76 + 34,29 = 320,05$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  рассчитываем с учётом коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{\text{сн}}$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_{\text{сн}} = 34 \%$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $O_{\text{сн}} = 795,92 \cdot 34 / 100 = 270,61$  рублей для операций базового технологического процесса и  $O_{\text{сн}} = 320,05 \cdot 34 / 100 = 108,82$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Величину затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  определяем расчётным путём на основании амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  и затрат на электрическую энергию  $P_{\text{э}}$ :

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

При вычислении амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  следует учитывать норму амортизации  $N_{\text{а}}$ , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет  $N_{\text{а}} = 21,5 \%$ . Также в расчёт включено машинное время  $t_{\text{маш}}$ , которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования  $F_{\text{э}}$  и цена оборудования  $\Pi_{\text{об}}$ .

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $A_{об.} = 200000 \cdot 21,5 \cdot 1,89 / 2054 / 100 = 39,57$  рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии:  $A_{об.} = 600000 \cdot 21,5 \cdot 0,76 / 2054 / 100 = 47,73$  рублей.

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций по проектному технологическому процессу рассчитываются с учётом мощности оборудования  $M_{уст}$ , КПД оборудования, машинного времени  $t_{маш}$  и стоимости электрической энергии для предприятий  $C_{ээ}$ :

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{ээ} / \text{КПД}. \quad (13)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $P_{ээ} = 25 \cdot 1,89 \cdot 3,4 / 0,7 = 203,85$  рублей для базового варианта технологического процесса,  $P_{ээ} = 40 \cdot 0,76 \cdot 3,4 / 0,85 = 108,01$  рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование:  $Z_{об} = 39,57 + 203,85 = 243,39$  рублей по базовому технологическому процессу и  $Z_{об} = 47,73 + 108,01 = 155,74$  рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости  $C_{тех}$  определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы  $M$ , отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$ , фонда заработной платы ФЗП, затрат на оборудование  $Z_{об}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{тех} = 129 + 796 + 271 + 243 = 1439$  рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса  $C_{тех} = 158 + 320 + 109 + 156 = 743$  рублей.

Размер цеховой себестоимости  $C_{цех}$  определяется исходя из ранее определённой технологической себестоимости  $C_{тех}$ , коэффициента цеховых расходов  $K_{цех}$  и основной заработной платы  $Z_{осн}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{\text{цех}} = 1439 + 1,5 \cdot 711 = 1439 + 1067 = 2506$  рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса  $C_{\text{цех}} = 743 + 1,5 \cdot 286 = 743 + 429 = 1172$  рублей.

Размер заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  определяется исходя из ранее определённой цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , коэффициента заводских расходов и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $C_{\text{зав}} = 2506 + 1,15 \cdot 711 = 2506 + 818 = 3324$  рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса  $C_{\text{зав}} = 1172 + 1,15 \cdot 286 = 1172 + 329 = 1501$  рублей.

В таблице 11 представлена калькуляция заводской стоимости выполнения операций по базовому варианту технологического процесса и проектному варианту технологического процесса.

Таблица 11 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости при выполнении операций согласно базового технологического процесса и согласно проектного технологического процесса

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы»	<i>M</i>	129	158
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	796	320
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	271	109
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	243	156
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	1439	743
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	1067	429
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	2506	1172
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	818	329
9. Заводская себестоимость» [18]	<i>Сзав</i>	3324	1501

Данные, представленные в таблице 11, позволяют судить о высокой эффективности проектной технологии, которая позволяет уменьшить

заводскую себестоимость относительно базовой технологии. Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии. Далее будут вычислены экономические показатели предлагаемых решений и сделан вывод об эффективности внедрения этих решений в производственный процесс.

#### **4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии**

Вычисляем капитальные затраты  $K_{\text{общ. б.}}$  на реализацию технологического процесса по базовому варианту. Расчёт следует выполнять с учётом коэффициента загрузки оборудования  $K_p$  и остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об. б.}}$ .

Величину остаточной стоимости оборудования определяем с учётом рыночной стоимости аналогичного нового оборудования  $\Pi_{\text{перв.}}$ , срока службы оборудования  $T_{\text{сл}}$  и нормы амортизационных отчислений  $N_a$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Pi_{\text{об. б.}} = 200000 - (200000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 71000$  рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об. б.}} \cdot K_{з. б.} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 71000 \cdot 0,90 = 63900$  рублей.

Расчёт капитальных затрат  $K_{\text{общ. пр.}}$  при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , сопутствующих затрат  $K_{\text{соп}}$  и капитальных затрат на оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$ :

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

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило  $K_{\text{ТЗ}}=1,05$ , цены оборудования  $\text{Ц}_{\text{об}}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_3$ :

$$K_{\text{об. пр.}} = \text{Ц}_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{ТЗ}} \cdot K_{3\text{п.}} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{об. пр.}} = 600000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 252000$  рублей.

Величина сопутствующих затрат  $K_{\text{соп}}$  рассчитывается с учётом расходов на демонтаж  $P_{\text{дем}}$  оборудования по базовому технологическому процессу и монтаж  $P_{\text{мон}}$  оборудования по проектному технологическому процессу.

Расходы на демонтаж с учётом коэффициента расходов на демонтаж оборудования  $K_{\text{дем}} = 0,05$  рассчитываются как

$$P_{\text{дем}} = \text{Ц}_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д.}} \quad (21)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{дем}} = 1 \cdot 200000 \cdot 0,05 = 10000$  рублей.

Расходы на монтаж с учётом коэффициента расходов на монтаж оборудования  $K_{\text{мон}} = 0,05$  рассчитываются как

$$P_{\text{монт}} = \text{Ц}_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м.}} \quad (22)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{монт}} = 600000 \cdot 0,05 = 30000$  рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

$$P_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт.}} \quad (23)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{соп}} = 10000 + 30000 = 40000$  рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}} = 252000 + 40000 = 292000$  рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  проводим с учётом капитальных затрат для проектной технологии  $K_{\text{общ. пр}}$  и капитальных затрат по базовой технологии  $K_{\text{общ. б}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{доп}} = 292000 - 63900 = 228100$  рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы  $\Pi_T$ :

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_T \quad (25)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{уд}} = 63900/1000 = 63,9$  рублей за единицу продукции по базовой технологии и  $K_{\text{уд}} = 292000/1000 = 252$  рублей за единицу продукции по проектной технологии.

#### **4.6 Показатели экономической эффективности**

Для выполнения экономического обоснования настоящей выпускной квалификационной работы рассчитаем основные показатели эффективности.

Снижение трудоемкости  $\Delta t_{\text{шт}}$  рассчитывается как

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт б}} - t_{\text{шт пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт б}} \quad (26)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta t_{\text{шт}} = (1,89 - 0,76) \cdot 100 \% / 1,89 = 60 \%$ .

Повышение производительности  $\Pi_T$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_T = 100 \cdot 60 / (100 - 60) = 150 \%$ .

Уменьшение технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta C_{\text{тех}} = (1439 - 734) \cdot 100\% / 1439 = 48 \%$ .

Размер условно-годовой экономии  $P_{\text{ож}}$  рассчитывается как

$$P_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot P_T \quad (29)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{ож}} = (3324 - 1501) \cdot 1000 = 1823000$  рублей.

Длительность срока окупаемости предлагаемых мероприятий  $T_{\text{ок}}$  составляет:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} \quad (30)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $T_{\text{ок}} = 228100 / 1823000 = 0,2$  года.

Величина годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_T$  рассчитывается как

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_n \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\mathcal{E}_T = 1823000 - 0,33 \cdot 228100 = 1748000$  руб.

Таким образом, с учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства.

Производительность труда повышается на 150%. Уменьшение технологической себестоимости составило 48%. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,75 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,2 года.

## Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности восстановления деталей машин.

В качестве конкретной детали в настоящей работе рассматривается вал нагнетателя газоперекачивающего агрегата.

При анализе свойств стали рассматриваемой стали сформулированы трудности при восстановительной сварке и наплавке – образование холодных и горячих трещин.

При анализе базового технологического процесса восстановительной наплавки вала с применением механизированной наплавки порошковой самозащитной проволокой сформулированы недостатки.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить плазменно-порошковую наплавку.

Для повышения эффективности плазменной порошковой наплавки применим способ, предложенный сотрудниками Томского политехнического института им. С. М. Кирова. Способ позволяет уменьшить перегрев тугоплавких частиц при выполнении плазменной порошковой наплавки композитных материалов.

При анализе опасных и вредных производственных факторов, которые сопровождают выполнение операций проектного технологического процесса, идентифицированы негативные производственные факторы, предложены технические средства и организационные мероприятия по защите от них.

Выполнена оценка проектной технологии на предмет обеспечения экологической безопасности. Предложены организационные мероприятия по защите окружающей среды от возникающих при реализации проектной технологии негативных антропогенных факторов.

Производительность труда повышается на 150 %. Уменьшение

технологической себестоимости составило 48 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 1,75 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,2 года.

Таким образом, внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений в производство позволяет получить доказанный расчётным путём экономический эффект. Доказана экономическая и технологическая эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель выпускной квалификационной работы достигнутой.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют восстановление деталей машин типа валов.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы могут быть перенесены на случай восстановительной наплавки деталей машин с применением плазменных технологий. Это объясняется тем, что предложенные оборудование и технологический процесс применимы не только к рассматриваемым в настоящей выпускной работе деталям, но и к другим изнашиваемым деталям машин.

Также следует обратить внимание на то, что настоящая выпускная квалификационная работа показывает эффективность применения плазменных технологий, основывающихся на достижениях отечественных исследователей. Предлагаемые решения могут заменить наплавку порошковой проволокой. Таким образом, обеспечиваются требования импортозамещения.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. А.с. 1562082 МКИ В23К9/04 Способ плазменно-порошковой наплавки модулированным током / Дедюх Р. И., Азаров Н. А., Звирь Ю. В. Заявл. 15.06.88. Оpubл. 07.05.90, Бюл. № 17. 3 с.
- 2 Бабусенко С. М., Степанов В. А. Современные способы ремонта машин. М. : Колос, 1977. 270 с.
3. Батищев А. Н. Методика обоснования рационального способа восстановления изношенных деталей // Современное оборудование и технологические процессы для восстановления и упрочнения деталей машин: тез. докл. науч.-техн. конф. стран – членов СЭВ «Ремдеталь-88», 17–21 октября 1988 г., г. Пятигорск. М., 1988. Ч. 1. С. 23–24.
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
5. Бессуднов И.А. Совершенствование технологий ремонта газотурбинных авиационных двигателей с использованием ресурсосберегающих технологий: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Рыбинск: Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева. 2014.
6. Бондаренко Г. А., Крившич Н. Г., Петров В. В. Вибрации центробежных нагнетателей природного газа. Нормы и методика оценки вибрационного состояния. Обзорная информация ЦИНТИ Химнефтемаша. М.: Химнефтемаш, 1990. 24 с.
7. Васильев Ю. Н., Бесклетный М. Е., Игуменцев Е. А. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М.: Недра, 1987. 197 с.
8. Васильев Н. Г., Галиев И. И., Васильева Т. Н. Выбор способа восстановления изношенных деталей // Сварочное производство. 1996. № 7. С. 13–15.

9. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
10. Данилейко В. И., Довженко В. Н., Карпенко С. И. Особенности конструкции центробеленых компрессоров Сумского НПО им. М.В. Фрунзе // Газотурбинные технологии. 2004. № 3. С. 18– 21.
11. 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.
12. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 9–17.
13. Иванов Э. С. Обеспечение эффективности работы компрессорных станций в условиях сниженной нагрузки магистральных газопроводов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / Эрнест Сергеевич Иванов. – Уфа: Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. – 2016.
14. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
15. Козаченко А. Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. М.: Нефть и газ, 1999. 463 с.
16. Колосков М. М., Долбенко Е. Г., Каширский Ю. В. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 2001. 672 с.
17. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы: технический научно-производственный журнал. 2016. № 6. С. 18–23.
18. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

19. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
20. Масакбаева С. Р., Бекенов Д. К., Несмеянова Р. М. Легирование молибденом и его влияние на свойства стали // Наука и техника Казахстана. 2021. № 1. С. 13–18.
21. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. 2014. № 11. С. 15–21.
22. Молодык Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин. М. : Машиностроение, 1989. 480 с.
23. 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.
24. Протопопов Е. А., Вальтер А. И., Протопопов А. А. Обобщённая температурная зависимость ударной вязкости улучшенных низколегированных сталей // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. № 11. С. 110–116.
25. Хасуй А., Моригауи О. Наплавка и напыление. М. : Машиностроение, 1985. 239 с.
26. Шахпазов Е. Х., Зайцев А. И., Родионов И. Г. Современные проблемы металлургии и материаловедения стали // Металлург. 2009. №4. С. 25–31.
27. Gladkii P.V., Perepletchikov E.F., Ryabtsev I.A. Plasma surfacing // Welding International. 2007. vol. 21. P. 685–693.
28. Huang S., Sun D., Wang W. Microstructures and Properties of Ni Based Composite Coatings Prepared by Plasma Spray Welding with Mixed Powders // International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 2015. vol. 52. P. 36–43.

29. Perepletchikov E.F., Ryabtsev I.A. Plasma-powder surfacing of cutting tools // *Welding International*. 2010. vol. 24. P 465–468.

30. Som A.I. Iron-based alloy for plasma-powder surfacing of screw conveyors of extruders and injection molding machines // *The Paton Welding Journal*. 2016. vol. 7. P 21–25.

31. Zhu R., Gao W. Wear-resistance Performance of Spray-welding Coating by Plasma Weld-surfacing // *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition*. 2018. vol. 33. P. 414–418.