

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 Ремонт коленчатых валов поршневых авиационных двигателей

Студент

Р.А. Полуесов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

ст. преподаватель Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности восстановления коленчатых валов авиационных двигателей. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить плазменное напыление. Для повышения эффективности процесса восстановления вала предлагается внедрить разработки отечественных исследователей-сварщиков.

Выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, действие которых сопровождает применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Также рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности и проведения экологического мониторинга рассматриваемого технического объекта.

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.

Внедрение в производство предлагаемых технических решений и организационных мероприятий позволяет получить экономический эффект в размере 0,22 млн. рублей в год.

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

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Анализ состояния вопроса. . . . .	7
1.1 Описание изделия . . . . .	7
1.2 Сведения о материале изделия . . . . .	10
1.3 Описание операций базового технологического процесса восстановительной наплавки. . . . .	12
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	15
2 Построение проектной технологии восстановления коленчатого вала авиационного двигателя. . . . .	17
2.1 Обоснование выбора способа восстановления. . . . .	17
2.2 Описание установки для плазменного напыления. . . . .	22
2.3 Описание операций проектного технологического процесса. . . . .	25
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений. . . . .	29
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта . . . . .	29
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков . . . . .	30
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков. . . . .	32
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта. . . . .	34
3.5 Обеспечение экологической безопасности промышленного объекта. . . . .	36
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений. . . . .	38
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям. . . . .	38

4.2 Оценка фонда времени работы оборудования. . . . .	40
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии. . . . .	41
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам. . . . .	43
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии. . . . .	47
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	50
Заключение . . . . .	52
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	54

## Введение

В гражданской авиации на малых летательных аппаратах применение поршневых двигателей более эффективно, чем применение маломощных газотурбинных двигателей. В связи с этим остаются актуальными вопросы разработки, изготовления и ремонта деталей поршневых двигателей летательных аппаратов [2], [4], [15].

Авиационный двигатель внутреннего сгорания работает в режиме постоянных нагрузок, к которым следует отнести [1], [24]: действующие на элементы силового агрегата тепловые нагрузки; давление газов; нагрузки от предварительного натяга, который был заложен при сборке силового агрегата; нагрузки от действия сил трения и инерции; нагрузки от упругих колебаний.

При действии на деталь высоких температур можно говорить о возникновении тепловых нагрузок. При этом из-за неравномерного нагрева детали по объёму отрицательное действие тепловых нагрузок усиливается.

При работе двигателя летательного аппарата на элементы кривошипно-шатунного механизма значительное воздействие оказывают силы давления газов. При этом максимальные нагрузки действуют в точке максимального крутящего момента [5], [19].

Периодически действующие на детали двигателя изменяющиеся во времени по величине и направлению газовые и инерционные нагрузки становятся причиной возникновения нагрузок от упругих колебаний.

Описанные выше нагрузки наиболее сильно проявляют себя при резонансе, который возникает в случае совпадения частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний.

Типовой деталью поршневого авиационного двигателя является коленчатый вал, от работы которого зависит функционирование всего двигателя.

При работе коленчатого вала он испытывает действие нескольких видов нагружения: кручение, односторонний изгиб, переменный изгиб. При этом галтели выступают в роли концентраторов напряжений.

Износ коленчатого вала характеризуется несколькими этапами.

На первом этапе происходит интенсивное нарастание скорости износа, так как в этот период проходит приработка трущихся деталей. Скорость и характер протекания износа в период приработки в значительной степени определяется шероховатостью трущихся деталей и прикладываемыми нагрузками. При работе двигателя в формированном режиме износ существенно возрастает и возможно существенное уменьшение ресурса работы детали. На втором этапе происходит нормальная работа деталей с установившимся износом, который имеет стабильную и обычно малую скорость. Продолжительность эксплуатации детали на этом этапе во многом определяется своевременностью проведения технического обслуживания двигателя. На третьем этапе скорость износа резко увеличивается, так как из-за увеличения зазоров происходит нарушение механизма образования защитной масляной плёнки на трущихся поверхностях. Это предельный износ, который требует проведения ремонта двигателя [7], [24], [25].

Для восстановления коленчатых валов могут быть применены различные способы наплавки и напыления. При этом следует отдавать предпочтение перспективным способам, которые продолжают совершенствоваться отечественными исследователями-сварщиками. К таким способам относят плазменные процессы и лазерные процессы, которые позволяют получить на поверхности восстанавливаемой детали уникальное сочетание свойств, которое недоступно традиционным способам восстановления деталей машин

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления коленчатых валов поршневых авиационных двигателей.

## 1 Анализ состояния вопроса

### 1.1 Описание изделия

В поршневом авиационном двигателе коленчатый вал выполняется с применением горячей штамповки из стали. Коленчатый вал авиационного двигателя в зависимости от особенностей конструкции может иметь от четыре или шесть колен. В первом случае количество коренных подшипников равно пяти. Во втором случае количество коренных подшипников равно восьми.

Коленчатый вал с четырьмя коленами представлен на рисунке 1. Это вал турбированного двигателя АЕ-300, который устанавливается на гражданские самолёты. Двигатель АЕ-300 развивает мощность 170 лошадиных сил и представлен на рисунке 2.

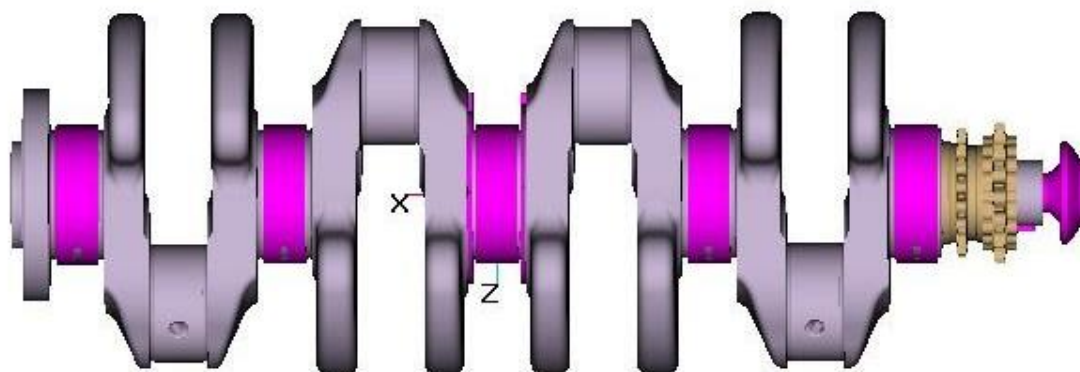


Рисунок 1 – Коленчатый вал авиационного двигателя АЕ-300

При работе коленчатый вал воспринимает периодические нагрузки, возникающие из-за действия сил инерции и газовых сил. В основном коленчатый вал изготавливают цельным, составными элементами коленчатого вала являются: щеки, противовесы, хвостовик, передний конец вала, коренные шейки, шатунные шейки.

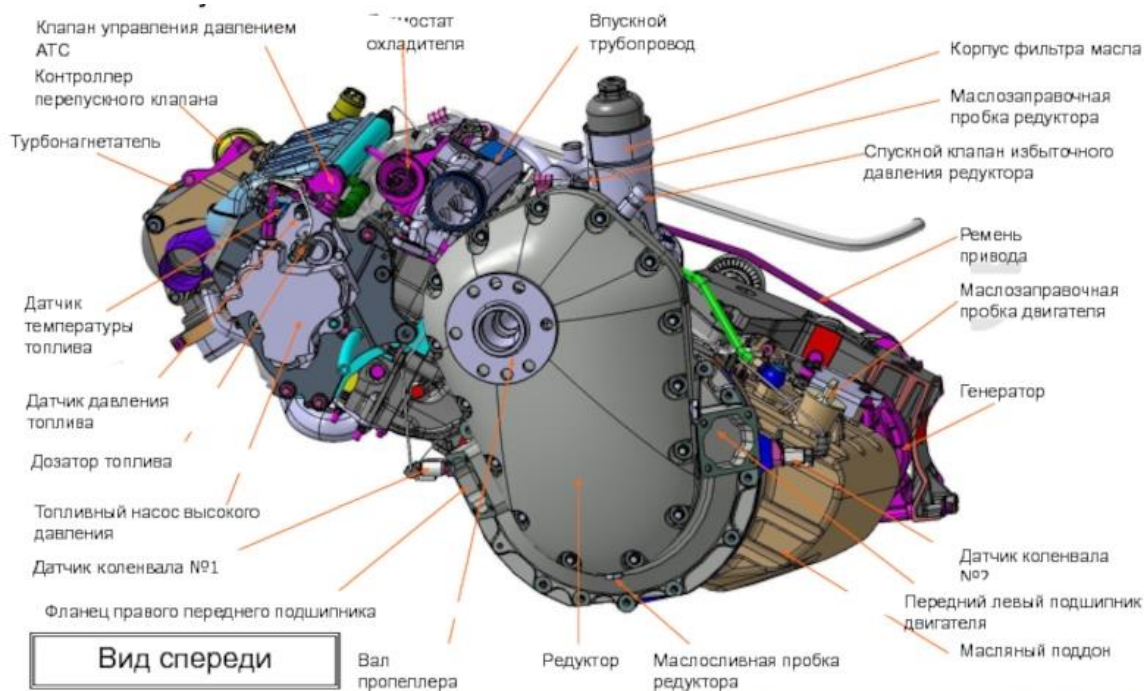
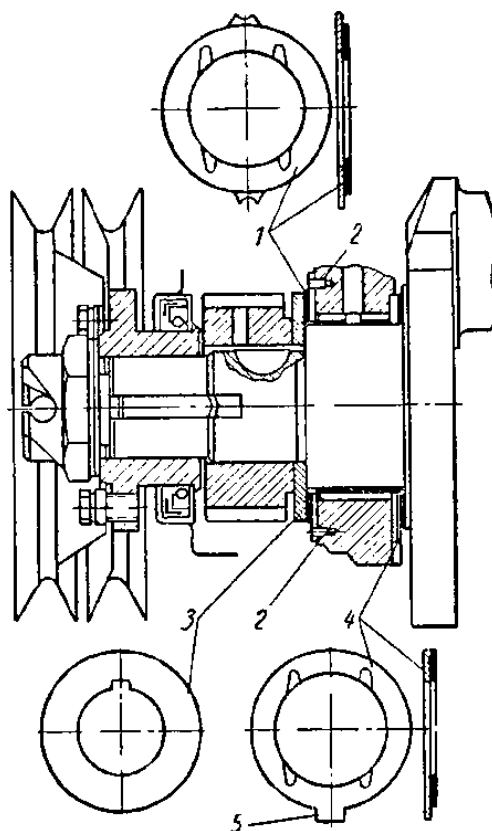


Рисунок 2 – Поршневой авиационный двигатель АЕ-300



1 – упорная шайба, 2 – штифт, 3 – упорный диск, 4 – упорная шайба, 5 – фиксирующий выступ

Рисунок 3 – Крепление вспомогательных элементов на переднем конце коленчатого вала



Передний конец коленчатого вала имеет ступенчатую форму. Такая особенность конструкции позволяет закрепить на нём различные вспомогательные элементы: гаситель крутильных колебаний, шкив привода вентилятора, распределительную шестерню, маслоотражающее устройство. Крепление вспомогательных элементов на переднем конце коленчатого вала показано на рисунке 3. Стягивание устанавливаемых на переднем конце вала устройств производится посредством гайки (наворачивается на конец вала) или болта (вворачивается в торец вала).

В процессе эксплуатации авиационного двигателя наблюдается износ коленчатого вала. В частности, снашиваются коренные и шатунные шейки, а также подшипники скольжения (вкладыши). При работе вала на его рабочих поверхностях образуется тонкая масляная плёнка за счёт масла, подаваемого насосом. В процессе эксплуатации происходит увеличение зазора между вкладышем и шейкой, в результате чего давление масла снижается, а защитная масляная плёнка перестаёт выполнять свои функции. Происходит задевание шейки за вкладыш и дальнейшее ускорение износа коленчатого вала. Степень износа шеек коленчатого вала может быть оценена по падению давления масла в системе.

Износ коленчатого вала характеризуется несколькими этапами.

На первом этапе происходит интенсивное нарастание скорости износа, так как в этот период проходит приработка трущихся деталей. Скорость и характер протекания износа в период приработки в значительной степени определяется шероховатостью трущихся деталей и прикладываемыми нагрузками. При работе двигателя в сформированном режиме износ существенно возрастает и возможно существенное уменьшение ресурса работы детали.

На втором этапе происходит нормальная работа деталей с установившимся износом, который имеет стабильную и обычно малую скорость. Продолжительность эксплуатации детали на этом этапе во многом

определяется своевременностью проведения технического обслуживания двигателя.

На третьем этапе скорость износа резко увеличивается, так как из-за увеличения зазоров происходит нарушение механизма образования защитной масляной плёнки на трущихся поверхностях. Это предельный износ, который требует проведения ремонта двигателя [7], [24], [25].

Традиционный ремонт коленчатого вала предусматривает перешлифовку изношенной шейки в ремонтный размер. Однако перешлифовка изношенных шеек может выполняться до достижения предельного значения в 4 мм. Дальнейшее снятие металла приводит к уменьшению твёрдости поверхности из-за удаления закалённого поверхностного слоя. Поэтому после износа более 4 мм следует выполнить бракование вала или восстановление размеров шейки.

## 1.2 Сведения о материале детали

Для изготовления рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе вала применяется сталь 40ХН2МА, содержание химических элементов в которой представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 40ХН2МА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0.37 - 0.44	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	1.25 - 1.65	до 0.025	до 0.025	0.6 - 0.9	0.15 - 0.25	до 0.3

За счёт повышенного содержания углерода в стали 40ХН2МА по сравнению с низкоуглеродистыми сталями обеспечивается повышение эксплуатационных свойств – прочности и износостойкости. При этом существенно ухудшается свариваемость стали 40ХН2МА, что отрицательно сказывается при восстановительной сварке и наплавке деталей из этой стали. Существенно повышается склонность к образованию холодных трещин и

горячих трещин. Также следует отметить, что при сварке стали 40ХН2МА крайне затруднительно получить равнопрочность наплавленного металла и основного металла. Быстрый нагрев и охлаждение при сварке и наплавке становится причиной получения неблагоприятной структуры металла и образования высокого уровня остаточных напряжений.

В качестве особенности холодных трещин следует указать их замедленное развитие, образование трещины 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.

Причиной образования горячих трещин является пониженная деформационная способность металла в нагретом состоянии. Переход расплавленного металла из жидкого состояния в твёрдое сопровождается уменьшением его объёма и образованием растягивающих напряжений. Сниженная деформационная способность нагретого металла приводит к растрескиванию в результате действия этих напряжений. Следует учитывать, что термическая обработка сварного шва не снижает вероятности получения горячих трещин, а наоборот, может привести к её повышению. Также вероятность образования горячих трещин существенно зависит от особенностей конструкции, так как различные её элементы могут играть роль концентраторов напряжений и способствовать образованию горячих трещин. Также следует соблюдать назначенные параметры режима сварки и технику сварки. При высокой скорости сварки вероятность образования горячих трещин повышается.

На эксплуатационные свойства стали значительное влияние оказывает размер зерна в структуре металла. При этом температура нагрева существенно влияет на размер зерна. У стали 40ХН2МА наблюдается рост зерна при температурах 900...1250 °С в экспоненциальной зависимости [12].

### 1.3 Описание операций базового технологического процесса восстановительной наплавки

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

Первой операцией является операция очистки и мойки. От правильности выполнения этой операции зависит качество восстановительной наплавки и эксплуатационные свойства восстановленной детали. Мойку валов перед восстановлением проводят в машине ТЕКНОХ LAVAPEN 4/60, которая представлена на рисунке 4. Очистка от загрязнений происходит в щелочном растворе препаратов МЛ-51 или МЛ-52, который получают растворением препаратов в воде с концентрацией 10...30 грамм на литр. Температура моющего состава задаётся 75...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.



Рисунок 4 – Моечная машина ТЕКНОХ LAVAPEN 4/60

Второй операцией восстановления вала является обжиг масла. Для обжига применяется электрическая печь, разогреваемая до температуры 400 °С. Длительность выдержки вала при отжиге в печи составляет 20 минут.

Третьей операцией является дефектовка, которая проводится путём внешнего осмотра и обмера вала. При помощи микрометра определяют величину износа поверхностей вала. Применяется базирующая призма и микрометр MS-111.

Четвёртой операцией является восстановительная наплавка поверхностей вала. Для 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.



а)



б)

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

Шестой операцией является механическая обработка наплавленных поверхностей. После наплавки и остывания вала до комнатной температуры из технологических отверстий вала удаляют асбестовые пробки и устанавливают вал на шлифовальный станок. Выполняют шлифование шеек с линейной скоростью вращения вала 0,2...0,3 метров в секунду. Значение линейной скорости вращения шлифовального круга задаётся в диапазоне 25...30 метров в секунду. Глубина шлифования составляет 0,005 мм при значении продольной подачи в диапазоне 3...8 мм на оборот. Охлаждающую жидкость подают в объёме 0,3 литра в минуту.

После раззенковки отверстий на валу проводят контроль качества восстановления. Определяют наличие недопустимых дефектов наплавки, к которым относят трещины и отслоения. Визуальный контроль проводят с применением лупы 4-кратного увеличения и индикатора ИЧ-02.

В работе [9] показано, что применение дуговой наплавки при восстановлении коленчатых валов приводит к изменению их размеров в результате возникающих напряжений и деформаций от неравномерного нагрева. При этом укорочение вала напрямую зависит от количества проведённых наплавок, как показано на рисунке 6. При таком изменении длины вала может затрудниться его установка в двигатель.

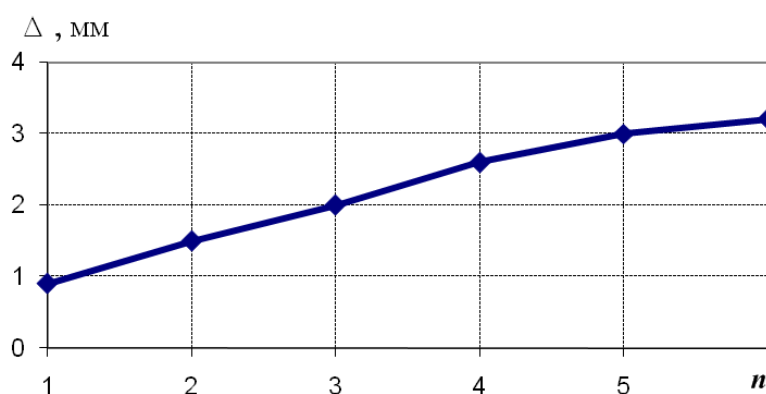


Рисунок 6 – Укорочение вала в зависимости от количества наплавок при восстановлении шейки вала [9]

Таким образом, необходимо уменьшать количество наплавок при восстановлении коленчатых валов, что достигается повышением качества наплавки и эксплуатационных свойств восстановленной детали.

## 1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящено вопросу повышения эффективности восстановления коленчатых валов авиационных двигателей.

При анализе свойств стали 40ХН2МА, из которой выполнен вал, сформулированы трудности при восстановительной сварке и наплавке, к которыми являются образование холодных и горячих трещин.

При анализе операций базового технологического процесса восстановительной наплавки вала с применением порошковой проволоки ПП–Нп–30Х5Г2СМ сформулированы недостатки. 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.

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.

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

Первой задачей выпускной квалификационной работы является обоснование выбора способа восстановления. В ходе решения этой задачи следует составить список возможных способов восстановления, применение которых по отношению к рассматриваемой детали будет эффективно. Далее необходимо рассмотреть преимущества и недостатки каждого способа. На

основе выбранных технологических критериев провести экспертную оценку способов восстановления и выбрать способ, позволяющий получить максимальную эффективность.

Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа восстановления. При этом следует рассмотреть разработки, предложенные отечественными и зарубежными исследователями – сварщиками. Основной упор следует делать на отечественные разработки, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от иностранных технологий и оборудования [16], [20].

Третьей задачей является построение проектной технологии восстановления. При этом следует дать перечень технологических операций, которые будут выполняться при осуществлении процесса. Также необходимо сформулировать требования к выполнению каждой операции и назначить параметры режима обработки, выбрать необходимое технологическое оборудование.

Четвёртой задачей, которая будет решаться в оценочном блоке является оценка экологичности предложенных в работе решений и на предмет обеспечения безопасности труда. Следует составить перечень опасных и вредных производственных факторов, предложить мероприятия и технические средства для их уменьшения или устранения, дать рекомендации по снижению экологических рисков [6], [10].

Пятой задачей является оценка возможного экономического эффекта при внедрении предлагаемых решений в производство. Для этого следует рассчитать себестоимость производства при использовании базовой и проектной технологии, рассчитать и сравнить экономические показатели и сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [17], [18].



## 2 Построение проектной технологии восстановления коленчатого вала авиационного двигателя

### 2.1 Обоснование выбора способа восстановления

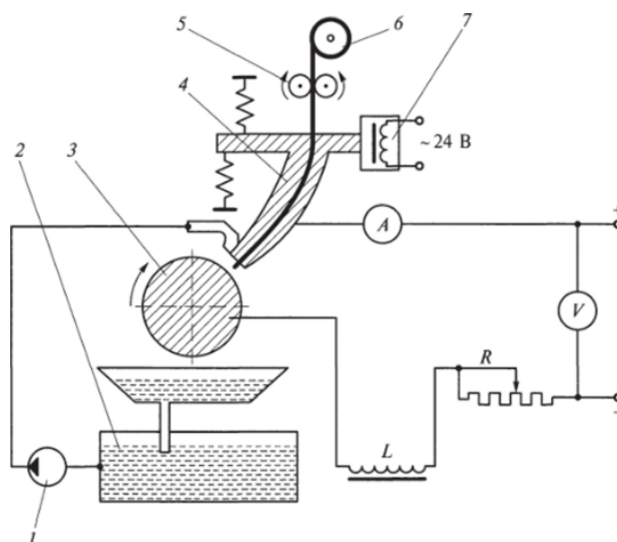
При выборе способа восстановления деталей машин необходимо руководствоваться технологическими критериями [11], [21], [22]. В качестве таких критериев выступают представленные в таблице 2 коэффициенты износостойкости, выносливости и сцепляемости. Анализ данных таблицы 2 позволяет рекомендовать для рассматриваемой восстанавливаемой детали такие способы: «вибродуговая наплавка; наплавка в среде углекислого газа; газопламенное напыление; плазменное напыление; плазменная наплавка» [21].

Таблица 2 – Оценка способов восстановления деталей машин согласно [22]

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» [22]	0,8...1,0	1,0	1,0

Вибродуговая наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 7, предполагает применение электрода плавящегося диаметром 1,5...2 мм, на который накладывают колебания амплитудой 0,5...1 мм и частотой 30...100 Гц. Такие колебания периодически инициируют процесс короткого замыкания электрода на изделие, в ходе которого часть расплавленного электрода переходит на восстанавливаемое изделие, формируя на нём наплавленный слой. При вибродуговой наплавке существенно снижается нагрев детали и повышается твёрдость наплавленного слоя.

В качестве недостатка вибродуговой наплавки следует указать высокую твёрдость наплавленного металла и наличие в нём пор. Также при вибродуговой наплавке структура наплавленного металла неоднородна, что приводит к непостоянству эксплуатационных свойств по восстанавливаемой поверхности. Наплавленный таким способом слой имеет высокий уровень остаточных напряжений.



1 – «насос; 2 – бак; 3 – деталь; 4 – мундштук; 5 – механизм подачи; 6 – кассета; 7 – вибратор; А – амперметр; V – вольтметр; R – реостат; L – дроссель замыкания электродной проволоки и детали» [19]

Рисунок 7 – Схема выполнения вибродуговой наплавки

Наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 8, 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.

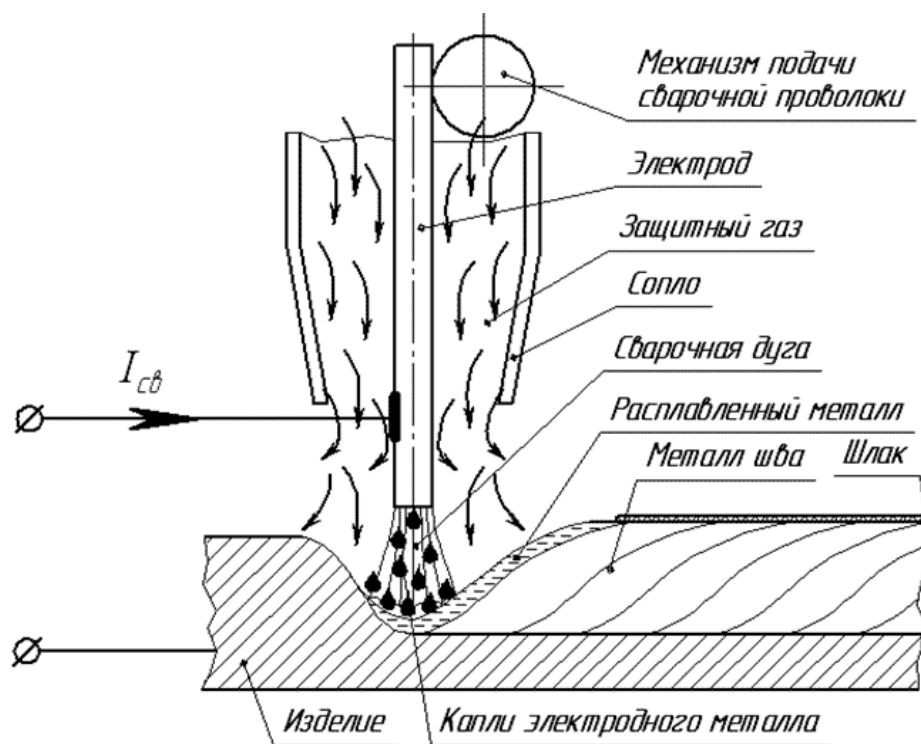


Рисунок 8 – Схема наплавки в защитных газах

Следует отметить недостатки наплавки проволокой сплошного сечения в защитных газах. Первым недостатком является высокое разбрызгивание электродного металла при применении форсированных режимов. Вторым недостатком является высокая стоимость и сложность изготовления проволоки сплошного сечения при необходимости использования проволоки со специфическим химическим составом. Третьим недостатком является 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.

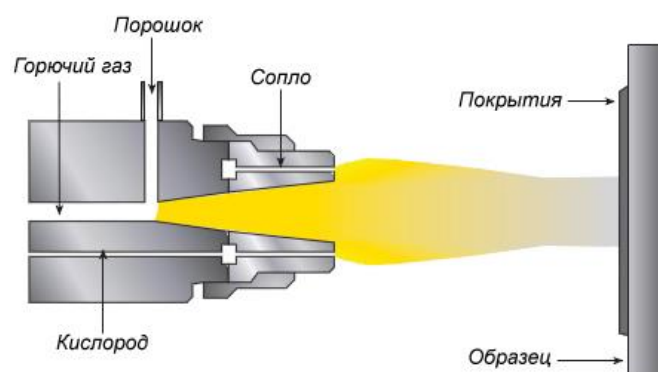


Рисунок 9 – Схема газопламенного напыления

Преимуществами газопламенного напыления являются малое тепловое воздействие на восстанавливаемую деталь, простота и дешевизна применяемого оборудования, высокая производительность и сопротивляемость нанесённого слоя износу [11], [21].

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.

На рисунке 7 представлена схема выполнения плазменного напыления, которое характеризуется большей концентрацией тепла и скоростью струи, чем газопламенное напыление. При использовании этого способа существует возможность нанесения специализированных покрытий на основе тугоплавких металлов (вольфрам, тантал, молибден).

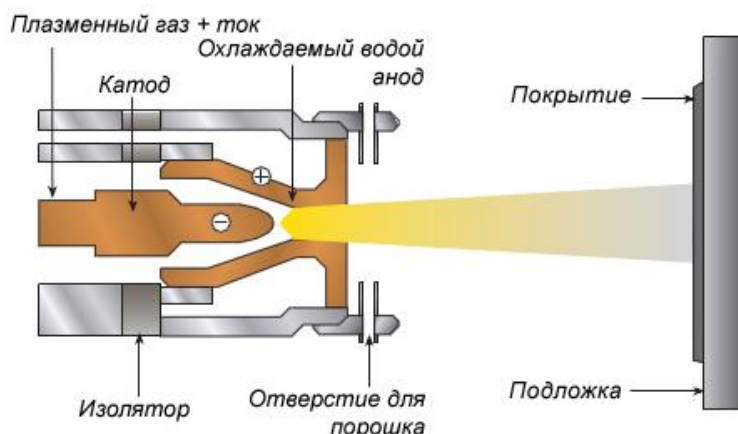
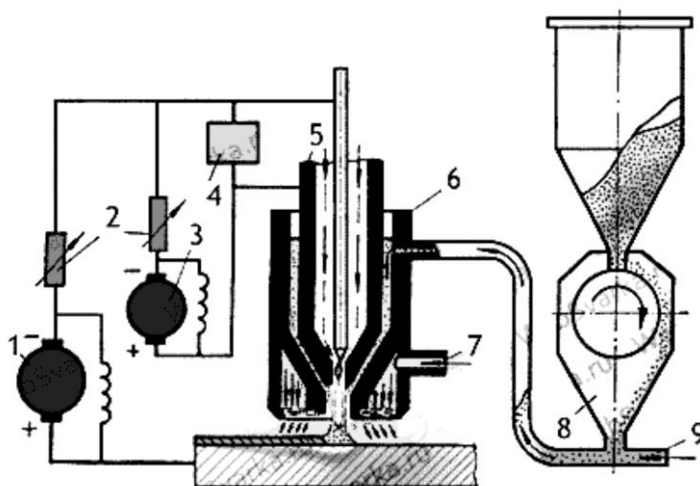


Рисунок 10 – Схема выполнения газоплазменного напыления

При плазменном напылении частицы присадочного порошка, попадая в плазменную струю, нагреваются и переходят в пластическое состояние. Размер частиц порошка составляет 40...70 мкм. За счёт высокой скорости истечения плазменной струи полурасплавленные частицы порошка получают значительную кинетическую энергию, при соударении такой разогнанной частицы порошка с поверхностью детали происходит расплющивание частицы и её внедрение в материал поверхности. При плазменном напылении применяется дуга косвенного действия.

На рисунке 11 представлена схема выполнения плазменной наплавки, применение которой при восстановлении деталей машин позволяет получать самую высокую производительность, достигающую 6 кг в час. 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.



1 – «источник питания дуги прямого действия; 2 – балластные сопротивления; 3 – источник питания дуги косвенного действия; 4 – осциллятор 5 – сопло для плазмообразующего газа; 6 – корпус горелки; 7 – отверстие для ввода защитного газа; 8 – питатель для подачи порошка; 9 – трубка, по которой подается газ, несущий порошок» [19]

Рисунок 11 – Схема выполнения плазменной наплавки

На основании сформулированных ранее преимуществ и недостатков каждого способа следует выполнить экспертную оценку по критериям, сформулированным в работах [3], [8], [13].

В качестве критериев оценки выступают:

- стоимость применяемого в технологическом процессе оборудования и материалов,
- производительность процесса восстановления,
- качество проводимых работ и дефектность,
- условия труда сварщика,
- эксплуатационные качества восстановленного изделия после выполнения ремонтных работ,
- интегральная экономическая эффективность способа восстановления.

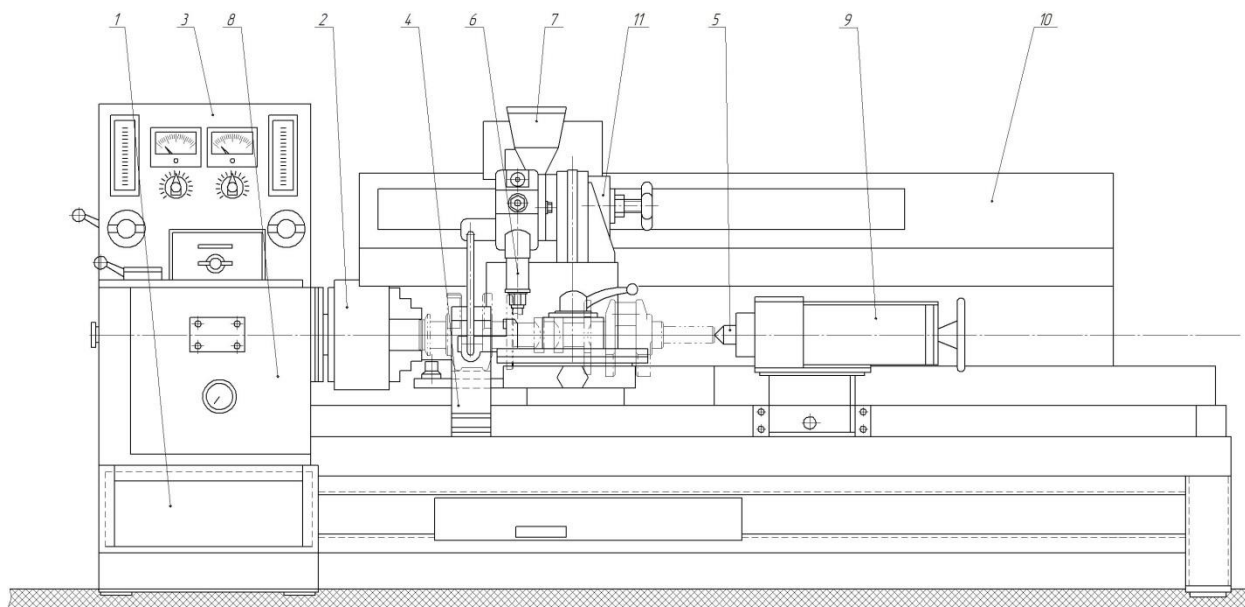
На основании вышеизложенного проектную технологию восстановления предлагается строить на базе плазменного напыления.

## **2.2 Описание установки для плазменного напыления**

На рисунке 12 представлена установка для плазменного нанесения покрытий, которая выполнена на базе токарного станка А364. В состав установки входит станина (обозначена на схеме позицией 1), вращатель (обозначен на схеме позицией 2), пульт управления (обозначен на схеме позицией 3) и суппорт (обозначен на схеме позицией 4). Плазматрон, который на схеме обозначен позицией 6, устанавливается на приспособление для крепления (обозначено на схеме позицией 11). Для защиты персонала от излучения дуги в установке предусмотрен защитный экран (обозначен на схеме позицией 10). Порошок в плазматрон поступает из бункера (обозначен на схеме позицией 7). Вращение детали обеспечивается приводом (обозначен

на схеме позицией 8), а поджатие детали обеспечивается задней бабкой (обозначена на схеме позицией 9).

На рисунке 13 представлена функциональная схема приспособления для крепления плазматрона.

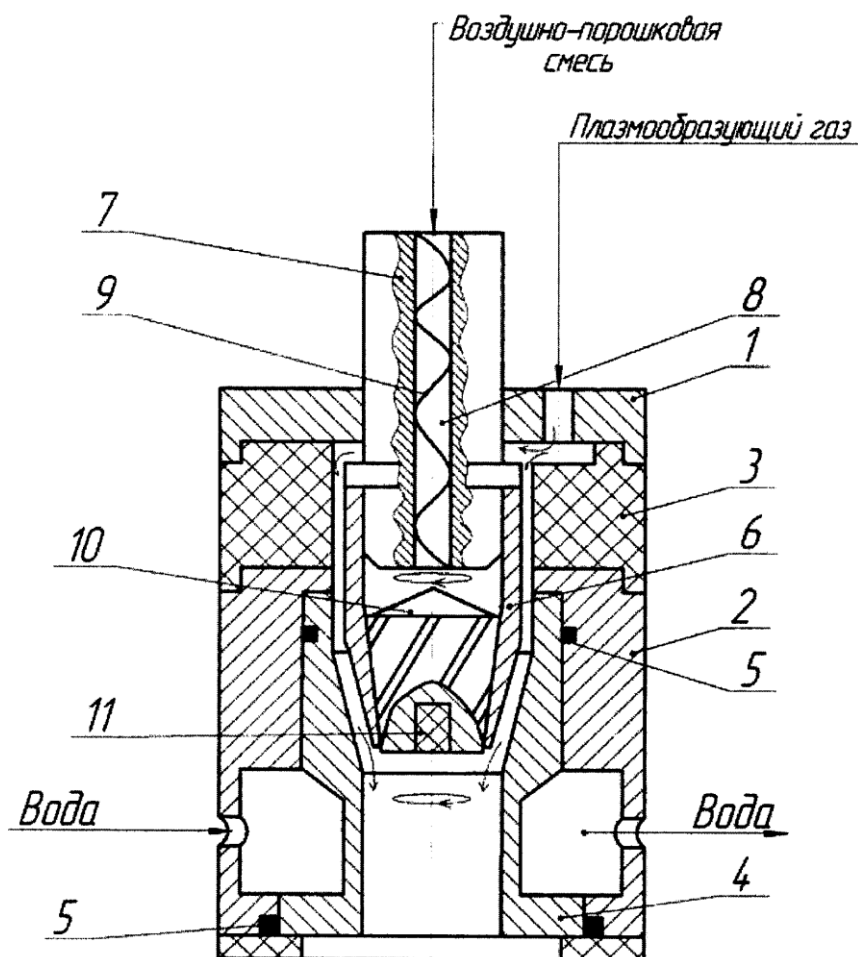


1 – станина; 2 – вращатель; 3 – пульт управления; 4 – суппорт; 5 – пиноль; 6 – сварочный пистолет; 7 – бункер для порошка; 8 – привод; 9 – бабка задняя; 10 – защитный экран; 11 – приспособление установочное

Рисунок 12 – Установка для плазменного нанесения покрытий

Для расширения технологических возможностей плазменного нанесения покрытия в проектной технологии предлагается использовать плазматрон, разработанный отечественными инженерами [23]. На рисунке 13 представлена функциональная схема плазматрона, в которую входят катодный и анодный узлы (обозначены на схеме позициями 1 и 2), которые разделены между собой вставкой (обозначена на схеме позицией 3). В анодном узле 2 установлено водоохлаждаемое электропроводящее сопло (обозначено на схеме позицией 4), уплотнение которого выполнено при помощи резиновых колец (обозначены на схеме позицией 5). В катодном узле 1 размещается катод с воздушным охлаждением (обозначен на схеме позицией 6), крепление которого выполнено с применением штуцера-катододержателя (обозначен на схеме позицией 7). В центральный канал (обозначен на схеме позицией 8) вставлен завихритель (обозначен на схеме

позицией 9). В дуговом канале сопла 4 установлен дополнительный завихритель (обозначен на схеме позицией 10), который придаёт газопорошковой смеси вращательное движение. На конце дополнительного завихрителя 10 размещена термостойкая вставка (обозначена на схеме позицией 11).



1 – катодный узел, 2 – анодный узел, 3 – изоляционная вставка, 4 – электропроводящее сопло, 5 – резиновые кольца, 6 – воздушно-охлаждаемый катод, 7 – штуцер-катододержатель, 8 – центральный канал, 9 – завихритель, 10 – дополнительный завихритель, 11 – термостойкая вставка

Рисунок 13 – Схема плазматрона

Применение плазматрона предлагаемой конструкции позволяет получить производительность восстановительных процессов по порошку 7,64 кг в час. При этом коэффициент полезного действия по порошку составляет 81 %, а по плазменной струе 54 %.



## 2.3 Описание операций проектного технологического процесса

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

Первой операцией является операция очистки и мойки. От правильности выполнения этой операции зависит качество восстановления детали и эксплуатационные свойства восстановленной детали. Мойку валов перед восстановлением проводят в машине ММА1, которая представлена на рисунке 14. Очистка от загрязнений происходит в щелочном растворе препарата МЛ-51, который получают растворением препаратов в воде с концентрацией 10...30 грамм на литр. Температура моющего состава задаётся 75...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.

Второй операцией восстановления вала является обжиг масла. Для обжига применяется электрическая печь, представленная на рисунке 15. Печь разогревается до температуры 400 °С. Длительность выдержки вала при отжиге в печи составляет 20 минут.



Рисунок 14 – Моечная машина ММА1



Рисунок 15 – Печь камерная СНО-120/12

Третьей операцией является дефектовка, которая проводится путём внешнего осмотра и обмера вала. При помощи микрометра определяют величину износа поверхностей вала. Применяется базирующая призма и микрометр MS-111.

На четвёртой операции прочищают масляные каналы, раззенковывают отверстия и затыкают их асбестовыми пробками.

На пятой операции выполняют дробеструйную обработку поверхности вала. Эта операция введена в проектный технологический процесс для улучшения соединения напыляемого слоя к основе детали. Применяют дробемётную камеру Q-3210, которая представлена на рисунке 16.



Рисунок 16 – Дробемётная установка Q-3210

На шестой операции выполняют напыление. Сначала наносится подслой с применением порошка ПТ-НА-01. Далее наносят несколько слоёв смесью порошков ПН85Ю15М и Х17СР1 с различным соотношением компонентов. Первый слой: 95 % ПН85Ю15М + 5 % Х17СР1, второй слой: 90 % ПН85Ю15М + 10 % Х17СР1, третий слой: 85 % ПН85Ю15М + 15 % Х17СР1, четвёртый слой: 80 % ПН85Ю15М + 20 % Х17СР1, пятый слой: 75 % ПН85Ю15М + 25 % Х17СР1. Сама операция представлена на рисунке 17.



Рисунок 17 – Плазменное нанесение покрытия при восстановлении вала

При напылении принимают параметры режима: ток 315 А, напряжение на дуге 65 В, расход защитного газа (азота) принимают 0,5 литра в минуту. Расход плазмообразующего газа (аргон) и защитного газа (аргон) принимают 1,5 литра в минуту. Присадочный порошок должен быть фракции 60 мкм.

Седьмой операцией является механическая обработка восстановленных поверхностей. После напыления и остывания вала до комнатной температуры из технологических отверстий вала удаляют асбестовые пробки и устанавливают вал на шлифовальный станок. Выполняют шлифование шеек с линейной скоростью вращения вала 0,2...0,3 метров в секунду. Значение линейной скорости вращения шлифовального круга задаётся в диапазоне 25...30 метров в секунду. Глубина шлифования составляет 0,005 мм при значении продольной подачи в диапазоне 3...8 мм на оборот. Охлаждающую жидкость подают в объёме 0,3 литра в минуту.

После раззенковки отверстий на валу проводят контроль качества восстановления. Определяют наличие недопустимых дефектов нанесённого слоя, к которым относят трещины и отслоения. Визуальный контроль проводят с применением лупы 4-кратного увеличения и индикатора ИЧ-02.

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 [6], [10].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [17], [18].

### **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 коленчатых валов авиационных двигателей. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить плазменное напыление. Для повышения эффективности процесса восстановления вала предлагается внедрить разработки отечественных исследователей-сварщиков.

При осуществлении проектной технологии восстановления вала предусматривается последовательное выполнение операций в соответствии с предлагаемым в работе технологическим процессом.

Укрупнённо проектный технологический процесс восстановления вала можно условно разделить на пять операций. Особенности выполнения операций и применяемого технологического оборудования представлены в таблице 3. Первая операция – подготовительная, она выполняется с применением печи, ванны с моющим раствором, пневматического пистолета в комплекте с компрессором, сверлильного станка. Вторая операция – напыление, она выполняется с применением установки для плазменного нанесения покрытий и дробеструйного аппарата. Третья операция – механическая обработка, она выполняется с применением шлифовального станка и сверлильного станка. Четвёртая операция – контроль качества, она выполняется с применением набора визуально-измерительного контроля и измерительных инструментов. Пятая операция – пропитка маслом, она выполняется с применением масляной ванны.

Таблица 3 – Технологический паспорт технического объекта

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования	Применяемые материалы и вещества
1. «Подготовительная»	Инженер - дефектоскопист, слесарь-сборщик	Печь термообработки, ванна моющего раствора, сверлильный станок, пневмопистолет	Щелочной раствор, вода техническая, воздух сжатый
2. Напыление	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка плазменного напыления, источник питания	Порошки для плазменного напыления, азот, аргон
3. Механическая обработка	Токарь-фрезеровщик	Станок шлифовальный, станок сверлильный	СОЖ
4. Выходной контроль	Инженер - дефектоскопист	Лупа, микрометр, призма, индикатор	-
5. Пропитка в масле» [21]	Инженер - дефектоскопист	Ванна масляная	Масло М63Г

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 3 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, источником которых являются опасные и вредные факторы. Наличие этих

факторов обусловлено особенностями выполнения каждой операции технологического процесса, которые были рассмотрены выше. В таблице 4 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков.

В данном случае источниками возникновения производственных рисков становится технологическое оборудование, размещённое на участке восстановления: печь для термической обработки, воздушный компрессор, шлифовальный станок, сверлильный станок, установка для пламенного нанесения покрытий.

Таблица 4 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование операции в соответствии с проектным процессом	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
1. Подготовка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур</li> </ul>
2. Напыление	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур</li> </ul>
3. Механическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование</li> </ul>
4. Выходной контроль	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев</li> </ul>
5. Пропитка в масле	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев</li> </ul>

На основании результатов исследований проектного технологического процесса на предмет выявления производственных и профессиональных рисков, которые представлены в таблице 4, 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.

Выявленные негативные факторы ранее возникали в других технологических процессах, являются известными и могут быть устранены.

Дальнейшие работы предусматривают обоснование выбора стандартных методик и технических средств. В крайнем случае, необходимо будет предусмотреть разработку специализированных методик.

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

Ранее выполненная идентификация профессиональных рисков, представленная в таблице 4, позволяет выработать решения по обеспечению безопасности производственного процесса, которые представлены в таблице 5.



Таблица 5 – 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 5 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса. Анализ данных в таблице 5 позволяет заключить, что устранение влияния негативных производственных факторов или их снижение до приемлемого уровня может быть выполнено путём применения стандартных методик и технических решений.

### 3.3 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

В процессе осуществления проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов существует опасность возникновения пожара. При этом необходимо принимать во внимание, 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 6.

На основании данных таблицы 6 возможный пожар, который может произойти на рассматриваемом производственном участке, относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения.

Таблица 6 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется восстановление деталей
Наименование оборудования	Печь для термической обработки, воздушный компрессор, шлифовальный станок, сверлильный станок, установка для пламенного нанесения покрытий.
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 и вокруг него.
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. В таблице 7 приведены технические средства по устранению этих факторов.

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.

Таблица 7 – 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
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые 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 Обеспечение экологической безопасности промышленного объекта

Реализация предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений приводит к возникновению негативного антропогенного действия на окружающую среду. Следование мировой экологической повестки заставляет современное предприятие проводить мероприятия по обеспечению экологической безопасности производственных процессов. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы. В таблице 8 приведены негативные воздействия на окружающую среду, которые возникают при выполнении операций проектного технологического процесса.

Таблица 8 – Идентификация негативных экологических факторов

Операция	атмосфера	гидросфера	литосфера
1. Подготовка	-	-	частицы упаковки, бытовой мусор
2. Напыление	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
3. Механическая обработка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
4. Выходной контроль	вредные испарения	-	частицы упаковки, бытовой мусор
5. Пропитка в масле	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор

На основании анализа данных в таблице 8 могут быть 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 технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [6]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [6]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [6]

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 коленчатых валов авиационных двигателей. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить плазменное напыление. Для повышения эффективности процесса восстановления вала предлагается внедрить разработки отечественных исследователей-сварщиков. При осуществлении проектной технологии восстановления вала предусматривается последовательное выполнение операций в соответствии с предлагаемым в работе технологическим процессом.

Реализация предложенных в настоящей выпускной квалификационной работе технических и организационных решений требует затрат финансовых и трудовых ресурсов. Исходя из этого в настоящем разделе следует выполнить оценку затрат на выполнение операций технологического процесса в проектном варианте и операций технологического процесса в базовом варианте. На основании сравнения рассчитанных затрат необходимо рассчитать показатели экономической эффективности предлагаемых решений и сделать вывод о целесообразности внедрения результатов настоящей выпускной квалификационной работы в производство.

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	$P_p$	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	250	250
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	$K_{вн}$	-	1,03	1,03
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	1500 тыс.	2000 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	12	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» [17]	$K_{зав}$	-	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  $B=7\%$ :

$$F_э = F_H(1-B/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$  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:  $t_{шт.баз} = 0,35 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,42$  часа и  $t_{шт.проектн.} = 0,18 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,22$  часа.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $\Pi_{г.баз.} = 2054/0,42 = 4890$  деталей для базового технологического процесса и  $\Pi_{г.пр.} = 2054/0,22 = 9336$  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  $\Pi_{г} = 1000$  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  $K_{вн} = 1,03$ . Выполняем расчёт:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $n_{расч} = 0,42 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,19$  для базового варианта технологического процесса;  $n_{расч} = 0,22 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,1$  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  $K_з$  для базового и проектного вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $K_з = 0,19 / 1 = 0,19$  для базового варианта технологического процесса и  $K_з = 0,1 / 1 = 0,1$  для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования  $K_з$  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  $\Pi_M$  и нормы расходов материалов  $H_p$  по формуле:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $M=3000 \cdot 0,08 \cdot 1,05 = 252$  рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса:  $M=2500 \cdot 0,1 \cdot 1,05 + 30 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 348$  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  $K_d = 1,88$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $З_{осн} = 0,42 \cdot 250 \cdot 1,88 = 198$  рублей для базового варианта технологического процесса и  $З_{осн} = 0,22 \cdot 250 \cdot 1,88 = 103$  рублей для проектного варианта технологического процесса.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $З_{доп} = 198 \cdot 12 / 100 = 24$  рублей для операций базового

технологического процесса и  $Z_{\text{доп}} = 103 \cdot 12 / 100 = 12$  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:  $\text{ФЗП} = 198 + 24 = 221$  рублей для операций базового технологического процесса и  $\text{ФЗП} = 103 + 12 = 116$  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:  $O_{\text{сн}} = 221 \cdot 34 / 100 = 75$  рублей для операций базового технологического процесса и  $O_{\text{сн}} = 116 \cdot 34 / 100 = 39$  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  $\text{Ц}_{\text{об}}$ .

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $A_{об.} = 1500000 \cdot 21,5 \cdot 0,42 / 2054 / 100 = 66$  рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии:  $A_{об.} = 2000000 \cdot 21,5 \cdot 0,22 / 2054 / 100 = 46$  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:  $P_{ээ} = 12 \cdot 0,42 \cdot 3,4 / 0,7 = 24$  рублей для базового варианта технологического процесса,  $P_{ээ} = 40 \cdot 0,22 \cdot 3,4 / 0,7 = 37$  рублей для проектного технологического процесса.

Некоторое повышение затрат на электрическую энергию по проектной технологии по сравнению с затратами на электрическую энергию по базовой технологии объясняется тем, что была выполнена оптимизация параметров режима сварки. При этом критерием оптимизации являлась прочность сварного соединения. В результате наблюдается некоторое повышение затрат электрической энергии при осуществлении операция по проектному технологическому процессу по сравнению с операциями по базовому технологическому процессу.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование:  $Z_{об} = 66 + 24 = 90$  рублей по базовому технологическому процессу и  $Z_{об} = 46 + 37 = 83$  рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости  $C_{тх}$  определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы  $M$ , отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$ , фонда заработной платы  $\Phi ЗП$ , затрат на производственные площади  $Z_{пл}$  и затрат на оборудование  $Z_{об}$ :

$$C_{\text{тех}} = M + \PhiЗП + \text{Осс} + З_{\text{пл}} + З_{\text{Об}} . \quad (14)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{\text{тех}} = 252 + 221 + 75 + 90 + 36 = 674$  рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса  $C_{\text{тех}} = 348 + 116 + 39 + 83 + 19 = 605$  рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{\text{цех}} = 674 + 1,5 \cdot 197 = 674 + 296 = 971$  рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса  $C_{\text{цех}} = 605 + 1,5 \cdot 103 = 605 + 155 = 760$  рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $C_{\text{зав}} = 971 + 1,15 \cdot 197 = 971 + 227 = 1198$  рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса  $C_{\text{зав}} = 760 + 1,15 \cdot 103 = 760 + 119 = 879$  рублей.

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

Данные, представленные в таблице 11, позволяют судить о высокой эффективности проектной технологии, которая позволяет уменьшить заводскую себестоимость относительно базовой технологии.

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>	252	347
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	221	116
3. Отчисления на соц. нужды	<i>О<sub>СН</sub></i>	75	39
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	90	83
5. Затраты на площади	<i>Зпл</i>	36	19
5. Технологическая себестоимость	<i>С<sub>тех</sub></i>	674	605
6. Цеховые расходы	<i>Р<sub>цех</sub></i>	296	115
7. Цеховая себестоимость	<i>С<sub>цех</sub></i>	970	760
8. Заводские расходы	<i>Р<sub>зав</sub></i>	227	119
9. Заводская себестоимость» [17]	<i>С<sub>зав</sub></i>	1198	879

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  $\Pi_{об.б.} = 1500000 - (1500000 \cdot 3 \cdot 21,5/100) = 532500$  рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{общ. б.} = 1 \cdot 532500 \cdot 0,19 = 101175$  рублей.

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

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

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  $K_{тз}=1,05$ , цены оборудования  $\Pi_{об}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{з}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{об.пр.} = 2000000 \cdot 1,05 \cdot 0,1 = 210000$  рублей.

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

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

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



Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{дем}} = 1 \cdot 1500000 \cdot 0,05 = 75000$  рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{монт}} = 2000000 \cdot 0,05 = 100000$  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  $P_{\text{соп}} = 75000 + 100000 = 175000$  рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}} = 210000 + 175000 = 385000$  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  $K_{\text{доп}} = 385000 - 101175 = 283825$  рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы  $\Pi_{\text{г}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{уд}} = 101175/1000 = 101$  рублей за единицу продукции по базовой технологии и  $K_{\text{уд}} = 385000/1000 = 385$  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  $\Delta t_{шт}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta t_{шт} = (0,42 - 0,22) \cdot 100 \% / 0,42 = 48 \%$ .

Повышение производительности  $\Pi_T$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Pi_T = 100 \cdot 48 / (100 - 48) = 92 \%$ .

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta C_{тех} = (678 - 605) \cdot 100\% / 678 = 10 \%$ .

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Pi_{ож} = (1197,59 - 878,59) \cdot 1000 = 319000$  рублей.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $T_{ок} = 283825 / 319000 = 0,8$  года.

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

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta \Gamma = 319000 - 0,33 \cdot 283825 = 225337$  руб.

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

При внедрении предлагаемых решений наблюдается некоторое увеличение расходов на оборудование, что связано с повышением стоимости оборудования. Однако наблюдается расширение технологических возможностей оборудования, которое проявляется в повышении качества выпускаемой продукции, производительности труда и снижении расходов на материалы. Таким образом, внедрение в производство результатов настоящей выпускной квалификационной работы позволяет получить положительный экономический эффект.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Производительность труда повышается на 92 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 10 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,22 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,8 года.

Вышеизложенное позволяет судить о высокой эффективности настоящей выпускной квалификационной работы.

## Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности восстановления коленчатых валов авиационных двигателей.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа восстановления, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить плазменное напыление. Для повышения эффективности процесса восстановления вала предлагается внедрить разработки отечественных исследователей-сварщиков.

При осуществлении проектной технологии восстановления вала предусматривается последовательное выполнение операций в соответствии с предлагаемым в работе технологическим процессом. Укрупнённо проектный технологический процесс восстановления вала можно условно разделить на пять операций. Первая операция – подготовительная, она выполняется с применением печи, ванны с моющим раствором, пневматического пистолета в комплекте с компрессором, сверлильного станка. Вторая операция – напыление, она выполняется с применением установки для плазменного нанесения покрытий и дробеструйного аппарата. Третья операция – механическая обработка, она выполняется с применением шлифовального станка и сверлильного станка. Четвёртая операция – контроль качества, она выполняется с применением набора визуально-измерительного контроля и измерительных инструментов. Пятая операция – пропитка маслом, она выполняется с применением масляной ванны.

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.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 92 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 10 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,22 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,8 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.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авчинников Б. Е. Основные виды и закономерности изнашивания авиационных деталей. М. : МИИ ГА, 1980. 56 с.
2. Барзилович Е. Ю., Савенков М. В. Статистические методы оценки состояния авиационной техники. М. : Транспорт, 1987. 240 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. Беда П. И. Дефектоскопия деталей при эксплуатации авиационной техники, производственно-практическое издание. М. : Воениздат, 1978. 231 с.
5. Бейлин Л. А., Назаров Ю. В., Железняк И. И. Ремонт самолётов, вертолётов и авиационных двигателей. М. : Транспорт, 1979. 264 с.
6. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
7. Бессуднов И. А. Совершенствование технологии ремонта газотурбинных авиационных двигателей с использованием ресурсосберегающих технологий. Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. 2014. Рыбинск
8. Васильев Н. Г., Галиев И. И., Васильева Т. Н. Выбор способа восстановления изношенных деталей // Сварочное производство. 1996. № 7. С. 13–15.
9. Вигерина Т. В. Влияние наплавки на длину коленчатого вала при восстановлении // Вестник БНТУ. 2011. № 6. С. 14–18.
10. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
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. Заяц Л. П., Панов Д. О., Симонов Ю. Н. Исследование процессов формирования структуры аустенита в сталях различных систем легирования // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2011. № 7. С. 54–61.

13. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 9–17.

14. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.

15. Косточкин В. В. Надёжность авиационных двигателей и силовых установок. М. : Машиностроение, 1988. 272 с.

16. 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.

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

18. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

19. Лозовский В. Н., Бондал Г. В., Каксис А. О. Диагностика авиационных деталей. М. : Машиностроение, 1988. 280 с.

20. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. 2014. № 11. С. 15–21.

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

22. 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.

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

24. Смирнов Н. Н., Ицкович А. А. Обслуживание и ремонт  
авиационной техники по состоянию. М. : Транспорт, 1980. 229 с.

25. Ямпольский В. И., Белоконь Н. И., Пилипосян Б. Н. Контроль и  
диагностирование гражданской авиационной техники. М. : Транспорт,  
1990. 182 с.