

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 Технологический процесс восстановления вала главного редуктора  
вертолёта

Студент

О.М. Зуева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов

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

Консультанты

к.т.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2022

## Аннотация

В настоящее время предложены и продолжают разрабатываться наплавочные материалы и технологии, позволяющие не только восстановить геометрию и свойства детали, но и значительно повысить её эксплуатационные свойства.

Следует отметить возрастающую важность реновационных технологий с учётом настоящего политического и экономического состояния мировой экономики и российской экономики в частности. Мировой экономический кризис приводит к недостатку в Российской Федерации комплектующих иностранного производства, что делает необходимым разборку авиационной техники на запчасти для ремонта других единиц авиационной техники.

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления вала главного редуктора вертолёт.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- выбора способа восстановительной наплавки рассматриваемой детали,
- построения проектной технологии ремонтной сварки,
- назначения оптимальных параметров наплавки и выбор материалов для наплавки.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной наплавки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитан годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы могут быть использованы для восстановления деталей машин.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние ремонта валов авиационной техники. . . . .	7
1.1 Описание конструкции и дефектов изделия. . . . .	7
1.2 Сведения о материале изделия и сложности наплавки. . . . .	12
1.3 Сведения о базовой технологии восстановительной наплавки вала. . . . .	17
1.4 Анализ преимуществ и недостатков базовой технологии, формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	21
2 Проектная технология восстановительной наплавки валов. . . . .	23
2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки. . . . .	23
2.2 Обоснование выбора наплавочного материала. . . . .	29
2.3 Описание операций технологического процесса восстановления вала. . . . .	32
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы. . . . .	38
3.1 Технологическая характеристика объекта . . . . .	38
3.2 Идентификация профессиональных рисков . . . . .	40
3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов. . . . .	41
3.4 Пожарная безопасность на производстве. . . . .	43
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии. . . . .	45
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений. . . . .	48
4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности. . . . .	48
4.2 Расчёт объёмов фонда времени. . . . .	50
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	51
4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов	

технологии. ....	53
4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии. ....	57
4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии. ....	59
Заключение . . . . .	63
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	65

## Введение

Анализ критических дефектов на отбракованных деталях показывает, что примерно 52 % из них имеют износ поверхности, который выражается в уменьшении толщины или диаметра. Нарушение геометрии вследствие ударных воздействий наблюдается у 13 % деталей. Ещё 9 % приходится на детали с изломами и трещинами. На основании этого можно предположить, что значительная часть вышедших из строя деталей машин могут быть восстановлены, так как уменьшение толщины или диаметра исправляется современными методами наплавки и напыления.

Проведённые отечественными и зарубежными учеными-сварщиками исследования в области восстановления деталей машин (Н.Н. Рыкалин, Е.О. Патон, Ю.П. Шарпеев, Г.И. Зеленков, В.В. Ефремов) позволяют утверждать, что сварочные технологии играют значительную роль при построении технологии реновации.

В настоящее время предложены и продолжают разрабатываться наплавочные материалы и технологии, позволяющие не только восстановить геометрию и свойства детали, но и значительно повысить её эксплуатационные свойства.

Ремонтные предприятия оснащены необходимыми технологиями и оборудованием для оперативного восстановления изношенных деталей машин. В качестве примера можно привести технологию хромирования, применение которой позволяет существенно повысить износостойкость деталей по сравнению с покупными. В результате достигается многократное продление срока службы, удовлетворение современного запроса на энергосбережение и ресурсосбережение современного производства.

Детали машин, которые имеют значительную стоимость или их изготовление требует применения импортного оборудования и материалов, могут быть восстановлены многократно, что позволяет достигнуть современной промышленностью импортнезависимости.

К таким деталям следует отнести валы редукторов вертолётов. Вопрос восстановления таких деталей имеет не только экономический, но и стратегический аспект.

Вал редуктора вертолёта выполняют из стали 12Х2Н4А.

Следует отметить возрастающую важность реновационных технологий с учётом настоящего политического и экономического состояния мировой экономики и российской экономики в частности. Мировой экономической кризис приводит к недостатку в Российской Федерации комплектующих иностранного производства, что делает необходимым разборку авиационной техники на запчасти для ремонта других единиц авиационной техники. Кроме того, для изготовления деталей и узлов отечественного производства также зачастую требуются оборудование и материалы иностранного производства, параллельный импорт которых не может полностью удовлетворить потребности российской авиации.

С учётом вышеизложенного очевидной становится цель настоящей выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления вала главного редуктора вертолёта.

Поставленная цель может быть достигнута, если применить современные и перспективные технологии восстановления деталей машин. При этом предпочтение следует отдавать отечественным разработкам, оборудованию и материалам, что позволит поднять уровень российской промышленности и технологий

В качестве объекта исследования в настоящей выпускной квалификационной работе выступает технологический процесс восстановления деталей машин типа валов.

В качестве предмета исследования принят набор современных инструментальных и технологических средств для восстановления и эксплуатационных свойств деталей машин.

# 1 Современное состояние ремонта валов авиационной техники

## 1.1 Описание конструкции и дефектов изделия

Главный редуктор вертолета, представленный на рисунке 1, является одной из основных его частей, отвечающих за безопасную эксплуатацию и успешное выполнение полётного задания. В таблице 1 представлены параметры технических характеристик главных редукторов вертолётов, промышленный выпуск которых основан на современных предприятиях Российской Федерации [23].

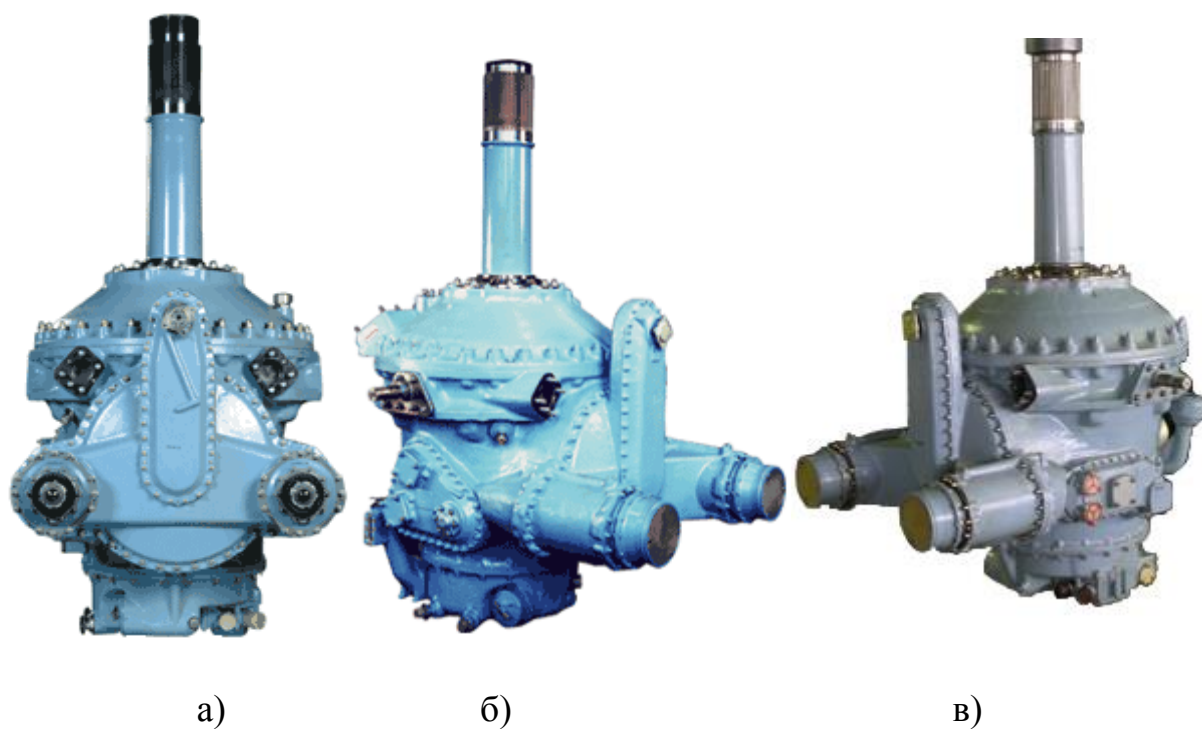


Рисунок 1 – Главные редукторы вертолета ВР-8 (а), ВР-14 (б) и ВР-24 (в)

Таблица 1 – Параметры главных редукторов вертолетов

Наименование параметра	ВР-8	ВР-14	ВР-24
Мощность взлётного режима, л.с.	1500	2000	2200
Мощность чрезвычайного режима, л.с.	1700	2200	2400
Обороты входного вала, об/мин	12500	15000	15000
Передаточное отношение к валу несущего винта	0,016	0,0128	0,016

Редуктор ВР-8 применяется в многоцелевом вертолётё Ми-8, который представлен на рисунке 2-а, и оснащён двигателями ТВ2-117.

Редуктор ВР-14 применяется в противолодочном вертолётё Ми-14, который представлен на рисунке 2-б, и оснащён двигателями ТВ3-117.

Редуктор ВР-24 применяется в армейском ударном вертолётё Ми-35, который представлен на рисунке 2-в, и оснащён двигателями ТВ3-117.

«Главный редуктор вертолётё суммирует мощность, отбираемую от двух газотурбинных двигателей и обеспечивает её передачу на вал рулевого винта и вал несущего винта. Также главный редуктор передаёт момент вращения вспомогательным агрегатам. В состав главного редуктора входят маслоагрегат, блок масляных фильтров, левая и правая коробки приводов, муфта свободного хода, передний и задний конические редукторы, входной редуктор» [3].

«Основным силовым узлом, который обеспечивает привод вала несущего винта, является центральный редуктор, который выполнен в виде шестерёнчатого агрегата с двумя степенями редукции» [11].

На рисунке 3 представлен дефект, образующийся на косозубых шестернях и проявляющий себя в виде выкрашивания. В ходе металлографических исследований применялся микроскоп Axiovert 40 MAT с цифровой фотокамерой. Для анализа изображений применялось программное обеспечение Thixomet PRO. Выполняли микрошлифы, разрезая дефектные зубья в поперечном направлении. По результатам исследований установлено наличие подповерхностных трещин, которые залегают вдоль эвольвенты на рабочей стороне, как показано на рисунке 4.

При эксплуатации вертолётёв частым явлением становятся происшествия отказов главного редуктора, проявляющие себя в виде хлопков и постороннего шума в районе двигателя, после которых происходит аварийная остановка двигателя. В результате вертолёт совершает вынужденную посадку, место такой посадки может быть недружественной по отношению к технике и экипажу [9].





а)



б)



в)

Рисунок 2 – Разновидности вертолётов: Ми-8 (а), Ми-14 (б), Ми-35 (в)



Рисунок 3 – Выкрашивание металла на шестерне зуба

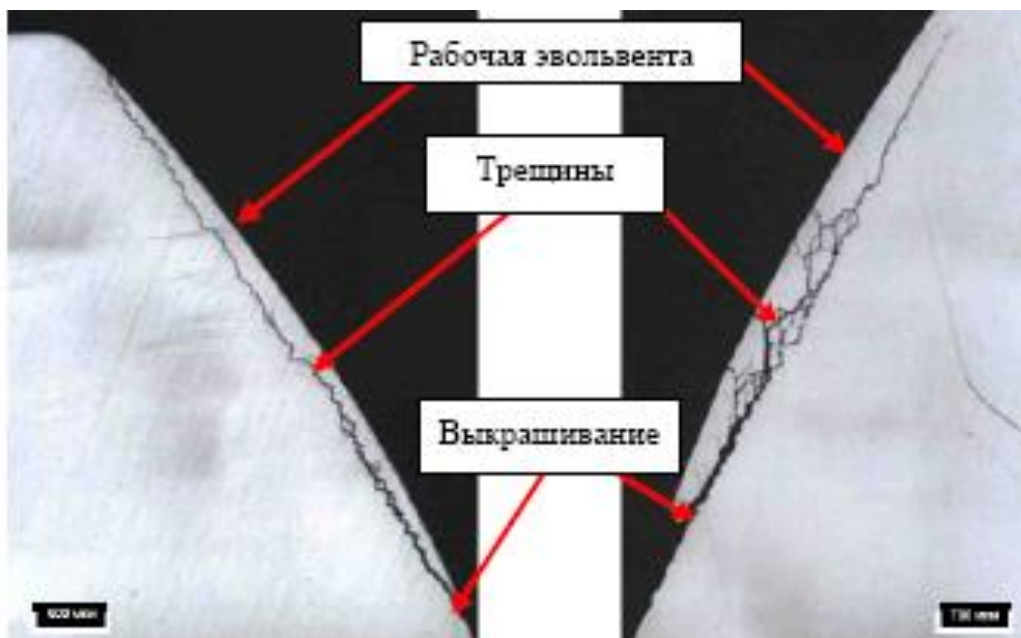


Рисунок 4 Макрошлифы рабочей стороны зуба шестерни в месте дефекта

После вынужденной посадки проводился осмотр вертолетов. Установлено отсутствие вращения вала несущего винта при вращении турбины. Кроме того, перед вынужденной посадкой сработала защитная автоматика свободной турбины от раскрутки. Уровень масла в главном редукторе находился в норме, отсутствовала металлическая стружка в фильтрах маслосистемы. При вращении главного вала левого двигателя передача вращающего момента в несущий винт отсутствовало. Это

свидетельствует о разрушении промежуточного вала главного редуктора, который представлен на рисунке 5.

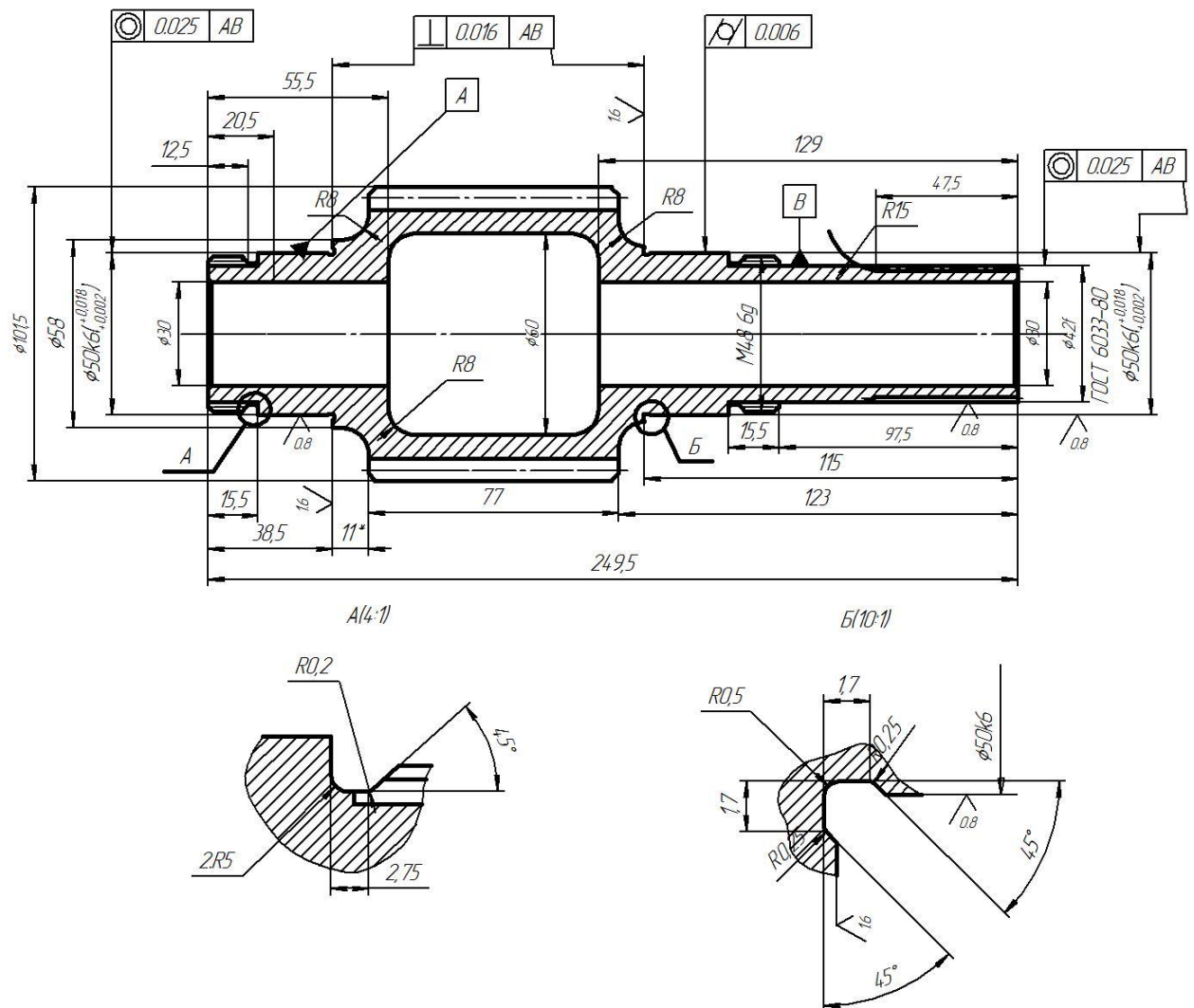


Рисунок 5 – Вал-шестерня главного редуктора вертолета

Дефектные редукторы вертолетов отстраняются от дальнейшей эксплуатации и направляются для последующего ремонта.

В зависимости от часов наработки на входных и промежуточных валах-шестернях обнаруживаются следующие дефекты:

- нарушение соосности вала-шестерни и венца,
- нарушение сроков прохождения технического обслуживания и планового ремонта,
- нарушение точности изготовления вала-шестерни.

## 1.2 Сведения о материале изделия и сложности наплавки

Для изготовления вала-шестерни применяется сталь 12Х2Н4А, содержание химических элементов в которой приведено в таблице 2. Механические свойства стали 12Х2Н4А приведены в таблице 3.

Таблица 2 Содержание химических элементов в стали 12Х2Н4А [7], [8]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,09 – 0,15	0,17 – 0,37	0,3 – 0,6	3,25 – 3,65	до 0,025	до 0,025	1,25 – 1,65	до 0,3

Таблица 3 – Механические свойства стали 12Х2Н4А [24], [25]

Сортамент	Размер	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	КСУ	Термообр.
-	мм	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	-
Поковки	60	1200	950	10	50	80	Цементация 920...950°С Закалка 780...800°С Отпуск 180...200°С

Сварки наплавка деталей из стали 12Х2Н4А затруднена по ряду причин [20], [21], [24], [25]. Первой трудностью является образование кристаллизационных (горячих). Второй трудностью является образование холодных трещин в основном металле. Третьей трудностью является разупрочение металла сварного шва, из-за чего сложно обеспечить равнопрочность наплавленного металла и основного металла.

Возникновение горячих трещин происходит по причине того, что перегретый металл в области сварки имеет пониженную деформационную способность по сравнению с холодным металлом. При переходе металла сварочной ванны из жидкого состояния в твёрдое происходит уменьшение его объёма, что сопровождается образованием растягивающих напряжений. Так как деформационная способность перегретого металла снижена, такие растягивающие напряжения приводят к нарушению целостности металла и образованию в нём горячих трещин.

Если термическую обработку сварного шва проводить сразу после выполнения сварки, вероятность образования горячих трещин увеличивается. Также следует иметь в виду, что наличие различных концентраторов напряжения также увеличивает вероятность образования горячих трещин. На образование трещин влияет неправильный выбор параметров режима и техники сварки. В частности, при завышенной скорости сварки вероятность образования горячих трещин увеличивается.

Уменьшение опасности горячих трещин при сварке металлических конструкций достигается при специальной технике сварки – длину дуги следует уменьшить, а сварку выполнять без поперечных колебаний электрода. При обрыве дуги необходимо обеспечить тщательное заплавление кратеров, выводить которые на основной металл нельзя. В случае, если при визуальном осмотре кратера в нём обнаружилась кратерная трещина, необходимо с применением механических способов удалить дефект. Для снижения склонности к образованию горячих трещин следует оптимизировать свариваемую конструкцию, заменяя, где это возможно, тавровые соединения на стыковые. На склонность к образованию горячих трещин существенное влияние оказывает применяемый способ сварки. В частности, применение сварки порошковой проволокой позволяет существенно снизить вероятность появления горячих трещин.

Холодные трещины представляют собой разрушение основного и наплавленного металла, которое произошло локально между кристаллитами или через кристаллиты. Отличить холодные трещины от горячих трещин можно при визуальном наблюдении. Холодные трещины имеют ломанную траекторию и на изломе имеют металлический блеск, что объясняется низкой температурой металла, при которой происходит образование холодных трещин. Температура зарождения холодных трещин составляет всего 100...200 °С, а развиваются они в течение нескольких часов и даже суток уже при остывшем металле.

На интенсивность образования холодных трещин после сварки и наплавки оказывает влияние множество факторов [20], [21].

Первым фактором следует считать структурное состояние наплавленного металла и основного металла в зоне термического влияния. Увеличение склонности к образованию холодных трещин происходит при наличии таких структур, как мартенсит и бейнит.

Вторым фактором следует считать наличие в наплавленном металле остаточных растягивающих напряжений первого рода. Величина этих напряжений определяется типом металла сварного шва, жёсткостью конструкции и параметрами режима наплавки.

Третьим фактором следует считать содержание водорода в наплавленном металле, которое зависит от начального содержания водорода в основном металле, качества газовой защиты и подготовки перед сваркой и наплавкой.

На образование холодных трещин критическое влияние оказывает правильность выбора параметров режима и соблюдение техники сварки и наплавки. При перегреве околошовной зоны и увеличении времени нахождения металла в зоне мартенситного превращения склонность к образованию холодных трещин повышается.

«Чем меньше перегрев, медленнее охлаждение, выше температура мартенситного превращения, тем меньше нарушение атомного строения на границах зёрен и тем более затрудняется зарождение микротрещин. Чем выше пластичность мартенсита, тем меньше вероятность развития холодных трещин» [24].

При сварке и наплавке деталей из стали 12Х2Н4А в наплавленном металле и металле околошовной зоны может произойти разупрочнение, которое проявляет себя при длительной работе в условиях повышенных температур и знакопеременных нагрузок, так как сопровождается снижением длительной прочности.

На разупрочнение металла при сварке и наплавке оказывает влияние структурная стабильность исходной стали, техника и режимы наплавки, степень упрочнения исходного металла. На величину разупрочнения решающее влияние оказывает полнота перекристаллизации и высокотемпературного отпуска, которые в значительной мере зависят от термического цикла. Также на разупрочнение оказывает влияние правильность проведения термической обработки после сварки и наплавки. Неправильно выбранная техника наплавки также отрицательно влияет на свойства наплавленного металла, увеличивая степень разупрочнения вследствие образования мягкой прослойки, проявляющей себя при длительной эксплуатации детали.

Для того чтобы уменьшить образование холодных трещин, необходимо:

- обеспечить получение оптимального термического цикла за счёт правильно назначения параметров режима наплавки и техники наплавки,
- проведение предварительного подогрева детали до температуры 200...300 °С, сопутствующего подогрева при многопроходной наплавке,
- применение высоколегированных материалов, обеспечивающих получение аустенитной структуры наплавленного металла,
- проведение термической обработки деталей после выполнения наплавки, что позволяет получить измельчённую структуру наплавленного металла,
- применение материалов с низким содержанием водорода,
- проведение тщательной очистки наплавляемой поверхности и поверхности сварочной проволоки от загрязнений.

Для того, чтобы уменьшить образование горячих трещин, необходимо:

- обеспечить минимальную длину дуги при сварке и наплавке,

- наплавку и сварку вести с минимальной скоростью без поперечных колебаний электрода,
- выполнять сварку и наплавку с минимальным числом проходов,
- отслеживать образование кратерных трещин при вынужденном обрыве дуги своевременно их устранять с применением механических способов,
- запрещено выведение кратеров на основной металл,
- необходимо тщательно заглаживать кратеры или вышлифовывать их,
- применение различных наплавочных материалов для наплавляемых слоев, при этом внутренние слои выполняются электродным материалом с повышенной стойкостью против горячих трещин, а внешние слои – материалами с повышенной коррозионной стойкостью или стойкостью против истирания;
- рассмотреть возможность применения порошковой проволоки, которая значительно уменьшает образование горячих трещин.

Для того, чтобы уменьшить разупрочнение металла, необходимо:

- проводить высокотемпературный отпуск, который позволит получить перекристаллизацию наплавленного металла. При этом следует иметь в виду, что проведение местного отпуска вызывает разупрочнение прилегающих слоёв основного металла детали. Проведение объёмной термической обработки всей детали приводит к значительному усложнению технологического процесса и необходимости применения массивного и габаритного термического оборудования, а также затратам электрической энергии.
- уменьшить содержание углерода в наплавленном металле и ввести в него дополнительные легирующие элементы, повышающие прочность. При этом следует иметь в виду, что повышение содержания легирующих элементов может привести к образованию горячих трещин.



### **1.3 Сведения о базовой технологии восстановительной наплавки вала**

Восстановление валов главного редуктора вертолѐта предлагается выполнять на базе вновь воссоздаваемой технологии восстановительной наплавки. В качестве базового технологического процесса принята сходная технология с использованием ручной дуговой наплавки. Проектная технология будет описана во втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы.

При выполнении восстановительной наплавки вала предусматривается проведение следующих операций:

- «подготовка поверхности вала,
- предварительный подогрев вала,
- восстановительная наплавка,
- равномерное охлаждение,
- контроль качества» [20], [21].

При выполнении подготовительных операций проводят промывку вала и контроль его состояния.

Следует иметь в виду, что «на поверхности вала присутствуют различные загрязнения, которые характеризуются высоким прилипанием (адгезией): следы смазки, продукты коррозии, следы защитного лака» [24].

«Удаление этих загрязнений проводят промывкой в керосине. Деталь выдерживают в ёмкости с керосином в течение 6...8 часов. Время выдержки может быть уменьшено, если в ёмкость с керосином подавать перегретый водяной пар. После выемки вала из ёмкости следует протереть его насухо с применением ветоши» [24].

«После промывки вала следует выполнить его дефектацию. Детали при этом разделяют на три группы. К первой группе относят годные детали, износ которых лежит в допустимом диапазоне, эти детали передают на склад готовой продукции. Ко второй группе относят ремонтпригодные детали,

износ и повреждения на которых могут быть устранены имеющимися на предприятии техническими средствами, эти валы отправляют на склад для выполнения ремонта. К третьей группе относят забракованные детали, восстановление которых невозможно имеющимися на предприятии технологическими средствами, эти детали отправляются на утилизацию» [24].

При внешнем осмотре и при помощи измерений выясняют степень износа вала. В случае обнаружения на нём трещин или поломанных зубьев следует признать вал бракованным и утилизировать его.

На предназначенном для ремонта вале при помощи мокрого асбеста закрывают места, которые необходимо защитить от брызг расплавленного металла при наплавке.

Предварительный нагрев вала до температуры 200...300 °С проводят при помощи газового пламени. В процессе нагрева контролируют температуру в двух точках, расположенных на валу противоположно друг другу. Для контроля температуры применяется контактный термометр.

При восстановлении вала применяют ручную дуговую наплавку. В качестве электродов используют наплавочные электроды со специальным покрытием. Также для наплавки могут быть применены сварочные электроды для легированных сталей. Параметрами ручной дуговой наплавки являются: диаметр электрода и ток наплавки.

Поскольку при восстановлении вала предполагается проведение последующей механической обработки, применяются электроды диаметром 4 мм. Такие электроды, применяемые при восстановлении зуба шестерни, при наплавке в несколько слоёв позволяет восстанавливать деталь на толщину до 10 мм. При наплавке электродами 4 мм величина тока составляет 120 А.

Для питания дуги при восстановительной наплавки было предложено использовать аппарата Русич С 300, который представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Сварочный аппарат Русич С 300

В процессе восстановительной наплавки необходимо обеспечить отсутствие перегрева металла детали. Для этого следует применять специальную технику наплавки. Выполняют наложение отдельных валиков, при этом дожидаются полного охлаждения предыдущего валика. Положение электрода при восстановительной наплавке должно быть таким, как показано на рисунке 7.

Для того, чтобы предупредить выгорание легирующих элементов, длина дуги при проведении восстановительной наплавки должна быть минимальной. Длина дуги должна поддерживаться самим сварщиком, который визуальнo удерживает её в пределах  $0,5 \dots 1,1$  диаметра электрода.

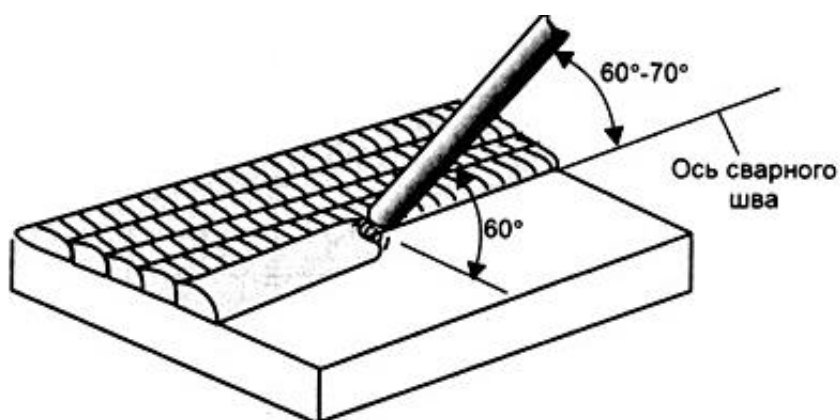


Рисунок 7 – Положение электрода при наплавке отдельными валиками

В качестве электродов для проведения восстановительной наплавки вала применяются электроды, которые позволяют получить сходный с основным металлом состав наплавленного металла. В рассматриваемом случае состав электродной проволоки Н-34ХН3М (0,34%С, 1% Cr, 3% Ni, 0,35%), а обозначение самого электрода такое:

$$\frac{\text{Э85-Т-590-4,0-НД2}}{\text{Е301(0) – Б40}}$$

Расшифровка указанного обозначения позволяет получить всю необходимую информацию о составе и особенностях применения электродов: «электроды диаметром 4 мм; тип – Э85, марка – Т-590, предназначение – наплавка (Н), электроды имеют толстое покрытие второй группы качества (Д2) и позволяют получать наплавленный слой с пределом прочности до 300 МПа; покрытие электродов – основное (Б); наплавку следует вести в нижнем положении (4) на постоянном токе обратной полярности (0)» [24].

После того, как была выполнена восстановительная наплавка вала, его на 6 часов помещают в ящик с песком, что позволяет обеспечить выравнивание температуры по длине и толщине вала и предотвратить его деформацию при неравномерном остывании.



Рисунок 8 – Общий вид зубофрезерного станка 5А342

После того, как восстановленный вал охладился, его вынимают из ящика с песком, очищают и проводят механическую обработку. На станке 5А342, который представлен на рисунке 8, выполняют фрезерование зубьев.

#### **1.4 Анализ преимуществ и недостатков базовой технологии, формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Предлагаемая ранее базовая технология с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами имеет ряд критических недостатков, которые заставили проводить поиск альтернативных способов восстановления и строить проектную технологию.

Первым недостатком следует признать, что при ручной дуговой наплавке ожидается неудовлетворительное качество наплавленного слоя. Это происходит по причине перехода элементов из основного металла в наплавленный слой, в результате чего снижаются прочностные свойства и износостокость.

Вторым недостатком следует признать опасность деформации детали вследствие её перегрева при наплавке. Повышение же жёсткости закрепления может в свою очередь привести к образованию холодных и горячих трещин.

Третьим недостатком является значительная зависимость качества восстановительных работ от квалификации сварщика. Поскольку наплавленный слой имеет особый химический состав, от сварщика требуется понимание металлургических и химических процессов, протекающих при наплавке и термической обработке деталей.

Четвертым недостатком следует признать, что при ручной дуговой наплавке штучными электродами количество благоприятных сочетаний основного и наплаваемого материалов крайне ограничено по сравнению с другими, более перспективными, способами наплавки.

Пятым недостатком следует признать набор недостатков, присущих ручной дуговой сварке и наплавке: низкая производительность, тяжёлые

условия труда сварщика, повышенный расход электродного материала вследствие угара и разбрызгивания.

Достижение поставленной цели возможно при исправлении сформулированных недостатков базовой технологии. Таким образом, по результатам проведённого анализа состояния вопроса были сформулированы задачи исполнительного и оценочного разделов.

Первой задачей является обоснование выбора способа восстановительной наплавки рассматриваемой детали. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой детали, для чего необходимо привести перечень операций, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

Третьей задачей является назначение оптимальных параметров наплавки и выбор материалов для наплавки.

После решения задач в исполнительском разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнение оценочного блока, в котором будут решены ещё две задачи.

Во-первых, предстоит оценка предлагаемых технических решений на предмет экологической безопасности и охраны труда. Далее предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды [5], [10].

Во-вторых, предстоит выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод о экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [13], [14].

## **2 Проектная технология восстановительной наплавки валов**

### **2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки**

При построении проектной технологии наплавки и выборе способа наплавки следует учитывать особенности схемы восстановления работоспособности деталей машин, которая была построена по результатам научных исследований [1]. Обобщённая схема представлена на рисунке 9 и может быть использована для предварительного выбора способов восстановления рассматриваемой детали.

При обосновании выбора технологического маршрута восстановительной наплавки вала необходимо принимать во внимание степень его износа и особенности проведения технологии восстановительной наплавки при применении того или иного способа.

Первый технологический маршрут предназначен для деталей машин, которые имеют значительный износ. Этот маршрут предполагает проведение наплавки и механической обработки.

Второй маршрут предусматривает восстановление валов с использованием метода электроконтактной приварки.

Третий маршрут восстановления предусматривает проведение электромеханической обработки.

При выполнении восстановления валов со значительным износом следует отдавать предпочтение первому и второму маршрутам [1]. При построении проектной технологии будем руководствоваться первым маршрутом.

Результаты исследований, приведённые в работе [2], позволяют выполнить экспертную оценку различных способов восстановления деталей машин с применением различных критериев, которая приведена в таблице 4.

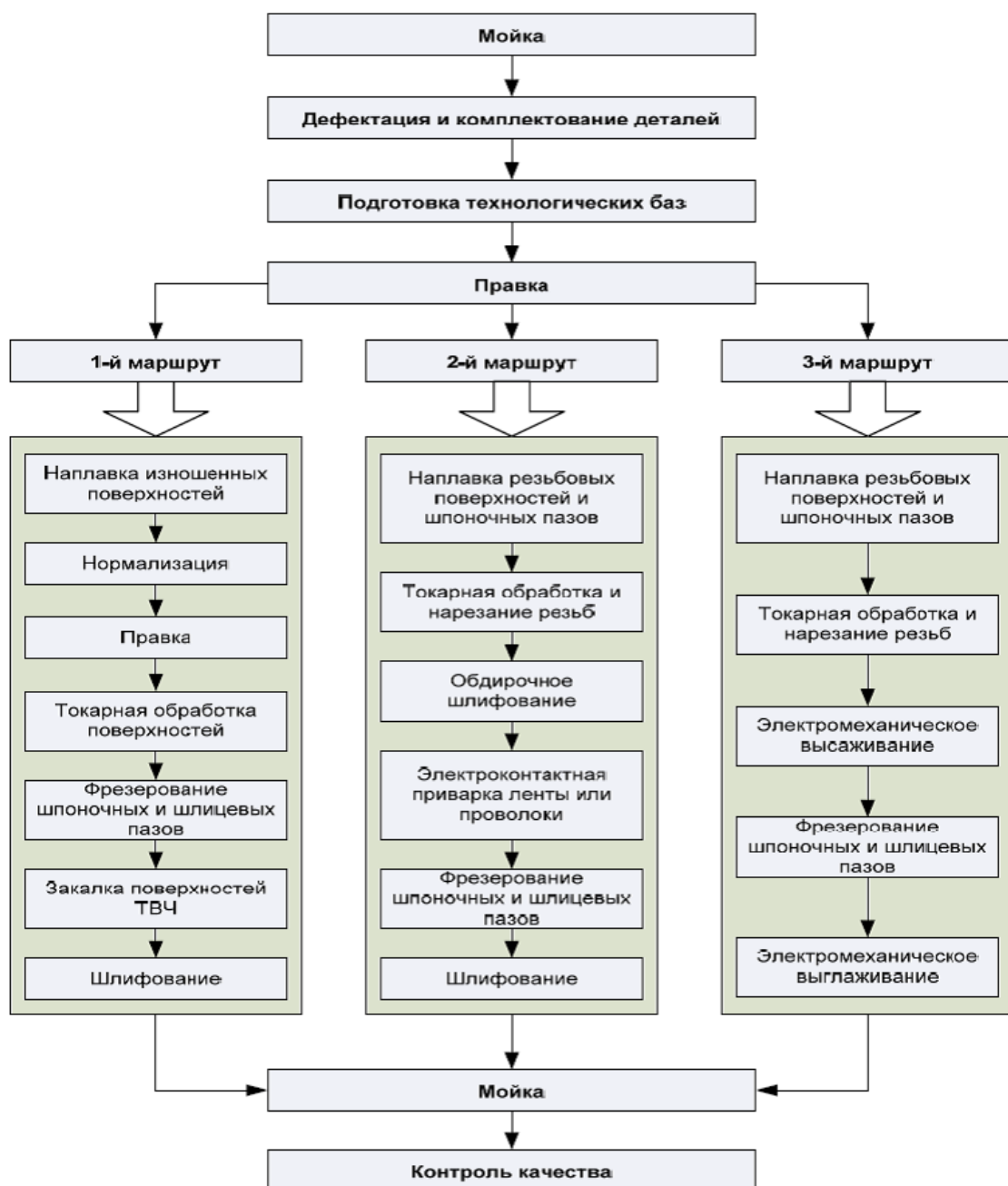


Рисунок 9 – Построение технологического процесса восстановления валов и осей [1]

Ручная дуговая наплавка, схема которой представлена на рисунке 10, позволяет эффективно восстанавливать работоспособность деталей машин при исправлении эксплуатационных дефектов. Широкое применение ручной дуговой наплавки объясняется её преимуществами перед другими, пусть даже и более перспективными способами [6], [12].



Таблица 4 – Характеристика различных способов восстановительной наплавки [2]

«Наименование способа	Производительность, кг/ч	Участие 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» [2]	2-15	5-15	0,4-3,0

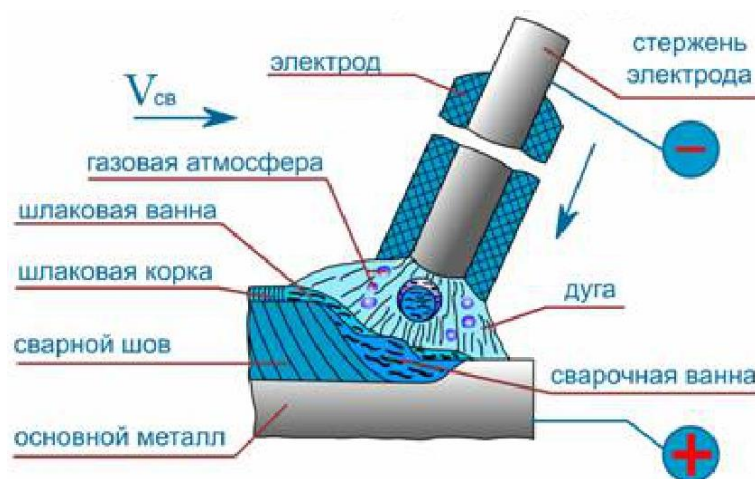


Рисунок 10 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки

Первым преимуществом является относительная дешевизна и простота сварочного оборудования, которое уже имеется на производстве. Поэтому применение ручной дуговой наплавки не требует приобретения нового сварочного оборудования и может быть осуществлено имеющимися на предприятии средствами. Вторым преимуществом следует отметить высокую универсальность ручной дуговой наплавки, которая может быть применена для восстановления эксплуатационных свойств различных деталей. Таким

образом, освоенная технология ручной дуговой наплавки может быть распространена на другие типовые детали, что существенно снижает конечную стоимость внедрения технологии на производстве.

При восстановлении деталей машин значительное распространение получила наплавка в защитных газах плавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 11. Между проволокой и поверхностью детали горит дуга, тепло от которой образует на поверхности детали ванну расплавленного металла. Защиту расплавленного металла дуги и ванны от воздействия воздуха обеспечивает струя защитного газа, подача которого выполняется через сопло. Токоподвод обеспечивает подвод сварочного тока к проволоке и изолирован от сопла.

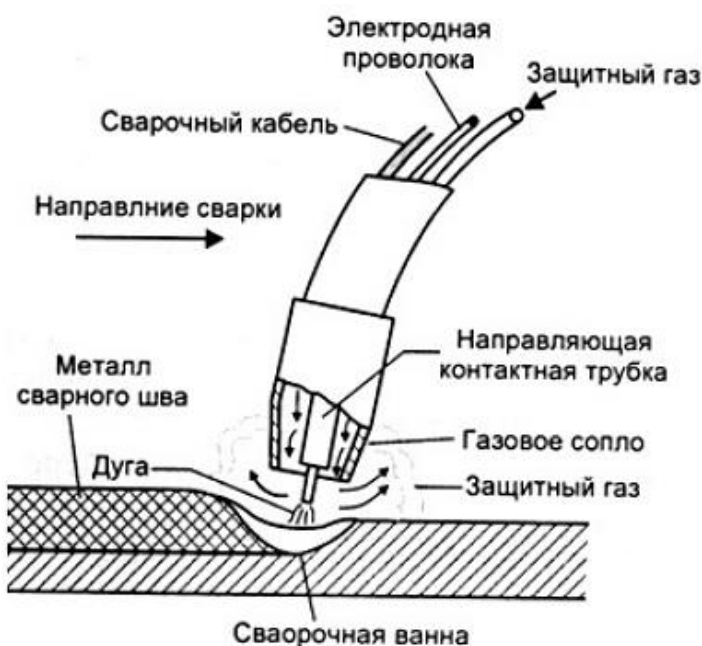


Рисунок 11 – Схема выполнения наплавки в углекислом газе

Широкое применение наплавки в защитных газах плавящимся электродом объясняется преимуществами этого способа восстановления деталей машин.

Первое преимущество - это высокая производительность процесса, которая существенно выше, чем при ручной дуговой и плазменной наплавке.

Второе преимущество – это отсутствие шлаковой корки, которую не нужно сбивать при выполнении многослойной наплавки. Это позволяет повысить производительность и качество наплавочных работ.

Третье преимущество – относительная простота и универсального оборудования, которое значительно проще, чем при плазменной наплавке и наплавке под флюсом.

Четвёртое преимущество – высокое качество наплавленного слоя по сравнению с ручной дуговой наплавкой и вибродуговой наплавкой. Плотность наплавленного металла существенно выше, при этом содержание кислорода уменьшается в 20 раз, а содержание азота – в три раза по сравнению с ручной дуговой наплавкой.

«Выбор скорости подачи проволоки осуществляют в зависимости от величины тока наплавки таким образом, чтобы обеспечить отсутствие обрывов дуги и коротких замыкания. При наплавке соблюдают шаг между наплавленными валиками 2,5...3,5 мм, при этом следует обеспечить перекрытие валиков на 1/3 их толщины» [17], [18].

При лазерной наплавке, схема выполнения которой представлена на рисунке 12, «образование наплавленного слоя происходит за счёт нагрева и плавления присадочного материала лазерным излучением. При лазерной наплавке происходит минимальное подплавление основного металла, поэтому состав и свойства наплавленного металла в значительной степени определяются составом и свойствами присадочного материала» [7], [22].

Плазменная наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 13, является перспективным способом восстановления деталей машин. Для получения плазменной струи применяются специальные горелки-плазматроны. Значительное распространение получили комбинированные плазматроны, в которых горит две дуги. При этом расплавление присадочного порошка происходит за счёт тепла дуги, которая горит между вольфрамовым электродом и соплом горелки. Нагрев поверхности детали и сплавление основного и присадочного металлов

происходит за счёт тепла дуги, которая горит между деталью и вольфрамовым электродом [4], [15].

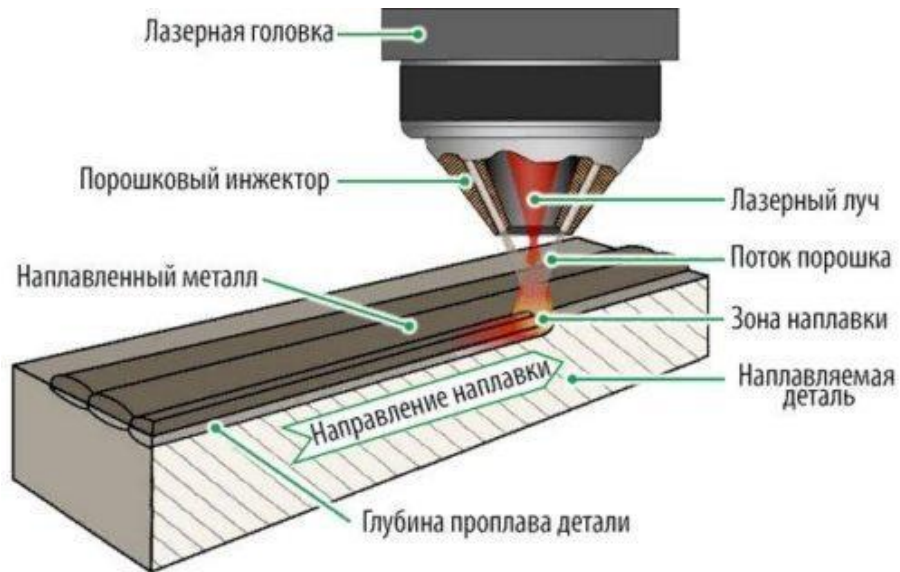


Рисунок 12 – Схема выполнения лазерной наплавки

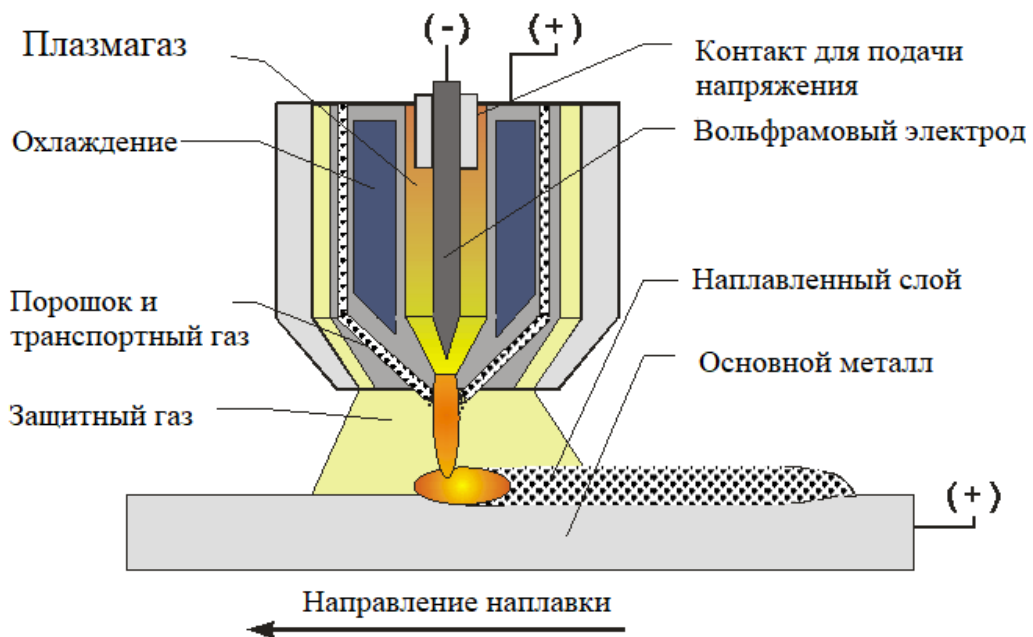


Рисунок 13 – Схема плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу

Проведённый анализ преимуществ и недостатков рассмотренных способов восстановительной наплавки позволяет заключить, что проектная технология может быть эффективна в случае применения плазменной наплавки.

## 2.2 Обоснование выбора наплавочного материала

Правильный выбор порошка для проведения плазменной наплавки позволяет не только восстановить геометрию детали, но и существенно повысить её эксплуатационные свойства, а также увеличить продолжительность эксплуатации.

Применение для наплавки порошков с содержанием меди (ПМС-В или ПМС-Ву) позволяют получать слои с высокими антифрикционными свойствами. Также следует указать на низкую стоимость этих порошков, которая может оказаться решающей при построении технологии массового восстановления типовых деталей машин. В качестве недостатков указанных порошков следует отметить низкую жаростойкость и жаропрочность, а также низкую прочность покрытия.

Применение порошков с содержанием молибдена (ПНЭ-1 или ПНЭ-2) позволяет получить высокую прочность наплавленного слоя, стойкость против истирания и жаростойкость. Также при применении этих порошков обеспечивается высокая защита против абразивного изнашивания. В качестве недостатков следует указать значительный расход порошка и его стоимость, а также опасность растрескивания покрытия из-за высокой твёрдости.

Применение присадочных порошков на основе никеля (ПНК2К8 или ПНК2К9) позволяет получить хорошее сплавление наплавленного слоя с основой восстанавливаемой детали.

Порошки титана, например ПТС, позволяют получить наплавленный слой с высокой прочностью и пластичностью. Однако разница в коэффициентах термического расширения наплавленного слоя и основного металла приводит к образованию остаточных напряжений, что сопровождается образованием трещин и уменьшением долговременной прочности восстановленной детали.

Порошки хрома (ПХ1 или ПХ2) позволяют получить наплавленный слой высокой прочности и твёрдости, который обладает также стойкостью по

отношению к коррозии. Однако ударные нагрузки могут привести к образованию трещин в наплавленном слое.

На основании вышеизложенного делаем вывод о низкой эффективности однокомпонентных порошков для случая плазменной наплавки вала редуктора вертолётa. Далее выполним обзор наплавочных сплавов.

Порошок нихрома (ПХ20Н80) характеризуется наплавленными слоями с высокой прочностью и твёрдостью. Недостатком такого порошка следует указать малую долговременную прочность наплавленного слоя вследствие разницы в коэффициентах термического расширения наплавленного слоя и основного металла.

Порошки самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-B-Si (ПН70Х17С4Р4, ПГ-СР3, СНГС-60, СР2) позволяют получить хорошее сплавление с основной и высокую прочность наплавленного слоя. Также следует отметить высокую сопротивляемость наплавленных слоёв ударным нагрузкам и износу. В качестве критического недостатка применения такого порошка следует указать его высокую стоимость.

Применение присадочных порошков системы Ni-Al (ПН85Ю15 и ПН70Ю30) позволяет получить наплавленный слой с высокими антифрикционными свойствами. Однако следует отметить низкое сопротивление наплавленных слоев изнашиванию.

Применение присадочных порошков системы Ni-Ti (ПН12Т88 и ПН55Т45) характеризуется высокими прочностными и антифрикционными свойствами наплавленного слоя. Однако следует отметить, что разница в коэффициентах термического расширения наплавленного слоя и основного металла приводит к образованию остаточных напряжений и сопровождается образованием трещин и уменьшением долговременной прочности восстановленной детали.

Применение порошков из хромистой стали (П2Х13) позволяет получить хорошее сплавление наплавленного слоя с основой. Малая разница в коэффициентах термического расширения наплавленного слоя и основы позволяет обеспечить малый уровень остаточных напряжений, высокую сопротивляемость ударным нагрузкам и долговременному нагружению. В качестве критического недостатка применения такого порошка следует указать его высокую стоимость.

Композиционные порошки системы никель-алюминий (ПТ-НА-01, НА-67, ПНА-75, ПНА-80, ПНА-95) позволяют обеспечить высокую прочность и твёрдость наплавленного слоя, а также его высокие антифрикционные свойства. В числе недостатков этих порошков следует указать низкую сопротивляемость наплавленных слоёв знакопеременным нагрузкам и недостаточное сплавление с основой.

Порошки на основе системы никель-алюминий (ПТ-19Н-01) позволяют получать наплавленные слои с высокой пластичностью и жаропрочностью. В числе недостатков следует указать недостаточное сопротивление ударным нагрузкам и сплавление с основой. Также разница в коэффициентах термического расширения наплавленного слоя и основного металла приводит к образованию остаточных напряжений и сопровождается образованием трещин и уменьшением долговременной прочности восстановленной детали.

В качестве наплавочного порошка могут быть применены механические смеси порошков. В качестве примера укажем смесь в составе карбид вольфрама + никелевый самофлюсующийся сплав. Наплавленные слои обладают высокой стойкостью по отношению к длительному износу и коррозии. Также следует отметить хорошее сплавление с основой и между слоями. Недостатками является высокая стоимость порошка и низкое сопротивление ударным нагрузкам.

На основании вышеизложенного предлагается первый слой наплавлять порошком ПТ-НА-01, второй - сплавом NI-Cr-B-Si, третий - ПТ-19Н-01.

## **2.3 Описание операций технологического процесса восстановления вала**

После разборки редуктора вал подают на участок восстановления с применением внутрицехового транспорта. Участок восстановления имеет стеллажи для складирования восстанавливаемых деталей.

Первая операция предполагает подготовку вала к наплавке. Для этого следует провести его очистку от загрязнений, правильность выполнения которой определяет последующие операции процесса и успех восстановления вала в целом. Особенности проведения операции очистки деталей определяет также общую культуру производства.

В качестве состава для очистки предлагается применить щелочной раствор МЛ-51 или МЛ-52. Концентрация раствора составляет 10...30 г/литр, температура состава составляет 75...80 °С.

Применяемый в проектной технологии раствор МЛ-51 имеет состав: кальцинированная сода – 10 г/л, тринатрий фосфат – 18 г/л каустическая сода – 5 г/л.

Поверхность вала очищают в машине М216Е2 в течение 30...40 минут. Внешний вид моющей машины представлен на рисунке 14.

После того, как вал был очищен, его подают на стол дефектовщика, который осматривает вал, выявляя наличие на нём дефектов и возможность устранения этих дефектов имеющимися на предприятии методами.

По результатам дефектовки выполняют деление поступающих валов на три группы.

Валы, которые могут быть использованы сразу, без проведения ремонтных работ, имеют износ элементов в допустимом диапазоне, подлежат передаче на склад готовой продукции. Эти валы, отнесённые к первой группе, помечают зелёной краской, они будут использованы при комплектации редукторов.





Рисунок 14 – Внешний вид моющей машины M216E2

Валы, которые могут быть отремонтированы с применением имеющихся на предприятии методами, относят ко второй группе и помечают жёлтым цветом. Эти валы передают на склад для ремонта.

Валы, которые не могут быть восстановлены, относят к третьей группе и помечают красным цветом. Такие валы утилизируют.

При внешнем осмотре и при помощи измерений выясняют степень износа элементов вала.

После осмотра и промеров проводят дробеструйную обработку поверхности вала.

Далее закрепляют подлежащий восстановлению вал на станке, и проводят последовательную наплавку слоёв.

При наплавке первого слоя применяют режимы:

- величина тока наплавки – 315 А,
- напряжение на сжатой дуге – 65 В,
- расход азота – 0,5 л/мин,
- расход аргона – 1,5 л/мин,
- расход присадочного порошка – 0,55...0,62 г/см;
- фракция присадочного порошка – 60 мкм;
- присадочный порошок – ПТ-НА-01.

При наплавке второго слоя применяют режимы:

- величина тока наплавки – 350 А,
- напряжение на сжатой дуге – 70 В,
- расход азота – 0,5 л/мин,
- расход аргона – 1,5 л/мин,

- расход присадочного порошка – 0,5...0,58 г/см;
- фракция присадочного порошка – 60 мкм;
- присадочный порошок – смесь ПН85Ю15М-95%+ X17CP1-5%.

При наплавке третьего слоя применяют режимы:

- величина тока наплавки – 350 А,
- напряжение на сжатой дуге – 70 В,
- расход азота – 0,5 л/мин,
- расход аргона – 1,5 л/мин,
- расход присадочного порошка – 0,5...0,58 г/см;
- фракция присадочного порошка – 60 мкм;
- присадочный порошок – смесь ПН85Ю15М-75%+ X17CP1-25%.

Другие операции технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом проходят без изменений.

Для проведения плазменной наплавки применяется установка, представленная на рисунке 15, в состав которой входят «станина 1, вращатель 2, пульт управления 3, суппорт станка 4, пиноль станка 5, сварочный пистолет 6, бункер подачи порошка 7, привод вращения 8, задняя бабка 9, защитный экран 10, установочное приспособление 11. Установка для наплавки выполнена на базе токарного станка А364» [22].

В состав планировки технологического участка по проведению восстановительной наплавки, который представлен на рисунке 16, входит «стеллаж для изношенных деталей 1, ванна для моющего раствора 2, верстак слесарный 3, комплекс контрольно-измерительный 4, станок сверлильный 5, электропечь СНО 6, дробеструйная камера 7, пост нанесения защитных покрытий 8, установка плазменной наплавки 9, тележка для перевозки 13.

Также в состав восстановительного участка входят вентиляционные каналы 10, защитный экран 11, тележка для перевозки и хранения деталей 12, стеллаж для хранения готовой продукции 14, помывочная ванна 15, стеллаж для хранения инструмента 16, приточная вентиляция 17, пылеотделяющий циклон 18, вентилятор 19» [22].

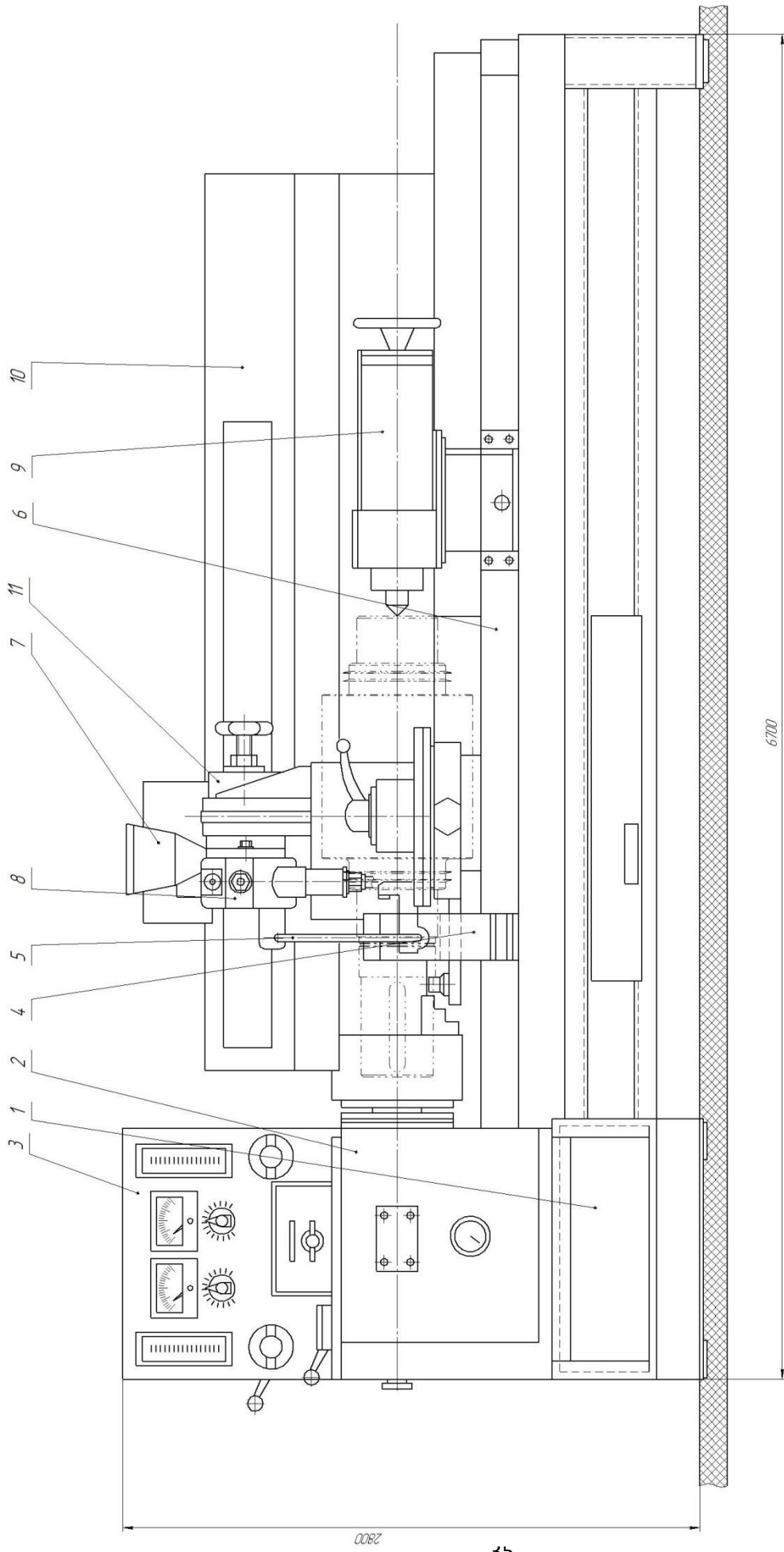


Рисунок 15 – Установка для плазменной наплавки

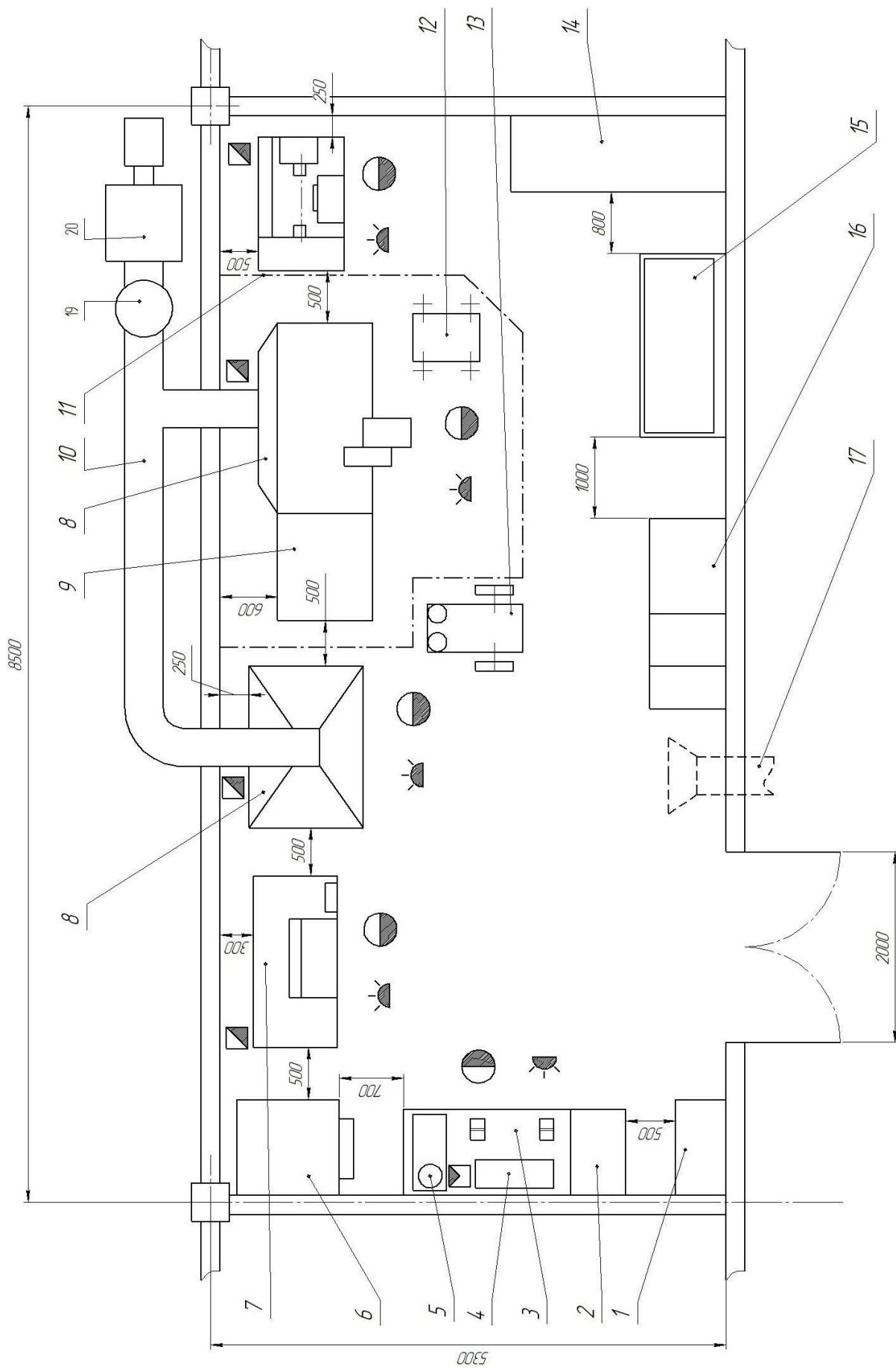


Рисунок 16 – Планировка участка

## Выводы по второму разделу

Второй раздел настоящей выпускной квалификационной работ посвящен решению поставленных ранее задач.

Первой задачей является обоснование выбора способа восстановительной наплавки рассматриваемой детали. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой детали, для чего необходимо привести перечень операций, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

Третьей задачей является назначение оптимальных параметров наплавки и выбор материалов для наплавки.

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов восстановительной наплавки вала главного редуктора вертолета. Были приняты к рассмотрению следующие способы: ручная дуговая наплавка, плазменная наплавка, наплавка в защитных газах плавящейся проволокой, лазерная наплавка. По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать плазменную наплавку.

Решая вторую задачу, была построена проектная технология восстановительной наплавки вала главного редуктора вертолётa. Для осуществления проектной технологии предложено соответствующее оборудование.

Решая третью задачу, проведён анализ наплавочных материалов и предложен соответствующий состав наплавочного порошка

Дальнейшие работы будут направлены на оценку предлагаемых решений с точки зрения экологичности и обеспечения безопасности труда. Также будет выполнена экономическая оценка предлагаемых решений.

### **3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы**

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

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки вала редуктора вертолѐта.

При выполнении базовой технологии восстановительной наплавки вала предусматривается применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Проектная технология восстановительной наплавки предусматривает применение плазменной наплавки.

При выполнении проектной технологии предусмотрены следующие операции технологического процесса: очистка детали, подготовка поверхности вала; восстановительная наплавка; контроль качества.

Изменение технологии восстановительной наплавки сопровождается изменением опасных и вредных производственных факторов, которые оказывают негативное воздействие на персонал и окружающую среду. Поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, оценить их влияние и предложить меры по защите от них персонала.

Кроме того, предстоящий анализ позволит не только устранить профессиональные риски, но и повысить пожарную безопасность технического объекта, паспорт которого представлен в таблице 5.

Также анализ проектной технологии позволит выявить негативные факторы, влияние которых на атмосферу, гидросферу и литосферу следует устранить в рамках повышения экологической ответственности.

Таблица 5 – Технологический паспорт участка восстановительно наплавки

«Наименование операции технологического процесса»	Наименование должности работника, выполняющего данную операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые на операции» [5]
- «очистка детали	- слесарь-сборщик, - дефектоскопист	- машина моечная; - микроомметр	- моечный раствор; - вода техническая; - призма базирующая
- подготовка поверхности под наплавку	- слесарь-сборщик, - дефектоскопист	- дробеструйная камера; - краскопульт	- мастика защитная; - дробь металлическая
- плазменная наплавка	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- установка плазменной наплавки валов; - копир	- порошок наплавочный; - защитный газ
- контроль качества» [20]	дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю	- дефектоскоп, - лупа, - шаблон сварщика	- керосин, - мел, - масло

Технологический паспорт объекта – участка для проведения восстановительной наплавки вала– позволяет разделить технологический процесс по операциям и указать для каждой операции применяемое оборудование. Также для каждой операции указывается привлекаемый персонал, который может оказаться под негативным воздействием опасных и вредных факторов, сопровождающих выполнение данной операции технологического процесса.

Дальнейшие работы будут направлены на идентификацию персональных рисков, для устранения которых будут предложены технологические и организационные мероприятия. Также будут предложены работы по обеспечению пожарной и экологической безопасности производства.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 6.

Таблица 6 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

«Операция технологического процесса»	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [5]
- очистка детали	- 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	- машина моечная; - микроомметр
- подготовка поверхности под наплавку	- 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	- дробеструйная камера; - краскопульт
- плазменная наплавка	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной	- установка плазменной наплавки валов; - копир
- контроль качества	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - ультразвуковое излучение	- дефектоскоп, - лупа, - шаблон сварщика



На основании данных таблицы 6 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока;
- нагрев поверхности деталей до высоких температур;
- инфракрасное излучение;
- ультрафиолетовое излучение
- ультразвуковое излучение.

В результате дальнейшего анализа перечисленных негативных факторов могут быть предложены стандартные решения, позволяющие уменьшить их влияние на работающий персонал до приемлемого уровня.

### **3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов**

Ранее были выделены опасные и вредные производственные факторы, которые оказывают негативное воздействие на работающий персонал в ходе выполнения каждой операции проектного технологического процесса.

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [5] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 9, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Таблица 7 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

«Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [5]
наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда;</li> <li>- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;</li> <li>- оснащение оборудования защитной блокировкой</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону;</li> <li>- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;</li> <li>- оснащение оборудования защитной блокировкой</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты
опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	<ul style="list-style-type: none"> <li>- применение устройств защитного отключения электропитания оборудования;</li> <li>- применение защитного заземления и зануления оборудования;</li> <li>- контроль состояния защитных устройств и изоляции;</li> <li>- инструктаж по электробезопасности</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
нагрев поверхности деталей до высоких температур	<ul style="list-style-type: none"> <li>- автоматизация технологических процессов;</li> <li>- инструктаж персонала</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
инфракрасное излучение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультрафиолетовое излучение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультразвуковое излучение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- уменьшение времени негативного воздействия</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

Представленные в таблице технические средства и организационные мероприятия направлены на снижение травматизма работников производства и уровня профессиональных заболеваний.

Однако реализация проектной технологии не только сопровождается появлением опасных и вредных производственных факторов, но и риском образования пожаров, в результате которых могут пострадать как сами работники, так и имущество предприятия.

Исходя из этого, дальнейшие работы при выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы направим в сторону обеспечения пожарной безопасности.

### **3.4 Пожарная безопасность на производстве**

Проектная технология, предложенная в настоящей выпускной квалификационной работе, является источником возникновения рисков образования пожара. Для устранения этих рисков следует предложить технические средства и организационные мероприятия. Также следует рассмотреть возможность устранения пожара, если он всё-таки возникнет на предприятии, несмотря на принятые меры.

В таблице 8 представлена идентификация факторов пожара.

В качестве основных негативных факторов возможного пожара следует отметить: пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму.

В качестве сопутствующих проявлений пожара следует отметить: негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 9.

Таблица 8 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок восстановительной наплавки с установленным на нём технологическим оборудованием	Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [5]	Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания

Таблица 9 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [5]
очистка детали, подготовка поверхности вала; восстановительная наплавка; контроль качества	«Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [5]	Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения.

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 10. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 10 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства для тушения	Мобильные средства для тушения	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-15	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о пожаре

Таким образом, предложенные в выпускной квалификационной работе мероприятия позволяют уменьшить риск возникновения пожара на предприятии при реализации проектной технологии.

### 3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

Реализация предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений не только приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, борьбе с которыми посвящена предыдущая часть раздела, но и вызывает негативное воздействие на окружающую среду. Необходимость повышения экологической ответственности предприятий повышает актуальность экологической повестки и заставляет принимать меры по защите атмосферы, гидросферы и литосферы.

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 11.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 12.

Таблица 11 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

Технологический процесс	Операции, технологического процесса	Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду		
		в атмосфере	в гидросфере	в литосфере
Восстановительная наплавка	- очистка детали	-	Отходы смазывающе-охлаждающей жидкости	Стружка, частицы упаковки, бытовой мусор
	- подготовка поверхности под наплавку	-	Отходы масла	частицы упаковки, бытовой мусор
	- плазменная наплавка	вредные испарения	-	частицы упаковки, бытовой мусор
	- контроль качества	вредные испарения	-	Отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 12 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок восстановительной наплавки 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» [5]
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» [5]
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» [5]

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

## Выводы по экологическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Реализация проектной технологии приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых позволила предложить стандартные технические и организационные решения.

Идентификация опасных факторов пожара на рассматриваемом предприятии позволила предложить мероприятия и технические решения по устранению опасности возгорания. Также в настоящем разделе предложены средства борьбы с пожаром, если он все-таки произошёл несмотря на принятые меры.

В ходе выполнения экологического раздела установлено, что осуществление проектной технологии приводит к негативному антропогенному воздействию на окружающую среду. При этом страдают атмосфера, гидросфера и литосфера. Предлагаемые в работе мероприятия позволят соответствовать предприятию современной экологической повестке и свести к минимуму вред окружающей среде.

Все предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения и организационные мероприятия являются стандартными и не требуют повышения эффективности за счёт разработки специализированных средств и методик.

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

### **4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки вала редуктора вертолётa.

При выполнении базовой технологии восстановительной наплавки вала предусматривается применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Устраняемые недостатки ручной дуговой наплавки:

- низкая производительность ручной дуговой наплавки, которая не может быть увеличена путём корректировки параметров режима и состава сварочных электродов;
- при ручной дуговой наплавке наблюдается низкая стабильность качества, что объясняется непроварами, пористостью и трещинами;
- при ручной дуговой наплавке сварщику приходится работать в тяжёлых условиях, которые усугубляются вредным воздействием образующегося при горении дуги сварочного аэрозоля;
- расход электродов на огарки, разбрызгивание и угар приводят при ручной дуговой наплавке к увеличению расходов на сварочные материалы.

Проектная технология восстановительной наплавки предусматривает применение плазменной наплавки.

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 13 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.



Таблица 13 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	$V$	$V$
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	150	150
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.	240 тыс.	1600 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	4	6
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,2	3,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	40	60
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(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» [13]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Исходные данные в таблице 13 позволяют выполнить последующий расчёт экономических показателей базового и проектного вариантов проведения работ.

## 4.2 Расчёт объёмов фонда времени

Выполнение операций согласно проектной и базовой технологий предусматривает использование материальных и людских ресурсов в течение определённого количества времени. В зависимости от затрачиваемого времени рассчитывается заработная плата персонала, который задействован при выполнении операций технологического процесса. Также затрачиваемое время влияет на величину расходов на амортизацию оборудования и производственные площади.

В настоящем разделе выполним расчёт фонда времени, который одинаков для проектного и базового вариантов технологического процесса, так как в обоих случаях технология выполняется за одинаковое число смен в сутках.

В календарном году принимается число рабочих дней  $D_p = 277$  при стандартной продолжительности смены  $T_{см} = 8$  часов. При расчётах следует учитывать сокращение длительности рабочей смены в предпраздничные дни на  $T_{п} = 1$  час. Планируемое количество предпраздничных дней составляет  $D_{п} = 7$ . С учётом вышеизложенного для количества смен  $K_{см} = 1$  рассчитаем фонд времени, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (1) получаем:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.}$$

Далее следует рассчитать величину эффективного фонда времени с учётом запланированных потерь рабочего времени  $B = 7 \%$ , воспользовавшись формулой:

$$F_э = F_H(1 - B/100). \quad (2)$$

При подстановке исходных значений в формулу (2) получаем:

$$F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.}$$

### 4.3 Расчёт штучного времени

Расчитанный выше эффективный фонд времени работы оборудования расходуется на выполнение операций проектного и базового технологического процесса. Годовую программы выполнения работ можно рассчитать, зная штучное время, которое определяет временные затраты на выполнение проектного и базового процессов применительно к одной единице изделия из годовой программы. Величину штучного времени для проектного и базового вариантов технологии определяем с учётом нормирования труда сварщика по технологической карте.

В состав штучного времени  $t_{шт}$  входит несколько слагаемых. Во-первых, это машинное время  $t_{маш}$ , которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Во-вторых, это вспомогательное время  $t_{всп}$ , которое затрачивается на выполнение подготовительных операций и задаётся как 10 % от машинного времени  $t_{маш}$ . В-третьих, это время обслуживания рабочего места  $t_{обсл}$ , которое задаётся как 5 % от машинного времени  $t_{маш}$ . В-четвёртых, это время личного отдыха  $t_{отд}$ , которое задаётся как 5 % от машинного времени  $t_{маш}$ . В пятых, это подготовительно-заключительное время  $t_{п-з}$ , которое задаётся как 1% от машинного времени  $t_{маш}$ . С учётом исходных данных расчёт штучного времени проводим, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (3) получаем для базового варианта:  $t_{шт.баз} = 2,5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 3$  часа,  
проектного варианта:  $t_{шт.пр} = 1,1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,3$  часа.

Вычисление годовой программы  $\Pi_r$  работ выполняем с учётом определённых выше эффективного фонда времени и штучного времени для проектного и базового вариантов, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (4) получаем для базового варианта:  $\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/3 = 684$  деталей в год,

проектного варианта:  $\Pi_{\Gamma.\text{пр.}} = 2054/1,3 = 1580$  деталей в год.

При проведении последующих экономических расчетов примем годовую программу для проектного и базового вариантов технологии  $\Pi_{\Gamma} = 300$  деталей в год, что примерно соответствует современным потребностям отрасли.

Для расчёта требуемого количества оборудования, которое необходимо при выполнении годовой программы с учётом коэффициента выполнения нормы  $K_{\text{вн}} = 1,03$ , воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем для базового варианта:  $n_{\text{расч}} = 3 \cdot 80 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$ ,

проектного варианта:  $n_{\text{расч}} = 1,3 \cdot 80 / (2054 \cdot 1,03) = 0,2$ .

На основании проведённых расчётов принимаем количество единиц технологического оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса согласно проектного и базового вариантов  $n = 1$ . Для расчёта коэффициента загрузки оборудования в обоих вариантах технологии воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (6) получаем для базового варианта:  $K_{\text{э.б.}} = 0,4/1 = 0,4$ ; проектного варианта:  $K_{\text{э.п.}} = 0,2/1 = 0,2$ .

Определённые выше значения штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , годовой программы  $\Pi_{\Gamma}$ , коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{з}}$  будут использованы при дальнейших экономических расчётах.

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

Проведение операции восстановительной наплавки требует затрат сварочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служат сварочные электроды. При проектной технологии сварочными материалами служат наплавочный порошок и защитный газ. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты  $M$  на материалы с учётом цены материалов  $C_M$ , нормы расхода материалов  $N_p$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$ , воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем для базового варианта:  $M_{баз.} = 270 \cdot 0,48 = 130$  руб.;

проектного варианта:  $M_{пр.} = 310 \cdot 0,44 + 90 \cdot 0,81 = 209$  руб.

Расчёт основной заработной платы  $Z_{осн}$  выполняем по ранее определённым величинам штучного времени  $t_{шт}$ , коэффициента доплат  $K_d$  и часовой тарифной ставки  $C_ч$ . Для этого воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (8) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{осн} = 3,0 \cdot 150 \cdot 1,88 = 846$  руб.; проектного варианта технологии:  $Z_{осн} = 1,3 \cdot 150 \cdot 1,88 = 367$  руб.

Расчёт дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$  проводим с использованием ранее определённого значения основной заработной платы  $Z_{осн}$  для проектного и базового вариантов и с учётом коэффициента дополнительных доплат  $K_{доп}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 846 \cdot 12 / 100 = 102$  руб.; проектного варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 367 \cdot 12 / 100 = 44$  руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ . При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 846 + 102 = 948$  руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 367 + 44 = 411$  руб.

Величину отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  определяем с учётом ранее рассчитанного фонда заработной платы ФЗП и коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{\text{сн}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем для базового варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 948 \cdot 34 / 100 = 322$  руб.; для проектного варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 411 \cdot 34 / 100 = 140$  руб.

Затраты на оборудование  $Z_{\text{об}}$  рассчитываем с учётом амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  и затрат на электрическую энергию  $P_{\text{э}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

Величину амортизационных отчислений определим с учётом нормы амортизации  $H_{\text{а}}$ , цены оборудования  $\Pi_{\text{об}}$  для выполнения операций по базовому и проектному вариантам и машинного времени  $t_{\text{маш}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта:  $A_{об.} = (240000 \cdot 21,5 \cdot 3,0) / (2054 \cdot 100) = 75$  руб.; для проектного варианта:  $A_{об.} = (1600000 \cdot 21,5 \cdot 1,3) / (2054 \cdot 100) = 217$  руб.

Расчёт затрат на электрическую энергию  $P_{э}$  выполняем с учётом установленной мощности оборудования  $M_{уст.}$ , цены электрической энергии для промышленных предприятий  $C_{э}$  и коэффициента полезного действия КПД для рассчитанного выше штучного времени  $t_{шт.}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта:  $P_{э} = 4 \cdot 3,0 \cdot 3,02 / 0,7 = 52$  руб. Для проектного варианта получаем:  $P_{э} = 6 \cdot 1,3 \cdot 3,02 / 0,85 = 28$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта:  $Z_{об} = 75 + 52 = 127$  руб. Для проектного варианта технологии получаем:  $Z_{об} = 217 + 28 = 245$  руб.

Величину технологической себестоимости  $C_{тех}$  при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим как сумму затрат на материалы  $M$ , фонд заработной платы ФЗП, отчисления на социальные нужды  $O_{сн}$  и затраты на оборудование  $Z_{об}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта:  $C_{тех.} = 130 + 948 + 322 + 127 = 1527$  руб. Для проектного варианта технологии:  $C_{тех.} = 209 + 411 + 140 + 245 = 1005$  руб.

Величину цеховой себестоимости  $C_{цех}$  при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной технологической

себестоимости  $C_{\text{тех}}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового варианта:  $C_{\text{цех}} = 1527 + 1,5 \cdot 846 = 1527 + 1269 = 2796$  руб. Для проектного варианта:  $C_{\text{цех}} = 1005 + 1,5 \cdot 367 = 1005 + 550 = 1555$  руб.

Величину заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (16) получаем для базового варианта:  $C_{\text{зав}} = 2796 + 1,15 \cdot 846 = 2796 + 973 = 3769$  руб. Для проектного варианта:  $C_{\text{зав}} = 1555 + 1,15 \cdot 367 = 1555 + 422 = 1977$  руб.

В таблице 14 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 14 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. «Затраты на материалы	М	130	209
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	948	411
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	322	140
4. Затраты на оборудование	Зоб	127	245
5. Технологическая себестоимость	Стех	1527	1005
6. Объём цеховых расходов	Рцех	1269	550
7. Цеховая себестоимость	Сцех	2796	1555
8. Объём заводских расходов	Рзав	973	422
9. Заводская себестоимость» [14]	$C_{\text{зав}}$	3769	1977

Как видно из таблицы 14, проведение производственного процесса по проектной технологии характеризуется меньшей заводской себестоимостью.



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

Вычисление общих капитальных затрат  $K_{\text{общ. б.}}$  при проведении производственного процесса по базовому варианту технологии проводится с использованием рассчитанного ранее коэффициента загрузки оборудования  $K_{з.б.}$  и остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об.б.}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Величину остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об.б.}}$ , которое было использовано в производственном процессе при осуществлении базового варианта технологии рассчитываем с учётом срока службы  $T_{\text{сл}}$ , рыночной стоимости нового оборудования  $\Pi_{\text{перв}}$  и нормы амортизационных отчислений  $H_a$ . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

При подстановке исходных значений в формулу (18) получаем остаточную стоимость  $\Pi_{\text{об.б.}} = 240000 - (240000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 85200$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем величину общих капитальных затрат  $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 85200 \cdot 0,40 = 34080$  руб.

Вычисление общих капитальных затрат  $K_{\text{общ. пр.}}$  при проведении производственного процесса по проектному варианту технологии проводится с учётом капитальных вложений в производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , капитальных затрат на оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$  и сопутствующих затрат  $K_{\text{соп.}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

Объём капитальных вложений в оборудование  $K_{\text{об}}$  при осуществлении проектного технологического процесса рассчитывается с учётом цены

оборудования  $\text{Ц}_{об}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $\text{К}_{тз}$  и коэффициента загрузки оборудования  $\text{К}_{з.п.}$ , который был рассчитан ранее. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\text{К}_{об.пр.} = \text{Ц}_{об. пр.} \cdot \text{К}_{тз} \cdot \text{К}_{з.п.} \quad (20)$$

При подстановке исходных значений в формулу (20) капитальные вложения в оборудование  $\text{К}_{об.пр.} = 1600000 \cdot 1,05 \cdot 0,2 = 336000$  руб.

Объём сопутствующих затрат  $\text{К}_{соп}$  при проведении производственного процесса по проектной технологии вычисляется с учётом расходов на монтаж  $\text{Р}_{монт}$  проектного оборудования и демонтаж  $\text{Р}_{дем}$  базового оборудования. При расчётах воспользуемся формулой:

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

Расходы на демонтаж  $\text{Р}_{дем}$  определяются исходя из стоимости оборудования по базовому варианту с учётом коэффициента затрат на демонтаж  $\text{К}_{дем}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\text{Р}_{дем} = \text{Ц}_{об. б.} \cdot \text{К}_{д}. \quad (22)$$

При подстановке исходных значений в формулу (22) расходы на демонтаж оборудования составили:  $\text{Р}_{дем} = 240000 \cdot 0,05 = 12000$  руб.

Расходы на монтаж  $\text{Р}_{монт}$  определяются исходя из стоимости оборудования по проектному варианту с учётом коэффициента затрат на монтаж  $\text{К}_{монт}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\text{Р}_{монт} = \text{Ц}_{об. пр.} \cdot \text{К}_{м}. \quad (23)$$

При подстановке исходных значений в формулу (23) расходы на монтаж оборудования составили:  $\text{Р}_{монт} = 1600000 \cdot 0,05 = 80000$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) сопутствующие расходы составили:  $\text{К}_{соп} = 12000 + 80000 = 92000$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (19) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили:  
 $K_{\text{общ.пр.}} = 336000 + 92000 = 428000$  руб.

Дополнительные капитальные затраты при внедрении проектной технологии рассчитываются с учётом общих капитальных затрат при проектном варианте  $K_{\text{общ.пр.}}$  и общих капитальных затрат при базовом варианте  $K_{\text{общ.б.}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (24) дополнительные капитальные вложения составят:  $K_{\text{доп}} = 428000 - 34080 = 393920$  руб.

Размер удельных капитальных вложений  $K_{\text{уд}}$  при построении технологии по базовому и проектному вариантам рассчитываются исходя из годовой программы  $\Pi_{\text{г}}$  и общих капитальных вложений. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (25) удельные капитальные вложения по базовому варианту:  $K_{\text{уд}} = 428000/300 = 142$  руб./ед. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют:  $K_{\text{уд}} = 34080/300 = 113$  руб./ед.

#### **4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии**

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям:

- снижение трудоёмкости  $\Delta t_{\text{шт}}$ ;
- повышение производительности труда  $\Pi_{\text{т}}$ ;

- снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$ ;
- условно-годовая экономия  $\Pi_{\text{ож}}$ ;
- срок окупаемости капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$ ;
- годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_r$ .

За счёт совершенствования технологического процесса получено снижение трудоёмкости  $\Delta t_{\text{шт}}$ , которое рассчитывается по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по базовому варианту  $t_{\text{шт.б}}$  и по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по проектному варианту  $t_{\text{шт.пр}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (26) снижение трудоёмкости составило:  $\Delta t_{\text{шт}} = (3 - 1,3) \cdot 100 \% / 3 = 57 \%$ .

Расчёт повышения производительности труда  $\Pi_r$  выполняется с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости  $\Delta t_{\text{шт}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (27) повышение производительности труда составило:  $\Pi_r = 100 \cdot 57 / (100 - 57) = 133 \%$ .

Расчёт снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$  выполняем с учётом ранее определённых технологической себестоимости по базовому варианту технологии  $C_{\text{тех.б}}$  и технологической себестоимости по проектному варианту технологии  $C_{\text{тех.пр}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило:  $\Delta C_{\text{тех}} = (1527 - 1005) \cdot 100 \% / 1527 = 34 \%$ .

Расчёт условно-годовой экономии  $\Pi_{\text{ож}}$  выполним с учётом годовой программы  $\Pi_{\text{г}}$ , заводской себестоимости по проектному варианту  $C_{\text{зав.пр}}$  и заводской себестоимости по базовому варианту  $C_{\text{зав.б}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (29) условно-годовая экономия составила:  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (3769 - 1977) \cdot 300 = 537600$  руб.

При расчёте срока окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$  учитывается размер дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  и величина условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (30) срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил:  $T_{\text{ок}} = 428000 / 537600 = 0,7$  года.

Расчёт годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_{\text{г}}$  при внедрении предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений выполняется с учётом рассчитанных ранее условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ , дополнительных капитальных затрат  $K_{\text{доп}}$  и коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_{\text{н}}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

При подстановке исходных значений в формулу (31) годовая экономия составила:  $\mathcal{E}_{\text{г}} = 537600 - 0,33 \cdot 428000 = 396360$  руб.

Таким образом, проектная технология показывает свою эффективность по всем показателям и может быть рекомендована к внедрению.

## Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы рассмотрены варианты построения производственного процесса с применением базовой технологии и с применением проектной технологии.

Для проектной и базовой технологии были рассчитаны основные экономические показатели (штучное время; технологическая, цеховая и заводская себестоимость, капитальные вложения).

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям, как снижение трудоёмкости, повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, условно-годовая экономия, срок окупаемости капитальных вложений, годовой экономический эффект.

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 57 % и увеличить производительность на 133 %.

Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 34 %. При этом условно-годовая экономия составила 0,538 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,7 года. При этом годовой экономический эффект составит 0,396 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность построения производственного процесса по проектной технологии. Представленные в выпускной квалификационной работе технические решения могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях Российской Федерации.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления вала главного редуктора вертолѐта.

На основании проведѐнного ранее анализа состояния вопроса и источников научно-технической информации в первом разделе выпускной квалификационной работы были сформулированы её задачи.

Первой задачей является обоснование выбора способа восстановительной наплавки рассматриваемой детали. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой детали, для чего необходимо привести перечень операций, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

Третьей задачей является назначение оптимальных параметров наплавки и выбор материалов для наплавки.

Четвёртой задачей является оценка предлагаемых технологических решений на предмет экологической безопасности и охраны труда.

Пятой задачей является проведение экономических расчѐтов по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых предстояло сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

Решая первую задачу, проведѐн предварительный анализ возможных способов восстановительной наплавки вала главного редуктора вертолѐта. Были приняты к рассмотрению следующие способы: ручная дуговая наплавка, плазменная наплавка, наплавка в защитных газах плавящейся проволокой, лазерная наплавка. По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать плазменную наплавку.

Решая вторую задачу, была построена проектная технология восстановительной наплавки вала главного редуктора вертолѐта. Для осуществления проектной технологии предложено соответствующее оборудование.

Решая третью задачу, проведѐн анализ наплавочных материалов и предложен соответствующий состав наплавочного порошка

Решая четвертую задачу выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предложены мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Решая пятую задачу выполнена оценка экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту. Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоѐмкость выполнения работ на 57 % и увеличить производительность на 133 %. Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 34 %. При этом годовой экономический эффект составит 0,396 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать поставленную цель достигнутой.



## Список используемой литературы и используемых источников

1. Батищев А. Н. Методика оптимизации способов восстановления деталей // Организация и технология ремонта машин. - М.: РГАЗУ, 2000. С. 174 – 178.
2. 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.
3. Дорофеев В. Л., Голованов В. В., Гукасян С. Г. Модификация авиационных зубчатых передач с целью уменьшения износа контактной поверхности // Современное машиностроение. Наука и образование. 2014. № 4. С. 173–183.
4. Гладкий П. В., Переплётчиков Е.Ф., Рябцев А. И. Плазменная наплавка // К. : Екологія, 2007. 292 с.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин: учебное пособие / В.В. Ельцов. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014.
7. Зяблов О. К. Применение лазерной технологии при ремонте коленчатых валов судовых двигателей : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Нижний Новгород, 2000.
8. Калинин Д. В., Ананьев В. М., Кожаринов Е. В. Расчётно-экспериментальное исследование напряжённого состояния в концентраторах напряжений валов несущих винтов вертолётов // Вестник машиностроения. 2011. № 2. С. 213–217.
9. Капелевич А. Л., Ананьев В. М. Повышение энергоёмкости авиационных редукторов // Вестник двигателестроения. 2012. № 2. С. 155–160.

10. Климов, А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра : учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2014. 52 с.
11. Кобелева К. В., Туктамышев В. Р. Обзор методов повышения долговечности авиационных зубчатых передач // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2017. № 50. С. 128–138.
12. Козулин, М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций : учебник для вузов. Тольятти : ТолПИ. 1996. 335 с.
13. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
14. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
15. Малаховский В. А. Плазменные процессы в сварочном производстве // М. : Высшая школа, 1988. 72 с.
16. Потапенко Ю. А. Инциденты с вертолетами МИ-2 из-за разрушения промежуточного вала 42.02.1370 Главного редуктора ВР-2 // Научный вестник МГТУ ГА. 2010. № 162. С. 111–114.
17. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов А. Д. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
18. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М. : Машиностроение, 1974. 240 с.
19. Протопопов Е. А., Вальтер А. И., Протопопов А. А. Обобщённая температурная зависимость ударной вязкости улучшенных легированных сталей // Известия ТулГУ, Технические науки. 2014. Том. 11. С. 110–116.
20. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А. И. Акулова, 1979. 462 с.

21. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. Ред. Н.П. Алёшина, Г.Г. Чернышова – М.: Машиностроение, 2004. Т.2 / Н.П. Алёшин [и др.] – 480 с.

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

23. Сидоров П. Г., Плясов А. В. Методология проектирования главного редуктора вертолѐта // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 8. С. 288–296.

24. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.

25. Шахпазов Е. Х., Зайцев А. И., Родионов И. Г. Ключевые направления развития металлургической технологии по обеспечению растущих требований к качеству стали // Электрометаллургия. 2011. № 2. С. 2–12.

26. Шишков М. М. Марочник сталей и сплавов // Донецк: Юго-Восток, 2002. 456 с.