

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология восстановления вала центробежного
нагнетателя природного газа

Студент

П.Н. Русинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор Г.М. Короткова

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

Аннотация

Практика эксплуатации и ремонта деталей машин показывает, что порядка 75 % выбраковываемых деталей могут быть успешно восстановлены с получением исходных свойств. При этом современные технологии реновации позволяют не только восстановить свойства деталей до исходного состояния, но и существенно повысить их

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления вала нагнетателя природного газа.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- повысить эффективность плазменного нанесения покрытий применительно к рассматриваемой детали;

- составить проектную технологию восстановительного плазменного нанесения покрытия;

- предложить оборудование для реализации проектной технологии;

- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;

- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления.

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

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,29 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,2 года.

Содержание

Введение	5
1 Анализ современного состояния восстановления валов нагнетателя природного газа	6
1.1 Описание конструкции нагнетателя и условия его работы	6
1.2 Сведения о материале для изготовления вала	10
1.3 Сведения о базовой технологии восстановительной наплавки вала	12
1.4 Анализ способов наплавки валов	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	20
2 Проектная технология плазменного восстановления вала	21
2.1 Выбор наплавочного материала	21
2.2 Описание модернизированной установки для плазменного нанесения покрытий	23
2.3 Технология восстановления вала нагнетателя	26
2.4 Описание установки для нанесения плазменного покрытия	28
2.5 Планировка участка восстановления валов	30
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	33
3.1 Технологическая характеристика объекта	33
3.2 Идентификация профессиональных рисков	34
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	36
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	38
3.5 Обеспечение экологической безопасности	40
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии	42
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений	42
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	44

4.3 Расчет штучного времени	45
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	47
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	51
4.6 Показатели экономической эффективности.	54
Заключение	57
Список используемой литературы и используемых источников	58

Введение

Рациональное использование природного газа, оптимизация управления газотранспортной системой и обеспечение промышленной безопасности являются первоочередными задачами, решению которых уделяется значительное внимание со стороны ПАО «Газпром». Эти задачи приходится решать с учётом реального состояния промышленности, экономики и технического состояния оборудования [12].

Развитие газовой промышленности происходит в условиях постоянного роста требований к контролепригодности, надёжности и ресурсу работы газоперекачивающих агрегатов. Одним из таких агрегатов, определяющих бесперебойность работы газовой сети, является нагнетатель природного газа. Выполнение требований по безопасности и повышению ресурса работы газоперекачивающих агрегатов возможно при рациональной организации технологии изготовления и ремонта их элементов [3], [4], [8], [14].

Как показала многолетняя практика эксплуатации и ремонта деталей машин, порядка 75 % выбраковываемых деталей могут быть успешно восстановлены с получением исходных свойств. При этом современные технологии реновации позволяют не только восстановить свойства деталей до исходного состояния, но и существенно повысить их [11], [25].

Эффективная эксплуатация узлов и деталей нагнетателя природного газа обеспечивается правильным проектированием точки зрения ремонтной технологичности, применением современных ремонтных технологий, поддержанием высокого уровня ремонтных технологий.

Непрерывное повышение требований к надёжности нагнетателей природного газа наблюдается в условиях роста эксплуатационных нагрузок. В связи с этим актуальным становится вопрос повышения эффективности ремонта его узлов.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления вала нагнетателя природного газа.

1 Анализ современного состояния восстановления валов нагнетателя природного газа

1.1 Описание конструкции нагнетателя и условия его работы

Назначение центробежного нагнетателя ЦБН-370, представленного на рисунке 1 – «сжатие природного газа при его транспортировании по магистральному газопроводу. При этом температура газопровода может быть до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре окружающего воздуха до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Мощность привода нагнетателя составляет 10 МВт» [2].

Работа нагнетателя природного газа может происходить при его подключении по нескольким схемам. Первая схема предусматривает работу одного нагнетателя. Вторая схема предусматривает работу двух последовательно соединённых нагнетателей. Третья схема предусматривает последовательное соединение трёх нагнетателей. Режимы работы нагнетателя регулируются за счёт изменения частоты вращения газовой турбины.

Масса нагнетателя составляет 25 тонн. При работе нагнетатель устанавливается на железобетонный фундамент. Нагнетатель образует единый транспортный и монтажный блок вместе с аккумулятором масла и маслопроводом. «Нагнетатель представляет собой одноступенчатую центробежную машину с тангенциальным подводом и отводом природного газа через подсоединяемый трубопровод» [2].

Всасывающий и нагнетательный патрубки нагнетателя имеют диаметр 680 мм, их соединение с газопроводом происходит при помощи сварки. Ходовая часть нагнетателя заключена в специальную гильзу, которая имеет возможность оперативной установки в корпус нагнетателя и снятия её при необходимости ремонта. Это позволяет производить быструю замену элементов при необходимости их ремонта, что обеспечивает бесперебойность работы нагнетателя.

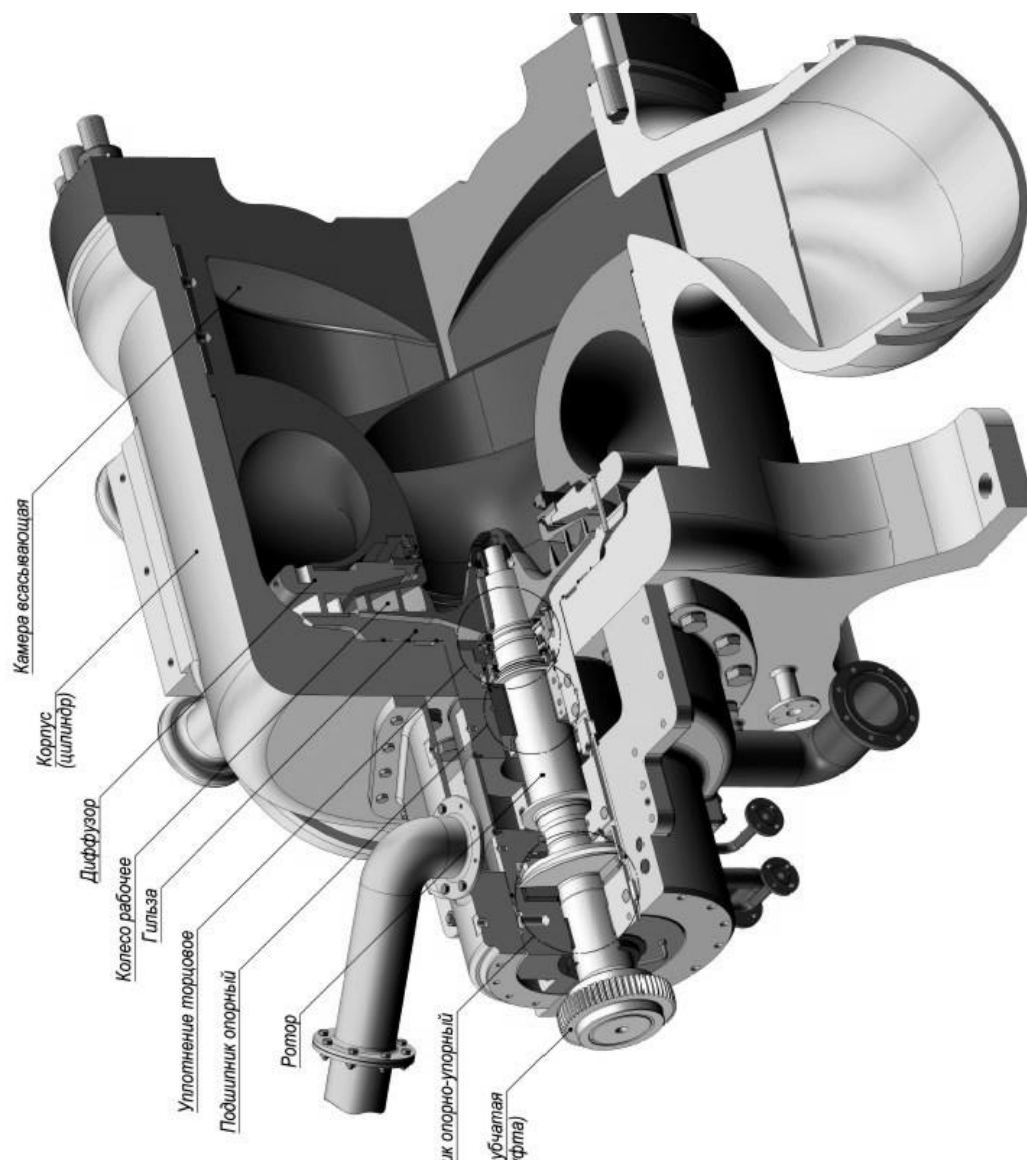
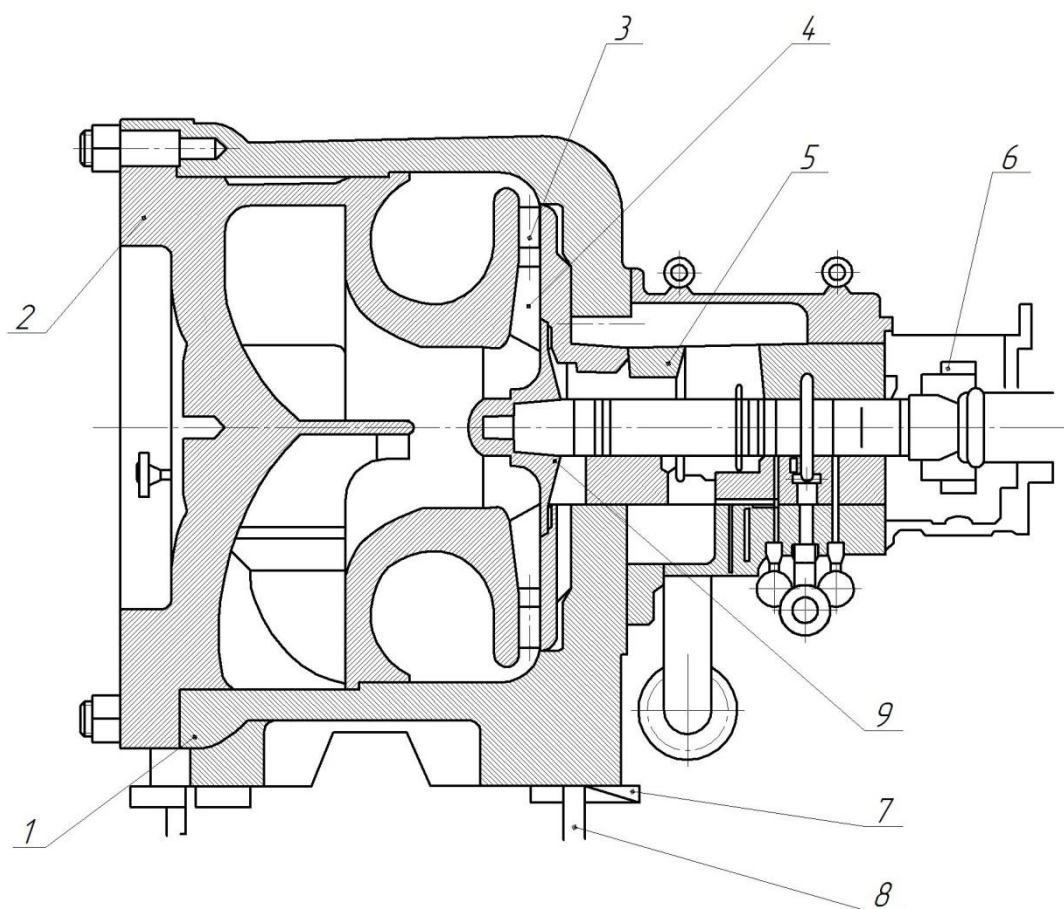


Рисунок 1 – Общий вид нагнетателя газа

Ходовая часть нагнетателя, представленная на рисунке 2, включает в себя гильзу 5, имеющую возможность оперативной установки-снятия в корпусе 1. «Корпус нагнетателя выполнен в виде стального цилиндра, закрываемого крышкой 2, на которой смонтированы всасывающая и сборная кольцевые камеры. На фланце гильзы крепится лопаточный диффузор 3, выполненный в виде круговой решетки из профильных лопаток, которые отфрезерованы за одно целое с телом диска. Покрышка диффузора и диффузор крепятся к фланцу гильзы при помощи болтов и фиксируются штифтами, которые проходят через тело покрышки и лопатки диффузора. К покрышке диффузора крепят лабиринтные уплотнения 9 покрышки рабочего

колеса 4. Между рабочим колесом нагнетателя и торцовым уплотнением ротора устанавливают лабиринтное уплотнение, предназначенное для устранения заноса капель масла в проточную часть нагнетателя» [2].



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – лопаточный диффузор; 4 – рабочее колесо;
5 – гильза; 6 – зубчатая муфта; 7 – клиновые прокладки; 8 – анкерные болты;
9 – лабиринтное уплотнение

Рисунок 2 – Состав нагнетателя ЦБН-370

Рабочее колесо нагнетателя установлено на его роторе, представленном на рисунке 3. Установка рабочего колеса на вал нагнетателя выполняется насаживанием и фиксированием при помощи шпонки. Закрепляемая гайкой ограничительная шайба позволяет добиться натяга при посадке рабочего колеса на вал.

Выполнен анализ статистических данных по результатам обследования вышедших из строя нагнетателей, рассматривались повторяемость причин отказов, происхождение и способы обнаружения дефектов в нагнетателях.

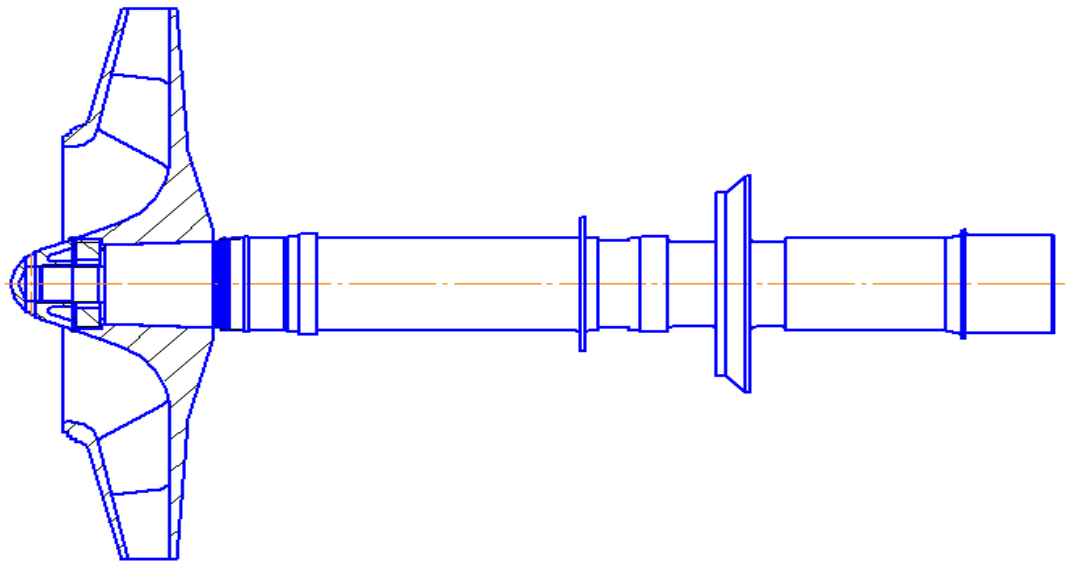


Рисунок 3 – Ротор нагнетателя с рабочим колесом

Большинство неисправностей обнаруживается при ремонте и визуальном осмотре.

Дефектами ротора нагнетателя являются, во-первых, наличие кольцевых рисок на шейках вала и упорном гребне, возникающие по причине твёрдых примесей в масле вследствие недостаточной его очистки; во-вторых, контактная коррозия конуса, возникающая по причине недостаточной коррозионной стойкости покрытия.

Дефектами лопатки рабочего колеса являются, во-первых, острые выходные кромки, получающиеся по причине эрозионного износа при недостаточной очистке газа; во-вторых, забоины входных и выходных кромок, возникающие при недостаточной очистке газа.

Дефектами втулки под уплотнение «масло-газ» являются, во-первых, кольцевые риски, по причине твёрдых примесей в масле вследствие недостаточной его очистки; во-вторых, повышенный износ по причине нарушения технологии ремонта.

Дефектом рабочего колеса является износ диска, происходящий по причине касания диска о статорные детали, если увеличено осевое перемещение ротора.

Дефектом внутреннего корпуса является коррозия на диафрагме, которая возникает по причине попадания на него влаги при недостаточной осушке газа.



Рисунок 4 – Вал нагнетателя газа перед восстановлением посадочных поверхностей

Безопасность и безаварийность работы нагнетателя в значительной степени зависит от состояния его вала, представленного на рисунке 4, на котором в процессе интенсивной работы обнаруживаются следующие дефекты: кольцевые риски на упорном гребне, кольцевые риски на шейках вала, контактная коррозия посадочного конуса.

1.2 Сведения о материале для изготовления вала

Для изготовления вала центробежного нагнетателя природного газа применяется сталь 34ХН3М, содержание в которой химических элементов согласно маркировке составляет: углерода – 0,34 %, хрома – около 1 %, никеля – около 3 %, молибдена – до 1 %. Более точное содержание химических элементов в стали 34ХН3М приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 34ХН3М [7], [27]

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cr	Cu
0,3 – 0,4	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	2,75 – 3,25	0,7 – 1,1	0,25 – 0,4	0,45 – 0,75	до 0,3

Высокий уровень механических свойств, в том числе и повышенная износостойкость по сравнению с низкоуглеродистыми сталями в стали 34ХН3М достигается за счёт повышенного содержания углерода. Это в свою очередь приводит к ряду трудностей при сварке стали 34ХН3М и наплавке на детали из этой стали [28], [24], [26]. Во-первых, следует отметить склонность к появлению холодных трещин в околошовной зоне. Во-вторых, в металле сварного шва высока вероятность появления горячих (кристаллизационных) трещин. В-третьих, при сварке изделий из стали 34ХН3М из-за структурных изменений практически невозможно достижение равнопрочности металла сварного шва и основного металла.

Для борьбы с холодными трещинами необходимо обеспечить формирование соединения в условиях оптимального термического цикла, исключающего перегрев металла. Время нахождения металла при температуре более 1000 °С должно быть максимально ограничено, для чего погонная энергия наплавки должна быть минимальна.

Если уменьшение погонной энергии наплавки не позволяет устранить вероятность получения холодных трещин, то необходимо применением предварительного подогрева изделия перед наплавкой. Температура предварительного подогрева составляет 200...300 °С.

Вероятность образования холодных трещин после наплавки может быть существенно уменьшена, если применить низкий отпуск изделия после наплавки. В ходе такой термической обработки происходит измельчение структуры наплавленного слоя и существенное снижение остаточных напряжений в детали.

Для борьбы с холодными трещинами следует максимально ограничить содержание в металле шва водорода, для этого выполняют тщательную очистку поверхности детали перед наплавкой и применяют соответствующие наплавочные материалы.

Для борьбы с горячими трещинами наплавку следует выполнять при минимальной длине дуги. Следует выполнять тщательное заплавление

кратеров с получением выпуклого мениска. Выводит кратер на основной металл запрещено. Если произошёл вынужденный обрыв дуги, повторное возбуждение следует выполнять только после того, как убедились в отсутствии кратерной трещины, если кратерная трещина обнаружена, её следует удалить механическим способом.

Образование горячих трещин существенно снижается, если применять для сварки и наплавки порошковую проволоку.

Для борьбы с разупрочнением металла в околошовной зоне применяют нормализацию + отпуск. Также в качестве сварочных и наплавочных материалов можно применять материалы с пониженным содержанием углерода и дополнительными легирующими элементами, что может привести к холодным и горячим трещинам.

1.3 Сведения о базовой технологии восстановительной наплавки вала

Первая операция – подготовка поверхности вала перед наплавкой. Перед выполнением наплавки следует выполнить тщательную очистку поверхности детали от грязи и жира. Это вызвано необходимостью борьбы с порообразованием в наплавленном металле. Также с применением механических способов обработки удаляют поверхностные дефекты и наклёпанный слой. Также при механической обработке необходимо выровнять поверхность с неравномерной выработкой по высоте. Поверхность и прилегающие к ней участки на расстоянии 10 мм должны быть очищены от загрязнений и заусенцев. После механической обработки и зачистки подготовленную деталь передают на пост наплавки.

Для промывки детали применяют ацетон, в котором вымачивают вал в течение 1...2 часа. Для промывки может использоваться керосин, тогда время вымачивания вала составляет 6...8 часов.

После того, как выполнена промывка вала, следует провести его дефектацию. «По результатам дефектации валы разделяют на три группы.

К первой группе относят годные валы, размеры которых находятся в допустимых пределах. Такие годные детали отправляют на последующую сборку нагнетателей.

Ко второй группе относят подлежащие ремонту валы. У валов этой группы повреждения и износ могут быть исправлены с применением имеющихся в наличии технических средств. Эти валы подлежат ремонту.

К третьей группе относят забракованные детали. Восстановление этих валов с применением имеющихся в наличии технических средств не представляется возможным или потребует значительных расходов, соизмеримых со стоимостью нового вала» [3]. Такие валы утилизируют.

Далее выполняют покрытие поверхностей вала, которые необходимо предохранить от брызг расплавленного металла, мокрым асбестом. По результатам осмотра вала заполняют дефектовочную карту.

Вторая операция – предварительный подогрев. Подогрев вала выполняется газовой горелкой до температуры 200...300 °С. При предварительном нагреве вала не допускается перегрев его поверхности выше температуры красного каления.

Третья операция – наплавка. Наплавку выполняют в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Толщина наплавляемого слоя составляет 1...2 мм. При наплавке применяют электроды диаметром 4 мм, наплавку ведут на токе 120...140 А и напряжении на дуге 22...24 В. Для того, чтобы снизить выгорание легирующих элементов, наплавку ведут короткой дугой, длина которой не должна превышать диаметра электрода. При ведении электрод следует держать наклонно под углом 60...70° к направлению движения, как показано на рисунке 5. Также следует накладывать поперечные колебания таким образом, чтобы сформировать на детали наплавленный слой шириной 2,5...3 диаметра электрода.

В качестве источника питания дуги при наплавке применяется сварочный аппарат «Русич С300», представленный на рисунке 6. Для наплавки применяются электроды типа Э85 марки Т-590 из проволоки Н-34ХНЗМ.

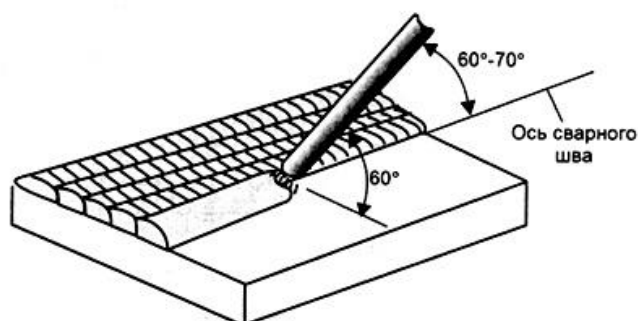


Рисунок 5 – Рекомендуемое положение электрода при осуществлении наплавки отдельными валиками



Рисунок 6 – Сварочный аппарат Русич С 300

Четвёртая операция – охлаждение вала после наплавки. Охлаждение вала выполняется при помещении его в ящик с сухим песком. Время выдержки вала в ящике с песком – не менее 6 часов.

Пятая операция – контроль качества наплавки. выполняется для выявления деталей с недопустимыми дефектами: отслоениями, трещинами, ненапылёнными участками. Выполняется с применением лупы с 4-кратным увеличением. Также при помощи твердомера проверяется твёрдость наплавленного металла, которая должна составлять 60...62 НРС.

В числе недостатков ручной дуговой наплавки следует отметить, во-первых, низкую производительность. Во-вторых, ручная дуговая наплавка

проходит при тяжёлых условиях сварщика, которые связаны с повышенной загазованностью рабочей зоны. В-третьих, при ручной дуговой наплавке сложно получить необходимое качество наплавленного слоя, часто возникают дефекты наплавки.

1.4 Анализ способов наплавки валов

Ручная дуговая наплавка, схема которой представлена на рисунке 7, осуществляется стандартным сварочным оборудованием, специальной организации поста не требуется. Процесс наплавки может быть начат практически сразу после разработки соответствующей технологии с применением имеющегося на предприятии оборудования.

В числе недостатков ручной дуговой наплавки следует отметить, во-первых, низкую производительность. Во-вторых, ручная дуговая наплавка проходит при тяжёлых условиях сварщика, которые связаны с повышенной загазованностью рабочей зоны. В-третьих, при ручной дуговой наплавке сложно получить необходимое качество наплавленного слоя, часто возникают дефекты наплавки.



Рисунок 7 – Схема процесса ручной дуговой наплавки

Механизированная наплавка в защитных газах, схема которой представлена на рисунке 8, является самым технологичным и универсальным способом, который позволяет проводить наплавку большинства материалов в различных пространственных положениях.

Применяемый для защиты сварочной ванны и наплавляемого металла углекислый газ имеет относительно малую стоимость и широкую доступность. Обычно для такой наплавки применяется постоянный ток обратной полярности. При использовании в качестве защитного газа углекислоты происходит окисление расплавленного металла, поэтому в наплавочную проволоку необходимо вводить раскислители (кремний и марганец).

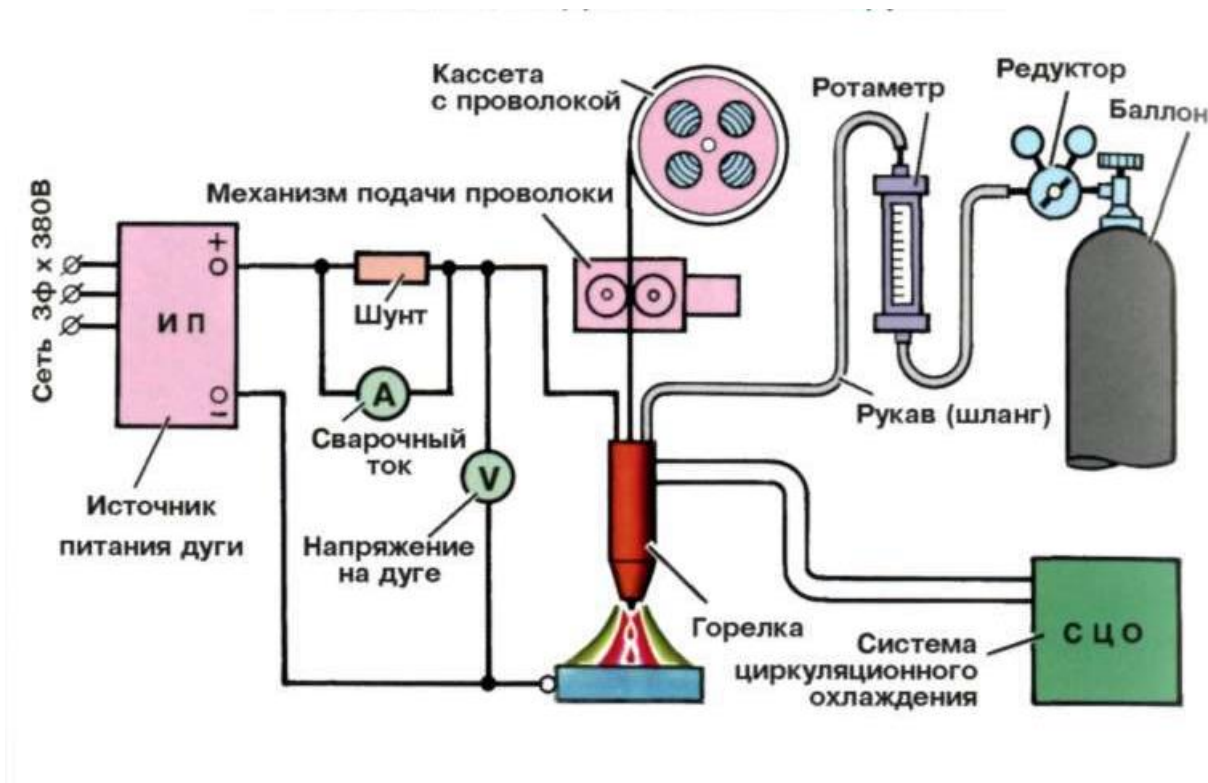


Рисунок 8 – Схема выполнения дуговой наплавки в углекислом газе

Применение форсированных режимов при наплавке в углекислом газе ограничивается недостаточной эффективностью технологического управления процессом плавления и переноса электродного металла, который отличается низкой стабильностью. Также при наплавке в углекислом газе наблюдается интенсивное разбрызгивание, которое ухудшает условия труда

сварщика, внешний вид и качество наплавленного слоя, увеличивает расход дорогостоящих наплавочных материалов.

Исследования в области повышения эффективности наплавки в защитных газах ведутся в направлении разработки компьютеризированных электроприводов подачи наплавочной проволоки. Вторым направлением исследований является управление горением дуги и переносом электродного металла [22], [23]. В качестве третьего направления можно выделить разработку новых наплавочных материалов [16].

При восстановлении валов значительное распространение получили газопламенные способы нанесения покрытий, схема которых представлена на рисунке 9. В качестве преимуществ газопламенного напыления можно указать: высокую производительность, малое тепловое воздействие на деталь, высокое сопротивление наносимого покрытия износу, относительная простота способа [9], [17].

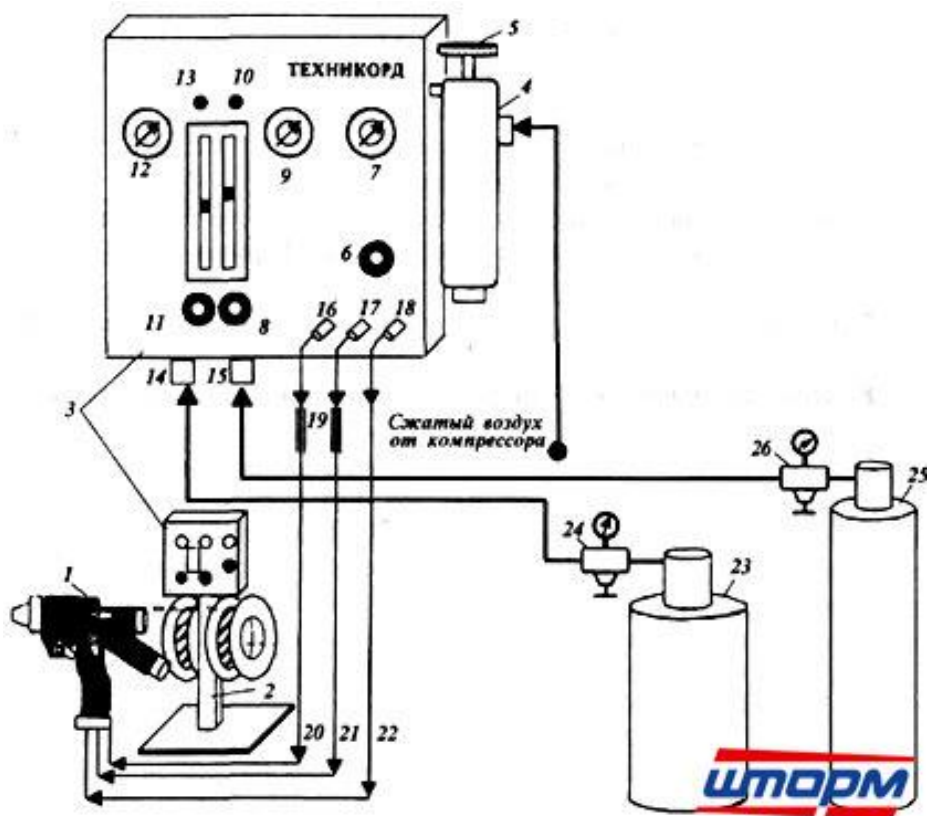


Рисунок 9 – Схема установки для газопламенного напыления

Существенным недостатком газопламенного напыления является низкая прочность сцепления покрытия с основой. В результате существенно снижается ресурс эксплуатации восстановленных изделий, если они работают в условиях ударных нагрузок. При этом прочность сцепления покрытия с основой ещё больше снижается при увеличении толщины наплавленного слоя более 1 мм.

В настоящее время перспективами обладает способ лазерного нанесения покрытий. При этом подача присадочного материала в зону действия лазерного луча происходит в виде порошка, как показано на рисунке 10. Применение лазерной наплавки минимизирует тепловое воздействие на наплавляемое изделие, существует возможность получения покрытий с различной толщиной и химическим составом, управлять геометрией наплавленного валика [5], [18], [21].

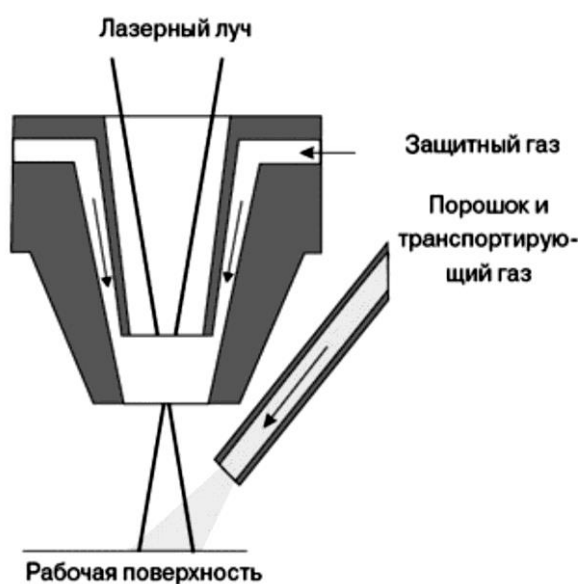
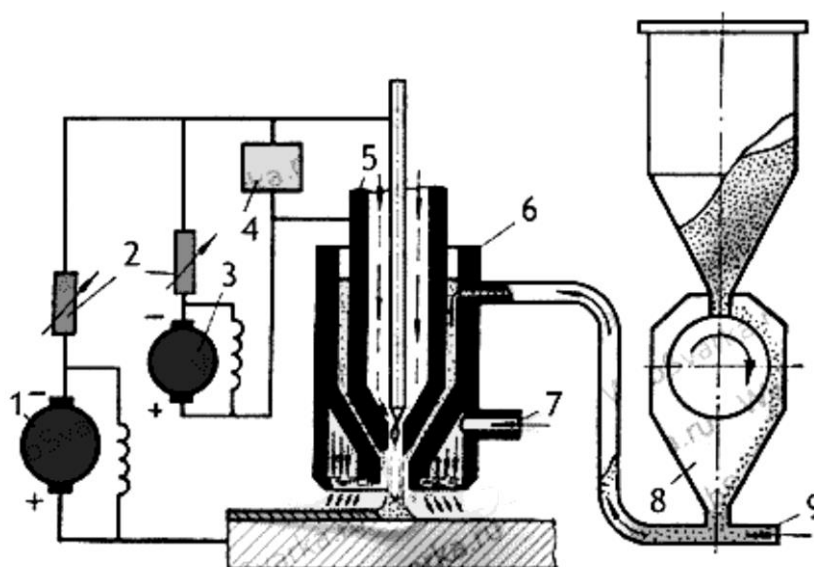


Рисунок 10 – Схема лазерной наплавки с боковой подачей порошка

В качестве недостатков лазерной наплавки следует отметить, что этот способ пока не получил достаточного распространения при восстановлении деталей машин и не имеет достаточного опыта применения который позволил бы однозначно рекомендовать его для построения проектной технологии восстановления вала нагнетателя. Кроме того, при лазерной

наплавке действуют значительные силы поверхностного натяжения, которые могут нарушить равномерность покрытия. Также следует отметить высокую сложность применяемого для наплавки оборудования.

Анализ технологичности различных способов наплавки деталей машин показывает, что плазменное нанесение покрытий, выполняемое по схеме на рисунке 11, обладает большей эффективностью по сравнению с наплавкой в углекислом газе и ручной дуговой наплавкой. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий. Плазменная наплавка с внесением порошка в плазменную струю характеризуется значительной производительностью наплавки, которая может достигать 6 кг/час. Также применение плазменной наплавки позволяет существенно снизить потребление наплавочного порошка по сравнению с другими способами восстановления деталей машин. Кроме того, при плазменной наплавке помимо дорогостоящих порошков на основе никеля и кобальта могут применяться существенно более дешёвые порошки на основе железа.



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

Рисунок 11 – Схема установки для плазменной наплавки

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение эффективности восстановления вала нагнетателя природного газа.

Базовая технология восстановительной наплавки происходит с применением ручной дуговой наплавки штучными электродами.

Ручная дуговая наплавка осуществляется стандартным сварочным оборудованием, специальной организации поста не требуется. Процесс наплавки может быть начат практически сразу после разработки соответствующей технологии с применением имеющегося на предприятии оборудования.

Анализ альтернативных способов восстановления выполнен с рассмотрением таких способов, как ручная дуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, лазерная наплавка, плазменное нанесение покрытий. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменное нанесение покрытий.

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

- повысить эффективность плазменного нанесения покрытий применительно к рассматриваемой детали;
- составить проектную технологию восстановительного плазменного нанесения покрытия;
- предложить оборудование для реализации проектной технологии;
- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;
- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления.

2 Проектная технология плазменного восстановления вала

2.1 Выбор наплавочного материала

Для правильного построения проектной технологии восстановительной плазменной наплавки необходимо определиться с наплавочным материалом (присадочным порошком).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для построения проектной технологии можно предложить нанесение нескольких слоёв на деталь. При формировании подслоя применяется порошок ПТ-НА-01. После этого выполняют нанесение нескольких слоев смесью порошков системы никель-алюминий (ПН85Ю15) и

самофлюсующегося порошка системы Ni-Cr-B-Si (X17CP1). Применение сплава системы никель-алюминий позволит получить хорошие антифрикционные свойства поверхности вала. Применение самофлюсующихся сплавов позволит получить хорошее сцепление между слоями и сопротивление ударным нагрузкам.

2.2 Описание модернизированной установки для плазменного нанесения покрытий

Плазменная наплавка и плазменное напыление при восстановлении детали получили достаточно широкое применение и давно используются в отечественной и зарубежной промышленности. При помощи плазматрона создаётся сжатая сварочная дуга. Подачу наплавочного порошка выполняют за счёт транспортирующего газа в столб дуги. Главными недостатками плазменного нанесения покрытия с внесением порошка в дугу является неравномерный нагрев порошка, перегрев основного металла, значительные потери порошка (до 30 %) и общее снижение качества наплавки и напыления [19]. Также следует отметить, что наблюдаемая при этом неравномерность подачи присадочного порошка существенно снижает стабильность качества наплавки и напыления.

Для повышения стабильности подачи присадочного порошка в столб сжатой дуги предлагается [20] подачу присадочного порошка выполнять через выпускной канал, который располагают после дозирующего отверстия и имеющий небольшую конусность. Это позволяет снизить потери порошка до 3 %, но существенно уменьшает производительность наплавки и напыления.

Предложено также «подачу порошкообразного присадочного материала выполнять через дозирующее отверстие выпускной полости бункера. Введение порошка в столбы дуги происходит под действием сил

тяжести, при этом выпускную полость бункера сообщают с атмосферой, а сам плазматрон располагают под углом к потоку» [1].

Недостатком этого способа является малая стабильность качества наплавки пор причине неравномерности подачи порошка в сварочную дугу. Если зернистость порошка неравномерна, частицы порошка имеют нестабильную форму, имеются включения с малой зернистостью, то происходит сцепление частиц порошка между собой. В переходных сечениях выпускной системы бункера могут образовываться застойные зоны, которые будут препятствовать равномерной подаче порошка. Это в конечном итоге ухудшает качество плазменной наплавки и плазменного напыления.

Для осуществления плазменной наплавки предлагается установка, представленная на рисунке 12, содержащая «плазматрон 1 с вольфрамовым электродом 2, бункер 3 с выпускной полостью 4 и дозирующим отверстием 5, элемент перекрытия дозирующего отверстия в виде запорной иглы 6.

Выпускная полость 4 бункера 3 заполнена порошкообразным присадочным материалом 7 с повышенным коэффициентом трения и сцепления частиц между собой, способного к уплотнению в переходных сечениях выпускной полости 4 и сообщена с атмосферой.

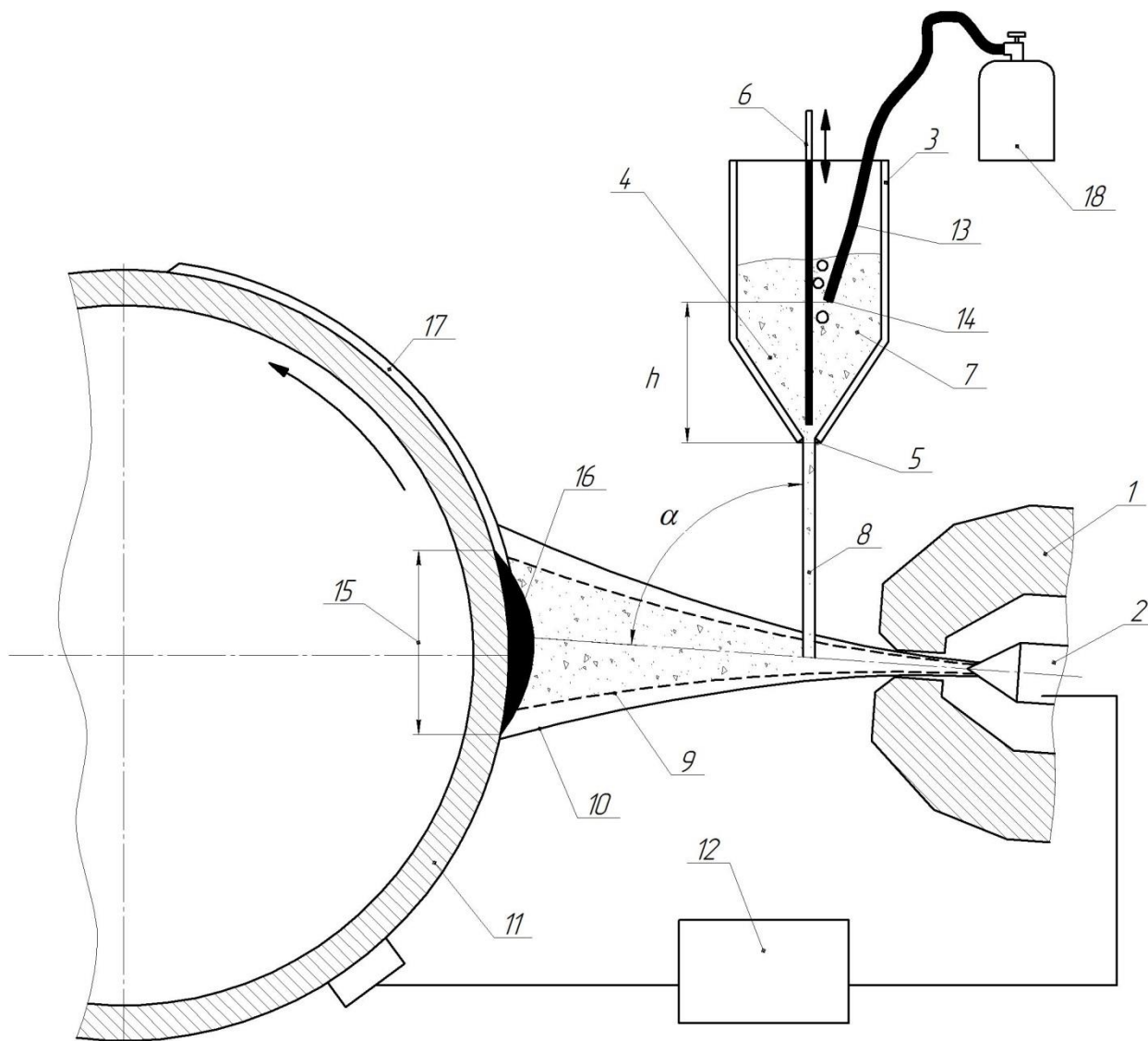
Поток 8 порошкообразного присадочного материала 7 под действием сил тяжести направлен по вертикали в столб 9 сжатой дуги 10 между вольфрамовым электродом 2 и наплавляемой поверхностью 11 изделия.

Плазматрон 1 расположен под углом α к потоку 8 порошкообразного присадочного материала 7 при его подаче в столб 9 сжатой дуги 10, которую образуют с помощью источника сварочного тока 12.

В поток порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3 с помощью узкоцилиндрического канала 13 введен непрерывный или пульсирующий поток воздуха или газа, при этом зона ввода 14 потока воздуха или газа по высоте выпускной полости 4 бункера 3 расположена на расстоянии h от среза дозирующего отверстия 5.

Сжатая дуга 10 в зоне пятна нагрева 15 образует сварочную ванну 16, а на поверхности 11 изделия слой 17 наплавленного металла.

Поток воздуха или газа в поток порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3 создают, с помощью баллона 18» [19].



- 1 - плазматрон; 2 - вольфрамовый электрод; 3 - бункер; 4 - выпускная полость бункера;
 5 - дозирующее отверстие бункера; 7 - присадочный материал;
 8 - поток присадочного материала; 9 - столб дуги; 10 - дуга; 11 - изделие; 12 - источник питания;
 13 - узкоцилиндрический канал; 14 - зона ввода потока газа; 5 - пятно нагрева;
 16 - сварочная ванна; 17 - наплавленный слой; 18 - газовый баллон

Рисунок 12 – Работа установки плазменной наплавки

Предлагаемое устройство подачи присадочного порошка работает следующим образом. В процессе нанесения плазменного покрытия выполняют установку плазматрона 1 под углом α к вертикали. Сжатая дуга 10 прямого действия горит между вольфрамовым электродом 2 и поверхностью 11 восстанавливаемой детали.

Присадочный порошок 7 засыпают в бункер 3, который имеет выпускную полость 4. Дозирующее отверстие 5 бункера открывается при помощи запорной иглы 6.

В выпускной полости 4 создают зону ввода 14, в которую помещают узкоцилиндрический канал 13, через этот канал выполняют подачу непрерывного или пульсирующего потока газа от газового баллона 18. Под действием напора газа возникают пульсации, в результате которых происходит динамическое рыхление и перемешивание присадочного порошка, снижается трение и сцепление частиц порошка между собой. Существенно повышается стабильность истечения порошка, снижаются завихрения при подаче в столб сжатой дуги.

Плавление частиц присадочного порошка происходит в столбе 9 сжатой дуги 10. Далее в жидком состоянии частицы переносятся в зону нагрева 15, в пятне которой образуется сварочная ванна 16. На поверхности изделия 11 образуется наплавленный слой 17 высокого качества.

2.3 Технология восстановления вала нагнетателя

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

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

Вал очищают на установке ММА1, представленной на рисунке 13.



Рисунок 13 – Моющая машина ММА1

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

Вторая операция – дефектовка. Детали после мойки поступают на стол дефектовщика, где выполняется их проверка на наличие недопустимых дефектов и измеряется величина износа. По результатам осмотра вала заполняют дефектовочную карту.

Третья операция – подготовка деталей под наплавку. Поверхностные дефекты и наклёпанный слой удаляют механическим путём. Поверхности с неравномерной выработкой (более 2 мм по высоте) выравнивают на токарном станке. После механической обработки выполняют дробеструйную обработку восстанавливаемых поверхностей вала.

Далее выполняют покрытие поверхностей вала, которые необходимо предохранить от брызг расплавленного металла, мокрым асбестом.

Четвёртая операция – плазменная обработка. Выполняется плазменное напыление и с подплавлением предыдущего слоя, Ток напыления – 315 А, напряжение на дуге – 65 В. В качестве транспортирующего газа применяется азот. Установлен расход азота 0,5 л/мин. В качестве плазмообразующего и защитного газа применяется аргон. Установлен расход аргона 1,5 л/мин. Применяется фракция присадочного порошка размером 60 мкм.

Сначала наносится подслои с применением порошка ПТ-НА-01. Далее наносят несколько слоёв смесью порошков ПН85Ю15М и Х17СР1 с различным соотношением компонентов. Первый слой: 95 % ПН85Ю15М + 5 % Х17СР1, второй слой: 90 % ПН85Ю15М + 10 % Х17СР1, третий слой: 85 % ПН85Ю15М + 15 % Х17СР1, четвёртый слой: 80 % ПН85Ю15М + 20 % Х17СР1, пятый слой: 75 % ПН85Ю15М + 25 % Х17СР1.

После напыления каждого слоя выполняют дробеструйную обработку поверхности.

Пятая операция – контроль качества наплавки. выполняется для выявления деталей с недопустимыми дефектами: отслоениями, трещинами, ненапылёнными участками. Выполняется с применением лупы с 4-кратным увеличением. Также при помощи твердомера проверяется твёрдость наплавленного металла, которая должна составлять 60...62 НРС.

2.4 Описание установки для нанесения плазменного покрытия

Установка для нанесения плазменного покрытия включает в себя следующие элементы согласно рисунка 14: станина 1; вращатель 2; пульт управления 3; суппорт 4; пиноль 5; сварочный пистолет 6; бункер для порошка 7; привод 8; заднюю бабку 9; защитный экран 10; приспособление установочное 11.

Компоновку оборудования выполним на базе токарного станка А364, который уже имеется в производстве и не задействован в других технологических процессах. Это позволяет сэкономить капитальные средства при внедрении проектной технологии восстановления вала. В процессе восстановления будет использован находящийся на участке и не задействованный в других работах токарный станок А364. За счёт увеличения коэффициента загрузки оборудования при внедрении проектной технологии следует ожидать экономию капитальных затрат.

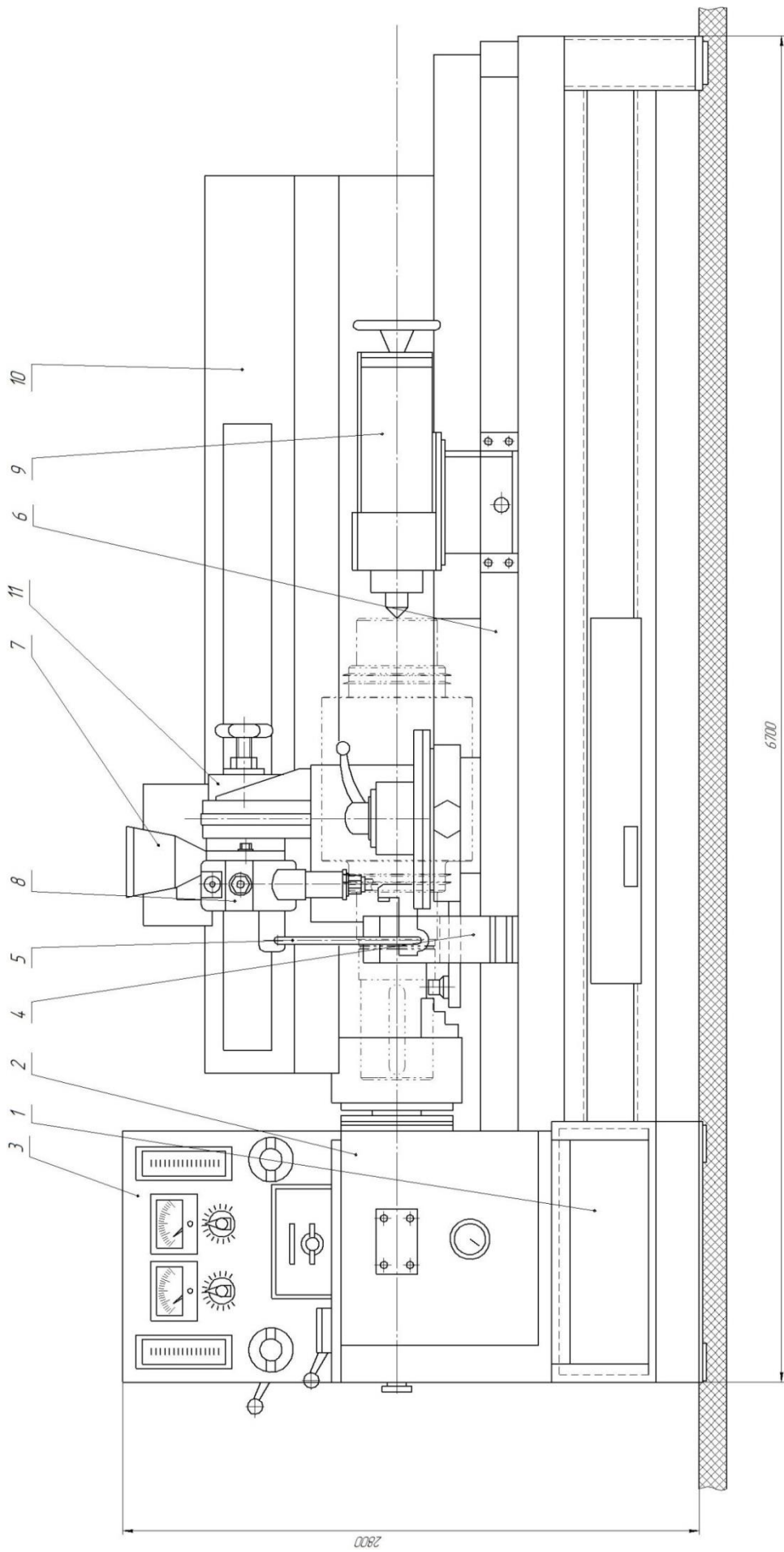


Рисунок 14 – Установка для плазменной наплавки

2.5 Планировка участка восстановления валов

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

«Ремонтный участок, представленный на рисунке 15, располагается в северной части ремонтного цеха производства и предусматривает размещение следующих основных видов оборудования:

- стеллаж для изношенных деталей (позиция 1),
- ванна для моющего раствора (позиция 2),
- верстак слесарный (позиция 3),
- комплекс контрольно-измерительный (позиция 4),
- станок сверлильный (позиция 5),
- электропечь СНО (позиция 6),
- камера дробеструйная (позиция 7),
- пост нанесения защитных покрытий (позиция 8),
- установка для напыления УПУ-8М (позиция 9),
- каналы вентиляционные (позиция 10),
- экран защитный (позиция 11),
- тележка для перевозки и хранения деталей (позиция 12),
- тележка для перевозки баллонов с газом (позиция 13),
- стеллаж для хранения готовой продукции (позиция 14),
- ванна помывочная (позиция 15),
- стеллаж для хранения ремонтного фонда и прочих инструментов и материалов (позиция 16),
- вентиляция приточная (позиция 17),
- циклон пылеотделяющий (позиция 18),
- вентилятор пылеудаляющий (позиция 19)» [5].

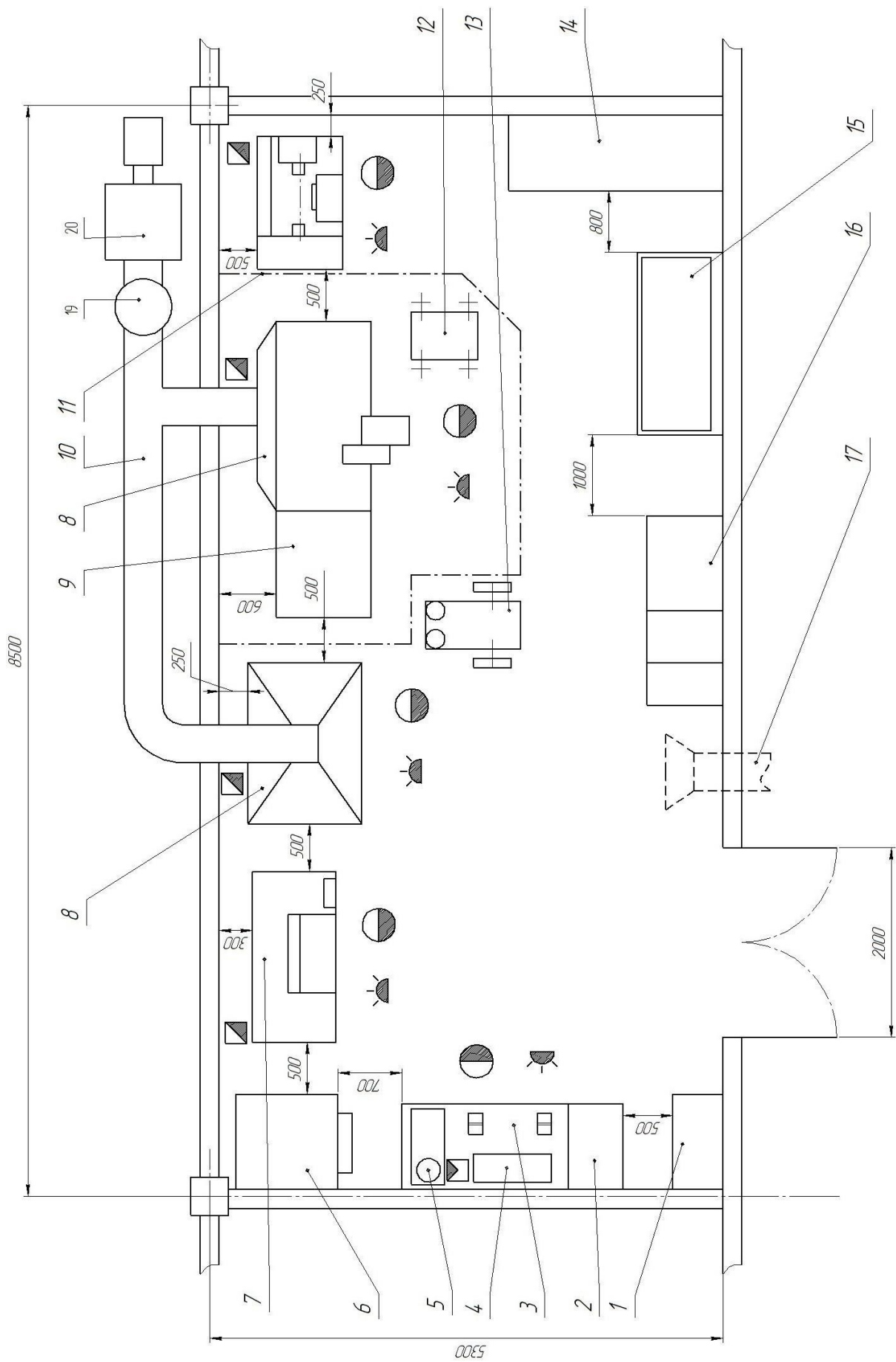


Рисунок 15 – Планировка участка восстановления деталей

Выводы по второму разделу

Для обоснования выбора способа восстановительной наплавки выполнен поиск и анализ источников научно-технической информации по эффективности альтернативных способов наплавки. В качестве альтернативных способов рассматривались:

- ручная дуговая наплавка,
- наплавка в углекислом газе,
- газопламенное напыление,
- лазерная наплавка,
- плазменное нанесение покрытий.

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа наплавки принято решение в проектной технологии использовать плазменную наплавку.

Составлена проектная технология плазменной наплавки валов, которая включает в себя следующие операции:

- мойка,
- дефектовка,
- подготовка поверхности,
- плазменная наплавка,
- контроль качества.

Приведены описания операций технологического процесса плазменной наплавки изделия, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал. Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления рассматриваемого изделия.

3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановления вала нагнетателя природного газа с применением плазменного нанесения покрытия. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартным средств и мероприятий.

Таблица 2 - Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1. Мойка	Слесарь-сборщик	Моечная машина ММА1	щелочной раствор, вода техническая
2 Дефектовка	Инженер - дефектоскопист	Штангенциркуль ШЦ, микрометр, дефектоскоп	масло
3. Подготовка дефектного места	Слесарь-сборщик	Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000	воздух сжатый, мастика защитная РУНАКРОМ-М3
4. Плазменная наплавка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка плазменной наплавки, патрон Т-100-0014, источник питания модернизированный	порошки наплавочные, аргон, азот
5. Проведение контроля качества	Инженер - дефектоскопист	Лупа х4, линейка, твердомер ТН-320, штангенциркуль, набор ДМК-4	-

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций, представленных в таблице 2: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, контроль качества.

Применение оборудования при осуществлении операций проектного технологического процесса приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых будет выполнена во втором пункте настоящего раздела.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса, которые представлены в таблице 3.

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

На основании анализа данных таблицы 3 может быть выполнена идентификация опасных производственных факторов, которые сопровождают каждую операцию технологического процесса.

Таблица 3 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1. Мойка	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	Моечная машина
2 Дефектовка	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение; - 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; 	Ультразвуковой дефектоскоп
3. Подготовка дефектного места	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000
4. Плазменная наплавка	<ul style="list-style-type: none"> - 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; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение 	Установка плазменной наплавки
5. Проведение контроля качества	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Ультразвуковой дефектоскоп

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 4 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	- размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; - проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	- применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; - размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	- применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; - применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	- организация защитного заземления; - проведение периодического инструктажа по технике безопасности; - периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	- проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; - механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	- применение защитных экранов; - применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	- применение защитных экранов; - применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	- размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; - уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда

Таким образом, реализация в производстве проектной технологии, операции которой подробно описаны в настоящей выпускной квалификационной работе, сопровождается опасными и вредными производственными факторами. Источниками этих опасных и вредных производственных факторов является применяемое технологическое оборудование и другие объекты производства. Эти источники были приведены и проанализированы выше при идентификации опасных и вредных производственных факторов.

На основании анализа профессиональных рисков, возникающих при воздействии описанных производственных факторов предложены стандартные мероприятия и средства защиты, которые позволяют полностью устранить влияние опасного фактора. Приведённые мероприятия и меры защиты позволили также снизить влияние вредных производственных факторов до приемлемого уровня.

Предложенные меры позволили исключить травматизм при реализации проектного технологического процесса и защитить работника от получения профессиональных заболеваний.

Однако осуществление проектной технологии предусматривает не только возникновение опасных и вредных факторов, влияющих на участников производственного процесса. Негативному воздействию подвергается окружающая среда. Таким образом, технологический процесс может представлять угрозу за счёт возникновения неблагоприятных экологических факторов (загрязнение воздуха, гидросферы и литосферы).

Кроме того, нормальное протекание технологического процесса может нарушаться при возникновении пожара, который становится ещё одним фактором отрицательного влияния на окружающую среду и участников производства (работающий персонал, производственные здания и оборудование).

Изучению вопроса экологической и пожарной безопасности посвящена вторая половина настоящего раздела выпускной квалификационной работы.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара, представленных в таблице 5, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 6.

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

Таблица 5 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется восстановительная плазменная наплавка	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 6 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

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

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

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

3.5 Обеспечение экологической безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблицы 8 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов согласно таблицы 9.

Таблица 8 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Плазменная наплавка валов	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 9 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии ремонтной наплавки рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса ремонтной наплавки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

4 Оценка экономической эффективности проектной технологии

4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности плазменной наплавки при восстановлении вала центробежного нагнетателя газа. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе плазменной наплавки.

Базовая технология восстановления предусматривает применение дуговой наплавки штучными электродами. Проектная технология предусматривает плазменную наплавку с использованием модернизированной установки плазменной наплавки. Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении изделия, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, контроль качества.

Такая замена способа восстановления позволяет существенно повысить производительность выполнения восстановительных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов наплавки.

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

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

Таблица 10 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	P_p		V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{об}$	Руб.	100000	1000000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	12	70
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_{а}$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	m^2	800	800
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	P/m^2	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	$E_{\text{н}}$	-	0,33	0,33

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных, приведённых в таблице 10: суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 277$ дней, длительность рабочей смены $T_{\text{см}} = 8$ часов, количество предпраздничных дней $D_{\text{п}} = 7$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{\text{п}} = 1$ час,

принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен $K_{см} = 1$. Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

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

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени $B = 7 \%$:

$$F_э = F_H (1 - B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время $t_{шт}$ является суммой затрат времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени $t_{маш}$; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени $t_{всп}$; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования) $t_{обсл}$; времени $t_{отд}$ на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного

времени $t_{П-3}$:

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

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

$$t_{шт.баз} = 0,86 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1,5 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,34 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,6 \text{ ч.}$$

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

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

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

$$П_{Г.баз.} = 2054 / 1,5 = 1369 \text{ деталей за год;}$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054 / 0,6 = 3423 \text{ деталей за год.}$$

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

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

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

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

$$n_{РАСЧБ} = \frac{1,5 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,81, \quad n_{РАСЧП} = \frac{0,6 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,22.$$

Необходимое количество оборудования $n_{пр}$, которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному

вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ($n_{пр} = 1$). Коэффициент K_3 загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

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

$$K_{3б} = 0,81/1 = 0,81,$$

$$K_{3п} = 0,22/1 = 0,22.$$

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

Восстановление поверхности вала центробежного нагнетателя предусматривает расходование материалов. При дуговой наплавке расходным материалом будут сварочные электроды. При плазменном нанесении покрытия расходными материалами будут присадочный порошок и аргон.

Затраты M на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов H_p , цены материалов C_m и коэффициента $K_{ТЗ}$ транспортно-заготовительных расходов:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{ТЗ}, \quad (7)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{баз.} = 120 \cdot 2 \cdot 1,05 = 252 \text{ руб.}$$

$$M_{проектн.} = 90 \cdot 0,6 \cdot 1,05 + 50 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 56,70 + 141,75 = 198 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы $Z_{осн}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии,

рассчитаем с учётом штучного времени $t_{шт}$, часовой тарифной ставки $C_ч$ и коэффициента $K_д$ доплат:

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

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

$$Z_{осн.баз.} = 1,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 564 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн.проектн.} = 0,6 \cdot 200 \cdot 1,88 = 226 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$Z_{доп.базов.} = 564 \cdot 12 / 100 = 68 \text{ рублей;}$$

$$Z_{доп.проектн.} = 226 \cdot 12 / 100 = 27 \text{ рублей.}$$

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

$$\Phi ЗП_{базов..} = 564 + 68 = 632 \text{ рублей;}$$

$$\Phi ЗП_{проектн.} = 226 + 27 = 253 \text{ рублей.}$$

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

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

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

$$\text{Осс}_{\text{баз.}} = 632 \cdot 34 / 100 = 215 \text{ руб.},$$

$$\text{Осс}_{\text{проектн.}} = 253 \cdot 34 / 100 = 86 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

$$A_{\text{об. баз.}} = 100000 \cdot 21,5 \cdot 1,5 / 2054 / 100 = 16 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 1000000 \cdot 21,5 \cdot 0,6 / 2054 / 100 = 62 \text{ руб.}$$

Расходы $P_{\text{эз}}$ на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования $M_{\text{уст}}$, цены электрической энергии $C_{\text{э-э}}$ для предприятий, машинного времени $t_{\text{маш}}$ и КПД оборудования:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э-э}}}{\text{КПД}}. \quad (13)$$

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

$$P_{\text{эз баз}} = 12 \cdot 1,5 \cdot 3,2 / 0,7 = 82 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{эп пр}} = 70 \cdot 0,6 \cdot 3,2 / 0,85 = 158 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{об баз.}} = 16 + 82 = 98 \text{ рублей,}$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 62 + 158 = 220 \text{ рублей.}$$

Технологическая себестоимость $C_{\text{тех}}$ рассчитывается как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$ и затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$:

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

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 252 + 632 + 215 + 98 + 62 = 1259 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 198 + 253 + 86 + 220 + 17 = 774 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость $C_{\text{цех}}$ рассчитывается с учётом технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{цех}}$ цеховых расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 1259 + 1,5 \cdot 564 = 1259 + 846 = 2105 \text{ руб.,}$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 774 + 1,5 \cdot 226 = 774 + 339 = 1113 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{ЗАВБаз.} = 2105 + 1,15 \cdot 564 = 2105 + 649 = 2754 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 1113 + 1,15 \cdot 226 = 1113 + 260 = 1373 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 11.

Таблица 11 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	<i>М</i>	252	198
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	632	253
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	215	86
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	98	220
5. Расходы на площади	<i>Зпл</i>	62	17
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	1259	774
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	846	339
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	2105	1113
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	649	260
9. Заводская себестоимость	<i>Сзав</i>	2754	1373

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования $Ц_{\text{об.б.}}$, коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{з. б.}}$ рассчитанного для базового варианта согласно (6):

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

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

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

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

$$Ц_{об.баз.} = 100000 - (100000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 35500 \text{ рублей}$$

$$K_{общ.баз.} = 1 \cdot 3550 \cdot 0,81 = 28755 \text{ рублей}$$

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

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

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

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

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

$$K_{об. пр.} = 1000000 \cdot 1,05 \cdot 0,22 = 231000 \text{ руб.}$$

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

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

Расходы на демонтаж $K_{\text{дем}}$ и монтаж $K_{\text{монт}}$ рассчитываем с учётом стоимости оборудования $C_{\text{б}}$ и $C_{\text{пр}}$ по базовому и проектному вариантам, коэффициентов $K_{\text{д}}$ и $K_{\text{м}}$ на демонтаж и монтаж оборудования:

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

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

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

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 10000 \cdot 0,05 = 5000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 1000000 \cdot 0,05 = 50000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 5000 + 50000 = 55000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = 231000 + 55000 = 286000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения $K_{\text{доп}}$ рассчитываем исходя из капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ и $K_{\text{общ. б.}}$ для проектного и базового вариантов технологии:

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

$$K_{\text{доп}} = 286000 - 28755 = 257245 \text{ руб.}$$

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

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

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 28755/1000 = 29 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 286000/1000 = 286 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Показатели экономической эффективности

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

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штб} - t_{штпр}}{t_{штб}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{1,5 - 0,6}{1,5} \cdot 100\% = 60\%$$

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Pi_T = (100 \cdot 60) / (100 - 60) = 150 \%$$

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

$$\Delta C_{тех} = \frac{C_{техб} - C_{техпр}}{C_{техб}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{тех} = \frac{1259 - 774}{1259} \cdot 100\% = 40\%$$

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

$$Pr_{ож.} = \Delta_{у.г.} = \left(C_{зав}^б - C_{зав}^{пр} \right) \cdot П_{Г} . \quad (29)$$

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

$$\Delta_{у.г.} = (2754 - 1373) \cdot 1000 = 1381000 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$T_{ок} = \frac{286000}{1381000} = 0,2$$

Годовой экономический эффект $\Delta_{г.}$, получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\Delta_{г.} = \Delta_{у.г.} - E_{н.} \cdot K_{доп} \quad (31)$$

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

$$\Delta_{г.} = 1381000 - 0,33 \cdot 286000 = 1286620 \text{ руб.}$$

Выводы по экономическому разделу

При выполнении базовой технологии восстановления валов центробежного нагнетателя применяется ручная дуговая наплавка штучными электродами. Недостатком базовой технологии является высокая вероятность

получения наплавленного слоя с порами и неоднородной структурой. В наплавленном слое присутствуют значительные остаточные растягивающие напряжения, которые приводят к снижению прочности на 30...40 %. Также следует отметить низкую производительность способа по сравнению с перспективными высокотехнологичными способами восстановления деталей машин.

Проектный вариант технологии предполагает использование плазменной наплавки. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения восстановительных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов наплавки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 60 %, повышение производительности труда на 150 %, уменьшение технологической себестоимости на 40 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1,38 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,29 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,2 года. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение эффективности восстановления вала нагнетателя природного газа.

Анализ альтернативных способов восстановления выполнен с рассмотрением таких способов, как ручная дуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, лазерная наплавка, плазменное нанесение покрытий. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменное нанесение покрытий.

На основании анализа источников научно-технической информации построение проектной технологии восстановительной наплавки предложено выполнять с использованием плазменной наплавки с повышенной стабилизацией подачи порошка в столб дуги.

Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении вала центробежного насоса, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, контроль качества. Приведены описания операций технологического процесса, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,29 млн. рублей. Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 16311849 СССР, МКИ В23К9/04. Способ плазменной наплавки порошкообразным присадочным материалом / Ожегов Н. М., Пазыни В. А., Кряжков В. М., Семириков Н. Е. – № 4259881/27, завл. 11.06.87; опубл. 20.09.96, Бюл. № 26. 3 с.
2. Альбом плакатов ЦБН типа Н-370-18. М.: ООО «Газпром Центрремонт». 2010. 10 с.
3. Бондаренко Г. А., Крившич Н. Г., Петров В. В., Стеценко А. А. Вибрации центробежных нагнетателей природного газа. Нормы и методика оценки вибрационного состояния. Обзорная информация ЦИНТИ Химнефтемаша. М.: Химнефтемаш, 1990. 24 с.
4. Васильев Ю. Н., Бесклетный М. Е., Игуменцев Е. А. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М.: Недра, 1987. 197 с.
5. Гаврилов, Г. Н. Разработка и освоение технологий поверхностного термического упрочнения и наплавки металлических материалов лазерным излучением : дис. ... докт. техн. наук. Нижний Новгород : Нижегородской государственный технический университет, 2000.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия
8. Данилейко В. И., Довженко В. Н., Карпенко С. И. Особенности конструкции центробежных компрессоров Сумского НПО им. М.В. Фрунзе // Газотурбинные технологии. 2004. № 3. С. 18–21.
9. Данилов, П. А. Повышение эффективности восстановления работоспособности изношенных деталей на основе обоснованного выбора технологических методов восстановления их эксплуатационных свойств :

дис. ... канд. техн. наук. М. : Московский гос. техн. университет «СТАНКИН», 2010.

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

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

12. Иванов Э. С. Обеспечение эффективности работы компрессорных станций в условиях сниженной нагрузки магистральных газопроводов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / Эрнест Сергеевич Иванов. – Уфа: Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. 2016.

13. Ильичев М. В. Формирование структуры и свойств при плазменной наплавке износостойких покрытий на медь и высокоуглеродистую, марганцовистую стали : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01. – 2007.

14. Козаченко А. Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. М. : Нефть и газ, 1999. 463 с.

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

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

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

18. Неверов В. В. Разработка технологии наплавки износостойких сплавов при изготовлении биметаллических изделий : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М. : МАТИ, 2012.

19. Патент № 2479392 РФ, МПК В23К9/04. Способ плазменной наплавки / Ожегов Н. М., Пазына В. П., Капошко Д. А., Бармашов А. В. – № 2011114188/02, заявл. 11.04.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11. 9 с.

20. Патент № 4097711 США, МПК В23К9/04. Roller shell hard coating / Banerjee B.R., Skillman N. J. – US72378676, заявл. 16.09.76; опубл. 27.06.78, US4097711. 5 с.

21. Петровский В. Н., Джумаев П. С., Польский В. И. Лазерная наплавка с использованием излучения волоконного лазера // Научная сессия МИФИ-2010. – Т.2 Нанопизика и нанотехнологии. Фундаментальные проблемы науки. 2010.

22. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

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

24. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышева. М. : Машиностроение, 2004.

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

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

27. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов М. : Машиностроение, 1989. 640с.

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

29. Усов Л. Н., Борисенко А. И. Применение плазмы для получения высокотемпературных покрытий. М. : Наука, 1965. 84 с.