

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  
нефтяного насоса ЦНС-500

Студент

Ю.О. Сивов  
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов  
(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

В настоящее время в нефтяной отрасли находится в эксплуатации значительное количество оборудования, приближающегося по срокам к окончанию эксплуатации или отработавшего нормативный срок эксплуатации. Поэтому насущным вопросом становится обеспечение безопасности его дальнейшей эксплуатации.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления валов центробежных нефтяных насосов.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- обосновать выбор способа наплавки рассматриваемого изделия;
- составить проектную технологию восстановительной наплавки;
- 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 ремонтной наплавки.

Анализ возможных способов сварки восстановления деталей машин позволил обосновать выбор плазменной наплавки 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 Современное состояние вопроса восстановительной наплавки валов центробежных нефтяных насосов. ....	6
1.1 Описание изделия и условий его работы. ....	6
1.2 Сведения о материале для изготовления вала центробежного насоса .....	9
1.3 Сведения о базовой технологии восстановления центробежного вала .....	10
1.4 Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановления рассматриваемых деталей. .	14
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	15
2 Проектная технология восстановительной плазменной наплавки вала центробежного насоса. ....	17
2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки. ....	17
2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки. ....	25
2.3 Описание операций технологического процесса. ....	26
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	30
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	30
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	32
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	34
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	36
3.5 Обеспечение экологической безопасности. ....	38
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии. ....	40
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений .....	40
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования .....	42

4.3 Расчет штучного времени . . . . .	43
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	45
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	49
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	52
Заключение . . . . .	55
Список используемой литературы и используемых источников . . . . .	56

## Введение

Бесперебойная работа магистральных газопроводов и нефтепроводов зависит от стабильности работы перекачивающих агрегатов, к которым относят насосы и компрессоры. К элементам этих установок предъявляются самые высокие требования по надёжности. Это объясняется спецификой эксплуатации заключающейся в практически непрерывной работе, в среднем 350...360 дней в году.

Бесперебойная работа оборудования достигается за счёт проведения ряда технологических и организационных мероприятий: грамотная эксплуатация оборудования, обеспечение надёжного автоматического контроля за работой аппаратуры, проведение предупредительных ремонтов, обеспечение резервного парка оборудования и запасных частей.

В настоящее время в нефтяной отрасли находится в эксплуатации значительное количество оборудования, приближающегося по срокам к окончанию эксплуатации или отработавшего нормативный срок эксплуатации. Поэтому насущным вопросом становится обеспечение безопасности его дальнейшей эксплуатации.

В этой связи становится актуальным повышение эффективности ремонтных технологий, которые позволят продлить сроки эксплуатации имеющегося оборудования.

Вал центробежного нефтеперекачивающего насоса является такой типовой деталью, которая подвергается износу и требует восстановления.

Современные достижения в области восстановления деталей машин и аппаратов позволяют не только продлить срок эксплуатации изделия, но и существенно повысить его характеристики за счёт применения новых наплавочных материалов и технологий.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления валов центробежных нефтяных насосов.

# **1 Современное состояние вопроса восстановительной наплавки валов центробежных нефтяных насосов**

## **1.1 Описание изделия и условий его работы**

Многоступенчатый центробежный насос позволяет получить значительный напор перекачиваемой жидкости при относительно малой подаче. В настоящее время в эксплуатации находится два типа многоступенчатых насосов – спирального и секционного. У многоступенчатого насоса секционного типа корпус выполнен из отдельных секций, имеющих крышки со стяжными болтами. При этом перекачиваемая жидкость последовательно поступает через направляющие аппараты от одного колеса к другому, которые установлены в каждой секции. Гидравлическая плита секционного насоса воспринимает осевое давление. Привод насоса – от электродвигателя ВАОУ 630М-4.

Областью применения многоступенчатых секционных насосов является: нефтехимическая промышленность, нефтеперерабатывающая промышленность, нефтедобывающая промышленность.

Основные параметры технической характеристики центробежного насоса ЦНС 600-640, представленного на рисунке 1: скорость подачи –  $500 \text{ м}^3/\text{с}$ , температура перекачиваемой нефти –  $8...38 \text{ }^\circ\text{C}$ , потребляемая насосом мощность –  $10,3 \text{ кВт}$ , напор –  $640 \text{ м}$ , число ступеней насоса – 8 штук, масса насоса –  $300 \text{ кг}$ , частота вращения электродвигателя –  $3000 \text{ об/мин}$ .

При работе насоса его вал, представленный на рисунке 2, подвергается интенсивному износу. Во-первых, по поверхности сопряжения «рабочее колесо – диск пяты»; во-вторых, по поверхности сопряжения «вал-подшипник»; в-третьих, по поверхности сопряжения «вал-втулка», в четвёртых, по поверхности сопряжения «вал – втулка специальная».

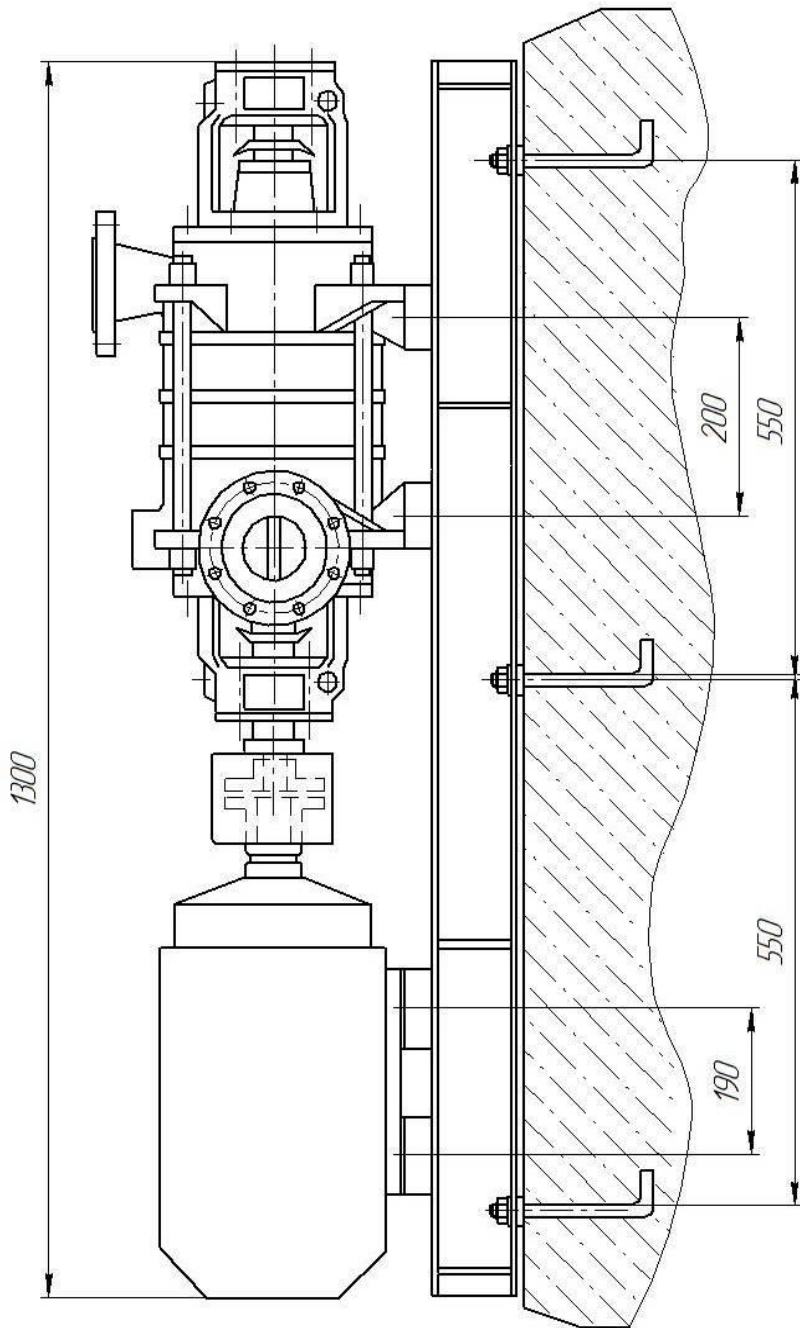
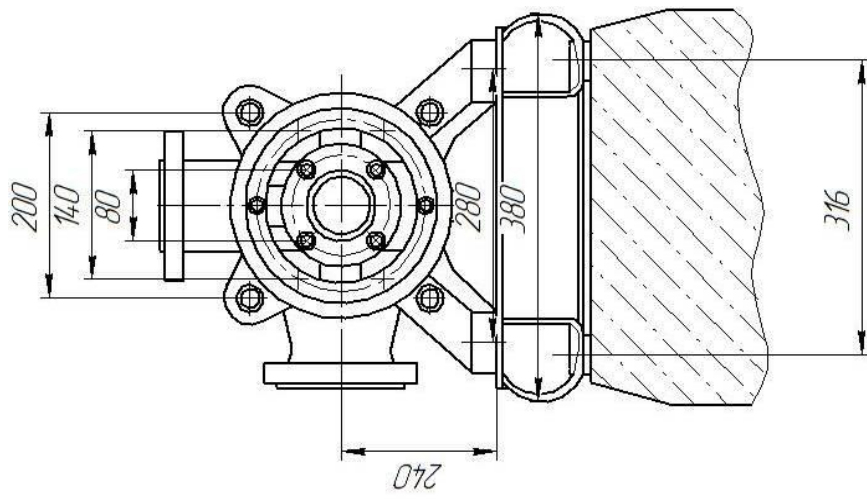
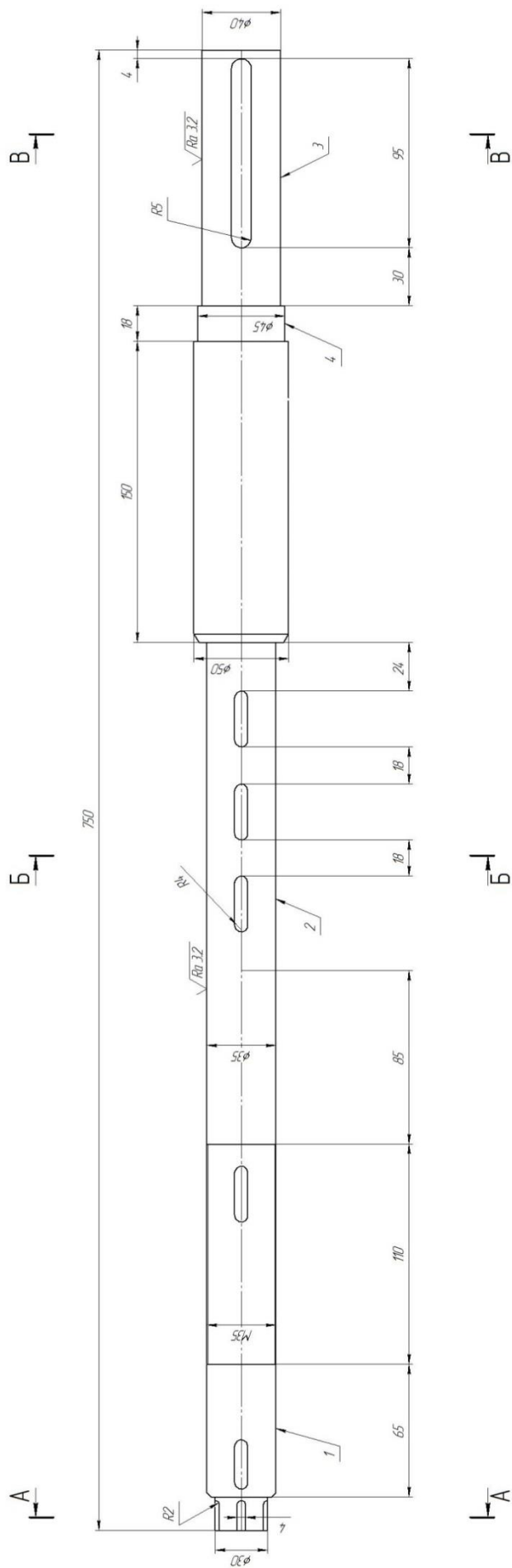


Рисунок 1 – Центробежный насос ЦНС 500-640

$\sqrt{6.3}$  (V)



Наименование износа	Предельное значение	Сопрягаемая деталь	Сопрягаемая поверхность
Износ поверхности вала по $\varnothing 35_{-0,016}$	менее $\varnothing 34,984$ мм	Втулка	1
Износ поверхности вала по $\varnothing 35_{-0,016}$	менее $\varnothing 34,984$ мм	Колесо рабочее. Диск гидравлической пяты	2
Износ поверхности вала по $\varnothing 40_{-0,062}$	менее $\varnothing 40,938$ мм	Втулка специальная	3
Износ поверхности вала по $\varnothing 45_{-0,016}$	менее $\varnothing 45,002$ мм	Подшипник	4

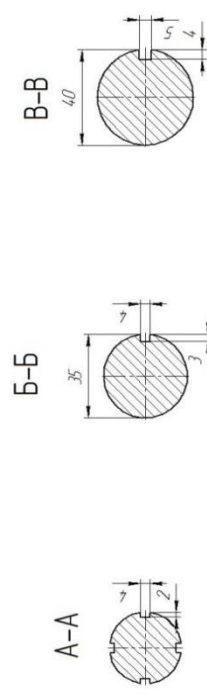


Рисунок 2 – Вал насоса



Наибольшему износу при работе вала насоса подвергаются шейки. Если в результате замера установлено, что конусность или эллиптичность шейки не превышает 0,04 мм, возможна обточка на токарном станке и последующая шлифовка. Обработка изнашиваемой поверхности «обточка + шлифовка» возможна при размерах, отличающихся от номинальных не более чем на 3 %. В противном случае, если отклонение размеров превышает 3 %, а также в процессе выработки на валу появились глубокие царапины, конусность (эллиптичность) составляет более 0,04 мм, требуется обточка вала до устранения дефекта и его наплавка.

## **1.2 Сведения о материале для изготовления вала центробежного насоса**

Для изготовления вала центробежного насоса применяется сталь 40ХН, содержание в которой химических элементов согласно маркировке составляет: углерода – 0,4 %, хрома – около 1 %, никеля – около 1 %. Более точное содержание химических элементов в стали 40ХН приведено в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 40ХН согласно [5]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,36 – 0,44	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	1 – 1,4	до 0,035	до 0,035	0,45 – 0,75	до 0,3

Сталь 40ХН обладает повышенной прочностью и вязкостью, применяется для изготовления ответственных нагруженных деталей, работа которых проходит в условиях вибрационных и динамических нагрузок. При выполнении вала материал проходит термическую обработку «закалка + отпуск», параметры которой представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства стали 40ХН после термической обработки

Сортамент	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\psi$	КСУ	Термообр.
-	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	-
Пруток, ГОСТ 4543-71	980	785	11	45	69	Закалка 820°С, масло, Отпуск 500°С, вода, масло

Высокий уровень механических свойств, в том числе и повышенная износостойкость по сравнению с низкоуглеродистыми сталями в стали 40ХН достигается за счёт повышенного содержания углерода. Это в свою очередь приводит к ряду трудностей при сварке стали 40ХН и наплавке на детали из этой стали [19], [20], [21]. 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 40ХН из-за структурных изменений практически невозможно достижение равнопрочности металла сварного шва и основного металла.

### **1.3 Сведения о базовой технологии восстановления центробежного вала**

Для восстановления центробежного вала применяется ручная дуговая наплавка.

В качестве источника питания служит сварочный выпрямитель ВД-301, представленный на рисунке 3-а, параметрами которого являются:

- пределы регулирования тока – 40...315 А;
- номинальное рабочее напряжение – 30 В;
- масса – 230 кг;
- номинальная сила сварочного тока – 315 А;
- внешняя вольтамперная характеристика – падающая.

В комплектацию поста наплавки кроме сварочного выпрямителя входит:

- местная вытяжная вентиляция;
- светонепроницаемые экраны, ограждающие зону сварки от остальных производственных участков;
- балластный реостат РБ;
- стол сварщика;
- шкаф для рабочего инструмента и спецодежды.



а)



б)

а) сварочный выпрямитель ВД-301; б) универсальный фрезерный станок СФ676

Рисунок 3 – Оборудование для восстановительной наплавки вала

Для наплавки применяют электроды ОЗН-300, которые позволяют получать необходимый состав наплавленного металла, представленный в таблице 3, и проводить механическую обработку вала без смягчающей термической обработки.

Перед наплавкой следует выполнить прокалку сварочных электродов. Параметры прокалики:

- температура прокалики – 300...350 °С;
- длительность выдержки при прокалике – 1 час.

После прокали электроды можно хранить не более одних суток. Если хранение электродов составляло более одних суток, следует выполнить повторную прокали электродов.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного металла, %, электродами ОЗН-300

Углерод	Кремний	Марганец	Сера	Фосфор
			не более	
0,09...0,14	до 0,15	3,6-4,5	0,030	0,040

Перед выполнением наплавки следует выполнить тщательную очистку поверхности детали от грязи и жира, что позволяет уменьшить образование пор в наплавленном металле. Удаление поверхностных дефектов и наклёпанного слоя перед выполнением наплавки производится механическими методами. 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.

Температура предварительного подогрева перед наплавкой составляет 200...300 °С.

Наплавку выполняют в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Толщина предварительно наплавляемого слоя составляет 1...2 мм. При наплавке применяют электроды диаметром 4 мм, наплавку ведут на токе 170...200 А и напряжении на дуге 18...24 В. Для того, чтобы снизить выгорание легирующих элементов, наплавку ведут короткой дугой. При этом длина наплавочной дуги должна равняться диаметру электрода или меньше. При ведении электрод следует держать наклонно под углом 15... 20° к направлению движения. Также следует накладывать поперечные колебания таким образом, чтобы сформировать на детали наплавленный слой шириной 2,5...3 диаметра электрода.

Для того, чтобы избежать деформации вала, следует придерживаться схемы наплавки, при которой наплавочные валики накладываются продольно, при этом окружность поперечного сечения вала условно делят на четыре части, выполняя поочередное наложение валиков в каждой части, как показано на рисунке 4.

В случае, если выполняют наплавку в несколько слоев, каждый предыдущий слой необходимо тщательно зачищать до чистого металла. После наплавки выполняют удаление шлака и передачу детали для последующей механической обработки.

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.

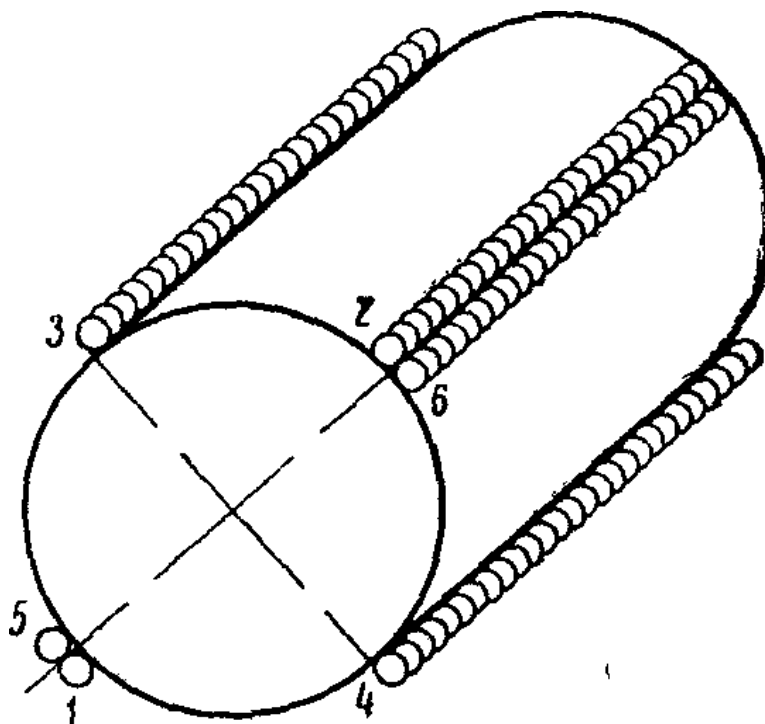


Рисунок 4 – Наплавка изношенной шейки вала продольным наложением швов, последовательность наплавки: 1—2—3—4—5—6 и т.д.

#### **1.4 Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановления рассматриваемых деталей**

В сети ИНТЕРНЕТ провели поиск источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки валов, работа которых происходит в условиях динамических и вибрационных нагрузок.

Для поиска использовали ключевые слова «восстановление и упрочнение», «наплавка валов», «журнал Автоматическая сварка», «журнал Сварочное производство», «диссертация», «научная статья».

В первой работе [2] показана возможность повышения эффективности ручной дуговой наплавки за счёт применения экзотермической смеси в обмазке электрода. При этом увеличивается коэффициент наплавки, скорость плавления электродов и качество наплавленного слоя.

Вторая работа [8] посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки под флюсом. Изучено влияние параметров режима наплавки на проплавление. Предложены математические модели для описания процесса нагрева при наплавке с использованием неподвижного и движущегося электрода. Разработано программное обеспечение и система управления наплавочным оборудованием.

Третья работа [13] посвящена повышению эффективности наплавки в среде защитных газов. Предложено применять импульсную подачу наплавочной проволоки, что позволяет управлять глубиной проплавления и успешно бороться с разбрызгиванием электродного металла. На основании проведённых экспериментов установлен диапазон оптимальных параметров режима наплавки.

Четвёртая работа [12] посвящена повышению эффективности плазменной наплавки. Предложена компактная установка для восстановления деталей машин с использованием плазменно-порошковой наплавки разнополярными импульсами тока, которая позволяет получать

высокие эксплуатационные свойства наплавленного слоя при малой себестоимости.

Пятая работа [1] посвящена повышению эффективности наплавки режущего и штампового инструмента с применением наплавки самозащитными порошковыми проволоками. Предложена проволока ПП-Х2ГСВ2Ф, позволяющая получать наплавленный металл состава 100Х4М5Ф2. При этом шихта данной проволоки не содержит дорогих и дефицитных веществ.

### **1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение эффективности восстановления валов центробежных нефтяных насосов.

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.

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.

Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки валов позволил установить, что для

восстановления рассматриваемой детали могут успешно применяться следующие способы:

- ручная дуговая наплавка;
- наплавка самозащитными порошковыми проволоками;
- механизированная наплавка в среде защитного газа;
- наплавка под флюсом;
- плазменная наплавка.

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

- обосновать выбор способа наплавки рассматриваемого изделия;
- составить проектную технологию восстановительной наплавки;
- 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 ремонтной наплавки.



## **2 Проектная технология восстановительной плазменной наплавки вала центробежного насоса**

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

При выполнении ручной дуговой наплавки применяются штучные электроды для наплавки, содержащие необходимые легирующие элементы. Наплавку ведут слева направо, чтобы расплавленный металл электрода не попадал на непрогретую поверхность восстанавливаемой детали, а шлак не попадал под наплавленный слой.

Для ручной дуговой наплавки применяются стандартные источники сварочного тока. Процесс наплавки может быть начат практически сразу после разработки соответствующей технологии с применением имеющегося на предприятии оборудования.

Выбор электрода для ручной дуговой наплавки производится с учётом технологии наплавки и условий работы наплавленного металла. Эксплуатационные свойства наплавленного металла в значительной степени зависят от температуры предварительного подогрева, параметров режима способа ведения электрода, погонной энергии, условий охлаждения наплавленного металла. Вследствие этого наплавка одними и теми же электродами позволяет получать наплавленный металл с различными свойствами.

При выборе параметров режима наплавки следует учитывать, что избыточная величина тока наплавки является причиной низкого качества наплавленного слоя. Поэтому производительность ручной наплавки ограничена. Ещё одним недостатком ручной дуговой наплавки является значительная потеря электродного металла на угар и разбрызгивание.

Производительность ручной дуговой наплавки, схема которой представлена на рисунке 5, может быть повышена при использовании эффекта экзотермической реакции, для прохождения которой в обмазку

электрода вводятся элементы-окислители (марганцевая руда, гематит) и элементы-раскислители (алюминиевый порошок, ферротитан, ферросилдиций). При нагреве и плавлении этих веществ протекает химическая реакция с выделением большого количества тепла, которое расплавляет металлический стержень электрода [3], [9].

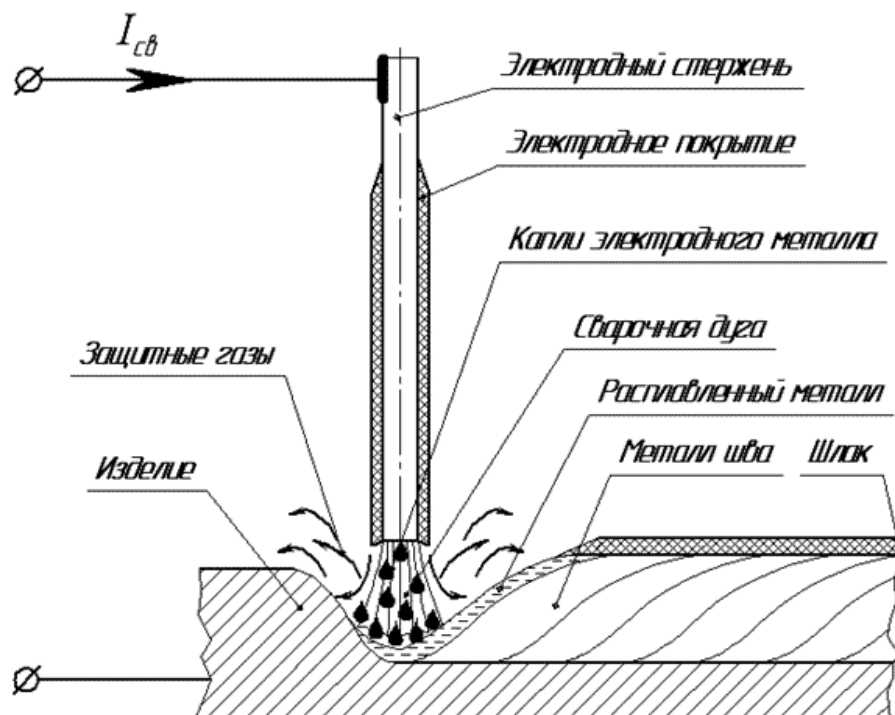


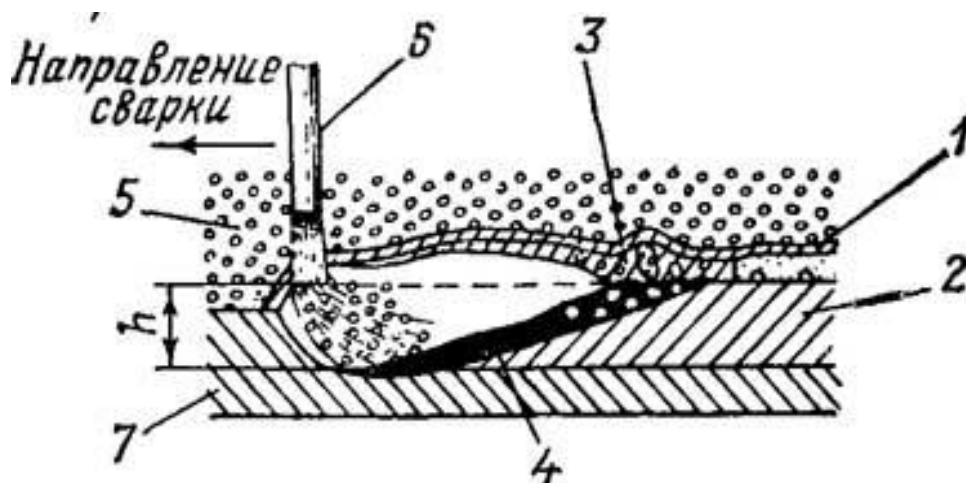
Рисунок 5 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучным электродом

При дуговой наплавке под флюсом может применяться проволока сплошного сечения и порошковая проволока. По сравнению с другими способами наплавки этот способ обладает максимальной производительностью и позволяет получать наплавленный слой стабильно высокого качества.

При наплавке под флюсом, схема которой представлена на рисунке 6, в результате нагрева от горящей между изделием и проволокой сварочной дуги образуется ванна расплавленного металла, которая защищается слоем шлака (расплавленного флюса). Этот слой не только обеспечивает газовую защиту расплавленного и перегретого металла от воздействия воздуха, но и

устраняет разбрызгивание, повышает эффективность нагрева металла от сварочной дуги.

Наплавка под флюсом обладает высокой производительностью и минимальным коэффициентом потерь электродного металла. Кроме того, поскольку горящая дуга закрыта слоем флюса, не требуется применения каких-либо мер по защите персонала от светового и теплового излучения дуги.



1 — твердый шлак; 2 — затвердевший наплавленный металл; 3 — жидкий шлак;  
4 — жидкий металл; 5 — флюс; 6 — электрод (проволока); 7 — основной металл (деталь)

Рисунок 6 Сварка и наплавка под слоем флюса

Применение наплавки под флюсом позволит существенно повысить производительность наплавочных работ. Также следует отметить высокое и стабильное качество наплавленного металла. При наплавке под флюсом улучшаются условия труда сварщика.

Повышение производительности наплавки под флюсом происходит благодаря непрерывности процесса и увеличению силы тока дуги. Однако следует учитывать, что повышение мощности дуги приводит также к увеличению глубины проплавления основного металла и доли основного металла в наплавленном слое. Поскольку в рассматриваемом случае выполняется наплавка износостойкими сплавами, это является крайне нежелательным.

Применение наплавки в защитных газах, схема которой представлена на рисунке 7, позволяет исключить трудности с подачей флюса и удушением шлаковой корки. Этот способ считается самым технологичным и универсальным способом, который позволяет проводить наплавку большинства материалов в различных пространственных положениях.

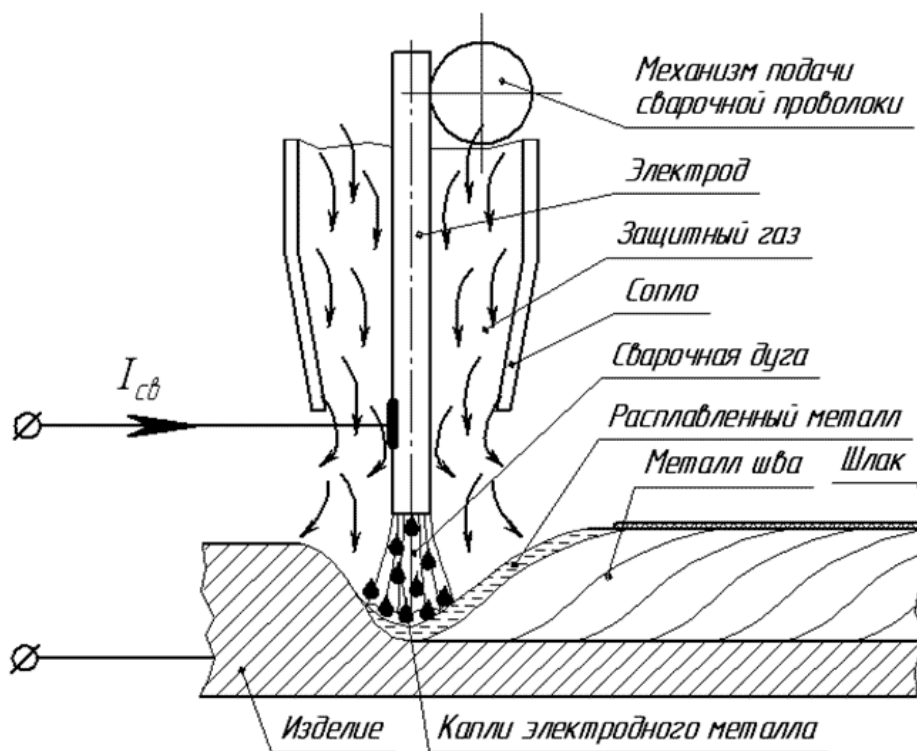


Рисунок 7 – Схема наплавки в защитных газах

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).

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 [17], [18]. В качестве третьего направления можно выделить разработку новых наплавочных материалов [11].

При наплавке порошковой самозащитной проволокой, схема которой приведена на рисунке 8, в качестве расходного материала применяется «проволока с внутренней защитой». В сердечник этой проволоки введены не только легирующие элементы, но и вещества, образующие при нагреве шлак и газ. Поэтому при наплавке самозащитной проволокой не требуется применения защитного газа или флюса. В процессе наплавки из шихты порошковой проволоки легирующие элементы переходят в наплавленный слой, а газообразующие и шлакообразующие вещества обеспечивают защиту наплавляемого металла от воздействия воздуха. При остывании после наплавки порошковой самозащитной проволокой на поверхности наплавленного валика образуется тонкий слой шлака. Его можно не удалять и выполнять наплавку последующих валиков и слоев» [14].

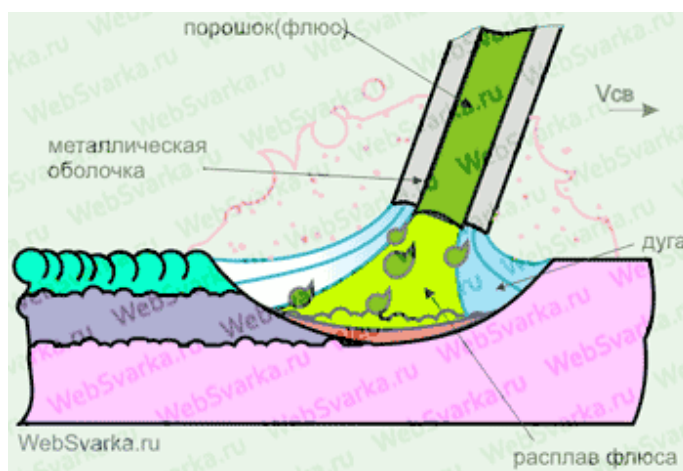


Рисунок 8 – Схема выполнения наплавки порошковой проволокой

Недостатками наплавки самозащитной порошковой проволокой являются:

- высокая текучесть шлака, в результате чего высока вероятность получения шлаковых включений в наплавленном слое;
- высокая стоимость порошковой проволоки;
- сильное порообразование и возможность получения дефектов в виде пор и шлаковых включений;
- необходимость борьбы с заломами сварочной проволоки из-за её излишней мягкости;
- неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки.

При плазменной наплавке, схема которой приведена на рисунке 9, «нагрев основного металла и присадочного металла обеспечивается теплотой сжатой дуги. В качестве наплавочного материала при плазменной наплавке могут быть использованы проволока, прутки или порошок» [14].

При вдувании наплавочного порошка в дугу (рис. 2.5) косвенная дуга возбуждается между вольфрамовым электродом 1 и внутренним соплом 2 плазматрона. При прохождении через эту дугу плазмообразующий газ создаёт плазменную струю 3. Эта плазменная струя расплавляет поступающий в неё наплавочный порошок.

Между электродом 1 основным металлом 5 горит дуга 4 прямого действия. Эта дуга нагревает наплавляемую поверхность детали. За счёт регулирования тока дуги прямого действия обеспечивается минимальная глубина проплавления основного металла. Толщина наплавляемого слоя при плазменной наплавке может составлять 0,3...10 мм.

В качестве защитного, транспортирующего и плазмообразующего газа при плазменной наплавке используются: аргон, азот, смеси аргона с гелием и углекислый газ.

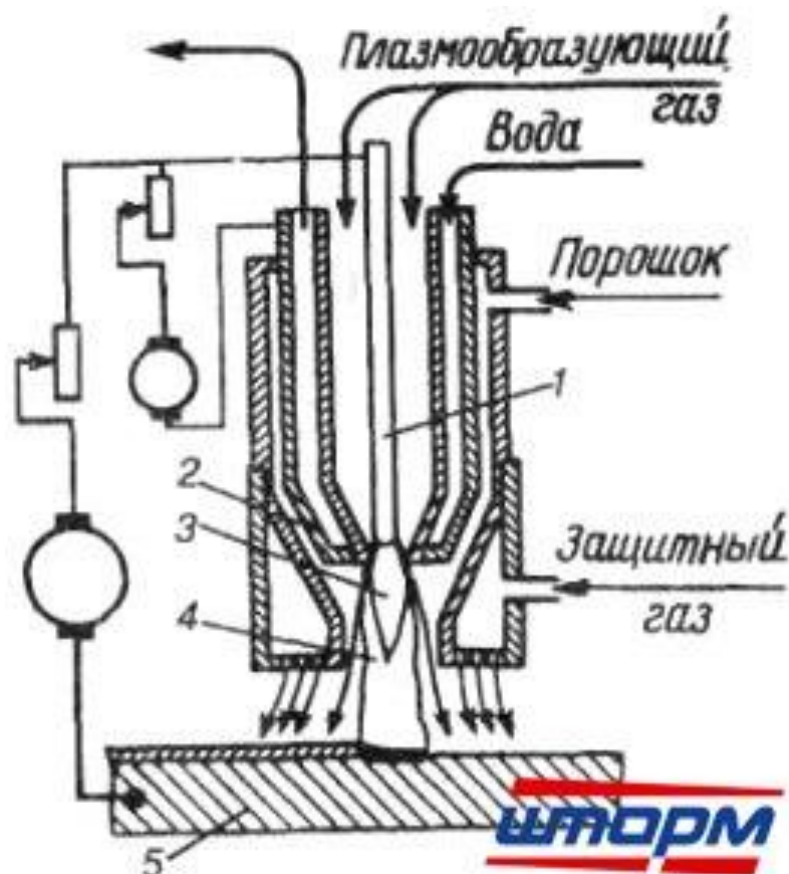
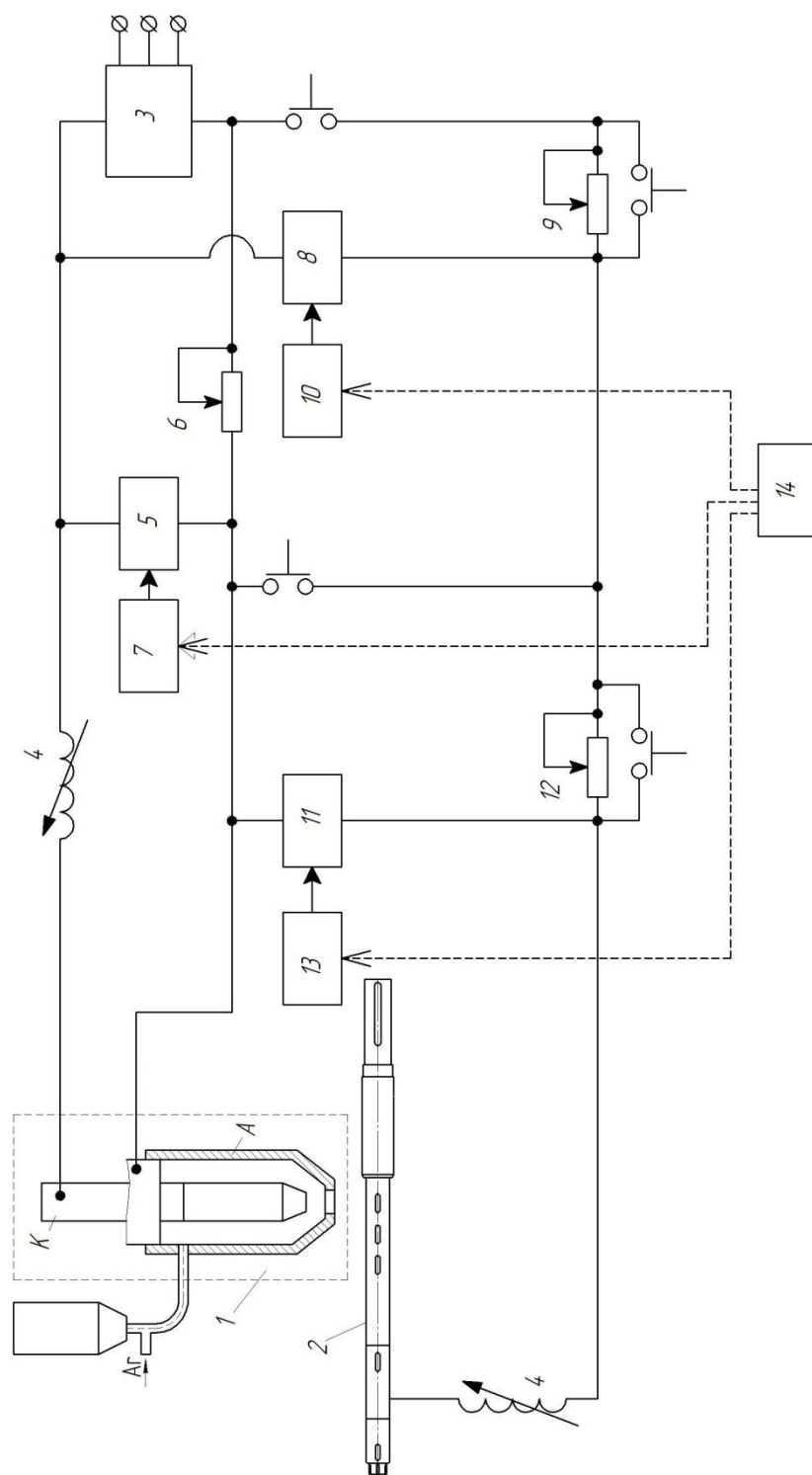


Рисунок 9 – Схема выполнения плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу

Необходимо также отметить, что применение плазменной наплавки порошками особенно эффективно при малой толщине наплавляемого слоя. Перечисленные преимущества плазменной наплавки «не только существенно расширяют технологические возможности их применения, но и позволяют получать значительный экономический эффект за счет наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления и сохранения, первоначальных физико-механических свойств при меньшем количестве наплавочного металла: изготовление деталей из низкоуглеродистых сталей с поверхностями, упрочненными твердыми сплавами, вместо дорогих легированных сталей, применение износостойких порошковых сплавов, повышающих срок службы наплавленных деталей, уменьшения припуска на механическую обработку.



1 - плазмотрон, 2 - обрабатываемая деталь, 3 - источник постоянного тока, 4 - дроссель, 5 - модулятор косвенной дуги, 6 - балластное сопротивление, 7 - блок управления, (контур дуги косвенного действия), 8 - модулятор дуги прямого действия, 9 - балластное сопротивление, 10 - блок управления, (контур дуги прямого действия между катодом "К" и деталью), 11 - модулятор, 12 - балластное сопротивление, 13 - блок управления, (контур дуги прямого действия между анодом "А" и деталью), 14 - блок согласования работы модуляторов

Рисунок 10 – Схема модернизированной установки для плазменной наплавки вала центробежного насоса» [15]



## 2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки

Модернизированная установка [16] плазменной обработки, представленная на рисунке 10, включает в себя плазматрон, который выполняет нанесение покрытия на восстанавливаемую деталь 2. Питание плазменной дуги происходит от источника постоянного тока 3, который подключается к изделию через дроссель 4. Система питания плазматрона предусматривает поддержание двух дуг прямого действия и одной дуги косвенного действия.

Первая дуга прямого действия горит между катодом «К» плазматрона и деталью, в цепь дуги прямого действия входит: катод плазматрона «К», деталь 2, модулятор 8 дуги прямого действия, балластное сопротивление 9 и блок управления 10. Первая дуга прямого действия служит для термической активации поверхности детали перед наплавкой. Среднее напряжение на этой дуге составляет 130...160 В. Дуга горит импульсами, частота следования которых равна 900...1600 Гц, длительность импульсов – 300...500 мкс, амплитуда мощности импульсов – 50...100 кВт.

Дуга косвенного действия горит между катодом «К» и анодом «А». В цепь дуги косвенного действия входит: катод «К», анод «А», источник питания 3, балластный реостат 6, модулятор 5 и блок управления 7. Косвенная дуга служит для наплавки покрытия, она горит импульсами с частотой следования – 4000...5000 Гц, амплитудой мощности – 10...50 кВт, длительность импульсов – 50...60 мкс. Напряжение на дуге косвенного действия составляет 180...220 В.

Вторая дуга прямого действия горит между анодом «А» плазматрона и деталью 2, в цепь этой дуги входят: анод «А» плазматрона, деталь 2, модулятор 11, балластное сопротивление 12, блок управления 13, блок согласования 14. Эта дуга служит для оплавления покрытия, горит при напряжении 110...150 В импульсами с частотой следования 300...400 Гц,

амплитудой мощности 100...250 кВт и длительностью импульсов 1400...1600 мкс.

Таким образом, предварительный подогрев поверхности детали перед наплавкой выполняется за счёт горения первой дуги прямого действия. Эта дуга горит между катодом и деталью. Окончательное проплавление покрытия до основы происходит за счёт горения второй дуги прямого действия, которая горит между анодом и деталью.

В результате этого «повышается прочность сцепления наплавляемого покрытия и основного металла, а модуляция тока дуги косвенного действия и дуг прямого действия стабилизирует процесс термоактивации, напыления и оплавления, повышает гибкость управления процессом оплавления, а совмещение процессов напыления и оплавления повышает производительность и снижает энергозатраты» [16].

### **2.3 Описание операций технологического процесса**

С использованием внутрицехового транспорта детали поступают на участок восстановления, где происходит их складирование на стеллажи.

Первой операцией технологического процесса восстановления является операция очистки – мойка. Очистка от загрязнений является одной из основных операций при восстановлении деталей машин, так как от правильности её проведения зависит качество всего ремонта, общий уровень культуру производства.

Мойка проходит с применением моечной машины Magido L331. Сначала проходит мойка в щелочном растворе с температурой 80...90 °С при частоте колебании 20...25 кГц. Продолжительность мойки 30...40 минут.

После мойки в щелочном растворе выполняют промывку детали проточной водой в течение 10...15 минут. Температура воды 20...30 °С.

Вторая операция – дефектовка. Детали после мойки поступают на стол дефектовщика, где выполняется их проверка на наличие недопустимых дефектов и измеряется величина износа. Для выполнения этой операции применяется микрометр MS-111 и призма базирующая.

Третья операция – подготовка поверхности, которая выполняется с применением дробеструйной обработки, которая повышает адгезию наплавленного слоя. Дробеструйная обработка проходит в дробеструйной камере ГАКС-ДК-М. Поверхности, которые необходимо защитить при плазменном восстановлении, покрываются защитной мастикой «Рунакром-МЗ» при помощи краскопульта SATA-LM2000.

Четвёртая операция – плазменная наплавка, проходит с применением плазменной установки ОКС-11233 и наплавочного порошка ПГ-СР4 (но может быть применен в качестве замены порошок ПГ-ФБХ6-2). В качестве защитного, плазмообразующего и транспортирующего газа применяется аргон.

При наплавке цилиндрической поверхности вала в месте сопряжения со втулкой применяются параметры режима: сила тока – 170...180 А, напряжение – 30 В, скорость вращения вала – 0,7...0,8 мин<sup>-1</sup>, расход порошка – 12...14 г/мин, расстояние от сопла плазматрона до детали – 9...12 мм; расход транспортирующего газа – 7...9 л/мин; расход плазмообразующего газа – 1,2...2 л/мин; частота колебаний плазматрона – 0,4...0,5 Гц.

При наплавке цилиндрической поверхности вала в месте сопряжения с колесом применяются параметры режима: сила тока – 120...140 А, напряжение – 25 В, скорость вращения вала – 0,4...0,5 мин<sup>-1</sup>, расход порошка – 20...22 г/мин, расстояние от сопла плазматрона до детали – 9...12 мм; расход транспортирующего газа – 7...9 л/мин; расход плазмообразующего газа – 1,2...2 л/мин; частота колебаний плазматрона – 0,4...0,5 Гц.

При наплавке цилиндрической поверхности цилиндрической поверхности вала в месте сопряжения с подшипником применяются

параметры режима: сила тока – 160...170 А, напряжение – 30 В, скорость вращения вала – 0,6...0,7 мин<sup>-1</sup>, расход порошка – 14...16 г/мин, расстояние от сопла плазматрона до детали – 9...12 мм; расход транспортирующего газа – 7...9 л/мин; расход плазмообразующего газа – 1,2...2 л/мин; частота колебаний плазматрона – 0,4...0,5 Гц.

Пятая операция – правка, выполняется на гидравлическом прессе ОКС 1671 Н. При этом допуск радиального биения цилиндрических поверхностей средних опорных шеек должен составлять не более 0,15 мм.

Шестая операция – шлифование, которая выполняется с применением копировально-шлифовального станка 3А433.

Седьмая операция – контроль качества, выполняется для выявления деталей с недопустимыми дефектами: отслоениями, трещинами, ненапылёнными участками. Выполняется с применением лупы с 4-кратным увеличением и индикатора ИЧ02.

### **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 самозащитными порошковыми проволоками,
- механизированная наплавка в среде защитного газа,
- наплавка под флюсом,
- плазменная наплавка.

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

Составлена проектная технология плазменной наплавки вала центробежного насоса, которая включает в себя следующие операции:

- мойка,
- дефектовка,
- подготовка поверхности,
- плазменная наплавка,
- правка,
- шлифование,
- 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 восстановительной плазменной наплавки вала центробежного насоса. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Таблица 4 - 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 Magido L331	1) Щелочной раствор 2) Вода техническая
2 Дефектовка	Инженер - дефектоскопист	Штангенциркуль ШЦ, нутромер индикаторный НИ-50М, дефектоскоп ПМД-70	1) 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	Порошок наплавочный ПГ-СРЧ+3%Al, аргон
5. Правка	Слесарь-сборщик	Гидравлический пресс ОКС 1671 Н	-
6. Механическая обработка	Токарь-фрезеровщик	Токарный станок 1К62Ф3С	Резец Р6М5, СОЖ "Укринал"
7. Проведение контроля качества	Инженер - дефектоскопист	Лупа х4, линейка, твердомер ТН-320, штангенциркуль, набор ДМК-4	-

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

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций, представленных в таблице 4: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, правка, шлифование, контроль качества.

Для выполнения первой операции применяются: моечная машина Magido L331, щелочной раствор, вода техническая.

Для выполнения второй операции применяется: штангенциркуль ШЦ, нутромер индикаторный НИ-50М, дефектоскоп ПМД-70.

Для выполнения третьей операции применяются: дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000, воздух сжатый, мастика защитная РУНАКРОМ-М3.

Для выполнения четвертой операции применяются: установка плазменной наплавки, патрон Т-100-0014, источник питания модернизированный, порошок наплавочный ПГ-СРЧ+3%Al, аргон.

Для выполнения пятой операции применяется: гидравлический пресс ОКС 1671 Н.

Для выполнения шестой операции применяется: Токарный станок 1К62Ф3С, резец Р6М5, СОЖ "Укринал".

Для выполнения седьмой операции применяется: Лупа х4, линейка, твердомер ТН-320, штангенциркуль, набор ДМК-4.

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, представленными в таблице 5.

Таблица 5 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1. Мойка	<ul style="list-style-type: none"><li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li><li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li><li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li><li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li></ul>	Моечная машина Magido L331
2 Дефектовка	<ul style="list-style-type: none"><li>- ультразвуковое излучение;</li><li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li><li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li><li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li><li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li></ul>	Ультразвуковой дефектоскоп
3. Подготовка дефектного места	<ul style="list-style-type: none"><li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li><li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li><li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li><li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li></ul>	Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000



Продолжение таблицы 5

1	2	3
4. Плазменная наплавка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> </ul>	Установка плазменной наплавки
5. Правка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Гидравлический пресс ОКС 1671 Н
6. Механическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Токарный станок 1К62Ф3С
7. Проведение контроля качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Ультразвуковой дефектоскоп

Возникновение травм и профессиональных заболеваний работников происходит по причине воздействия опасных и вредных производственных факторов. 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.

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 6 – 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;	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	-

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 7, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения согласно таблице 8.

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 7 – 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)» [4]	«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» [4].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [4].

Таблица 8 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблице 9.

Таблица 9 – 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» [4].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [4].

### 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 таблице 10 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов согласно таблице 11.

Таблица 10 – 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 11 – 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» [4]

## **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 восстановительной наплавки валов и других деталей машин.

Изучение особенностей проектного технологического процесса плазменной 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 насоса. 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: 1) мойка; 2) дефектовка; 3) подготовка поверхности; 4) плазменная наплавка; 5) правка; 6) шлифование; 7) 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 согласно таблице 12.



Таблица 12 – 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	$Цоб$	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	$На$	%	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	$Цэ-э$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 12

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	$E_n$	-	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 в таблице 12: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{\text{см}} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_n = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_n = 1$  час, принятое для

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

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

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

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

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

$$F_{э} = F_{н} (1 - B/100). \quad (2)$$

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

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

### 4.3 Расчёт штучного времени

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

времени  $t_{П-З}$ :

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

Машинное время, 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 насоса 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  $H_{\text{а}}$ , машинного времени  $t_{\text{маш}}$ , и эффективного фонда времени  $F_{\text{э}}$  с использованием зависимости:

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

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  $C_{\text{эз}}$  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 13.

Таблица 13 – 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>О<sub>СН</sub></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>С<sub>тех</sub></i>	1259	774
6. Цеховые расходы	<i>Р<sub>цех</sub></i>	846	339
7. Цеховая себестоимость	<i>С<sub>цех</sub></i>	2105	1113
8. Заводские расходы	<i>Р<sub>зав</sub></i>	649	260
9. Заводская себестоимость	<i>С<sub>зав</sub></i>	2754	1373

Таким образом, на основании данных таблицы 13 можно заключить, что внедрение проектной технологии позволяет значительно уменьшить затраты и себестоимость сварки.

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

Капитальные затраты  $K_{\text{общ. б.}}$  для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования  $C_{\text{об. б.}}$ ,

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

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

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

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

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

$$C_{ОБ.Баз.} = 100000 - (100000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 35500 \text{ рублей}$$

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

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  $C_{об. пр.}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{зп}$  по проектному варианту:

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

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  $K_{\text{соп}}$  по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  базового оборудования и расходов на монтаж  $K_{\text{монт}}$  проектного оборудования:

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

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

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

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

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  $П_{\text{г}}$ :

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

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

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

#### 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:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad . \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

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

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$П_T = (100 \cdot 60)/(100 - 60) = 150 \text{ \%}.$$

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

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

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

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

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

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

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

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (30)$$

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

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

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

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

$$\text{Э}_{\Gamma} = 1381000 - 0,33 \cdot 286000 = 1286620 \text{ руб.}$$

## **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии восстановления валов центробежного насоса 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 валов центробежных нефтяных насосов.

Анализ альтернативных способов восстановления деталей машин выполнен с рассмотрением таких способов, как: ручная дуговая наплавка, наплавка самозащитными порошковыми проволоками, механизированная наплавка в среде защитного газа, наплавка под флюсом, плазменная наплавка.

На основании анализа источников научно-технической информации построение проектной технологии восстановительной наплавки предложено выполнять с использованием плазменной наплавки с импульсным управлением.

Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении вала центробежного насоса, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, правка, шлифование, 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. Власов А. Ф., Богуцкий А. А., Лысак В. К., Куций А. М. Разработка материалов и технологии наплавки биметаллического режущего и штампового инструмента // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2012. № 3. С. 80–85.
2. Власов А. Ф., Макаренко Н. А., Куций Н. А., Куликов В. П. Повышение производительности ручной дуговой наплавки изделий, работающих при высоких температурах // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2017. № 2. С. 93–98.
3. Власов А. Ф., Макаренко Н. А., Куций А. М. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии // Автоматическая сварка. 2014. № 6. С. 151–154.
4. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
5. ГОСТ 4543 – 71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия.
6. 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, 2012. 135 с.
7. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин : учебное пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014.
8. Иванов В. П., Лаврова Е. В. Управление формированием зоны проплавления при электродуговой сварке // Автоматическая сварка. 2016. № 8. С. 6–11.
9. Иоффе И. С. Влияние титанотермитной смеси, входящей в электродное покрытие, на повышение производительности сварки // Сварочное производство. 1980. № 3. С. 26–28.



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

11. 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.

12. Макаренко Н. А., Богуцкий А. А., Грановская Н. А., Синельник В. В. Разработка установки и плазмотрона для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганск: СНУ, 2010. № 2. С. 168–173.

13. Максимов С. Ю., Лендел И. В. Повышение эффективности наплавки путём применения импульсной подачи электродной проволоки // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганск : СНУ, 2016. № 2. С. 171–175.

14. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет.: К.В. Фролов (пред.) [и д.р.]. М. : Машиностроение. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Том 3 / В. В. Ключев [и д.р.]; под общ. Ред. В.В. Ключева. 1996, 464 с.

15. Новиков В. С., Очковский Н. А., Тельнов Н. Ф. Проектирование технологических процессов восстановления изношенных деталей : Методические рекомендации к курсовому и дипломному проектированию. М. : МГАУ, 1998. 52 с.

16. Патент № 2211256 РФ Способ нанесения покрытия / Д.И. Станчев, А.М. Кадырметов, А.В. Винокуров, В.Н. Бухтояров. – 2003.

17. 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.

18. Потальевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнолопя, 2007. 192 с.
19. Сварка. Резка. Контроль : справочник в 2-х томах / Под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышева. М. : Машиностроение, 2004.
20. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.
21. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.