

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 лопаток гравитационного смесителя

Студент

А.С. Лобанов

(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

При внедрении прогрессивных технологий восстановления деталей машин, основанных на современных достижениях мировой науки, возможно получение множественного положительного эффекта: производительность труда увеличивается, стабилизируется качество сварных соединений. В настоящее время при построении ремонтной технологии восстановления лопаток смесителя могут быть применены различные способы. Поэтому обоснование выбора способа восстановительной наплавки на основании передовых технических решений является актуальной задачей.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества выполнения работ при восстановительной наплавке лопаток гравитационного смесителя.

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.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 2,29 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

## Содержание

Введение .....	5
1 Современное состояние восстановительной наплавки лопаток гравитационного смесителя .....	7
1.1 Описание изделия и условий его работы .....	7
1.2 Сведения о материале для изготовления лопаток смесителя .....	10
1.3 Описание базовой операции восстановительной наплавки лопаток смесителя .....	12
1.4 Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановления рассматриваемых деталей ..	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	16
2 Проектная технология восстановительной наплавки лопаток смесителя .....	18
2.1 Обоснование выбора способа восстановления .....	18
2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки .....	22
2.3 Операции технологического процесса восстановительной плазменной наплавки лопаток смесителя .....	27
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	31
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	31
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 .....	43

4.3 Расчет штучного времени . . . . .	44
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	45
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	50
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	52
Заключение . . . . .	55
Список используемой литературы и используемых источников . . . . .	56

## Введение

В настоящий момент мировое сообщество вступает в фазу решительной борьбы с глобальным потеплением. Как показали современные исследования, на загрязнение атмосферы нашей планеты углекислым газом и метаном оказывают влияние не только кишечные газы сельскохозяйственных животных, но и производство стали и цемента.

Вследствие этого следует особое внимание уделить ресурсосберегающим технологиям, позволяющим уменьшить потребление человечеством, следовательно, и производство стали и цемента. Ежегодные потери металла на абразивный износ в мире составляют порядка ста тысяч тонн [13]. При этом замена изношенных деталей машин требует затрат металла на один-два порядка больше, чем масса изношенного металла. Вследствие этого, следует признать актуальным решение проблемы повышения эффективности восстановления изношенных деталей машин.

В числе перспективных направлений обеспечения ресурсосбережения и импортозамещения современного производства следует указать повышение эффективности восстановительной наплавки за счёт разработки новых наплавочных материалов и внедрения наукоёмких технологий [8], [9].

Лопатка бетоносмесителя изготавливается из стали 65Г, в процессе перемешивания материала происходит интенсивный абразивный износ лопаток смесителя.

При внедрении прогрессивных технологий восстановления деталей машин, основанных на современных достижениях мировой науки, возможно получение множественного положительного эффекта: производительность труда увеличивается, стабилизируется качество сварных соединений. В настоящее время при построении ремонтной технологии восстановления лопаток смесителя могут быть применены различные способы. Поэтому обоснование выбора способа восстановительной наплавки на основании передовых технических решений является актуальной задачей.

При ремонте металлических конструкций широкое применение получила ручная дуговая наплавка штучными электродами, которая сопровождается получением большого числа дефектов. Исправление этих дефектов требует привлечения дополнительных трудозатрат.

Повышение эффективности ремонтных работ требует замены ручной дуговой наплавки на более производительный способ восстановления.

Практический опыт по реновации деталей машин позволяет установить, что дефекты наплавки возникают в случае нарушения заданных параметров режима наплавки, недостаточно качественно проведенной подготовки поверхности деталей под наплавку, неправильный выбор технологии наплавки и наплавочных материалов [4], [10], [17], [22].

Одним из перспективных способов восстановления деталей машин может считаться лазерное нанесение покрытия и упрочнение. Этот способ позволяет достигать получать поверхностный слой с высоким качеством и эксплуатационными свойствами. Однако лазерные технологии не находят широкого применения из-за низкого коэффициента полезного действия процесса.

Перспективным также считается восстановление деталей машин с применением плазменных технологий, которые позволяют использовать порошковые износостойкие сплавы, что существенно повышает срок эксплуатации деталей машин [7], [23].

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества выполнения работ при восстановительной наплавке лопаток гравитационного смесителя.

Поиск технических решений следует вести с применением современных достижений в области повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов, перспективных методов нанесения защитного покрытия и высокотехнологичных наплавочных материалов.

# 1 Современное состояние восстановительной наплавки лопаток гравитационного смесителя

## 1.1 Описание изделия и условий его работы

Установка для приготовления бетонной смеси СБ-138, представленная на рисунке 1, включает в себя силос цемента, опорную платформу бетоносмесителя, бетоносмеситель, конвейер, бункер инертных материалов и пандус. Данная установка характеризуется легким монтажом и простотой обслуживания. Производительность установки составляет 25 м<sup>3</sup>/час. Максимальная установленная мощность – 55 кВА. Емкость склада цемента составляет 40 тонн. Работа установки требует привлечения двух операторов. Работа установки проходит в автоматическом режиме.

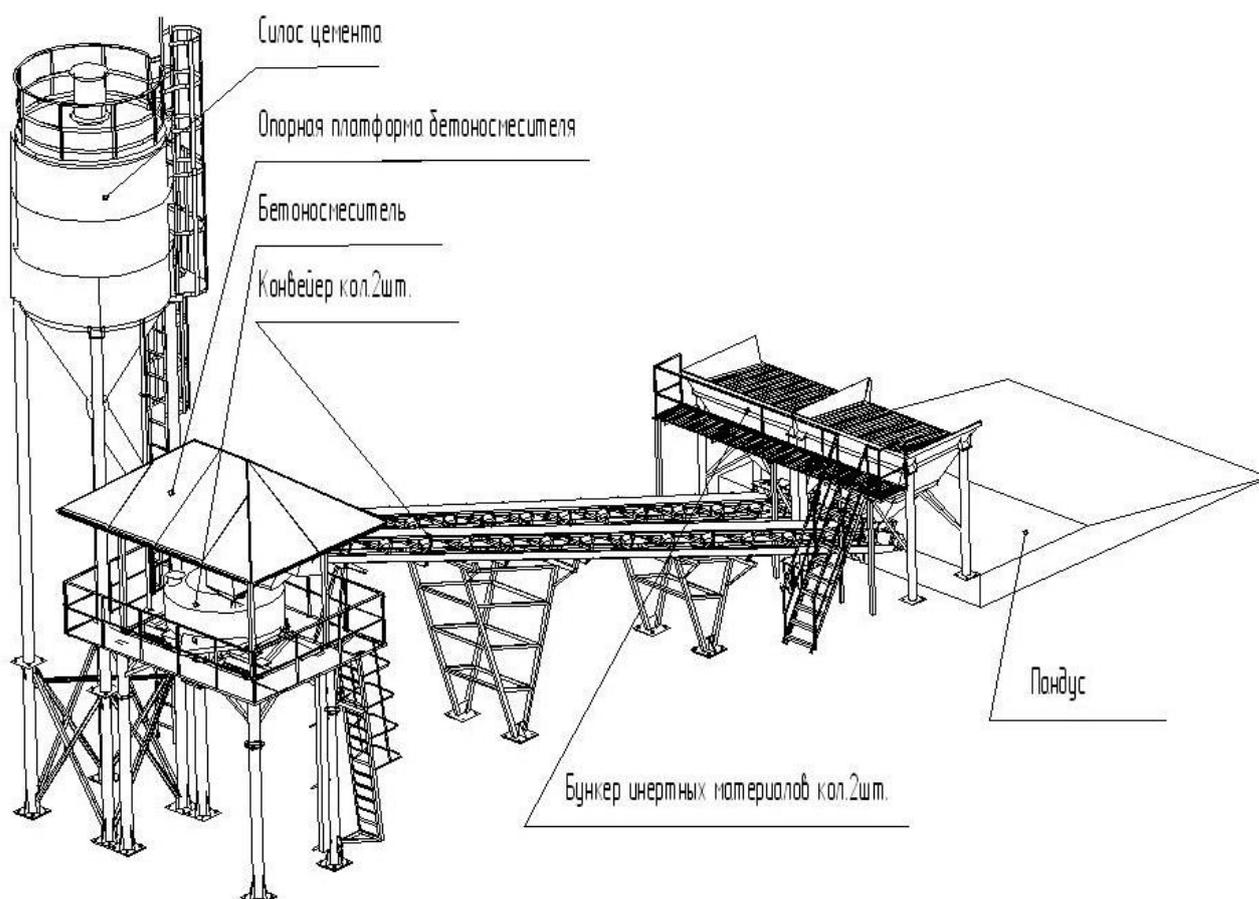


Рисунок 1 – Установка для приготовления бетонной смеси СБ-138

Смесительный блок включает в себя раму, предусматривающую установку бетоносмесителя, дозатора для подачи добавок, устройства предварительного взвешивания цемента и воды. Обслуживание дозаторов проводится с площадок. Металлическая конструкция рамы выполнена с применением стального швеллера, уголка и рифлёного листа.

Приготовление бетонной смеси осуществляется в смесителе СБ-138А , представленном на рисунке 2, включающий в себя: корпус-чашу, электрический двигатель с планетарным редуктором, приёмные патрубки загрузки компонентов, ротор со смесительными лопостями, затвор с пневматическим цилиндром.



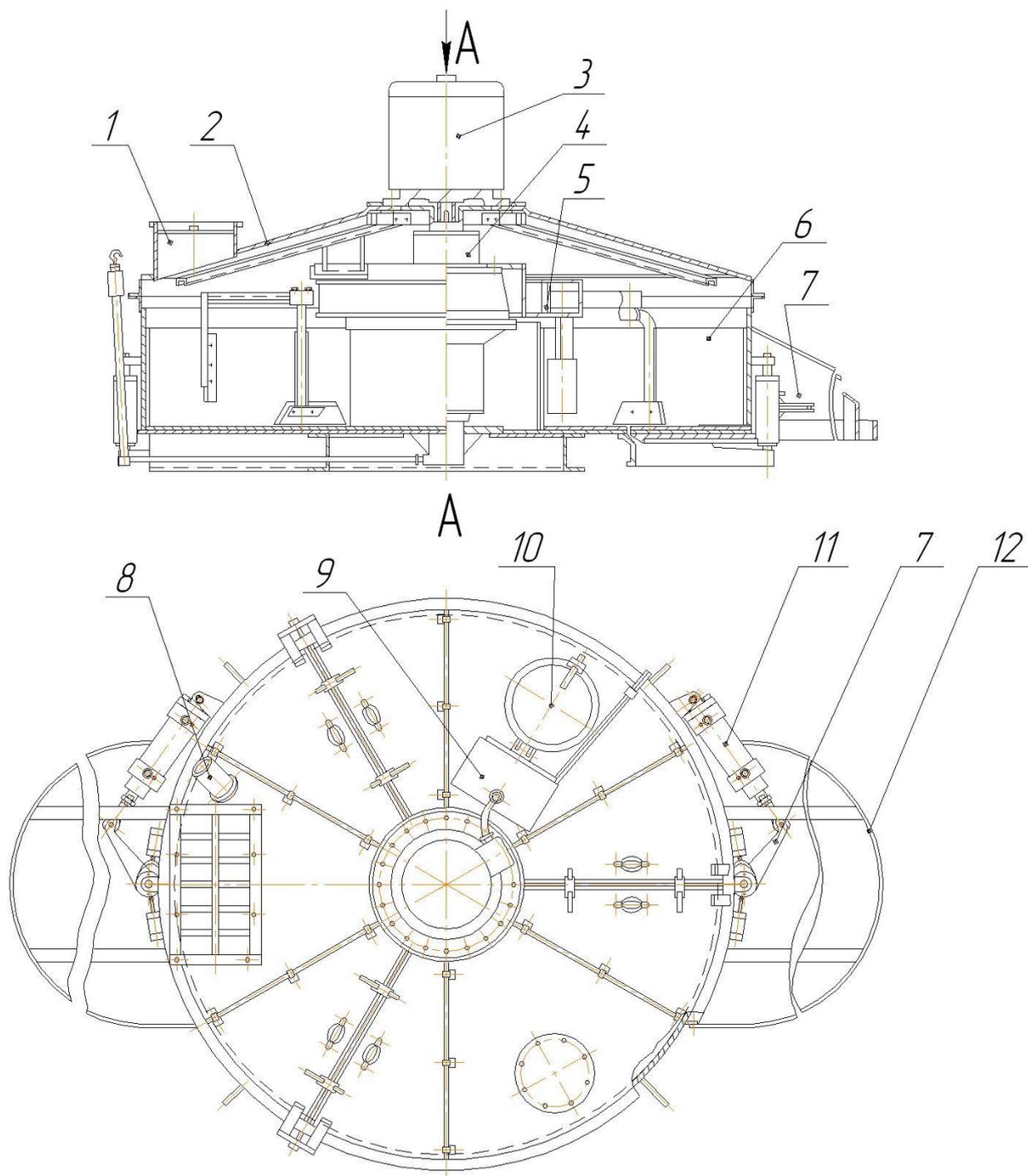
Рисунок 2 – Смеситель СБ-138А

Смесительное пространство представляет собой объём между наружной и внутренней обечайками. Эти обечайки защищаются от абразивного изнашивания и ударной нагрузки при помощи брони. Донная броня – сменная и крепится на винтах, боковая броня и броня стакана – несменная и крепится с использованием электрозаклёпок. Затвор смесителя приводится в движение пневматическим цилиндром.

Крышка чаши в корпусе смесителя имеет патрубок для загрузки модифицирующих добавок, также имеется патрубок для заливки воды.

Держатели сменных лопаток и очистные скребки закрепляются на корпусе ротора, представленном на рисунке 4. Лопатки и скребки

изготавливают из стали 65Г. Ротор имеет регулировочные болты, позволяющие регулировать зазор между лопастью и днищем.



1-загрузочный патрубок; 2-крышка; 3-электродвигатель; 4-редуктор; 5-ротор; 6-чаша; 7-затвор; 8-водопроводный патрубок; 9-пульт управления; 10-смотровой люк; 11-пневмоцилиндр; 12-ограждение затвора

Рисунок 3 – Состав смесителя СБ-138А



Рисунок 4 – Ротор (а) и лопатки (б) смесителя СБ-138А

Работа смесителя проходит следующим образом. Запускают вращение ротора 5, при вращающемся роторе выполняют загрузку сухих смесей, которые были предварительно отдозированы. Одновременно с подачей сухих смесей через трубу 8 выполняется подача заданного количества воды. Однородная смесь образуется из-за действия на неё лопаток ротора, которые перемешивают поданные в смеситель материалы. Выгрузка готовой бетонной смеси происходит через люки затворов 7, работа которых управляется пневматическими цилиндрами 11.

В процессе работы лопатки смесителя подвергаются интенсивному абразивному износу.

## 1.2 Сведения о материале для изготовления лопаток смесителя

Лопатки ротора смесителя изготавливают из стали 65Г, которая относится к конструкционной рессорно-пружинной стали. Содержание химических элементов в стали 65Г представлено в таблице 1. Эта сталь обладает повышенной износостойкостью, которая выгодно сочетается с малой стоимостью этой стали на рынке. Это определило широкое применение стали 65Г для изготовления деталей в машиностроении.

Сталь 65Г относится к четвёртой группе свариваемости.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 65Г

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,62 – 0,7	0,17 – 0,37	0,9 – 1,2	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2

Высокий уровень механических свойств, в том числе и повышенная износостойкость по сравнению с низкоуглеродистыми сталями в стали 65Г достигается за счёт повышенного содержания углерода. Это в свою очередь приводит к ряду трудностей при сварке стали 65Г 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 65Г из-за структурных изменений практически невозможно достижение равнопрочности металла сварного шва и основного металла.

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 околосшовной зоне применяют термическую обработку по схеме «нормализация плюс 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 Описание базовой операции восстановительной наплавки лопаток смесителя**

При восстановительной наплавке лопаток смесителя применяется ручная дуговая наплавка штучными электродами.

При наплавке в качестве источника питания применяется сварочный выпрямитель ВД-301, представленный на рисунке 5-а. В число технических характеристик применяемого выпрямителя входят: масса сварочного выпрямителя – 225 кг; номинальный сварочный ток выпрямителя – 315 А; способ регулирования сварочного тока – механический, плавный; напряжение питания сети – 380 В, количество фаз – 3; потребляемая мощность, 24,0 кВА; номинальный режим работы ПН – 60 %; величина сварочного тока – 50...315 А.

Наплавочный пост также укомплектован балластным реостатом РБУ-400, представленным на рисунке 5-б.

От остальных производственных участков пост для восстановительной наплавки ограждён светонепроницаемыми экранами. Для удаления вредных выделений от сварки применяется местная вытяжная вентиляция.

Перед выполнением наплавки осуществляют предварительный подогрев изделия до температуры 250...300 °С. Для предварительного подогрева применяется газовая горелка и контактный термометр.

Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности. Деталь при наплавке находится в нижнем положении. Сила наплавочного тока составляет 60...80 А. Напряжение на дуге – 23 В. При наплавке применяют штучные электроды ESAB ОК 68.81 диаметром 3,2 мм. При наплавке следует поддерживать длину дуги не более одного диаметра электрода, что позволяет уменьшить разбрызгивание и выгорание легирующих элементов. Ширина наплавочного валика не должна превышать 3 мм. При этом перекрытие валиков должно быть не менее 1/3 от ширины валика. Перед выполнением нового слоя следует удалять шлак с наплавленного слоя.

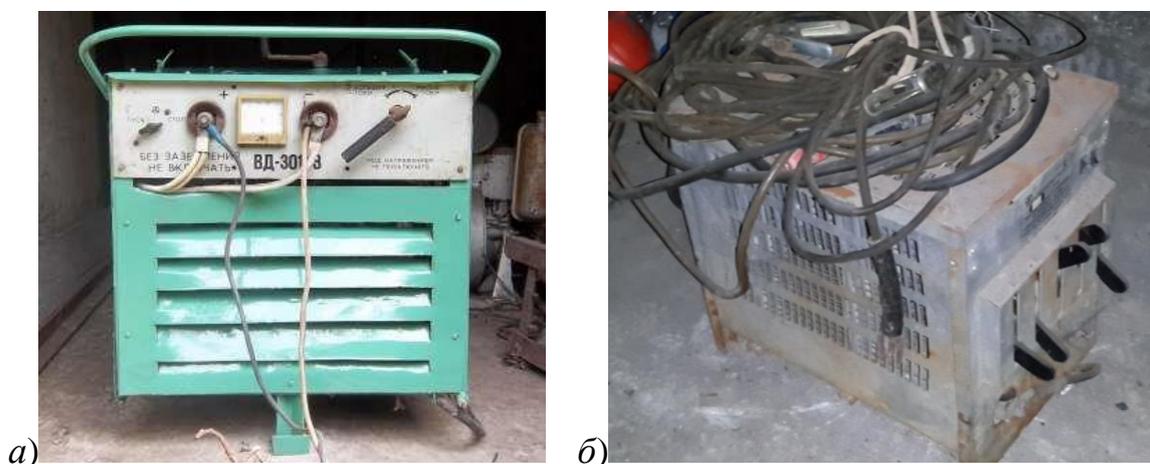


Рисунок 5 – Оборудование для проведения наплавочных работ: выпрямитель ВД-301 (а); балластный реостат РБУ-400 (б)

При выполнении наплавки следует контролировать температуру детали, которая не должна опускаться ниже 250 °С.

После выполнения наплавки осуществляют высокий отпуск изделия, который проводят сразу после наплавки. Для проведения термической обработки применяется электрическая камерная печь СНО 3.6.2/10, представленная на рисунке 6.

После того, как детали остыли, следует выполнить контроль качества восстановительной наплавки. При этом применяют твердомер и лупу увеличением 4 крат. Твёрдость наплавленного слоя должна составлять

порядка 40...45 HRC. При внешнем осмотре наплавленный слой не должен содержать несплавления, наплывы, подрезы, трещины и поры.



Рисунок 6 - Электрическая камерная печь СНО 3.6.2/10

После проверки качества восстановленных лопаток смесителя проводят их закалку. Для проведения термической обработки применяется электрическая камерная печь СНО 3.6.2/10. Температура нагрева 950...1000 °С.

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.

#### **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 [3] 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 [5] 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 [12] 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 [11] 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 [2] 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.

Таким образом, анализ научных работ позволяет установить, что вопрос восстановления деталей машин с применением дуговых способов остаётся актуальным. При этом на первый план выходят такие способы, как - ручная дуговая наплавка, наплавка самозащитными порошковыми проволоками, механизированная наплавка в среде защитного газа, наплавка под флюсом и плазменная наплавка.

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

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества выполнения работ при восстановительной наплавке лопаток гравитационного смесителя.

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

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;

Выполнение разделов оценочного блока предусматривает решение следующих задач:

- 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 наплавки лопаток смесителя**

### **2.1 Обоснование выбора способа восстановления**

Ручная дуговая наплавка, схема выполнения которой приведена 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.

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.

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.

Механизированная наплавка в защитных газах, схема выполнения которой приведена на рисунке 8, является самым технологичным и универсальным способом, который позволяет проводить наплавку большинства материалов в различных пространственных положениях [6], [15].

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).

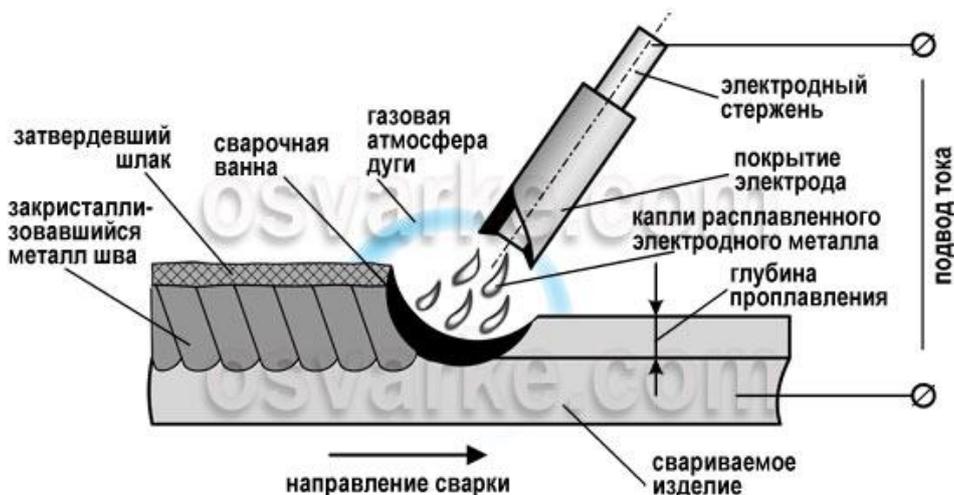


Рисунок 7 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучными электродами

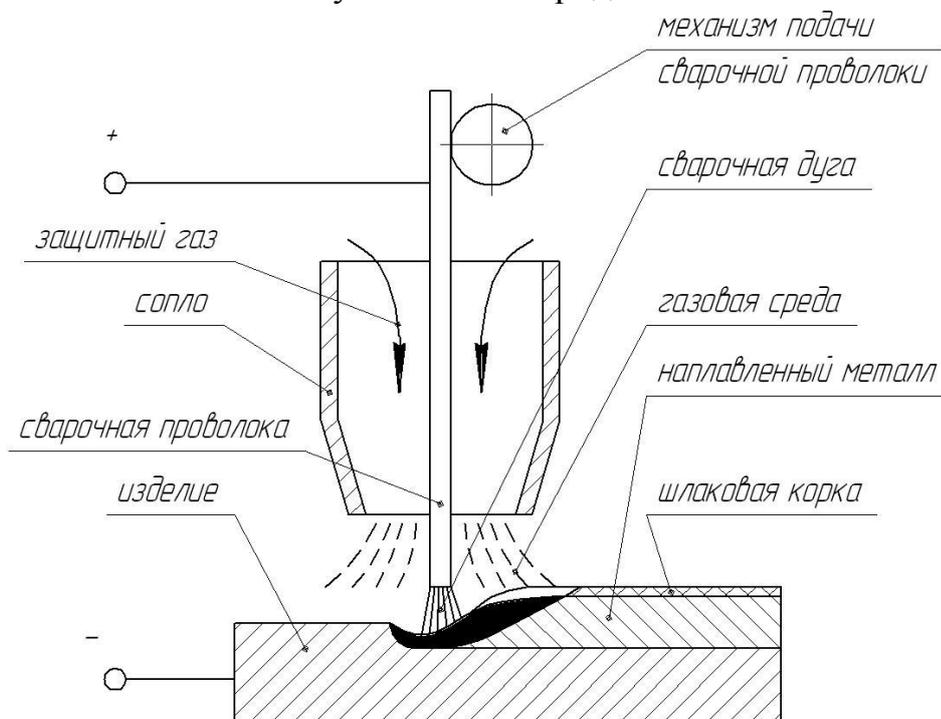


Рисунок 8 – Схема выполнения наплавки в защитном газе плавящимся электродом

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.

Наплавка самозащитными порошковыми проволоками, схема выполнения которой представлена на рисунке 9, сочетает в себе преимущества ручной дуговой наплавки и наплавки в защитных газах. Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика [18], [24].

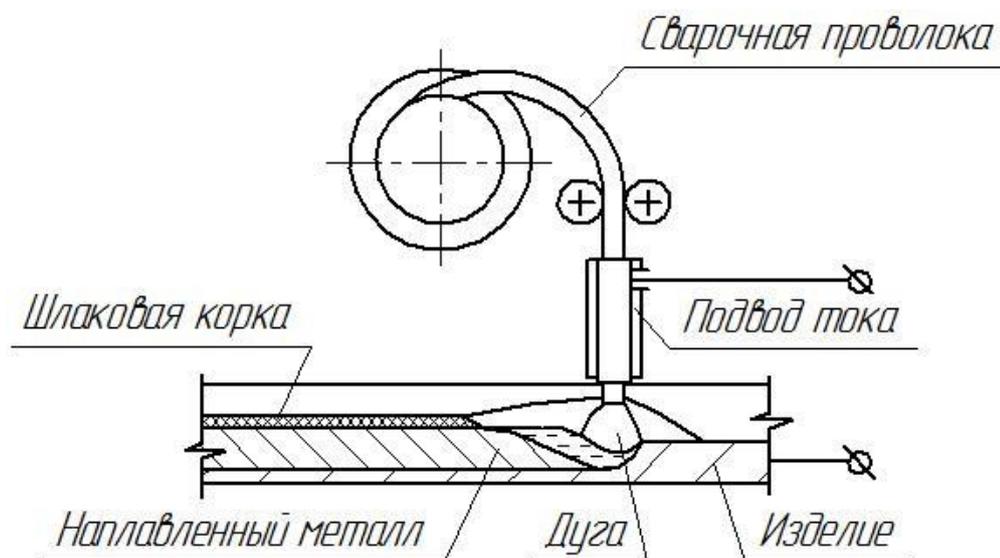
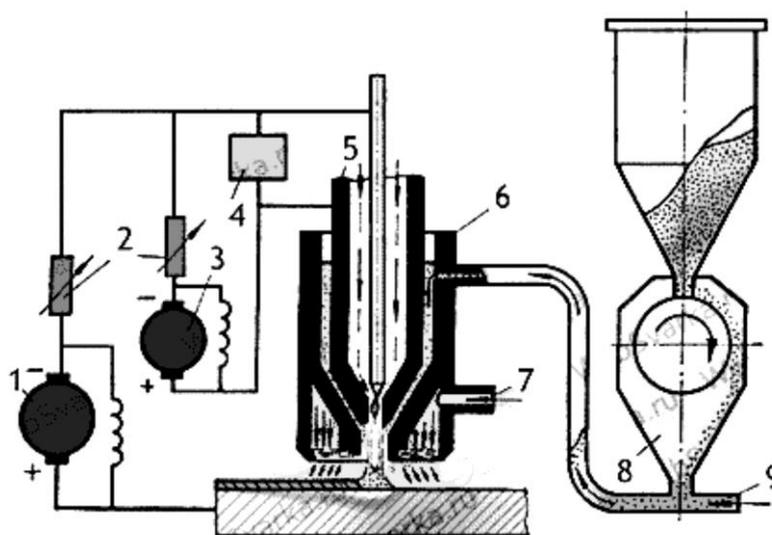


Рисунок 9 – Схема выполнения наплавки самозащитной порошковой проволокой

Газовая защита сварочной ванны, расплавленного электродного металла и перегретого металла обеспечивается благодаря вводимым в состав шихты карбонатам (кальцинированная сода, мрамор, магнезит) или органическим компонентам. В сердечнике большинства проволок

содержится плавиковый шпат, улучшающий рафинирование наплавляемого металла и повышающий жидкотекучесть шлака [16]. Существуют самозащитные проволоки, например ПП-Х2ГСВ2Ф, которые разработаны специально для наплавки режущего инструмента [2].

Анализ технологичности различных способов наплавки деталей машин показывает, что плазменная наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 10, обладает большей эффективностью по сравнению с наплавкой в углекислом газе и вибродуговая наплавка. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий.



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 10 – Схема плазменной наплавки

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.

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» [14].

## **2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки**

Составление проектной технологии плазменной наплавки предусматривает решение технических задач:

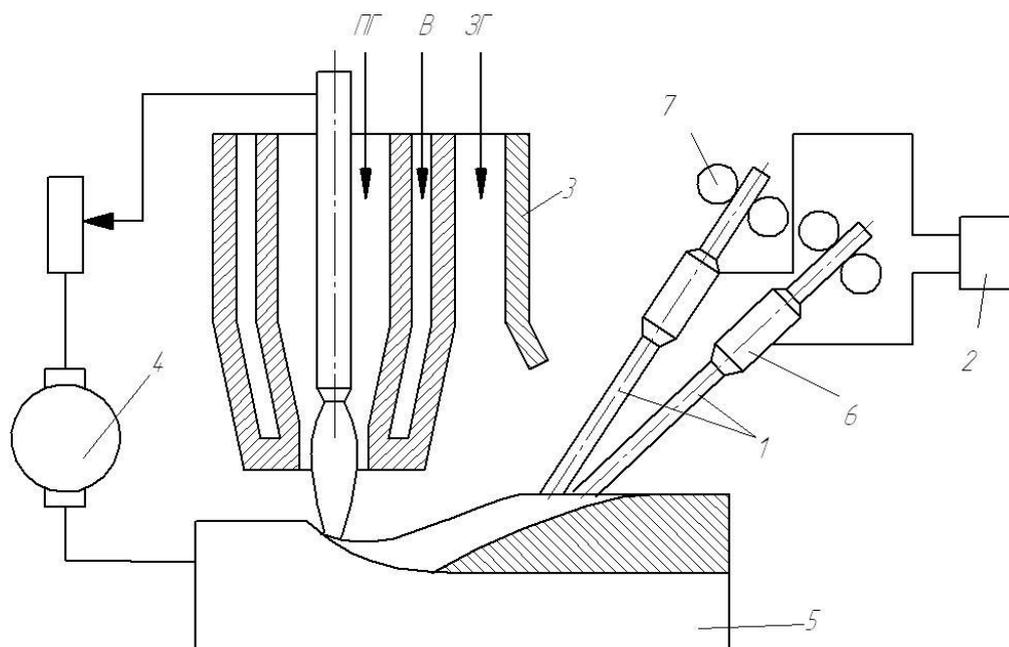
- выбор наплавочного материала (с учётом анализа износа и условий эксплуатации изделия);
- обоснование выбора способа наплавки;
- выбор параметров режима наплавки;
- обоснование повышения эффективности восстановительной наплавки.

В мире накоплен значительный опыт в области повышения восстановительной плазменной наплавки, позволяющих расширить область применения плазменной наплавки и её технологические возможности.

Широкое применение получил способ плазменной наплавки с применением двух присадочных проволок, которые подключены к источнику переменного тока, как показано на рисунке 11. Ванна образуется при горении

сжатой дуги прямого действия, которая получает питание от источника постоянного тока. В хвостовую часть ванны подают две присадочные проволоки, которые последовательно подключены к источнику переменного тока, который обеспечивает подогрев проволок перед подачу в сварочную ванну.

Такой способ позволяет получить производительность наплавки до 30 кг/час.

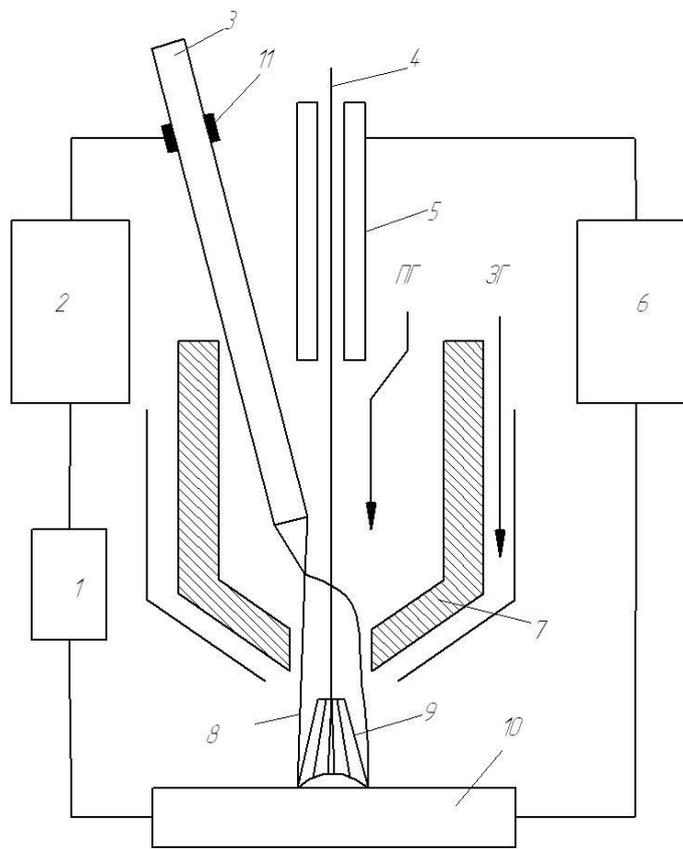


1 - электродные токоведущие проволоки, 2 - источник переменного тока, 3 - защитное сопло, 4 - источник постоянного тока, 5 – деталь, 6 – токоподвод, 7 - ролики механизма подачи проволоки, ПГ - плазмообразующий газ, В – вода, ЗГ - защитный газ

Рисунок 11 – Схема выполнения плазменной наплавки двумя проволоками

Повышение производительности плазменной наплавки достигается при комбинированном способе сварки-наплавки, представленном на рисунке 12. Комбинированный способ сварки-наплавки совмещает сварку плавящейся проволокой и плазменную наплавку в инертном газе. Сжатая дуга горит между вольфрамовым электродом и восстанавливаемой деталью. Питание сжатой дуги обеспечивается от сварочного источника постоянного тока, который имеет падающую внешнюю вольтамперную характеристику. На присадочную проволоку подают напряжение от отдельного сварочного

источника питания, который имеет жесткую внешнюю вольтамперную характеристику.



1 - осциллятор; 2 - источник тока с падающей характеристикой; 3 - вольфрамовый электрод; 4 - электродная проволока; 5 - токоподвод; 6- источник тока с жесткой характеристикой; 7 - плазмообразующее сопло; 8 - сжатая дуга; 9 - сварочная дуга; 10 – деталь, ПГ - плазмообразующий газ, ЗГ - защитный газ

Рисунок 12 – Схема плазменной сварки-наплавки плавящимся электродом

За счёт изменения диаметра проволоки, силы и полярности тока на проволоке, диаметра сопла, силы тока на неплавящемся электроде существует возможность регулирования скорости расплавления проволоки в широких пределах.

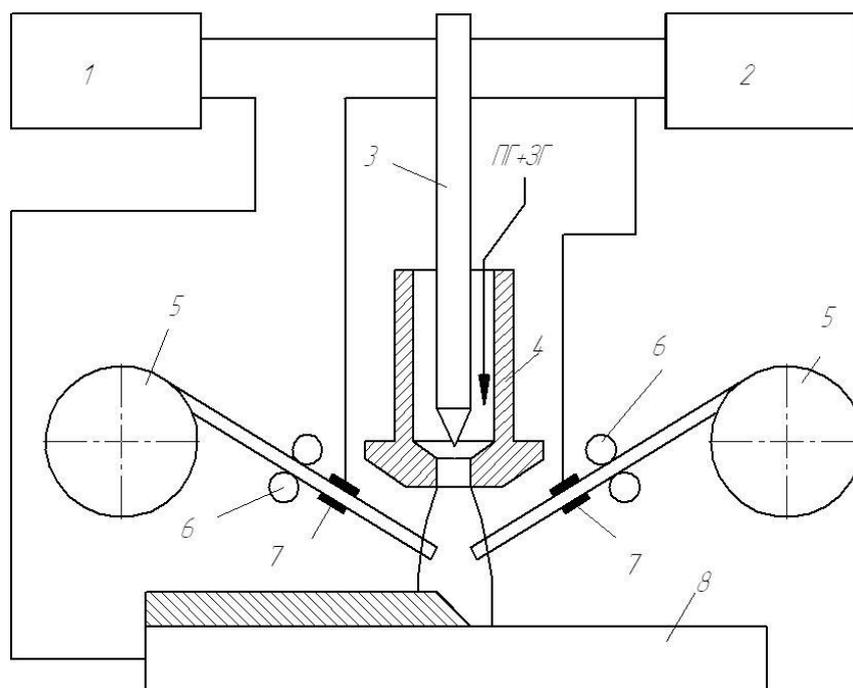
Такой способ позволяет получить производительность наплавки до 30 кг/час.

Повышение производительности плазменной наплавки достигается при наплавке двумя автономными проволоками, как показано на рисунке 13.

При таком способе применяется два сварочных источника питания. Первый источник обеспечивает подачу тока при его протекании через

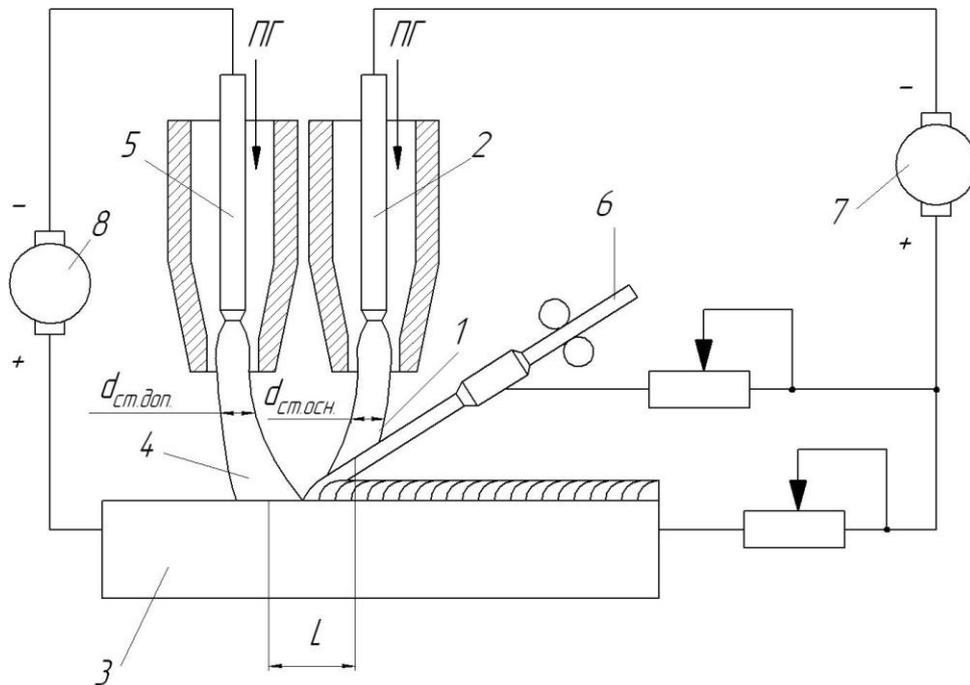
вольфрамовый электрод и наплавляемую деталь. Второй источник питания обеспечивает разогрев присадочных проволок до пластического состояния. Такой способ позволяет за один проход наплавлять слой толщиной 3...8 мм.

Для повышения эффективности плазменной наплавки предложена схема, изображённая на рисунке 14: «первую основную дугу 1 возбуждают между электродом 2 и изделием 3. Вторую дополнительную дугу 4 возбуждают между электродом 5 и изделием на расстоянии L. После возбуждения двух дуг включают подачу проволоки 6 и скорость V сварки. Ток первой и второй дуги устанавливают таким образом, чтобы отношение мощности дополнительной дуги к мощности основной дуги было в пределах от 1,3 до 1,8 в зависимости от производительности процесса по ширине и по высоте наплавленного валика, а также в зависимости от состава основного и присадочного материалов» [1].



- 1, 2 - источники питания; 3 - вольфрамовый электрод; 4 - плазмообразующее сопло;  
5- кассета с электродной проволокой; 6 - ролики механизма подачи электродной  
проволоки; 7 - токопровод; 8 - наплавляемая деталь, ПГ - плазмообразующий газ,  
ЗГ - защитный газ

Рисунок 13 – Схема плазменной наплавки двумя присадочными проволоками от автономных приводов



1 - основная дуга, 2 - неплавящийся электрод основной дуги, 3 – изделие, 4 - дополнительная дуга, 5 - неплавящийся электрод дополнительной дуги 6 - плавящаяся проволока, 7 - источник питания основной дуги, 8 - источник питания дополнительной дуги, L - расстояние между дугами,  $d_{ст.осн.}$  - диаметр столба основной дуги,  $d_{ст.доп.}$  - диаметр столба дополнительной дуги

Рисунок 14 – Предлагаемый способ плазменной наплавки

При осуществлении предлагаемого способа выполняют регулирование расстояния  $L$  между дугами, задавая его в соответствии с эмпирической формулой в зависимости от среднего арифметического диаметров столбов дополнительной  $d_{ст.доп}$  и основной  $d_{ст.осн}$  дуг:

$$L = (2...3,2) d_{ст.ср.}, \quad (1)$$

$$d_{ст.ср.} = \frac{d_{ст.осн.} + d_{ст.доп.}}{2}. \quad (2)$$

Электромагнитное взаимодействие дуг позволяет регулировать тепловложение в основной металл. Если мощность  $W_{доп}$  дополнительной дуги уменьшается, это вызывает её отклонение в сторону основной дуги, что приводит к повышению интенсивности нагрева присадочного металла. Если мощность  $W_{доп}$  дополнительной дуги увеличивается, это вызывает её

отклонение в сторону расплавленного основного металла и повышение интенсивности его нагрева.

Таблица 2 показывает, что «уменьшение мощности дополнительной дуги ниже 1,3 мощности основной дуги приводит к несплавлению основного металла с наплавленным, что резко ухудшает качество наплавленного валика. Это объясняется сильным притяжением дополнительной дуги к основной» [1].

Таблица 2 – Влияние отношения мощностей  $W_{\text{доп}}/W_{\text{осн}}$  на наплавку

Ток основной дуги, А	Ток дополнительной дуги, А	$W_{\text{доп}}/W_{\text{осн}}$	Скорость наплавки, м/ч	Доля участия основного металла, %	Производительность наплавки, кг/ч
240	260	1,1	7	0...5	15...17
230	270	1,3	8	4...8	14...15
210	290	1,6	9	5...10	13...15
200	300	1,8	10	8...12	12...14
190	310	2,0	11	15...20	8...10

«Увеличение указанного отношения мощностей выше 1,8 приводит наоборот к резкому увеличению проплавления основного металла, Это объясняется тем, что основная дуга сильно притягивается к дополнительной, и обе дуги горят вместе на основной металл» [1].

### **2.3 Операции технологического процесса восстановительной плазменной наплавки лопаток смесителя**

Проектная технология восстановительной наплавки лопаток смесителя предусматривает выполнение следующих операций:

- дробеструйная обработка,
- предварительный подогрев,
- наплавка,
- высокий отпуск,

- контроль качества
- закалка.

При выполнении первой операции применяется мобильная дробеструйная установка, представленная на рисунке 15, с ёмкостью бака 100 или 200 литров производства Wheelabrator Group.

Скорость выхода дробы составляет  $V_d = 100...120$  м/с, расход дробы составляет 200...230 кг/мин. Диаметр дробы 1,2 мм, твёрдость дробы – 43 HRC.



Рисунок 15 – Мобильные дробеструйные установки

Вторая операция (предварительный подогрев) выполняется для того, чтобы исключить образование трещин при наплавке. Для предварительного подогрева предлагается использовать электрическую камерную печь СНО 3.6.2/10. Температура предварительного подогрева - 250...300 °С.

Третья операция (наплавка) проводится при токе основной дуги 220...230 А, токе дополнительной дуги – 260...270 А. Расход плазмообразующего газа составляет 1,5...2,5 л/мин. Расход защитного газа составляет 16...20 л/мин. Скорость наплавки составляет 7...8 м/час. Горелку при наплавке на деталь ведут на расстоянии 10...18 мм от сопла горелки до детали с поперечными колебаниями с частотой 40...100 колебаний в минуту. Расход охлаждающей воды составляет 5 литров в минуту.

Наплавку ведут присадочной проволокой Св-Х12МФ, состав которой представлен в таблице 3. Проволока позволяет получать наплавленный слой с хорошим сопротивлением абразивному износу.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в проволоке Св-Х12МФ

Fe	C	Cr	W	Mo	V	Co	Si	Mn	Ni	S	O
Осн.	1,5	12	-	0,5	0,3	-	-	0,4	0,4	0,03	0,03

Четвёртая операция (высокий отпуск) выполняется с применением электрической камерной печи СНО 3.6.2/10. Перед нагревом детали помещают в порошок древесного угля. При отпуске используется температура нагрева 850...900 °С, время выдержки 1...2 часа.

Пятая операция (контроль качества) применяют твердомер и лупу увеличением 4 крат. Твёрдость наплавленного слоя должна составлять порядка 40...45 HRC. При внешнем осмотре наплавленный слой не должен содержать несплавления, наплывы, подрезы, трещины и поры.

После проверки качества восстановленных лопаток смесителя проводят их закалку. Для проведения термической обработки применяется электрическая камерная печь СНО 3.6.2/10. Температура нагрева 950...1000 °С. Твёрдость наплавленного слоя после закалки должна составлять порядка 65...70 HRC.

### **Выводы по второму разделу**

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,
- плазменная наплавка.

Для обоснования выбора способа восстановительной наплавки выполнен поиск и анализ источников научно-технической информации по эффективности каждого способа наплавки и вариантам повышения этой эффективности применительно к рассматриваемому изделию.

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

Составлена проектная технология плазменной наплавки лопаток гравитационного смесителя, которая включает в себя следующие операции:

- дробеструйная очистка,
- предварительный подогрев,
- плазменная наплавка,
- высокий отпуск,
- контроль качества,
- закалка.

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 плазменной наплавки при восстановлении лопаток гравитационного смесителя. Выполнение операций проектного технологического процесса согласно таблицы 4 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) Дробеструйная очистка	Слесарь-сборщик	- дробемёт, - дробемётная камера	- дробь, - воздух сжатый
2) Предварительный подогрев	Контролёр по термообработке	- печь, - поддон	-
3) Плазменная наплавка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- установка плазменной наплавки, - пирометр, - фиксатор детали	- аргон, - вода, - наплавочная проволока
4) Высокий отпуск	Контролёр по термообработке	- печь, - поддон, - контейнер	порошок древесного угля
5) Контроль качества	Инженер - дефектоскопист	- лупа, - твердомер	-
6) Закалка	Контролёр по термообработке	- печь, - поддон, - контейнер, - твердомер	-

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.

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) Дробеструйная очистка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок;</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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Дробемёт;</li> <li>2) Дробемётная камера</li> </ul>

Продолжение таблицы 5

1	2	3
2) Предварительный подогрев	<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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Печь</li> <li>2) Поддон</li> </ul>
3) 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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Установка плазменной наплавки;</li> <li>2) Пирометр;</li> <li>3) Фиксатор детали</li> </ul>
4) Высокий отпуск	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Печь</li> <li>2) Поддон</li> <li>3) Контейнер</li> </ul>
5) Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Лупа</li> <li>2) Твердомер</li> </ul>
6) Закалка	<ul style="list-style-type: none"> <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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Печь</li> <li>2) Поддон</li> <li>3) Контейнер</li> <li>4) Твердомер</li> </ul>

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

В таблице 6 приведены технические средства и средства индивидуальной защиты для устранения негативных производственных факторов.

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.

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 технического объекта

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, представленные в 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 плазменная наплавка изделия	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 8 – 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 9 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для плазменной наплавки изделия	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 9.

### 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 10 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов, приведённые в 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	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.

## **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 восстановления деталей машин с применением плазменных технологий.

Изучение особенностей предлагаемого технологического процесса сечения 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 восстановления лопаток гравитационного смесителя. 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: дробеструйная очистка, предварительный подогрев, плазменная наплавка, высокий отпуск, контроль качества, закалка.

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 ножей для поперечной резки металла.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблицы 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	$Ц_{об}$	Руб.	250000	900000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	40	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 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	$S$	$m^2$	400	400
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
Цена применяемых сварочных материалов:	$C$			
- электроды		руб/кг	240	-
- порошка ПР-Х12МФ		руб/кг	-	90
- аргона		руб/ $m^3$	-	90
Расход применяемых сварочных материалов:	$Z$			
- электродов		руб/изделие	120	-
- наплавочная проволока		руб/изделие	-	90
- аргона		руб/изделие	-	50

Представленные в таблице 12 исходные данные для выполнения расчётов по проектной и базовой технологиям позволяют в дальнейшем оценить технологическую себестоимость проектного и базового варианта, капитальные затраты по вариантам технологии и рассчитать показатели экономической эффективности.

## 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, представленных в таблице 12: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{см} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_{п} = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_{п} = 1$  час, принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

$$F_{н} = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (3)$$

Расчёты, выполненные согласно (3) 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  $B = 7 \%$ :

$$F_{э} = F_{н} (1 - B/100). \quad (4)$$

Расчёты, выполненные согласно (4) 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  $t_{п-з}$ :

$$t_{шт} = t_{МАШ} + t_{ВСП} + t_{ОБСЛ} + t_{ОТД} + t_{П-З}. \quad (5)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (5), составит:

$$t_{шт.баз} = 1,5 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1,82 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,49 \text{ ч.}$$

Годовая программа  $П_{г}$  выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (4) эффективного фонда времени  $F_{э}$  и согласно (5) штучного времени  $t_{шт}$ :

$$П_{г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (6)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (6) после подстановки численных значений:

$$П_{г.баз.} = 2054 / 1,82 = 1128 \text{ деталей за год};$$

$$П_{г.проектн.} = 2054 / 0,49 = 4191 \text{ деталей за год.}$$

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

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

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (7)$$

Требуемое количество оборудования  $n_{\text{расч}}$  для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (7), составляет:

$$n_{\text{РАСЧБ}} = \frac{1,82 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,81, \quad n_{\text{РАСЧП}} = \frac{0,49 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,22.$$

Необходимое количество оборудования  $n_{\text{пр}}$ , которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (7) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ( $n_{\text{пр}} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}}. \quad (8)$$

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

$$K_{3\text{б}} = 0,81/1 = 0,81, \quad K_{3\text{п}} = 0,22/1 = 0,22.$$

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

Восстановление лопаток гравитационного смесителя предусматривает расходование материалов. При ручной дуговой наплавке расходным материалом будут покрытые электроды. При плазменной наплавке покрытия расходными материалами будут присадочная проволока 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:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{ТЗ}, \quad (9)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (4.7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{\text{баз.}} = 120 \cdot 2 \cdot 1,05 = 252,00 \text{ рублей}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 90 \cdot 0,6 \cdot 1,05 + 50 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 56,70 + 475,50 = 532,20 \text{ рублей}$$

Объём основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$  и коэффициента  $K_{\text{д}}$  доплат:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (10)$$

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (4.8) составляет:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 1,82 \cdot 200 \cdot 1,88 = 684,32 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 0,49 \cdot 200 \cdot 1,88 = 184,24 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100. \quad (11)$$

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (11) после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 684,32 \cdot 12 / 100 = 82,12 \text{ рублей};$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 184,24 \cdot 12 / 100 = 22,11 \text{ рублей.}$$

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

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 684,32 + 82,12 = 766,44 \text{ рублей;}$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 184,24 + 22,11 = 206,35 \text{ рублей.}$$

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

$$O_{\text{сн}} = \Phi ЗП \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (12)$$

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (12) соответствующих значений:

$$O_{\text{сн баз.}} = 766,44 \cdot 34 / 100 = 260,59 \text{ руб.,}$$

$$O_{\text{сн проектн.}} = 206,35 \cdot 34 / 100 = 70,16 \text{ руб.}$$

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:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{эз}}. \quad (13)$$

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:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (14)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (14) соответствующих значений, составляет:

$$A_{\text{об. баз.}} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 1,82 / 2054 / 100 = 14,37 \text{ руб.,}$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 900000 \cdot 21,5 \cdot 0,49 / 2054 / 100 = 46,16 \text{ руб.}$$

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

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э-э}}}{KПД} \quad (15)$$

Рассчитанные после подстановки в (4.13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{ээ баз}} = 40 \cdot 1,82 \cdot 3,2 / 0,7 = 332,80 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 70 \cdot 0,49 \cdot 3,2 / 0,85 = 129,12 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (4.11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$Z_{\text{об баз.}} = 14,37 + 332,80 = 347,17 \text{ рублей},$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 46,16 + 129,12 = 175,28 \text{ рублей.}$$

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

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{ПЛ}} \quad (16)$$

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 252 + 766 + 261 + 347 + 164 = 1790 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 198 + 206 + 70 + 175 + 76 = 725 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} \quad (17)$$

Рассчитанная после подстановки в (4.15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 1790 + 1,5 \cdot 684,32 = 1790 + 1026 = 2816 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 725 + 1,5 \cdot 184,24 = 725 + 276 = 1001 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (18)$$

Рассчитанная после подстановки в (4.16) соответствующих значений заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 2816 + 1,15 \cdot 684,32 = 2816 + 787 = 3603 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 1001 + 1,15 \cdot 184,24 = 1001 + 212 = 1213 \text{ руб.}$$

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>M</i>	252	198
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	766	206
3. Отчисления на соц. нужды	<i>O<sub>сн</sub></i>	261	70
4. Затраты на оборудование	<i>Zоб</i>	347	175
5. Расходы на площади	<i>Zпл</i>	164	76
5. Технологическая себестоимость	<i>Cтех</i>	1790	725
6. Цеховые расходы	<i>Pцех</i>	1026	276
7. Цеховая себестоимость	<i>Cцех</i>	2816	1001
8. Заводские расходы	<i>Pзав</i>	787	212
9. Заводская себестоимость	<i>Cзав</i>	3603	1213

#### 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  $\Pi_{\text{об.б.}}$ , коэффициента загрузки оборудования  $K_{з. б.}$  рассчитанного для базового варианта согласно (8):

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{з.б.} \quad (19)$$

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

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{ПЕРВ.}} - (\Pi_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_A / 100). \quad (20)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (20) соответствующих значений, составляет:

$$\Pi_{\text{ОБ.Баз.}} = 250000 - (250000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 88750 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 88750 \cdot 0,81 = 71888 \text{ рублей}$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (21)$$

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

$$K_{\text{об. пр.}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{тз}} \cdot K_{\text{зп}} \quad (22)$$

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (22) соответствующих значений составляет:

$$K_{\text{об.пр.}} = 900000 \cdot 1,05 \cdot 0,22 = 207900 \text{ руб.}$$

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:

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

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:

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (24)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (25)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (23), (24) и (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 900000 \cdot 0,05 = 45000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп.}} = 12500 + 45000 = 57500 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (21) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр.}} = 207900 + 57500 = 265400 \text{ руб.}$$

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:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр.}} - K_{\text{общ.б.}} \quad (26)$$

$$K_{\text{доп}} = 265400 - 71888 = 311888 \text{ руб.}$$

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

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{\Pi_T}, \quad (27)$$

После подстановки в (4.25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 71888/1000 = 71,8 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{удПроектн.} = 265400/1000 = 265,4 \text{ руб./ед.}$$

#### 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:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПр}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (28) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{1,82 - 0,49}{1,82} \cdot 100\% = 73\%$$

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

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (29)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (29) составило:

$$\Pi_T = (100 \cdot 73)/(100 - 73) = 270 \%$$

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

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (30)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (30) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{1790 - 725}{1790} \cdot 100\% = 59\%$$

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

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (31)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (4.29) соответствующих значений составила:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (3603 - 1213) \cdot 1000 = 2390000 \text{ руб.}$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (32)$$

Срок окупаемости после подстановки в (32) соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = \frac{311888}{2390000} = 0,3$$

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

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (33)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (33) соответствующих значений составил:

$$\text{Эг} = 2390000 - 0,33 \cdot 311888 = 2287077 \text{ руб.}$$

### **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии восстановления лопаток гравитационного смесителя 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 73 %, повышение производительности труда на 270 %, уменьшение технологической себестоимости на 59 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 2,39 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 2,29 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества выполнения работ при восстановительной наплавке лопаток гравитационного смесителя.

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, плазменная наплавка.

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

Составлена проектная технология плазменной наплавки лопаток гравитационного смесителя, которая включает в себя следующие операции: дробеструйная очистка, предварительный подогрев, плазменная наплавка, высокий отпуск, контроль качества, закалка.

Приведены описания операций технологического процесса плазменной наплавки изделия, 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 2,29 млн. рублей.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели и высокой эффективности внедрения предлагаемых технологических решений в производственный процесс.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1761402 СССР, МКИ В23К9/04. Способ плазменной наплавки / Стеклов О. И., Алексеев А. В. Смирнов В. И. – № 4787609/08, заяв. 01.02.90; опубл. 15.09.92, Бюл. № 34. 4 с.
2. Власов А. Ф., Богоуцкий 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.
3. 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.
4. Власов В. М., Нечаев Л. М., Фомичева Н. Б., Фомичева Е. В. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла // Современ. наукоемкие технологии. 2004. № 1. С. 9–11.
5. Иванов В. П., Лаврова Е. В. Управление формированием зоны проплавления при электродуговой сварке // Автоматическая сварка. 2016. № 8. С. 6–11.
6. Лебедев В. А., Лендел В. А., Яровицын А. В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 25–30.
7. Лиджи-Горяев Р. А. Исследование и совершенствование технологии восстановления шеек коленчатых валов судовых дизелей плазменным напылением проволокой из марганцовистой стали : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Астрахань: АТГУ, 2006. 18 с.

8. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные наплавочные материалы, обеспечивающие получение наплавочного металла с мартенситными превращениями : тезисы докладов научного семинара «Современные достижения в области сварки, наплавки и родственных технологий». Мариуполь, 2000. С. 86–90.

9. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные стали и чугуны с мартенситными превращениями и наплавочные материалы на их основе // Захист металургійних машин від поломок : зб.наук. праць. Вип. 5. Маріуполь, 2000. С. 238–244.

10. Машиностроение. Технология сварки, пайки и резки. Том 3 / под ред. Б. Е. Патона. М. : Машиностроение, 2006. 768 с.

11. 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.

12. 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.

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

14. 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.

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

16. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю., Рябцев И. А. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34–42.
17. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. Киев : Екотехнологія, 2004. 160 с.
18. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.
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 А. В. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
22. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б. Е. Патона. М. : Машиностроение, 1974. 768 с.
23. Шиповалов А. Н. Технология восстановления кулачков распределительных валов плазменной наплавкой : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М. : Российский государственный аграрный заочный университет. 2010.
24. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.