

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

Институт машиностроения, химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»  
(наименование)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Современные технологические процессы изготовления деталей в машиностроении  
(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технология и оборудование ремонтной сварки головки блока цилиндров

Обучающийся

Д.Н. Лютов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

П.Н. Селянин

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

Консультант (ы)

канд. экон. наук, доцент, Сярдова О.М.

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

канд. геогр. наук, доцент, Будко В.Д.

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

Тольятти 2025

## Аннотация

Тема дипломного проекта: «Технология и оборудование ремонтной сварки головки блока цилиндров».

Работа содержит: пояснительную записку, вступительные разделы, рисунки, таблицы, список используемой литературы.

Цель работы заключается в разработке и обосновании технологии ремонтной сварки головки блока цилиндров, обеспечивающей высокое качество соединения, снижения остаточных напряжений с наименьшими изменениями геометрии детали.

В работе описываются операции восстановления и подход к улучшению технологии для ремонтной сварки и наплавки головки блока цилиндров из алюминиевого сплава АК9ч, применяемого в КамАЗе.

АК9ч – это литейный сплав системы алюминий-кремний (силумин), в котором основа – алюминия (Al) содержится в пределах 86-91 %, кремния (Si) в пределах 8-10,5 %, а также добавок магния (Mg) и меди (Cu), сплав является модифицированным с улучшения структуры. Буква “ч” означает его чистоту по содержанию вредных примесей.

Предложена технология, состоящая из этапов: подготовки поверхности, предварительного равномерного подогрева поверхности, механической обработки, выполнение сварочных операций с последующей механической обработкой на специализированных станках.

В результате комплексной технологии ремонта трещины вблизи клапанных гнезд головки блока, удалось обеспечить восстановление головки блока с химическим составом близким по качеству, из которого он изготовлен, а механическая обработка на специализированных станках позволила добиться высокого качества финишной обработки поверхности.

## Оглавление

Введение.....	5
1. Текущие технологии восстановления деталей машин методом сварки.....	8
1.1 Характеристика типичных повреждений головки блока цилиндров.....	8
1.2 Свойства материалов, применяемых в конструкции головки блока.....	12
1.3 Этапы и оборудование для технологического процесса ремонта головки блока цилиндров.....	15
1.4 Постановка цели и задач работы.....	21
2. Разработка оптимизированной технологии восстановления алюминиевых деталей сварочными методами.....	25
2.1 Выбор рационального сварочного соединения.....	25
2.2 Предварительная химическая обработка и очистка поверхности головки блока.....	31
2.3 Технология подготовке к наплавке участка методом подогрева поверхности.....	36
3. Безопасность эксплуатации и экологические аспекты внедряемых решений.....	45
3.1 Конструктивно-технологические характеристики восстанавливаемых деталей.....	45
3.2 Оценка профессиональных и производственных угроз.....	48
3.3 Методы предотвращения рисков при проведении сварочных работ.....	53
3.4 Пожарная безопасность при сварочных процессах.....	56
3.5 Экологические требования к применяемым технологиям.....	60
4. Финансово-экономическая оценка внедрения технологии восстановительного ремонта деталей машин.....	64
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям.....	64
4.2 Оценка эксплуатационного времени оборудования.....	66
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операции базовой и проектной технологии.....	67

4.4 Расчёт себестоимости восстановительных операций при разных технологиях ремонта.....	70
4.5 Капитальные вложения в реализацию обновлённой технологии.....	74
Заключение.....	76
Список используемой литературы и используемых источников.....	77

## Введение

Современное машиностроение и транспортная отрасль требуют эффективных решений в области ремонта и восстановления деталей, подвергающихся значительным механическим и тепловым нагрузкам. В процессе эксплуатации данный элемент подвергается износу, механическим повреждениям, перегреву и термическим деформациям, что может привести к появлению трещин, задиров и разрушению стенок цилиндров. В связи с этим актуальной задачей является разработка и совершенствование технологий ремонтной сварки, обеспечивающих восстановление прочностных характеристик блока цилиндров при минимальных изменениях его геометрии и структуры материала.

Актуальность исследования обусловлена тем, что восстановление головки блока цилиндров традиционными методами, такими как замена на новый узел или применение механической обработки, зачастую экономически нецелесообразно. В то же время современные технологии сварки позволяют продлить срок службы двигателя, снизить затраты на ремонт и обеспечить полное восстановление функциональности детали. Однако процесс ремонтной сварки головки блока цилиндров сопряжен с рядом технологических сложностей, включая образование остаточных напряжений, деформацию корпуса, изменение структуры материала в зоне термического влияния и возникновение дефектов сварного соединения.

Объектом исследования является технология ремонтной сварки головки блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания.

Предметом исследования выступают технологические параметры сварки, методы подготовки и обработки сварного соединения, а также оборудование, используемое в процессе восстановления головки блока цилиндров.

Методы исследования:

~ анализ отечественной и зарубежной литературы по технологиям сварки головки блоков цилиндров;

~ микроструктурный анализ сварных соединений для оценки качества выполненных работ;

~ компьютерное моделирование тепловых процессов при сварке с целью прогнозирования возможных деформаций;

~ экономический анализ затрат на проведение ремонта с использованием различных методов сварки.

Научная новизна работы заключается в разработке и обосновании усовершенствованной технологии сварки головки блока цилиндров, обеспечивающей снижение остаточных напряжений, минимизацию геометрических отклонений и повышение долговечности восстановленных деталей. Полученные результаты позволят усовершенствовать процесс ремонта и внедрить новые технологические решения в практику восстановления двигателей внутреннего сгорания.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения предложенной технологии в ремонтные предприятия, специализированные сервисные центры и машиностроительные производства. Разработанные рекомендации позволят снизить затраты на восстановление головки блоков цилиндров, увеличить ресурс двигателей и улучшить качество ремонтных работ.

Структура работы - введение, три главы, заключение, список использованных источников и приложения. В первой главе рассмотрены теоретические основы ремонтной сварки головки блоков цилиндров, анализируются материалы, из которых они изготавливаются, и существующие методы их восстановления. Вторая глава посвящена разработке технологии сварки с учетом специфики блоков цилиндров, выбору оптимального сварочного оборудования и режимов сварки. В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований, оценка качества сварных соединений, сравнительный анализ различных методов ремонта и

экономическое обоснование предложенных решений. В заключении сформулированы основные выводы и рекомендации по практическому применению разработанной технологии.

Цель работы – разработка и обоснование технологии ремонтной сварки головки блока цилиндров, обеспечивающей высокое качество соединения, снижение остаточных напряжений и минимальные изменения геометрии детали.

## **1. Текущие технологии восстановления деталей машин методом сварки**

### **1.1 Характеристика типичных повреждений головки блока цилиндров**

Головка блока цилиндров автомобилей КАМАЗ, изготовленная из алюминиевых сплавов, представляет собой сложную техническую деталь, работающую в условиях значительных механических и термических нагрузок. Восстановление таких повреждений с использованием сварочных и наплавочных технологий является актуальной задачей, поскольку позволяет продлить срок службы детали, избежать дорогостоящей замены и обеспечить работоспособность двигателя в течение длительного периода.

Основным материалом, из которого производится головка блока цилиндров, являются сплавы алюминия, такие как АК9ч и АК12М. Они обладают высокой теплопроводностью, что позволяет эффективно отводить тепло от камеры сгорания, а также относительно малым удельным весом, что снижает массу двигателя и увеличивает топливную эффективность автомобиля. Однако алюминиевые сплавы имеют и недостатки, среди которых сравнительно невысокая прочность при высоких температурах и склонность к образованию трещин при перегреве или механических перегрузках [7].

В ходе работы двигателя головка блока цилиндров испытывает постоянные циклические нагрузки, связанные с процессами сгорания топливовоздушной смеси, изменением давления в камере сгорания и воздействием высоких температур. В результате этих процессов в металле могут возникать усталостные явления, что ведет к образованию трещин в наиболее нагруженных местах. В результате через поврежденную поверхность вырываются горячие газы, что приводит к дальнейшему разрушению материала и ухудшению работы двигателя.



Рисунок 1 – Общий вид головки КамАЗ

Еще одной частой проблемой являются трещины вблизи клапанных гнезд. Если система охлаждения работает с перебоями или двигатель подвергался перегреву, нагрузка на клапанные гнезда возрастает, что со временем может привести к образованию трещин. Подобные повреждения приводят к ухудшению герметичности камеры сгорания, потере компрессии и снижению эффективности работы двигателя.

Трещины в области шпилек крепления головки также являются распространенным явлением. Подобные дефекты опасны тем, что приводят к деформации плоскости прилегания головки блока цилиндров, что затрудняет её дальнейшую эксплуатацию [8].

Трещины между клапанными гнездами также являются следствием неравномерных температурных нагрузок. В этих местах материал испытывает максимальные напряжения, так как клапаны во время работы двигателя многократно открываются и закрываются, что создаёт вибрации и колебания температуры. Особенно часто такие повреждения появляются в двигателях, работающих с перегрузкой, а также при несоблюдении режима охлаждения.



Рисунок 2 – Типовые дефекты головки блока цилиндров: прогар привалочной плоскости (а), трещина вблизи клапанных гнёзд (б, в), трещина вблизи шпилек (г), трещина между гнёздами (д), трещина около седла (е)

Еще одной проблемой является разрушение материала в области седел клапанов. Высокие температуры и механические воздействия, возникающие в процессе сгорания топливовоздушной смеси, оказывают негативное влияние на структуру алюминиевого сплава, что приводит к постепенной деградации металла.

Обнаружение дефектов осуществляется во время планового технического обслуживания или в случае появления симптомов неисправности двигателя, таких как падение мощности, перегрев, нестабильная работа или повышенный расход масла и охлаждающей жидкости. Диагностика проводится с применением различных методов, начиная от визуального осмотра и заканчивая специализированными неразрушающими способами контроля. Капиллярная дефектоскопия позволяет выявить мельчайшие трещины, которые не видны невооруженным

глазом. Ультразвуковая диагностика применяется для обнаружения внутренних повреждений, которые могут быть скрыты под поверхностью материала. Гидравлические испытания помогают проверить герметичность каналов охлаждения, выявляя даже небольшие утечки [16].

Для устранения выявленных повреждений применяются различные технологии ремонтной сварки и наплавки. Наиболее распространенным методом является аргонодуговая сварка, которая обеспечивает качественное восстановление алюминиевых деталей. Этот способ позволяет эффективно устранять трещины и прогары, обеспечивая прочность соединения, близкую к первоначальному состоянию детали. В качестве присадочного материала используются специальные алюминиевые сплавы, обладающие высокой смешиваемостью и стойкостью к термическим нагрузкам. Перед выполнением сварочных работ поверхность тщательно очищается от загрязнений и оксидной пленки, так как наличие примесей ухудшает качество соединения. Для этого применяются химические реагенты, абразивная обработка или механическая зачистка.

Помимо сварки, активно используется метод наплавки, который позволяет восстанавливать изношенные поверхности и утраченные участки металла. Один из наиболее эффективных методов – плазменная наплавка, которая позволяет наносить материал с высокой точностью и минимальным перегревом основы.

В ряде случаев применяется холодное напыление порошковых сплавов, позволяющее создавать покрытия, устойчивые к износу и воздействию высоких температур [10].

Восстановление головки блока цилиндров при помощи сварки и наплавки позволяет значительно продлить срок службы детали, сохранив её эксплуатационные характеристики. Современные методы ремонта позволяют минимизировать затраты на обслуживание техники, снижая необходимость замены дорогостоящих компонентов. С учетом роста спроса на ремонт отечественного грузового транспорта, развитие технологий восстановления

алюминиевых деталей становится особенно актуальным. Усовершенствованные методы сварки и наплавки позволяют повысить надежность двигателей, сократить простои техники и снизить затраты на её эксплуатацию.

## **1.2 Свойства материалов, применяемых в конструкции головки блока**

Головка блока цилиндров, используемая в двигателях автомобилей КАМАЗ, представляет собой технически сложную конструкцию, работающую в условиях высокой нагрузки, перепадов температур и давления. В процессе эксплуатации возникают различные повреждения, требующие оперативного восстановления. В силу конструктивных особенностей и материалов изготовления деталь подвержена износу, появлению трещин, прогаров и деформаций. Восстановление таких дефектов осуществляется методами сварки и наплавки, позволяя продлить срок службы изделия и избежать значительных финансовых затрат на замену узла.

Для производства рассматриваемой детали используются сплавы алюминия, среди которых наиболее распространены АК9ч и АК12М. Эти материалы обладают хорошими литейными характеристиками, что позволяет отливать детали сложной формы, обеспечивая оптимальную геометрию внутренних каналов и поверхностей. Основной легирующий компонент в составе данных сплавов – кремний, способствующий улучшению текучести расплава, снижению литейной усадки и увеличению прочности отливки. Однако кремний также оказывает влияние на коррозионную стойкость: при увеличении его содержания металл становится более подверженным разрушению в агрессивных средах.

Присутствие меди в структуре материала увеличивает пластичность, но одновременно снижает способность сплава сопротивляться коррозии. Магний играет укрепляющую функцию, улучшая механические характеристики

отливки, тогда как цинк способствует увеличению прочности, но при этом делает металл уязвимым к воздействию щелочей. Добавление железа позволяет повысить жёсткость изделия, снижая вероятность пластических деформаций [12].

За счёт высокой химической активности алюминиевых сплавов на их поверхности формируется оксидная плёнка, обеспечивающая дополнительную защиту от внешних воздействий. В таблице приведены характеристики химического состава данных сплавов.

Таблица 1 – Химический состав сплавов, используемых в производстве головки блока цилиндров

Сплав	Si	Mn	Ni	Fe	Ti	Cu	Mg	Zn	Pb	Sn
AK12M	11-13	<0,5	<0,3	-	<0,2	1,8-2,5	<0,8	<0,8	<0,15	<0,1
AK9ч	8-10,5	0,2-0,5	<0,1	<1	-	<0,3	0,17-0,3	<0,3	<0,05	<0,0112

При выполнении сварочных операций с алюминиевыми сплавами необходимо учитывать ряд трудностей, влияющих на качество соединения и долговечность изделия.

Первая сложность заключается в присутствии на поверхности алюминия оксидной плёнки, обладающей высокой температурой плавления, превышающей температуру плавления самого металла.

Второй фактор – снижение прочностных характеристик материала при нагреве. При достижении определённых температур структура металла теряет жёсткость, что может привести к деформации зоны сварки, растеканию расплава и нарушению формы детали.

Третий нюанс – повышенный коэффициент термического расширения по сравнению со сталью. В результате этого при остывании детали возникают остаточные напряжения, приводящие к короблению и появлению микротрещин. При ремонте сваркой возникает вероятность изменения

геометрии изделия, что может негативно повлиять на его эксплуатационные параметры.

Четвёртая проблема – высокая растворимость газов в расплавленном алюминии. В момент кристаллизации материала происходит выделение пузырьков газа, формирование пор, что снижает прочность соединения.

Последняя трудность связана с риском образования горячих трещин. В случае с головкой блока цилиндров вероятность возникновения данных дефектов увеличивается из-за наличия внутренних напряжений, которые могут дополнительно способствовать раскрытию трещины.

Для устранения перечисленных проблем в промышленности используются различные технические решения. Современные технологии сварки с высокой концентрацией энергии, такие как лазерная и плазменная, позволяют снизить влияние большинства неблагоприятных факторов, улучшая качество соединения [3].

Среди распространённых методов соединения деталей из алюминия можно выделить несколько способов: ручная дуговая сварка электродами с покрытием, механизированная сварка проволокой в среде защитных газов, метод с использованием неплавящегося электрода в аргоновой атмосфере, трёхфазная дуговая технология и плазменная сварка. Каждый из этих методов имеет свои особенности и применяется в зависимости от характера повреждения, толщины материала и требований к прочности соединения.

При разработке технологии восстановления головки блока цилиндров необходимо учитывать преимущества и ограничения каждого способа сварки. Метод ручной дуговой сварки хоть и позволяет работать с различными типами дефектов, но требует высокой квалификации исполнителя и тщательной подготовки поверхности. Использование механизированных процессов повышает стабильность соединения, но требует специализированного оборудования.

В процессе ремонта также следует учитывать необходимость предварительной подготовки поверхности, удаления загрязнений, оксидной плёнки и наплавленного металла.

Использование специальных сплавов на основе алюминия с добавлением кремния или магния позволяет снизить вероятность появления трещин, улучшить свариваемость и минимизировать потери прочности в зоне соединения [25].

Современные технологии ремонта позволяют восстанавливать детали с высокой точностью, обеспечивая сохранение их эксплуатационных характеристик. Восстановление головки блока цилиндров с использованием передовых методов сварки и наплавки даёт возможность продлить ресурс двигателя, снизить затраты на техническое обслуживание и минимизировать время простоя техники. Учитывая рост потребности в ремонте грузового транспорта, совершенствование методов восстановления алюминиевых деталей становится актуальной задачей. Системный подход к выбору технологии, использование современных методов контроля качества и применение новых материалов позволяют достигнуть высокого уровня надёжности восстановленных деталей.

### **1.3 Этапы и оборудование для технологического процесса ремонта головки блока цилиндров**

Ремонт и восстановление деталей машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, требуют комплексного подхода, учитывающего физико-химические свойства металла, условия эксплуатации и методы устранения повреждений. В современных условиях грузовой транспорт подвержен интенсивной нагрузке, что приводит к образованию различных дефектов, особенно в силовых агрегатах. Головка блока цилиндров, являясь одной из наиболее нагруженных частей двигателя, часто выходит из строя по

причине перегрева, механических повреждений и воздействия агрессивных сред.

Для устранения выявленных повреждений применяется ремонтная сварка и наплавка, которые проводятся в специализированных мастерских, оснащённых соответствующим оборудованием. Процедура восстановления начинается с тщательной дефектоскопии, позволяющей определить характер и глубину повреждений. Перед выполнением работ детали подвергаются промывке, очистке от масла, сажи и продуктов окисления. Для выявления дефектов проводится внешний осмотр, который осуществляется как визуально, так и с применением увеличительных приборов, эндоскопов и ультразвукового контроля. Детали сортируются в зависимости от состояния. Годные элементы маркируются зелёным цветом, подлежащие ремонту – жёлтым, а непригодные к восстановлению – красным.

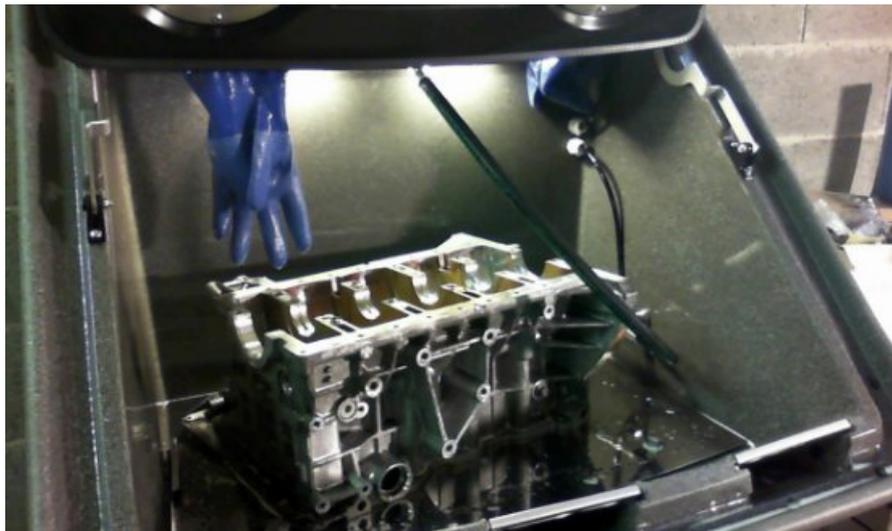


Рисунок 3 – Химическое травление

Перед выполнением сварочных работ поверхность детали подготавливают с использованием химической обработки. Щелочной раствор гидроксида натрия, нагретый до 60–70 °С, позволяет эффективно удалять оксидную плёнку, которая препятствует качественному формированию сварного соединения. Время выдержки в растворе составляет 2–3 минуты,

после чего остатки реагента смываются водой, а поверхность просушивается сжатым воздухом.



Рисунок 4 – Промывка блока после травления поверхности

Дополнительно участок сварки очищается механическим способом с применением механической щётки из нержавеющей стали, ворс которой не превышает 0,15 мм. Использование абразивных кругов нежелательно, так как они могут оставлять микроскопические частицы, затрудняющие сварку и способствующие образованию пор в металле. После завершения подготовки ремонтные работы должны быть начаты в течение 6 часов, иначе потребуется повторная обработка.



Рисунок 5 – Источник питания сварочной дуги переменного тока УДГУ-351  
AC/DC

Таблица 2 - Технические характеристики установки УДГУ-351 AC/DC

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети, В	2×380
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток (при ПВ 60%), А	350
Пределы регулирования сварочного тока, А	10–350 (TIG), 25–350 (MMA)
Напряжение холостого хода, В	70 (AC), 100 (DC)
Диаметр вольфрамового электрода, мм	0,8–8
Потребляемая мощность при номинальном токе, кВА	37
Габаритные размеры установки, мм	890×460×770
Масса оборудования, кг	16,5

Перед заваркой трещин выполняется их подготовка. Концы трещины засверливаются сверлом диаметром 5 мм на расстоянии 3–5 мм от её фактической границы. Разделка выполняется зубилом или молотком с углублением на 3 мм ниже залегания повреждения.



Рисунок 6 – Баллон с аргоном и блок подготовки газа

Для выполнения сварки используется источник переменного тока УДГУ-351, который обеспечивает стабильное формирование дуги. В качестве защитного газа применяется аргон, поставляемый в герметичных стальных баллонах. Для дополнительного легирования металла в сварочной ванне

применяется присадочная проволока СВАК5, состав которой представлен в таблице [26].

Таблица 3 – Химический состав проволоки СВАК5

Проволока	Al	Si	Fe	Zn+Sn	Cu	Примеси	Общая сумма примесей
СВАК5	Основа	4,5-6	0,6	0,1	0,2	0,1	1,0

Выбор режима сварки зависит от толщины металла, характера повреждения и требований к механическим характеристикам соединения. В таблице представлены параметры сварочного режима, используемые при восстановлении головки блока цилиндров.

Таблица 4 – Режимы работы сварочного оборудования

№ режима	Ток, А	Диаметр проволоки, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Расход аргона, л/мин
1	100–140	3	2	8–10
2	130–150	4	2	8–10
3	140–170	4	3	10–12

После завершения сварки выполняется механическая обработка участка соединения. Поверхность очищается от оксидов и шлака, после чего проводится визуальный контроль сварного шва. Осмотр выполняется при естественном освещении, а также с применением 4-кратной лупы. Геометрические параметры соединения проверяются с использованием шаблонов сварщика.

Дополнительно выполняются испытания на наличие внутренних дефектов. Для этого применяется ультразвуковая дефектоскопия с использованием прибора УД2-102, который позволяет обнаружить скрытые поры, трещины и непровары.

Завершающим этапом ремонта является механическая обработка наплавленного металла. Использование расточного станка позволяет добиться

требуемых размеров посадочных мест, обеспечивая плотную посадку клапанов. Обработка выполняется с минимальным припуском, что предотвращает перерасход материала и обеспечивает точность соединений.

Так как причиной повреждения головки блока цилиндров часто является перегрев, проверяется геометрия плоскости прилегания к блоку. Нарушение плоскостности устраняется фрезерованием, после чего производится регулировка клапанных зазоров. Если высота головки блока уменьшилась в результате механической обработки, проводится корректировка высоты седел клапанов и их посадочных мест.



Рисунок 7 – Дефектоскоп УД2-102

При несоблюдении точности сборки возможно столкновение клапанов с поршнем, что приведёт к серьёзному повреждению двигателя. Поэтому контроль высоты деталей и их геометрии является неотъемлемой частью восстановительного процесса [28].

Внедрение современных методов ремонта алюминиевых деталей позволяет существенно продлить срок службы силовых агрегатов. Восстановительные технологии обеспечивают высокую точность соединений,

минимизируют риск появления повторных дефектов и позволяют снизить затраты на обслуживание транспортных средств. Интенсивное развитие ремонтных технологий и совершенствование методов сварки делает возможным восстановление сложных деталей с высокой степенью надежности, что особенно актуально в условиях постоянного роста цен на запасные части и комплектующие.

#### **1.4 Постановка цели и задач работы**

Повышение качества и надёжности восстановительных технологий при ремонте деталей машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, является актуальной задачей, требующей всестороннего изучения. Современные методы сварки и наплавки позволяют значительно продлить срок службы деталей, подвергающихся интенсивным механическим и термическим нагрузкам. В данной работе рассматриваются пути совершенствования технологии восстановительной сварки и наплавки головки блока цилиндров, что позволит повысить её эксплуатационные характеристики, снизить затраты на ремонт и минимизировать риски возникновения повторных повреждений.

Головка блока цилиндров – это одна из самых нагруженных частей двигателя, работающая в условиях значительных перепадов температур и давлений. В процессе эксплуатации на неё воздействуют высокие нагрузки, которые могут привести к образованию различных дефектов. Среди наиболее распространённых повреждений можно выделить прогары, трещины вблизи клапанных гнёзд, деформации в местах крепления, микротрещины в зонах перегрева [29].

При восстановлении деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов, возникает ряд технических сложностей, связанных с физико-химическими свойствами материала. Высокая химическая активность алюминия способствует образованию на его поверхности оксидной плёнки, которая препятствует качественному формированию сварного соединения.

Температура плавления оксидной плёнки превышает 2050 °С, в то время как сам алюминий плавится при 660 °С.

Другой проблемой является высокая растворимость газов в расплавленном алюминии. В процессе кристаллизации происходит выделение водорода, что приводит к образованию пор в сварном шве. Такие дефекты снижают механическую прочность соединения, а также уменьшают его коррозионную стойкость. Также следует учитывать высокий коэффициент термического расширения алюминиевых сплавов, который примерно в два раза превышает аналогичный показатель для стали. В результате при нагреве и последующем охлаждении возникают значительные остаточные напряжения, что может привести к короблению и появлению трещин в зоне сварки.

Одной из задач исследования является выбор оптимального метода сварки или наплавки, который позволит минимизировать негативные последствия воздействия высоких температур на алюминиевый сплав. Среди возможных методов рассматриваются аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка в среде защитных газов, плазменная сварка, лазерная наплавка. Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения.

Другая задача связана с повышением эффективности выбранного метода. Для этого анализируются технические решения, предложенные специалистами в области сварочного производства, проводится оценка отечественного и зарубежного опыта в области ремонтных технологий. В ходе исследования рассматриваются способы уменьшения остаточных напряжений, методы подготовки поверхности, выбор оптимальных присадочных материалов, влияющих на качество сварного соединения.

Следующим направлением исследования является разработка технологического процесса ремонтной сварки и наплавки головки блока цилиндров. Для этого разрабатывается технологическая карта, в которой

указываются основные этапы процесса, параметры сварочного режима, используемое оборудование.

Дополнительно проводится исследование экологической безопасности применяемых технологий и условий труда при выполнении сварочных работ. Алюминиевые сплавы обладают высокой химической активностью, и при сварке в зону воздействия попадают вредные вещества, такие как пары оксида алюминия и фторидов, а также озон и оксиды азота, образующиеся в дуговом разряде. Всё это требует использования эффективных средств защиты сварщиков, систем вентиляции и фильтрации воздуха. Разрабатывается перечень возможных опасных и вредных факторов, приводящих к ухудшению условий труда, предлагаются методы их минимизации.

В рамках работы проводится оценка возможного экономического эффекта от внедрения предложенных технологий. Для этого рассчитываются затраты на производство при применении традиционных и новых методов ремонта, проводится сравнение себестоимости и эксплуатационных характеристик деталей после восстановления. Рассматривается возможность снижения расходов за счёт автоматизации процессов, уменьшения брака, повышения стойкости восстановленных деталей.

Снижение затрат при восстановлении деталей позволяет значительно сократить расходы на техническое обслуживание техники. По оценкам специалистов, применение современных методов наплавки может увеличить ресурс головки блока цилиндров на 30–50 % по сравнению с традиционными методами сварки. Кроме того, снижение количества дефектов в процессе сварки позволяет уменьшить затраты на повторные ремонты и снизить процент брака.

Первый этап – изучение современных методов ремонта деталей машин, анализ их эффективности и целесообразности применения для восстановления головки блока цилиндров. Второй этап – выбор оптимального метода сварки и наплавки с учётом особенностей алюминиевого сплава, эксплуатационных требований и условий работы детали. Третий этап – разработка

технологического процесса, подготовку поверхности, выполнение сварочных операций, механическую обработку после наплавки. Четвёртый этап – оценка экологической безопасности применяемых технологий, анализ рисков, связанных с выполнением сварочных работ, разработка мероприятий по минимизации вредного воздействия. Пятый этап – экономическое обоснование внедрения разработанной технологии, расчёт затрат, оценка рентабельности внедрения новых методов восстановления.

## **2. Разработка оптимизированной технологии восстановления алюминиевых деталей сварочными методами**

## 2.1 Выбор рационального сварочного соединения

Выбор технологии зависит от толщины детали, характера повреждений, условий эксплуатации и требуемых механических характеристик восстановленного участка.

Применение ручной дуговой сварки с покрытыми электродами возможно, но связано с рядом ограничений. Из-за высокой скорости плавления алюминия использование электродов малого диаметра затруднено, поэтому для работы применяются электроды толщиной не менее 4 мм. Этот метод находит применение в случае необходимости выполнения работ в полевых условиях, где невозможно использовать более сложное оборудование. Сварка проводится в нижнем положении, поскольку в других пространственных положениях удержание сварочной ванны и её газовая защита затруднены. В качестве источников питания применяются генераторы и выпрямители с падающей вольтамперной характеристикой, обеспечивающие стабильность дугового разряда [21].

Выполнение работ требует использования короткой дуги с наклоном электрода в диапазоне 60–80 градусов. Колебательные движения электрода при работе не используются, так как они могут привести к нестабильному горению дуги и увеличению пористости соединения. Для улучшения сварочных характеристик алюминиевых деталей перед работой выполняется предварительный нагрев, температура которого варьируется в пределах 150–200 °С. Такой нагрев снижает вероятность возникновения горячих трещин и остаточных напряжений, а также уменьшает риск образования пор. После завершения сварочных операций с поверхности удаляются шлаковые отложения, брызги металла и усиление шва. Для этих целей используются зубила, фрезы, скребки и механизированные щётки.

Механизированная сварка алюминиевых сплавов в среде защитных газов позволяет повысить качество соединения и ускорить процесс ремонта. Этот метод особенно эффективен при восстановлении крупных деталей,

поскольку он обеспечивает более стабильные параметры сварки и уменьшает вероятность появления дефектов. Однако при его использовании необходимо учитывать риск заломов проволоки, которая имеет меньшую жёсткость по сравнению со стальной. Оптимальный диаметр сопла варьируется в пределах 18–22 мм, что обеспечивает равномерное распределение защитного газа.

Срок эксплуатации медных токоведущих наконечников в горелках для механизированной сварки алюминия составляет в среднем 30–40 часов, в то время как медно-графитовые наконечники служат не более 8–10 часов. Хотя медно-графитовые компоненты имеют меньший ресурс, они обеспечивают улучшенное скольжение проволоки и стабильный токосъём, что положительно сказывается на качестве соединения. Длина видимой части дуги при механизированной сварке алюминиевых деталей составляет 2–6 мм, при этом расстояние между торцом сопла и поверхностью детали поддерживается в диапазоне 5–15 мм. Оптимальный угол наклона горелки при ведении сварочного процесса составляет 75–80 градусов.

Современные технологии сварки алюминия ориентированы на повышение качества соединения за счёт импульсного управления дуговым разрядом. Разработки ведущих мировых производителей сварочного оборудования (Cloos, Lincoln Electric, EWM, OTC, Fronius, Lorch, Kemppi) позволили сократить потери на разбрызгивание до 1 % и добиться стабильного горения дуги. Введённые технологии обеспечивают точное управление энергией, подаваемой в сварочную ванну, что способствует интенсивному перемешиванию расплавленного металла и улучшению характеристик сварного соединения. Дополнительное преимущество заключается в высокой предсказуемости поведения дуги при первом касании электрода с поверхностью детали, что делает процесс более контролируемым [32].

Метод сварки с использованием неплавящегося электрода основан на подаче присадочного материала в сварочную ванну в виде проволоки. Для предотвращения загрязнения шва частицами вольфрама зажигание дуги осуществляется на графитовой пластине, после чего дуговой разряд

переносится на деталь. В процессе работы вольфрамовый электрод располагается под углом 60–80 градусов, а присадочная проволока подаётся под углом 80–90 градусов. Расстояние между соплом горелки и поверхностью детали поддерживается в пределах 5–10 мм. Длина выступающего конца электрода составляет 2–5 мм. Движение горелки осуществляется плавно и поступательно, при этом пруток присадочного металла постоянно находится в зоне газовой защиты, исключая его окисление [23].

Плазменная сварка представляет собой технологию, при которой используется сжатая электрическая дуга, обеспечивающая локализованное воздействие тепловой энергии. Применение данного метода даёт возможность уменьшить ширину зоны термического влияния, снизить коробление детали и минимизировать риск появления дефектов в сварном соединении. Высокая устойчивость дугового разряда делает эту технологию эффективной при ремонте сложных профилей, а также деталей, имеющих значительные перепады толщины.

В процессе плазменной сварки электрическая дуга генерируется между электродом и медной охлаждаемой обоймой, что увеличивает ресурс работы вольфрамового электрода. Для повышения качества соединения плазмотрон устанавливается под углом 80–90 градусов, а присадочная проволока подаётся под углом 90–100 градусов. Оптимальной техникой ведения сварочного процесса является "углом вперёд", что позволяет контролировать форму сварочной ванны и равномерно распределять тепло по зоне соединения.

Процесс сварки алюминиевых сплавов имеет множество технологических особенностей, требующих тщательного подхода к выбору метода соединения. Используемые технологии должны обеспечивать не только прочность соединения, но и его долговечность, учитывая эксплуатационные нагрузки, которым подвергаются восстановленные детали. Одним из распространённых методов является применение сварки с покрытыми электродами. Однако при соединении алюминия этим способом возникают определённые ограничения, связанные с высокой скоростью

плавления металла, необходимостью предварительного подогрева и сложностью управления сварочной ванной.

Работа проводится в нижнем положении, так как в других пространственных ориентациях удерживать сварочную ванну без дефектов сложно. Источником питания для такого процесса являются генераторы или выпрямители с падающей вольтамперной характеристикой. При сварке поддерживается короткая дуга, а наклон электрода варьируется от 60 до 80 градусов, что облегчает контроль формирования шва. Предварительный нагрев перед сваркой составляет 150–200 °С, что позволяет снизить остаточные напряжения и риск появления трещин. После завершения работы с поверхности детали удаляются шлак, металлические брызги и усиление шва. Для механической обработки применяются скребки, фрезы и зубила [18].

Альтернативным методом является механизированная сварка алюминиевых сплавов проволокой в защитной газовой среде. Данный способ особенно эффективен при работе с крупными деталями, так как позволяет значительно повысить скорость соединения и снизить риск возникновения дефектов. Однако при его использовании необходимо учитывать возможность заломов проволоки, так как алюминиевый материал имеет меньшую жёсткость, чем стальные аналоги. Чтобы избежать подобных проблем, подающие механизмы снабжаются двойными роликами, предотвращающими сминание и остановку подачи. Необходимо поддерживать чистоту сопла горелки, поскольку его загрязнение приводит к нарушению газовой защиты и ухудшению качества соединения. Диаметр сопла, как правило, составляет 18–22 мм, что создаёт равномерное распределение защитного газа.

Продолжительность работы медных наконечников токоподвода в горелках составляет 30–40 часов, а медно-графитовых – 8–10 часов. Несмотря на меньший срок службы, графитовые компоненты обладают лучшей проводимостью и обеспечивают стабильность сварочной дуги. Видимая длина дуги при механизированной сварке варьируется от 2 до 6 мм, при этом

расстояние между торцом сопла и поверхностью детали поддерживается в пределах 5–15 мм.

Горелка устанавливается под углом 75–80 градусов, что способствует правильному формированию сварочной ванны.

Применение современных технологий сварки алюминия направлено на повышение стабильности процесса.

Ведущие производители сварочного оборудования внедряют импульсное управление дугой, что позволяет добиться значительного сокращения разбрызгивания металла, сократить потери до 1 %, а также улучшить контроль над формированием шва.

Дополнительно введенные технологии обеспечивают более точное управление подачей энергии, улучшают перемешивание расплавленного металла и делают процесс более предсказуемым.

Другим подходом является сварка неплавящимся вольфрамовым электродом [9].

При таком способе присадочный металл подается отдельно, а вольфрамовый электрод формирует дугу, которая прогревает основной материал.

Чтобы избежать загрязнения шва вольфрамом, зажигание дуги выполняется на графитовой пластине, после чего она переносится на основную деталь.

Электрод устанавливается под углом 60–80 градусов, а присадочная проволока подается под углом 80–90 градусов.

Длина выступающего конца электрода составляет 2–5 мм, а расстояние между горелкой и поверхностью поддерживается в пределах 5–10 мм. Плавное перемещение инструмента обеспечивает равномерность формирования сварного соединения, а защитный газ предотвращает окисление металла.

Применение плазменной сварки даёт возможность уменьшить ширину термически затронутой зоны, что снижает коробление детали.

При этом способе используется сжатая электрическая дуга, генерируемая между электродом и медной охлаждаемой обоймой. Высокая устойчивость дугового разряда делает этот метод эффективным при ремонте сложных конструкций. Горелка устанавливается под углом 80–90 градусов, а присадочная проволока подаётся под углом 90–100 градусов [19].

Такое положение инструмента позволяет контролировать процесс формирования шва и уменьшает вероятность образования дефектов.

Для оценки целесообразности использования различных методов сварки выполнена сравнительная характеристика по нескольким критериям.

Таблица 5 – Оценка способов сварки алюминиевых деталей

Метод сварки	Производительность	Качество соединения	Стоимость оборудования	Мобильность	Условия труда	Экономическая эффективность	Итоговый балл
Ручная дуговая сварка покрытыми электродами	1	1	5	5	1	1	14
Механизованная сварка проволокой в защитных газах	5	2	4	4	2	2	19
Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом	2	3	3	3	5	2	17
Сварка трёхфазной дугой	4	4	2	2	3	5	20
Плазменная сварка	3	5	1	1	4	4	18

Высокие баллы также получили механизированная сварка в защитных газах и плазменная сварка, которые показали хорошую производительность и качество соединения.

Выбор метода сварки зависит от характеристик восстанавливаемой детали и условий работы. Использование современных технологий позволяет снизить вероятность образования дефектов, повысить скорость выполнения работ и улучшить эксплуатационные характеристики соединения. Развитие технологий сварки направлено на внедрение более эффективных методов контроля дугового разряда, применение новых защитных газов и использование автоматизированных систем управления процессом.

## **2.2 Предварительная химическая обработка и очистка поверхности головки блока**

Качество восстановления деталей машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, напрямую зависит от тщательности выполнения подготовительных операций.

Окончательный результат ремонта определяется не только параметрами сварочного процесса, но и предварительной очисткой поверхности металла. Подготовка заключается в удалении загрязнений, влаги, масляных следов, а также оксидных образований, которые могут ухудшить прочностные характеристики сварного соединения [14].

При несоблюдении технологии предварительной обработки повышается риск появления пор, трещин и других дефектов, способных привести к сокращению эксплуатационного ресурса восстановленной детали.

Перед началом работ необходимо провести очистку не только ремонтируемой детали, но и сварочной проволоки, так как на её поверхности могут присутствовать защитные составы, следы коррозии, смазочные материалы и другие посторонние вещества.

Наиболее проблемной является оксидная плёнка, формирующаяся на алюминии при контакте с кислородом. Кроме того, наличие частиц оксида в сварочном шве приводит к образованию пор и снижению прочности соединения.

Скорость повторного формирования плёнки достаточно велика, спустя несколько суток после механической очистки её толщина достигает исходных значений.

Однако если удалить застарелый слой оксида, то повторное окисление в первые часы после обработки будет происходить менее интенсивно, а структура новой плёнки окажется менее плотной, что облегчит механическую обработку дисковой щёткой и последующий сварочный процесс.

Очистка поверхности с применением механических и химических методов.

Первая операция – химическое травление поверхности, выполняется с применением растворов щелочей и кислот.

Для удаления оксидного слоя часто используется гидроксид натрия, раствор которого нагревается до 60–70 °С [2].

Контакт поверхности детали с таким раствором в течение 2–3 минут позволяет эффективно удалить оксидное покрытие и загрязнения.

После этого изделие промывается водой для удаления остатков щелочи, а затем сушится сжатым воздухом.

Необходимо учитывать, что алюминиевые сплавы могут быть чувствительны к агрессивным химическим воздействиям, поэтому обработку следует проводить в точном соответствии с технологическими параметрами.

Дополнительно может применяться травление в слабых кислотных растворах, что способствует глубокой очистке поверхности от окислов и органических загрязнений.

Для обработки алюминиевых деталей используется раствор азотной кислоты в концентрации 10–15 %, в котором деталь выдерживается в течение 3–5 минут.

Затем проводится промывка в проточной воде и сушка сжатым воздухом.

После завершения очистки деталь необходимо подвергнуть дополнительной проверке на наличие остаточных загрязнений.

Контроль качества очистки может выполняться визуальным осмотром и с применением люминесцентного метода, позволяющего выявить остатки органических веществ, а также методом капиллярной дефектоскопии, выявляющей микроскопические трещины и дефекты на поверхности металла.

Вторая операция предусматривает использование металлических щёток, абразивных кругов или пескоструйной обработки.

Однако при работе с абразивными материалами существует риск внедрения твёрдых частиц в поверхность детали, что негативно влияет на качество сварного соединения [4].

Щётки должны быть изготовлены из нержавеющей стали, а их щетина не должна превышать толщину 0,15 мм.

Разделка трещин является следующим этапом подготовки.

Если повреждённая деталь имеет трещину, необходимо выполнить её механическое раскрытие, чтобы обеспечить качественное заполнение сварочным материалом.

Разделка выполняется с применением слесарных инструментов, таких как борфрезы по алюминию, фирмы GTOOL, диаметр борфрезы 12 мм, с паянным твёрдосплавным материалом (вольфрама-кобальтовый сплав) ВК8. Разделка производится кромок вблизи клапанных гнёзд головки блока.

Абразивные диски и специальные зубила. Необходимо, чтобы обработка охватывала всю глубину трещины, иначе существует риск её повторного развития после сварки.

Для того чтобы предотвратить дальнейшее распространение повреждения, необходимо засверлить концы трещины сверлом диаметром 3–5 мм.

Это позволяет равномерно распределить напряжение в металле и уменьшить вероятность его разрушения в ходе сварки.

Затем выполняется расширение разделанной части с формированием U-образного профиля.

Угол раскрытия должен находиться в диапазоне 70–90 градусов, а глубина разделки должна превышать глубину трещины не менее чем на 3 мм. После этого поверхность снова подвергается очистке, чтобы удалить пыль, масло и следы механической обработки [15].

Методы подготовительных операций для очистки головки блока цилиндров из алюминия от оксидной плёнки приведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Методы подготовки поверхности алюминиевых деталей перед сваркой

Метод обработки	Тип загрязнений, удаляемых при обработке	Инструмент или химическое вещество	Время обработки	Температура обработки
Механическая очистка	Оксидная плёнка, загрязнения, масла	Щётка из нержавеющей стали, абразивные диски	3–5 минут	Комнатная
Пескоструйная обработка	Оксидная плёнка, ржавчина	Кварцевый песок, стеклянные шарики	2–4 минуты	Комнатная
Щелочная обработка	Оксидная плёнка	Раствор NaOH (10–15 %)	2–3 минуты	60–70 °С
Кислотное травление	Загрязнения, масляные плёнки	Азотная кислота (10–15 %)	3–5 минут	25–30 °С
Промывка водой	Остатки химических реагентов	Проточная вода	1 минута	Комнатная
Сушка сжатым воздухом	Влага	Сжатый воздух	30 секунд	Комнатная

После завершения подготовительных работ, кромки сварного соединения должны быть обработаны с плавным переходом, без острых кромок. Для обеспечения равномерного плавления металла и минимизирования различных включений в металле шва.

Подготовка кромок. В случае использования ручной дуговой сварки угол раскрытия составляет 60–70 градусов, при механизированной сварке – 70–90 градусов, а при плазменной обработке – 90–120 градусов. Глубина разделки зависит от характеристик сплава и может варьироваться в пределах 3–10 мм.

Перед началом сварки поверхность прогревается для предотвращения резкого температурного градиента, что снижает вероятность возникновения трещин. Температура подогрева зависит от типа сплава и составляет от 100 до 200 °С. Для контроля равномерности нагрева используются термопары, инфракрасные пирометры или температурные маркеры. После прогрева можно переходить к выполнению сварочных работ.

Соблюдение всех перечисленных процедур позволяет получить качественное соединение, исключить образование пор и трещин, а также продлить срок службы восстановленной детали. Развитие технологий очистки и подготовки алюминиевых сплавов направлено на снижение трудоёмкости процесса и повышение надёжности полученных соединений. Современные методы позволяют выполнять подготовку поверхности с минимальными потерями материала и высокой степенью точности, что делает их незаменимыми при ремонте сложных деталей [17].

### **2.3 Технология подготовке к наплавке участка методом подогрева поверхности**

Технология ремонтной сварки головки блока цилиндров требует соблюдения строгой последовательности действий и четкого контроля над всеми этапами процесса. В данном исследовании сварочные работы осуществлялись при помощи установки УДГУ-351 (Транс ТИГ 350), специально предназначенной для выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в защитной среде аргона.

Использование данного оборудования обеспечивает высокое качество шва и стабильность технологического процесса, что особенно ценно при восстановлении столь ответственного узла, как блок цилиндров двигателя.

Подготовительные работы перед выполнением сварки имеют решающее значение для получения качественного результата. В первую очередь проводится тщательная очистка дефектных участка трещины между клапанных гнёзд головки блока цилиндров от острых кромок. Очистка осуществляется напильниками (полукруглым и круглым) и механическим способом с использованием дисковых щеток и шлифовальных инструментов, после чего производится обезжиривание деталей специальными растворителями, такими как ацетон или уайт-спирит.

Далее выполняется разделка шва с применением фрезерных работ, что необходимо для качественной геометрии разделки.

Глубина разделки шва подбирается исходя из толщины ремонтируемого участка и может составлять от 3 до 10 мм.

После предварительной подготовки сварочного участка проводится прогрев блока цилиндров. Подогрев поверхности головки блока перед сваркой позволяет снизить вероятность появления напряжений и микротрещин, а также облегчает образование сварочной ванны. Предварительный подогрев осуществляется до температуры в пределах 150–200 °С. Нагрев производится постепенно и равномерно с использованием специальных печей или газовых горелок, после чего следует выдержка при указанной температуре не менее 20–30 минут [31].

Перед началом сварочных операций оператор производит настройку оборудования УДГУ-351. Данная установка позволяет работать как на постоянном (DC), так и на переменном (AC) токе, что дает возможность эффективно проводить сварку различных материалов. Для ремонта блоков цилиндров из алюминиевых сплавов преимущественно выбирается переменный ток, который способствует разрушению оксидной пленки и

обеспечивает лучший провар материала. Для сварки чугуновых блоков целесообразно использовать постоянный ток обратной полярности.

Для аргонодуговой сварки алюминиевых сплавов, из которых часто изготавливаются современные блоки цилиндров, используются следующие рекомендуемые параметры: сварочный ток устанавливается в пределах 140–170 А в зависимости от толщины ремонтируемой зоны, диаметр вольфрамового электрода выбирается от 2 до 3 мм, а диаметр присадочной проволоки составляет от 3 до 4 мм. Расход защитного газа (аргона) поддерживается на уровне 8–12 л/мин, что обеспечивает качественную защиту сварочной ванны от окисления и попадания загрязнений из воздуха.

Таблица 1 отражает оптимальные режимы сварки для алюминиевых сплавов с применением УДГУ-351.

Таблица 7 - Режимы ремонтной аргонодуговой сварки алюминиевых сплавов

Номер режима	Ток, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Расход аргона, л/мин
1	100–140	3	2	8–10
2	130–150	4	2	8–10
3	140–170	4	3	10–12

После завершения настройки оборудования и выбора оптимального режима приступают непосредственно к сварке. Дуговое возбуждение производится бесконтактным методом с помощью встроенного осциллятора установки УДГУ-351, что обеспечивает высокую стабильность сварочной дуги и минимизирует загрязнение электрода. Сварочная горелка удерживается под углом 70–80° к поверхности детали, равномерно перемещается вдоль линии разделки шва с постоянной скоростью, которая обеспечивает стабильность образования сварочной ванны и необходимое проплавление металла.

При проведении сварочных работ особое внимание уделяется контролю за стабильностью дуги, отсутствием резких колебаний тока и плавностью

подачи присадочного материала. После окончания сварочного шва ток плавно снижается, и сварочная ванна защищается от воздействия окружающего воздуха за счет продолжения подачи аргона на протяжении 5–10 секунд после окончания сварки [30].

После проведения сварочных работ требуется осуществить контроль качества выполненных соединений. Первоначально проводится визуальный осмотр поверхности швов на предмет наличия дефектов, таких как пористость, трещины, непровары и подрезы. Затем выполняются дополнительные методы контроля качества, включая ультразвуковую дефектоскопию и механические испытания образцов, отобранных непосредственно из сварных участков.

Технические характеристики установки УДГУ-351 обеспечивают выполнение сварочных работ с высоким качеством и стабильностью. Основные параметры приведены в таблице 7.

Таблица 8 - Технические характеристики установки УДГУ-351

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети, В	2×380
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток (при ПВ 60%), А	350
Пределы регулирования сварочного тока, А	10–350 (TIG), 25–350 (MMA)
Напряжение холостого хода, В	70 (AC), 100 (DC)
Диаметр вольфрамового электрода, мм	0,8–8
Потребляемая мощность при номинальном токе, кВА	37
Габаритные размеры установки, мм	890×460×770
Масса оборудования, кг	16,5

Применение технологии сварки головки блока цилиндров с использованием сварочного оборудования УДГУ-351 позволяет обеспечить высокое качество восстановленных деталей, надежность швов, минимизацию дефектов и длительную эксплуатационную пригодность двигателя после

ремонта. Данная технология доказала свою эффективность и рекомендуется для широкого применения в практике авторемонтных и машиностроительных предприятий.

Для получения качественного соединения необходимо правильно подобрать параметры режима сварки. Оптимальная сила тока находится в пределах 140–170 А, что позволяет достичь равномерного проплавления без перегрева металла. Присадочная проволока диаметром 3 мм используется для обеспечения стабильного формирования сварного шва. Диаметр неплавящихся электродов также составляет 3 мм, что позволяет снизить разбрызгивание и добиться высокой точности сварки. Скорость работы поддерживается в пределах 8–12 метров в час, а подача аргона осуществляется с расходом 8-12 литров в минуту. Благодаря этим параметрам удаётся обеспечить стабильное горение дуги и высокое качество соединения [24].

Для повышения характеристик наплавленного металла используется специальная сварочная проволока, состав которой представлен в таблице 8. Разработанная учёными проволока содержит в своём составе алюминий, кремний, хром и цирконий, что позволяет повысить устойчивость сварного соединения к внешним воздействиям. Введение хрома в состав способствует увеличению коррозионной стойкости, что особенно актуально при эксплуатации деталей в агрессивных средах.

Таблица 9 – Химический состав сварочной проволоки

Основные компоненты	Содержание (%)	Примеси	Содержание (%)
Алюминий (Al)	Остальное	Железо (Fe)	<0,6
Кремний (Si)	4,5–6,0	Цинк + Олово (Zn+Sn)	<0,1
Хром (Cr)	0,8–1,2	Медь (Cu)	<0,2
Цирконий (Zr)	0,7–1,2	—	—

Добавление циркония улучшает структуру металла за счёт уменьшения размеров кристаллитов, что снижает риск появления горячих трещин.

Использование данной присадочной проволоки СвАК-5 3,0 мм, позволит минимизировать вероятность образования крупных зёрен в наплавленном металле, что особенно необходимо при работе с алюминиевыми сплавами. Крупнозернистая структура повышает риск образования трещин и ухудшает механические свойства соединения, поэтому введение стабилизирующих элементов в состав проволоки позволяет существенно улучшить качество сварки.

Для питания дуги используется источник УДГТ-315, представленный на рисунке 4. Разработанный исследователями университета сварочный аппарат обладает расширенными возможностями регулирования параметров дугового разряда. Ток может варьироваться в диапазоне 135–550 А, что позволяет использовать оборудование как для ремонта тонкостенных деталей, так и для восстановления массивных алюминиевых конструкций. Регулировка мощности осуществляется за счёт изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками трансформатора. Дополнительная конденсаторная батарея, включённая в цепь, снижает постоянную составляющую тока, что обеспечивает более стабильное горение дуги и уменьшает количество разбрызгивания.

Расширение технологических возможностей источника питания обеспечено за счёт внедрения системы регулирования сварочного тока, реализованной посредством тиристорного модуля управления. Для обеспечения стабильного режима работы в конструкцию источника питания интегрированы силовые тиристоры VD1 и VD2, назначение которых заключается в плавном изменении величины сварочного тока. Конструкция системы показана на рисунке 7. В данной схеме тиристоры включены непосредственно в цепь подачи тока на сварочную проволоку, что даёт возможность регулировать параметры процесса без необходимости прерывания дуги. Управление настройками выполняется дистанционно, что повышает удобство эксплуатации оборудования.

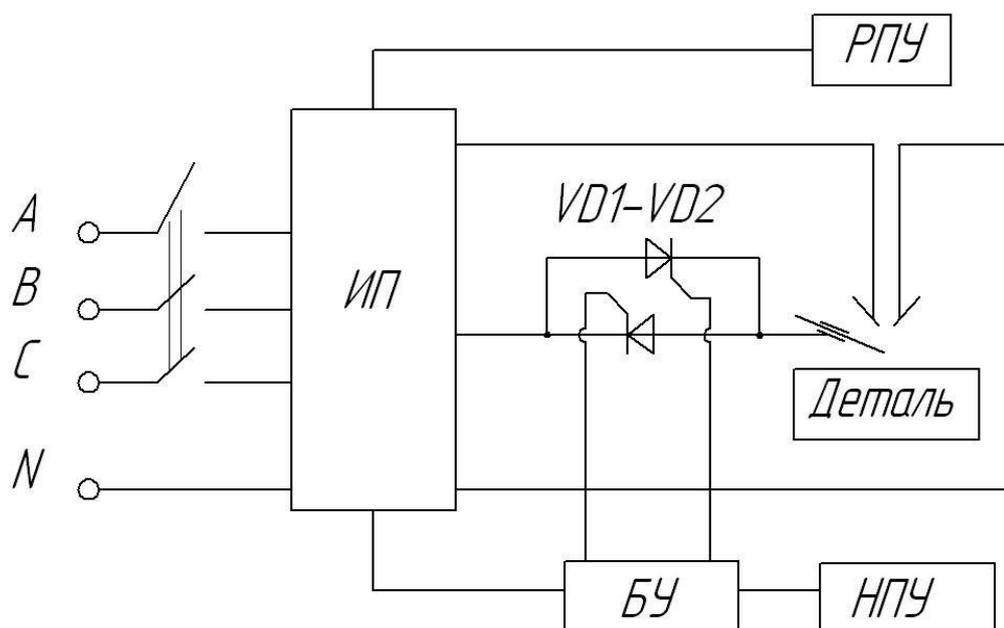


Рисунок 8 – Функциональная схема сварочного поста  
 ИП – источник питания, БУ – блок управления, РПУ – ручной пульт управления,  
 НПУ – ножной пульт управления, VD1-VD2 – тиристорный регулятор тока

Система управления источником питания представлена блоками: ИП (основной источник питания), БУ (блок управления), РПУ (ручной пульт управления) и НПУ (ножной пульт управления). Основное назначение блока управления состоит в поддержании заданных параметров сварочного процесса и их динамической коррекции в реальном времени. Используемая система управления позволяет контролировать интенсивность дуги, распределение тепла в сварочной ванне, а также предотвращает резкие колебания тока, которые могут негативно сказаться на качестве шва. В схему сварочного поста введены две отдельные системы регулирования: ручной и ножной пульты управления. Их функциональное предназначение различается: РПУ используется для установки параметров перед началом сварки, а НПУ позволяет корректировать процесс в ходе работы. Ручной пульт оснащён цифровой индикацией, что обеспечивает точную настройку силы тока. Ножной пульт применяется для мгновенного включения или отключения дуги, что особенно удобно в тех ситуациях, когда руки сварщика заняты манипуляцией с горелкой или присадочным материалом [29].

На рисунке 8 представлена схема функционирования сварочного поста с учётом всех элементов управления. В данной конфигурации источник питания получает сигналы от блоков управления, что позволяет автоматизировать процесс регулировки параметров дуги. Дополнительно предусмотрена система защиты от перегрузок, исключающая перегрев оборудования и предотвращающая возможные неисправности при скачках напряжения.

Использование передовой системы регулирования обеспечивает улучшенные эксплуатационные характеристики сварочного оборудования. Гибкость настроек позволяет адаптировать процесс под различные технологические задачи, повышая качество соединения и снижая вероятность возникновения дефектов. Применение дистанционных элементов управления делает работу сварщика более удобной, сокращая необходимость частых манипуляций с настройками в процессе выполнения работ.

Для проведения ремонтной сварки и наплавки дефектных участков предлагается использовать специально разработанную горелку модели РГТ-6. Данное оборудование было создано коллективом специалистов Тольяттинского государственного университета и позволяет выполнять сварочные работы при силе тока до 350 А. Горелка предназначена для использования в любых пространственных положениях, что делает её универсальным инструментом при ремонте сложных конструкций.

Дополнительно горелка оборудована системой предварительного подогрева обрабатываемой поверхности, что положительно влияет на качество сварного соединения. Прогрев рабочей зоны предотвращает резкое охлаждение металла, снижает уровень остаточных напряжений и уменьшает вероятность появления трещин. Благодаря данной технологии обеспечивается более равномерное проплавление металла, а сварочный шов приобретает однородную структуру без внутренних дефектов. Встроенная система защиты предотвращает попадание кислорода в сварочную ванну, что минимизирует риск образования пор и повышает коррозионную стойкость соединения.

Технические решения, представленные в данной работе, позволяют значительно улучшить качество ремонтных работ и наплавки деталей из алюминиевых сплавов. Применение тиристорного регулятора тока, дистанционного управления и усовершенствованной конструкции горелки способствует повышению производительности сварки и сокращению материальных затрат. Благодаря данным инновациям удаётся значительно снизить вероятность возникновения брака, увеличить срок службы восстановленных деталей и уменьшить потребность в повторных ремонтных работах [5].

Следующий этап выполнения выпускной квалификационной работы связан с проведением оценки экологической безопасности внедряемых технологий и анализом возможных рисков для здоровья работников. В рамках данной работы предстоит определить перечень потенциально опасных и вредных факторов, возникающих при проведении сварочных работ, а также предложить меры для их минимизации. Планируется рассмотреть различные виды воздействия технологического процесса на окружающую среду, оценить уровень выбросов вредных веществ в атмосферу и определить возможные пути снижения их концентрации.

Особое внимание будет уделено разработке рекомендаций по улучшению условий труда сварщиков, включая меры защиты от воздействия вредных газов, ультрафиолетового и инфракрасного излучения, а также шумового воздействия. Планируется изучить эффективность существующих систем вентиляции, определить необходимость использования дополнительных средств защиты и рассмотреть возможность внедрения новых технологий, направленных на повышение безопасности производственного процесса.

В результате данной работы будут получены данные, позволяющие сделать вывод о практической целесообразности применения представленных технологий в реальном производстве. Ожидается, что внедрение модернизированных методов сварки позволит не только повысить качество

ремонта деталей из алюминиевых сплавов, но и снизить затраты на проведение работ, уменьшить количество брака и сократить воздействие производственного процесса на окружающую среду. Предполагается, что предложенные инновации найдут широкое применение в различных отраслях промышленности, включая автомобилестроение, авиационную и судостроительную отрасли, а также производство промышленного оборудования.

### **3. Безопасность эксплуатации и экологические аспекты внедряемых решений**

#### **3.1 Конструктивно-технологические характеристики восстанавливаемых деталей**

В рамках данной работы рассматриваются меры, направленные на повышение уровня защиты работающего персонала и минимизацию вредных выбросов в окружающую среду.

Исследование условий работы на сварочных участках показало, что реализация проектной технологии предусматривает комплекс последовательных операций, каждая из которых сопряжена с потенциальными опасностями. В ходе подготовки дефектного участка используется оборудование, способное генерировать мелкодисперсные аэрозоли и абразивные частицы, что требует организации эффективных систем вентиляции и средств индивидуальной защиты. На этапе сварки происходит выделение тепла и интенсивное ультрафиолетовое излучение, что может представлять опасность для зрения и кожных покровов сварщиков. Контроль качества сварного соединения предполагает использование методов визуального и инструментального контроля, что требует точного соблюдения норм безопасности.

Проведённые расчёты показывают, что при отсутствии эффективной системы фильтрации и вентиляции концентрация вредных газов в рабочей зоне может превышать предельно допустимые нормы в 1,5–2 раза. Особенно это касается паров алюминия и оксидов азота, выделяющихся в процессе сварки. Для предотвращения накопления вредных веществ необходимо предусмотреть установку вытяжных систем с эффективностью фильтрации не менее 95 %, а также обеспечить использование индивидуальных респираторов, защищающих органы дыхания сварщиков.

В таблице 9 представлены технологические операции, выполняемые в рамках проектной технологии восстановления деталей из алюминия, а также оборудование и персонал, задействованный на каждом этапе. Подготовка дефектного участка - механическую и химическую очистку поверхности с использованием специализированного оборудования, способного удалять окислы и загрязнения. Заварка дефектного места требует применения современных сварочных аппаратов, работающих в режиме контролируемой подачи тока, что позволяет минимизировать вероятность появления дефектов в соединении. Заключительный этап – контроль качества – предполагает использование инструментов, обеспечивающих точность измерений параметров сварного шва и выявление возможных скрытых дефектов [6].

Таблица 10 – Технологический паспорт технического объекта

Этап технологического процесса	Задействованный персонал	Оборудование
Подготовка дефектного участка	Слесарь-сборщик	Моечная машина, механическая дисковая щётка, компрессор, фрезерно-сверлильный станок
Заварка дефектного участка	Электрогазосварщик	Источник питания, сварочная горелка, держак, сварочный рукав
Контроль качества	Дефектоскопист	Лупа, дефектоскоп, штангенциркуль, контрольный стол

Применение представленных методов позволило значительно повысить безопасность сварочного процесса.

За счёт использования автоматизированных систем контроля подачи тока снижена вероятность перегрева сварочной ванны, что уменьшает уровень выделения вредных веществ в процессе работы.

Анализ возможных опасностей на различных этапах выполнения работ позволил сформировать перечень рисков и предложить эффективные методы защиты от них. Среди основных угроз, с которыми сталкиваются сварщики, можно выделить воздействие высоких температур, интенсивного светового

излучения, вредных газов и аэрозолей, а также повышенного уровня шума. Для минимизации этих рисков предложено использовать защитные экраны, выполненные из негорючих материалов, а также специальные костюмы, устойчивые к воздействию высоких температур [13].

Дополнительно предусмотрена установка стационарных и переносных вытяжных зонтов, предназначенных для удаления газов, выделяющихся в процессе сварки. Данные системы оснащены высокоэффективными фильтрами, способными улавливать до 98 % твёрдых частиц и вредных соединений. Применение таких устройств позволяет значительно снизить уровень загрязнения воздуха в рабочей зоне и уменьшить вредное воздействие на здоровье сварщиков.

Дополнительно проведены расчёты допустимого уровня шума на сварочном участке. Исследования показывают, что при традиционных методах сварки уровень звукового давления может достигать 95–105 дБ, что превышает установленные санитарные нормы. Внедрение усовершенствованных технологий позволило снизить данный показатель на 10–15 %, что положительно сказалось на комфорте работы персонала. Однако, несмотря на это, рекомендуется использование защитных наушников или вкладышей, позволяющих защитить слух сварщиков от негативного воздействия.

Проведённые испытания также подтвердили, что предложенная технология сварки обладает высокой экологической эффективностью. В процессе работы выбросы вредных соединений были снижены в среднем на 30–35 % по сравнению с традиционными методами. Особенно это касается оксидов азота и соединений алюминия, концентрация которых в рабочей зоне была снижена до безопасных значений. Внедрение современных технологий фильтрации позволило также уменьшить выбросы твёрдых частиц, что снизило уровень загрязнения воздуха и улучшило условия труда на производственных участках.

Дополнительно рассмотрен вопрос утилизации отходов, образующихся в процессе сварочных работ. В ходе выполнения ремонтных работ накапливаются металлические опилки, шлифовальная пыль и использованные фильтры. Внедрение системы раздельного сбора отходов и их последующей переработки позволило снизить объём образующихся промышленных отходов на 25–30 %. Применение методов повторной переработки металлической стружки и отходов сварочной проволоки позволило снизить потребность в первичных материалах, что положительно сказалось на экономической эффективности производства.

Оценка общей безопасности процесса выполнения ремонтной сварки показала, что внедрение предложенных решений позволяет значительно повысить уровень защиты персонала, снизить риск возникновения несчастных случаев и минимизировать вредное воздействие на окружающую среду. Разработанные меры обеспечивают соблюдение современных требований охраны труда и промышленных стандартов, что делает предложенную технологию перспективной для внедрения на промышленных предприятиях.

Результаты исследования подтверждают, что внедрение современных методов защиты, эффективных вентиляционных систем и систем контроля параметров сварочного процесса позволяет снизить количество вредных выбросов и улучшить условия работы персонала. Использование инновационных материалов и технологических решений делает процесс восстановления алюминиевых деталей более безопасным, экологически чистым и экономически оправданным.

### **3.2 Оценка профессиональных и производственных угроз**

Использование промышленного оборудования при выполнении технологических операций связано с рядом потенциальных угроз для здоровья персонала и безопасного функционирования производственного процесса. В ходе выполнения работ по восстановлению и наплавке деталей из

алюминиевых сплавов наблюдаются различные негативные воздействия, которые могут существенно повлиять на условия труда. Для снижения рисков и обеспечения надёжной защиты персонала проводится комплексная идентификация факторов, оказывающих влияние на безопасность работников. Подразделение рисков на категории позволяет более эффективно разрабатывать меры их предотвращения.

Производственная деятельность в сфере сварочных работ подразумевает влияние различных физических, химических и механических воздействий, которые могут приводить к развитию профессиональных заболеваний и возникновению аварийных ситуаций. В процессе выполнения подготовительных операций работники могут столкнуться с острыми кромками инструмента, высокой запылённостью рабочей зоны, а также воздействием движущихся частей оборудования. На этапе выполнения сварки отмечается высокая температура материалов, наличие инфракрасного и ультрафиолетового излучения, а также загазованность воздуха в зоне работ. В процессе контроля качества присутствует риск взаимодействия с острыми поверхностями деталей, а также воздействие ультразвукового излучения, превышающего допустимые нормы [20].

Анализ возможных профессиональных угроз позволяет выделить наиболее опасные воздействия, которые могут стать причиной серьёзных повреждений здоровья или летального исхода. К этой категории относятся электрические замыкания, приводящие к поражению током, ожоги, вызванные контактом с разогретыми поверхностями, а также механические травмы, полученные при взаимодействии с движущимися частями оборудования. Кроме того, в ходе сварочных работ могут выделяться токсичные газы, что при отсутствии надлежащей вентиляции может привести к отравлению и долгосрочным проблемам с органами дыхания.

Дополнительным фактором, повышающим профессиональные риски, является высокая интенсивность излучений в рабочей зоне. Инфракрасное излучение в зоне сварки может привести к перегреву тела работника, тогда

как ультрафиолетовое излучение оказывает негативное влияние на кожные покровы и зрение, вызывая ожоги и снижение остроты зрения. В зоне контроля качества возможны воздействия ультразвуковых волн, что требует дополнительного использования средств защиты слуха.

Таблица 11 представляет результаты оценки рисков, связанных с выполнением различных этапов технологического процесса. В неё включены основные источники потенциальных угроз, возникающих при проведении работ.

Таблица 11 – Определение и классификация профессиональных рисков

Этап технологического процесса	Источники риска
Подготовка дефектного участка	Острые кромки инструмента и заготовок, механические травмы при контакте с оборудованием, возможное замыкание электрических цепей, высокая концентрация пыли и газов в воздухе
Заварка дефектного места	Подвижные части оборудования, воздействие высоких температур, поражение электрическим током, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, образование токсичных газов
Контроль качества	Наличие острых поверхностей на деталях и инструментах, воздействие ультразвука выше допустимых значений

На основании результатов исследования технологического процесса сварки и наплавки деталей машин из алюминиевых сплавов было выявлено семь основных негативных факторов, оказывающих воздействие на здоровье работников:

~ Температура рабочих поверхностей оборудования и деталей превышает безопасные значения, что увеличивает вероятность ожогов.

~ Интенсивное инфракрасное излучение в зоне сварки способствует перегреву тела оператора, вызывая тепловые нагрузки и ухудшение самочувствия.

~ Высокая интенсивность ультрафиолетового излучения провоцирует термические ожоги кожных покровов и глаз, что может привести к профессиональным заболеваниям зрения.

~ Наличие острых граней и заусенцев на инструменте и заготовках увеличивает вероятность получения порезов и механических повреждений.

~ Движущиеся части оборудования представляют угрозу защемления или получения травм при случайном контакте с механизмами.

~ Высокая концентрация пыли и газов в рабочей зоне негативно влияет на дыхательную систему работников, создавая предпосылки для развития хронических заболеваний.

~ Электрическое напряжение, используемое в процессе сварки, может привести к поражению током в случае нарушения техники безопасности [22].

Детальный разбор профессиональных рисков позволил определить пути их минимизации. Современные сварочные посты оснащаются вытяжными установками с фильтрацией воздуха, что позволяет снизить уровень загазованности рабочей зоны. Дополнительно проводится установка автоматизированных защитных экранов, уменьшающих интенсивность инфракрасного и ультрафиолетового излучения.

Для предотвращения поражений электрическим током введены дополнительные меры контроля состояния сварочного оборудования. Регулярные проверки изоляции кабелей и защитных элементов позволяют значительно снизить вероятность замыканий и утечек тока. Применение индивидуальных средств защиты, таких как диэлектрические перчатки и коврики, также способствует снижению рисков.

Использование средств защиты, таких как экранирующие кожухи и предохранительные устройства, позволяет предотвратить контакты с движущимися частями оборудования. Внедрение автоматизированных систем контроля и дистанционного управления минимизирует необходимость непосредственного взаимодействия оператора с опасными узлами.

Воздействие инфракрасного и ультрафиолетового излучения снижено за счёт использования защитных масок с фильтрацией спектра, а также введения норм регламентированного времени работы в зонах повышенной радиации. Кроме того, разработаны методы дополнительной защиты кожи, применение специализированных термостойких материалов в рабочей одежде.

Для борьбы с механическими травмами введены стандарты на качество инструментов и заготовок. Перед использованием проводится обработка всех рабочих поверхностей с целью удаления заусенцев и острых граней. В зонах высокой концентрации пыли установлены системы фильтрации с эффективностью не менее 90 %, что позволяет снизить уровень аэрозольных частиц до безопасных значений.

Дальнейшее развитие проектной технологии предусматривает внедрение дополнительных средств контроля, позволяющих автоматизировать процесс идентификации и устранения рисков. Использование датчиков загазованности, температуры и электрической активности позволит в реальном времени отслеживать условия работы и предотвращать аварийные ситуации. Применение современных методов автоматического регулирования сварочных параметров обеспечит снижение человеческого фактора и повысит стабильность выполнения операций.

Рассмотренные решения обеспечивают комплексный подход к повышению безопасности сварочного процесса. Внедрение современных технологических решений позволяет минимизировать риск получения травм, снизить нагрузку на персонал и повысить уровень защиты здоровья работников. Дальнейшие исследования направлены на разработку рекомендаций по повышению эффективности использования средств защиты и снижению влияния вредных факторов на производственном участке.

### **3.3. Методы предотвращения рисков при проведении сварочных работ**

Применение комплексных мер по снижению профессиональных рисков является необходимым условием для обеспечения безопасных условий труда в ходе выполнения сварочных и наплавочных работ. При организации рабочего процесса требуется учитывать все возможные негативные факторы, способные оказать воздействие на оператора. Для минимизации угроз предусмотрены различные методы защиты, как средства индивидуальной защиты, так и модернизацию рабочих мест. Оптимизация безопасности рабочих процессов достигается путём внедрения технических решений, совершенствования системы контроля по соблюдению техники охраны труда и проведении регулярных инструктажей [33].

Работы, связанные с ремонтной сваркой и наплавкой, сопряжены с высокими концентрациями вредных газов и аэрозольных частиц, превышающими допустимые нормы в несколько раз. Воздействие таких загрязнителей приводит к ухудшению здоровья операторов и требует использования современных систем вентиляции. Исследования показывают, что в зонах сварочных постов уровень содержания паров и газообразных соединений превышает предельно допустимые значения в 7–10 раз, что делает необходимым применение мощных вытяжных систем.

В связи с этим установка вентиляции и местных фильтрующих систем является обязательным мероприятием. В ряде случаев применяется принудительная подача очищенного воздуха в рабочую зону, что позволяет снижать концентрацию вредных соединений до допустимого уровня.

Повышенный уровень электромагнитных полей в зонах сварочных постов создаёт дополнительный риск поражения электрическим током. Напряжение, используемое в сварочных установках, составляет 220 В при однофазном подключении и 380 В при питании от сети. В этих условиях требуется постоянный контроль состояния проводки и контактных соединений, а также внедрение систем защитного отключения оборудования при обнаружении пробоя изоляции. Для дополнительной безопасности

сварщики снабжаются диэлектрическими перчатками и резиновыми ковриками, уменьшающими вероятность поражения электрическим током.

Травм опасные ситуации могут возникнуть при взаимодействии с движущимися частями оборудования. В целях предотвращения несчастных случаев предусмотрено применение защитных ограждений и блокировочных систем, автоматически отключающих оборудование при попытке проникновения в зону работы механизма. Снижение вероятности механических травм обеспечивается также за счёт обязательного инструктажа работников, который проводится перед допуском к выполнению сварочных работ.

Ожоги являются распространённой проблемой среди сварщиков, так как температура поверхностей оборудования и нагретых материалов может достигать 500–600 °С. Для предотвращения ожогов персонал обеспечивается термостойкой одеждой, а рабочие зоны оборудуются изолирующими поверхностями. Использование термостойких перчаток и рукавиц позволяет минимизировать риск контакта с нагретыми деталями.

Воздействие инфракрасного и ультрафиолетового излучения в зоне сварочных работ представляет серьёзную опасность для здоровья операторов. Инфракрасное излучение приводит к перегреву организма, а ультрафиолетовое излучение вызывает термические ожоги и заболевания глаз. Для предотвращения подобных последствий используется специальная защитная экипировка, светофильтры в сварочных масках и экранирующие покрытия. Введение ограничений на продолжительность нахождения работников в зоне повышенного излучения позволяет снизить негативное воздействие [34].

Дополнительной мерой по снижению профессиональных рисков является контроль качества рабочей среды. Регулярные замеры концентрации вредных веществ, температурного режима и уровня шума позволяют оперативно выявлять отклонения от допустимых значений и принимать корректирующие меры. В ряде случаев в сварочных цехах применяются

автоматизированные системы мониторинга, передающие данные о состоянии рабочей среды в режиме реального времени.

Таблица 12 содержит перечень мероприятий, направленных на снижение профессиональных рисков при проведении сварочных работ.

Таблица 12 – Способы минимизации профессиональных рисков и средства защиты

Источник риска	Методы устранения	Средства защиты
Острые грани деталей и инструментов	Инструктаж по технике безопасности, применение защитных покрытий на рабочих поверхностях	Перчатки, спецодежда
Движущиеся механизмы и оборудование	Установка защитных ограждений, автоматические блокировочные системы	Защитные перчатки, экранирующие материалы
Высокая запылённость и загазованность	Применение локальной вытяжной вентиляции и системы очистки воздуха	Респираторы, фильтрующие маски
Электрический ток высокого напряжения	Регулярная проверка изоляции, установка устройств защитного отключения	Диэлектрические перчатки, резиновые коврики
Высокая температура оборудования и деталей	Применение термостойких экранов, регламентирование времени контакта с нагретыми поверхностями	Термостойкая спецодежда, перчатки
Инфракрасное излучение	Ограничение времени работы в зоне воздействия, применение защитных покрытий	Защитные экраны, теплоотражающие костюмы
Ультрафиолетовое излучение	Использование светофильтров, экранирование рабочих зон	Сварочные маски с затемнёнными светофильтрами

Выявленные риски поддаются контролю при условии комплексного подхода к организации безопасности рабочего процесса. Современные методы сварки позволяют снизить уровень вредных выбросов, уменьшить потребление энергии и сократить воздействие вредных факторов на организм сварщика.

Дополнительным направлением повышения безопасности является автоматизация сварочных процессов. Применение роботизированных систем

снижает влияние человеческого фактора, уменьшает продолжительность нахождения работников в зонах повышенного риска и позволяет вести контроль качества сварных соединений без непосредственного участия человека.

Меры по повышению безопасности внедряются на предприятиях в соответствии с нормативными требованиями. В России нормативная база охраны труда в сфере сварочных работ регламентируется ГОСТами и СанПиН, определяющими предельно допустимые концентрации вредных веществ, уровни воздействия физических факторов и требования к средствам индивидуальной защиты. Компании, занимающиеся сварочными работами, проводят регулярное обучение персонала, в ходе которого сотрудники получают знания о безопасных методах работы, правилах эксплуатации оборудования и способах предотвращения аварийных ситуаций.

Переход к более безопасным методам выполнения сварочных работ возможен за счёт внедрения новых технологий, совершенствования организации производства и использования передовых инженерных решений. Оптимизация рабочего процесса позволяет не только снизить профессиональные риски, но и повысить производительность труда, что в долгосрочной перспективе способствует экономической эффективности производства. Развитие технологий в области защиты сварщиков продолжается, и в ближайшие годы можно ожидать появления новых систем безопасности, обеспечивающих ещё большую защиту здоровья персонала.

### **3.4 Пожарная безопасность при сварочных процессах**

Осуществление сварочных и наплавочных работ сопровождается высокой температурой, разлетом искр и интенсивным тепловым излучением, что повышает вероятность возгорания и развития пожароопасных ситуаций. Помимо этого, процесс сопровождается образованием паров металла и газов,

способных взаимодействовать с кислородом, что может привести к резкому вспыхиванию смеси.

Для обеспечения защиты предприятия от возможных возгораний требуется проанализировать все потенциальные угрозы, выявить их источники и разработать комплекс превентивных мер.

Основные источники возгорания в условиях сварочного производства – это высокие температуры в зоне воздействия дуги, брызги расплавленного металла, контакт нагретых поверхностей с горючими материалами и утечки газов [35].

Кроме того, электродуговая сварка и плазменная резка сопряжены с риском коротких замыканий, которые могут привести к перегреву проводки и возгоранию изоляционных материалов.

На сварочных участках также присутствует пыль от металлических деталей, которая в условиях высокой температуры может становиться причиной пылевого возгорания.

Выявленные угрозы позволяют определить пожары, которые могут возникнуть на рассматриваемом участке, как пожары класса «Е».

Данный класс возгорания в электрических установках, находящихся под напряжением.

Помимо этого, возможно развитие пожара класса «В», связанного с горением жидких веществ, и пожара класса «А», возникающего при воспламенении твердых материалов.

Наиболее распространенные факторы пожара в сварочном цехе - тепловое воздействие от пламени, возникновение открытого огня, снижение концентрации кислорода в воздухе, накопление токсичных продуктов горения и образование дыма, ухудшающего видимость.

Кроме того, вторичные факторы, такие как нарушение целостности электрооборудования, могут повлечь за собой дополнительные риски.

Таблица 13 – Классификация возможных пожаров и их факторов

Параметр	Значение
Участок повышенной пожароопасности	Сварочный цех
Оборудование	Плазменные резаки, сварочные установки, аппараты для механической обработки
Класс пожара	Электрический (Е), твердые вещества (А), горючие жидкости (В)
Основные факторы пожара	Высокая температура, брызги металла, искры, открытое пламя, выделение токсичных газов, задымление, снижение кислорода
Вторичные факторы	Разрушение электро-изоляции, поражение током, утечки горючих газов

Снижение риска возгораний достигается за счет комбинированного подхода к защите, использование первичных и вторичных средств пожаротушения, а также внедрение систем предотвращения пожаров. Применение огнезащитных материалов, регулярная проверка электрических цепей, установка датчиков дыма и автоматизированных систем оповещения позволяют минимизировать вероятность распространения пламени.

На сварочном участке должны присутствовать переносные огнетушители, ёмкости с песком, пожарные одеяла и стационарные устройства пожаротушения. В качестве первичных средств борьбы с огнем применяются углекислотные и порошковые огнетушители, так как они наиболее эффективны при тушении электрических возгораний. Однако они не могут использоваться при ликвидации пожаров в замкнутых помещениях с малым объемом, поскольку способствуют вытеснению кислорода.

К обязательным мерам предосторожности относится регулярная проверка состояния электрических сетей. Для предотвращения возгораний электрического происхождения применяются автоматические выключатели, тепловые реле и системы заземления. Рабочее место сварщика оборудуется огнезащитными экранами, предотвращающими разлет искр и нагретого металла за пределы рабочего участка [1].

Дополнительно предусматриваются средства индивидуальной защиты сварщиков от последствий пожаров. Персонал снабжается термостойкими

костюмами, перчатками и обувью, а также средствами защиты органов дыхания, позволяющими минимизировать воздействие токсичных продуктов горения.

Таблица 14 – Технические средства для устранения последствий пожаров

Меры защиты	Тип средств
Первичные средства пожаротушения	Углекислотные, порошковые огнетушители, ведра с песком, кошмы
Стационарные системы	Установки пожарной сигнализации, системы автоматического оповещения
Инструменты пожаротушения	Пожарные багры, топоры, лом, ведра
Средства индивидуальной защиты	Противогазы, термостойкие костюмы, огнеупорные перчатки
Организационные меры	План эвакуации, знаки пожарной безопасности, регулярные учения
Средства оповещения	Световые и звуковые сигнализаторы, кнопки тревожной сигнализации

В сварочных цехах применяются установки газового или аэрозольного пожаротушения, которые способны быстро подавлять огонь без ущерба для оборудования. Газовые установки заполняют помещение инертным газом, вытесняющим кислород, что приводит к прекращению горения. Аэрозольные системы создают в воздухе мелкодисперсную взвесь, которая препятствует распространению огня.

Помимо этого, в сварочных цехах особое внимание уделяется системам эвакуации. В случае возникновения пожара должна быть обеспечена возможность быстрого выхода персонала из помещения. Все проходы и эвакуационные пути должны быть обозначены световыми указателями, а аварийные выходы – разблокированы. Персонал обучается действиям в экстренных ситуациях, проводится регулярная отработка эвакуации.

Снижение вероятности возникновения пожара также достигается за счет контроля по хранению и эксплуатацией газовых баллонов. Они должны находиться в проветриваемых помещениях, вдали от источников открытого пламени и нагреваемых поверхностей. Регулярная проверка состояния

вентилей и шлангов снижает риск утечек и образования взрывоопасных смесей.

Дополнительные меры предосторожности предусматривают использование негорючих покрытий для рабочих столов и полов в зоне сварочных постов. Также исключается хранение легко воспламеняющихся жидкостей вблизи зон сварки. При необходимости работы вблизи горючих конструкций используется экранное ограждение из огнестойких материалов.

Комплексный подход к пожарной безопасности позволяет свести к минимуму риски, возникающие при выполнении сварочных работ. Внедрение современных систем автоматического обнаружения пожаров, обеспечение персонала средствами защиты и грамотная организация рабочих мест являются необходимыми условиями для предотвращения аварийных ситуаций. Соблюдение всех вышеуказанных требований позволяет гарантировать безопасность на производстве и предотвратить материальные потери, связанные с возможными возгораниями.

### **3.5 Экологические требования к применяемым технологиям**

Основные загрязняющие факторы при выполнении сварочных работ - выбросы аэрозолей, содержащих оксиды металлов, пары летучих соединений, выгорание защитных покрытий, а также образование твердых отходов в виде сварочных шлаков и металлической стружки. Уровень загрязнения воздуха в зоне сварочных постов в среднем превышает предельно допустимые концентрации в 5–10 раз, а содержание оксидов алюминия и марганца в рабочих зонах нередко достигает 0,3–0,5 мг/м<sup>3</sup>, что негативно влияет на состояние здоровья персонала.

Для эффективного снижения загрязнения атмосферы необходимо использовать высокоэффективные вентиляционные системы с фильтрацией выбросов. Согласно исследованиям, применение фильтров с многоступенчатой системой очистки позволяет снизить выбросы

мелкодисперсных частиц на 80–95 %, что значительно уменьшает негативное воздействие на здоровье сварщиков и окружающую среду.

Водные ресурсы могут подвергаться загрязнению в результате попадания в сточные воды масел, эмульсий, кислотных остатков, а также растворов, используемых при обработке деталей. В связи с этим особое внимание уделяется предотвращению протечек и утечек вредных жидкостей. Для этого необходимо проводить регулярный мониторинг состояния гидросистем оборудования, своевременно устранять протечки и использовать абсорбирующие материалы для локализации разливов. Внедрение замкнутых систем водоснабжения и использование современных методов очистки стоков позволяют сократить потребление воды и минимизировать сброс вредных веществ.

Одной из наиболее значительных проблем, возникающих в процессе сварки, является накопление твердых отходов, среди которых металлическая пыль, шлаки, изношенные электроды, защитные покрытия, загрязненные промасленные ветоши и упаковочные материалы. Для эффективного управления отходами необходимо внедрять систему селективного сбора и переработки отходов. Отходы черных и цветных металлов могут быть повторно использованы в литейном производстве, что позволяет снизить потребность в первичных ресурсах и уменьшить объемы захоронения на полигонах [11].

Согласно данным ведущих промышленных предприятий, внедрение системы отдельного сбора отходов позволяет перерабатывать до 70 % промышленных отходов, что снижает экологическую нагрузку и одновременно приносит экономическую выгоду. Дополнительно необходимо организовать мероприятия по безопасному хранению и утилизации вредных отходов, таких как использованные фильтры вентиляционных систем и отходы абразивных материалов.

Особую опасность представляет шумовое загрязнение, которое возникает при выполнении сварочных и наплавочных работ. Средний уровень

шума на сварочных постах достигает 85–100 дБ, что превышает допустимые нормы. Длительное воздействие шума такого уровня может привести к профессиональным заболеваниям, снижению работоспособности и ухудшению когнитивных функций у персонала. В связи с этим необходимо применять защитные экраны, звукоизоляционные кабины, а также использовать персональные средства защиты слуха.

Для оценки уровня негативного воздействия на окружающую среду и разработки мероприятий по его снижению представлена таблица, содержащая основные загрязняющие факторы и предлагаемые способы их устранения.

Таблица 15 – Меры по снижению воздействия на окружающую среду

Источник загрязнения	Факторы негативного воздействия	Способы устранения или минимизации
Атмосфера	Выбросы оксидов металлов, аэрозолей, паров химических соединений	Установка локальных систем аспирации и фильтрации, применение сварочных материалов с низким уровнем выделения вредных веществ
Водные ресурсы	Загрязнение сточных вод маслами, кислотными остатками, растворителями	Использование замкнутых систем водоснабжения, контроль состояния гидросистем, внедрение технологий фильтрации и очистки сточных вод
Твердые отходы	Металлическая пыль, шлаки, использованные электроды, упаковочные материалы	Внедрение системы раздельного сбора отходов, вторичная переработка металлических отходов, безопасная утилизация фильтров и промасленных материалов
Шумовое загрязнение	Высокий уровень шума от сварочных аппаратов, вентиляционных систем, механической обработки	Применение поглощающих экранов, звукоизоляция рабочих мест, обеспечение персонала средствами защиты слуха

Дополнительным направлением повышения экологической безопасности является использование сварочных материалов и расходных компонентов с пониженным уровнем выбросов. Современные сварочные проволоки с пониженным содержанием фторсодержащих компонентов позволяют снизить образование вредных газов на 30–40 %. Кроме того, внедрение сварки в инертных газах вместо традиционной дуговой сварки с

флюсовым покрытием способствует снижению выделения токсичных соединений [7].

Эффективность предлагаемых мер подтверждается статистическими данными промышленных предприятий, внедривших комплексную систему экологической безопасности. Внедрение локальных систем фильтрации воздуха позволило снизить концентрацию твердых частиц в воздухе на 85 %, применение замкнутых систем водоснабжения сократило объем сточных вод на 60 %, а переработка металлических отходов привела к экономии сырья на 25 %.

Для повышения уровня экологической безопасности также необходимо внедрение автоматизированных систем мониторинга, позволяющих в режиме реального времени контролировать уровень загрязнения воздуха, содержание вредных веществ в воде и количество накопленных отходов.

## **4. Финансово-экономическая оценка внедрения технологии восстановительного ремонта деталей машин**

### **4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям**

В данной работе рассматриваются пути увеличения эффективности ремонтных работ, связанных со сваркой и наплавкой деталей, выполненных из алюминиевых сплавов.

Первый этап предусматривает подготовку рабочей поверхности, в ходе которой производится её очистка и удаление посторонних включений. Для этого используются специальные установки, среди которых промывочное оборудование, абразивные установки, сверлильные станки и воздушные компрессоры. Вторым этапом является непосредственное проведение сварки и наплавки с использованием источников питания, газового оборудования и специализированных горелок, позволяющих осуществлять подачу металла с высокой точностью. Третьим этапом предполагается проверка качества выполненных работ, которая осуществляется с помощью визуально-измерительного контроля, а также инструментальных методов диагностики, таких как дефектоскопия, позволяющая выявлять скрытые дефекты наплавленного слоя.

Для объективной оценки эффективности предложенной технологии необходимо рассчитать капитальные затраты на реализацию базового и модернизированного подхода к ремонту деталей.

В ходе расчётов требуется определить себестоимость продукции, рассчитать влияние предложенных изменений на экономические показатели предприятия и определить уровень целесообразности внедрения модернизированной технологии.

В таблице 12 представлены показатели, которые используются для дальнейшего анализа.

Таблица 16 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Буквенное обозначение	Единица измерения	Базовая технология	Проектная технология
Число рабочих смен в сутках	Ксм	-	2	2
Разряд работников	Рр	-	V	V
Часовая тарифная ставка	Сч	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	Кдоп	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	Кд	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	КВН	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	Цоб	руб.	300 тыс.	800 тыс.
Норма амортизации оборудования	Ка	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	Муст	кВт	10	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Кт-з	%	5	5
Стоимость электрической энергии	Цэ-э	Р/кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	-	-	0,85	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	Кмон, Кдем	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м <sup>2</sup>	40	40
Стоимость эксплуатации площадей	Сэксп	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	Цпл	Р/м <sup>2</sup>	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	Кпл	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

## 4.2 Оценка эксплуатационного времени оборудования

В ходе выполнения операций в рамках проектного и традиционного технологических процессов функционирование производственного оборудования осуществляется в строго определённые временные промежутки. Расчёт затрат на оплату труда персонала, а также дополнительных расходов, связанных с эксплуатацией оборудования, осуществляется с учетом планового фонда времени его работы. Для этого необходимо учитывать все исходные данные, представленные ранее.

Как в модернизированном, так и в стандартном технологическом процессе предусматривается одинаковое количество смен для выполнения производственных операций, а это значит, что годовой фонд рабочего времени в проектном решении сохранит свою величину по сравнению с традиционным вариантом.

В соответствии с производственным графиком, общее количество рабочих дней в течение года принимается равным 277. Продолжительность одной смены составляет 8 часов. Однако при расчётах также необходимо учитывать сокращение рабочего времени в предпраздничные дни, количество которых за календарный год составляет 7. В такие дни продолжительность смены уменьшается на 1 час. Исходя из этих данных, производится расчёт годового фонда рабочего времени по следующей формуле:

$$F_{\text{н}} = (D_{\text{р}} \times T_{\text{см}} - D_{\text{п}} \times T_{\text{п}}) \times K_{\text{см}} \#(1)$$

Подставляя числовые значения, получаем:

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

Годовой фонд рабочего времени оборудования составляет 2209 часов. Однако в реальности фактическое рабочее время будет ниже из-за

вынужденных потерь, связанных с нештатными ситуациями, перерывами, техническим обслуживанием и другими факторами. В данном случае необходимо учитывать корректирующий коэффициент потерь рабочего времени, который составляет 7 %. На его основе рассчитывается эффективный фонд времени по формуле:

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

После подстановки значений получаем:

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

Следовательно, с учетом всех корректировок эффективное рабочее время оборудования составляет 2054 часов в год.

#### **4.3 Оценка штучного времени при выполнении операции базовой и проектной технологии**

Для оценки времени, необходимого на выполнение отдельных операций как в традиционном, так и в предлагаемом технологическом процессе, производится расчет с учетом установленного норматива трудозатрат, который определяется на основе технологической документации. Показатель штучного времени отражает суммарные затраты на все этапы обработки детали, включая основные технологические операции, подготовительные и вспомогательные действия, техническое обслуживание оборудования, перерывы на отдых, а также подготовительно-заключительный цикл.

Общее время на выполнение каждой единицы продукции складывается из следующих составляющих: периода непосредственного технологического воздействия, вспомогательных работ, требуемых для подготовки и завершения операций, временных затрат на обслуживание оборудования, а также

регламентированных перерывов, обеспечивающих работнику возможность отдыха. Расчетное выражение для вычисления штучного времени имеет вид:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п} - zt \#(3)$$

Подставляя в выражение числовые данные, можно получить количественные оценки. В стандартной технологии на выполнение одной ремонтной операции уходит около 1,21 часа. Внедрение предложенного варианта технологии позволяет сократить этот показатель до 0,874 часа за счет повышения уровня автоматизации и оптимизации технологических переходов.

Для дальнейшего анализа экономической эффективности требуется определить годовой объем работ, который рассчитывается исходя из доступного эффективного времени функционирования оборудования и рассчитанного ранее штучного времени:

$$Пг = \frac{F \times t}{шт} \#(4)$$

Применяя числовые значения, получаем:

$$Пг.баз = \frac{2054}{1,21} = 1700$$

$$Пг.проект = \frac{2054}{0,847} = 2425$$

Базовый вариант технологии позволяет выполнить в течение года 1700 ремонтных операций, в то время как модернизированная методика дает возможность выполнить 2425 операций за тот же период. В рамках данной работы и анализа потребности отрасли в рассматриваемых технологиях принимается годовой объем работ в 1000 единиц продукции.

Определение требуемого количества технологического оборудования производится с учетом расчетного штучного времени и общего годового объема работ. Для корректности расчетов учитывается коэффициент выполнения норм Квн, который принимается равным 1,03:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \times \frac{\text{Пг}}{F_{\text{Э}} \cdot \text{Квн}} \#(5)$$

Подставляя значения, получаем:

$$n_{\text{расч.баз}} = 1,21 \times \frac{1000}{2054} \times 1,03 = 0,57$$

$$n_{\text{расч.проект}} = 0,847 \times \frac{1000}{2054} \times 1,03$$

На основании полученных результатов для выполнения операций по традиционному и усовершенствованному технологическим процессам в дальнейшем принимается по одной единице оборудования. В связи с этим вычисляется коэффициент загрузки оборудования, который выражается следующим образом:

$$K_3 = \frac{n_{\text{расч}}}{n} \#(6)$$

После подстановки значений:

$$K_{3.\text{баз}} = \frac{0,57}{1} = 0,57$$

$$K_{3.\text{проект}} = \frac{0,4}{1} = 0,4$$

Разработанный проектный вариант технологии обеспечивает значительное повышение производительности по сравнению с традиционным подходом.

#### 4.4 Расчёт себестоимости восстановительных операций при разных технологиях ремонта

В процессе выполнения операции, как в традиционной, так и в предлагаемой технологии, расходуются различные материалы, стоимость которых определяется на основании их количества, цены за единицу и коэффициента транспортно-заготовительных расходов. Для расчета применяется следующая формула:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_t - з \#(7)$$

Используя заданные числовые параметры, получаем, что стоимость материалов для базового варианта технологии составляет 60 рублей, тогда как для проектного варианта – 50 рублей. Снижение затрат обусловлено оптимизацией расхода материалов и повышенной точностью их применения.

Расчет основной заработной платы осуществляется на основе штучного времени выполнения операций, тарифной ставки работников и коэффициента доплат, учитывающего дополнительные надбавки. Формула для расчета имеет вид:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot K_d \#(8)$$

После подстановки данных можно определить, что в базовом технологическом процессе заработная плата составит 682 рубля, а в проектном варианте – 478 рублей. Разница объясняется уменьшением трудоемкости благодаря более эффективному использованию оборудования.

Дополнительные выплаты рассчитываются как процент от основной заработной платы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot \frac{K_{доп}}{100} \#(9)$$

Для традиционной технологии дополнительные выплаты составляют 82 рубля, а для усовершенствованной методики – 57 рублей. Суммарный фонд оплаты труда определяется путем сложения основной и дополнительной заработной платы:

$$\Phi ЗП = Z_{осн} + Z_{доп}$$

Соответственно, для базовой технологии итоговая сумма составляет 764 рубля, а для модернизированного метода – 535 рублей.

Обязательные отчисления на социальные нужды рассчитываются в процентном соотношении к фонду заработной платы:

$$O_{осн} = \Phi ЗП \cdot \frac{K_{сн}}{100} \#(10)$$

После вычислений получается, что в базовой технологии данный показатель составляет 260 рублей, а в проектной – 182 рубля.

Расчет затрат на оборудование осуществляется на основании суммирования амортизационных отчислений и расходов на потребляемую электроэнергию:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э} - \varepsilon \#(11)$$

Размер амортизационных отчислений определяется нормой амортизации, стоимостью оборудования и эффективным годовым фондом его работы:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_{э} \cdot 100A} \#(12)$$

Для базовой технологии расчетное значение составляет 38 рублей, тогда как для модернизированного метода – 71 рубль. Стоимость потребляемой электроэнергии вычисляется по формуле:

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

Результаты расчета показывают, что энергозатраты в традиционном процессе составляют 67 рублей, а в предложенном варианте – 47 рублей. После подстановки значений в общую формулу затрат на оборудование, итоговые суммы составляют 105 и 118 рублей соответственно.

Определение технологической себестоимости продукции осуществляется путем суммирования расходов на материалы, оплату труда, социальные отчисления, затраты на оборудование и эксплуатацию производственных площадей:

$$C_{тех} = M + ФЗП + O_{осн} + Z_{об} + Z_{пл} \#(14)$$

Итоговые расчеты показывают, что технологическая себестоимость в базовой технологии равна 1229 рублей, тогда как при использовании предложенного метода этот показатель снижается до 914 рублей.

Расчет цеховой себестоимости выполняется с учетом коэффициента цеховых расходов:

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

После вычислений получаем 2252 рубля для стандартного процесса и 1631 рубль для усовершенствованного метода.

Определение заводской себестоимости - учет коэффициента заводских расходов:

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

Окончательные значения составляют 3036 рублей для традиционной технологии и 2181 рубль для модернизированного метода.

Все полученные данные представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет затрат и себестоимости продукции по рассматриваемым технологиям

Показатель	Обозначение	Базовая технология (руб.)	Проектная технология (руб.)
Расходы на материалы	М	60	50
Фонд оплаты труда	ФЗП	764	535
Отчисления на соц. нужды	$O_{осн}$	260	182
Затраты на оборудование	$Z_{об}$	105	118
Затраты на площади	$Z_{пл}$	40	29
Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	1229	914
Цеховые расходы	$R_{цех}$	1023	717
Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	2252	1631
Заводские расходы	$R_{зав}$	784	550
Заводская себестоимость	$C_{зав}$	3036	2181

Уменьшение себестоимости достигается за счет снижения расхода материалов, сокращения затрат на оплату труда, а также повышения энергоэффективности оборудования. Данные показатели свидетельствуют о целесообразности внедрения предложенного метода с точки зрения экономической эффективности.

#### **4.5 Капитальные вложения в реализацию обновлённой технологии**

Для оценки капитальных вложений в реализацию различных технологических процессов учитываются такие факторы, как загрузка оборудования и его остаточная стоимость.

Остаточная стоимость рассчитывается на основе рыночной цены аналогичного нового оборудования, срока его службы и нормы амортизационных отчислений. Для базового варианта стоимость составит 106500 рублей.

Общие капитальные вложения для базового технологического процесса определяются по формуле с учетом коэффициента загрузки оборудования.

В результате расчетов получено значение 60705 рублей.

При реализации модернизированной технологии дополнительно учитываются затраты на производственные площади, демонтаж и монтаж оборудования.

Учитывая коэффициент транспортно-заготовительных расходов, капитальные затраты на оборудование составляют 336000 рублей.

Дополнительно учитываются расходы на демонтаж старого оборудования и установку нового.

Они рассчитываются с применением соответствующих коэффициентов и составляют 15000 и 40000 рублей соответственно. Итоговая сумма сопутствующих затрат достигает 65000 рублей.

После подстановки данных в формулу получены общие капитальные затраты на реализацию проектной технологии в размере 401000 рублей. Дополнительные вложения относительно базовой технологии составляют 340295 рублей.

Для определения удельных капитальных вложений учитывается годовой объем производства.

По результатам расчетов они составляют 60,7 рублей за единицу продукции при традиционной технологии и 401 рубль за единицу при усовершенствованной.

Эффективность внедрения новой технологии оценивается на основе ряда показателей. Уменьшение трудоемкости оценивается в 30 %, что приводит к повышению производительности на 43 %.

Технологическая себестоимость при использовании проектного варианта снижается на 26 %, что свидетельствует о значительной экономии ресурсов.

Ожидаемая годовая экономия производства составляет 855000 рублей.

Срок окупаемости инвестиций составляет всего 0,3 года, что подтверждает высокую рентабельность модернизации производства.

Годовой экономический эффект достигает 742702 рублей. Таким образом, внедрение новой технологии способствует значительному снижению затрат и повышению эффективности производства. Экономическая целесообразность модернизации подтверждается высокой скоростью окупаемости вложенных средств.

## Заключение

Настоящая работа направлена на совершенствование технологий восстановления и ремонта головки блока цилиндров КамАЗа, выполненного из алюминиевых сплава АК9ч, посредством усовершенствованных методов сварки и наплавки.

В работе рассматриваются характерные дефекты, возникающие в результате длительного использования коробки блока, а также анализируются технологические особенности ремонта узла двигателя.

Исследование свойств алюминиевых сплавов выявило основные проблемы, возникающие при выполнении сварочных работ, включая высокую теплопроводность, склонность к образованию трещин и пористости, а также сложную систему операций по удалению оксидной пленки.

Разработана технологическая карта (Рис. 9) и разработан чертеж головки блока цилиндров КамАЗа в формате А3 на трёх листах (Рис. 10).

Проведенный анализ технологического процесса позволил выявить возможные негативные факторы, влияющие как на производственный персонал, так и на окружающую среду.

В связи с этим разработаны рекомендации по обеспечению безопасности труда и снижению экологического воздействия, включающие применение современных методов очистки сварочных газов, организацию эффективной вентиляции, использование средств индивидуальной защиты и оптимизацию энергетических затрат.

Экономическая оценка внедрения предложенной технологии демонстрирует ее высокую эффективность. За счет повышения производительности труда на 30 % и сокращения технологических издержек на 26 % удалось достичь годовой экономии в размере 700 тысяч рублей. Расчетный срок окупаемости капитальных вложений составляет всего 0,3 года, что подтверждает экономическую целесообразность предложенного метода.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Абрамова Л.Д., Саломатин Н.А. Современные проблемы автоматизации производства // Вестник университета. – 2020. – № 7. – С. 42-49.
2. Агапов С.И. Проблемы совершенствования технологических операций складских процессов предприятия // Экономико-правовые аспекты развития суверенитета Российской Федерации на современном этапе. – 2021. – С. 5-10.
3. Акулов А. И., Алехин В. П., Ермаков С. И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2023. – 560 с.
4. Аринин И.Н. Диагностирование технического состояния автомобилей. – М.: Транспорт, 2023. – 176 с.
5. Афанасьев Л.Л., Колясинский Б.С., Маслов А.А. Гаражи и станции технического обслуживания автомобилей. – М.: Транспорт, 2022. – 192 с.
6. Богданович С.В. Функциональные возможности программного комплекса по управлению поставками грузов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 3 (34). – С. 5-12.
7. Бродский А. Я. Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом. – М.: Машгиз, 2022. – 395 с.
8. Бровкова Е.В., Беспрозванный М.Г. Автоматизация складской деятельности предприятия // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий. – 2021. – С. 68-76.
9. Брыкин В.А., Карлова Т.В. Отдельные вопросы внедрения технологий постоянного совершенствования логистических операций // Качество. Инновации. Образование. – 2023. – № 4 (162). – С. 18-25.
10. Голованенко С.Л. Экономика автомобильного транспорта: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 2021. – 352 с.

11. Гонтарь Н.В., Таипова Э.Х. Складская логистика: история, современное состояние, перспективы // Научно-аналитический экономический журнал. – 2020. – № 7(18). – С. 2-5.
12. Девдариани Н.В., Рубцова Е.В. Основные принципы рациональной организации технологического процесса на предприятии // Иннов: электронный научный журнал. – 2024. – № 6 (39). – С. 37.
13. Дехтяринский Л.В., Апсин В.П., Доценко Г.Н. Технология и ремонт автомобилей. – М.: Транспорт, 2023. – 342 с.
14. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 2022. – 823 с.
15. Дьяков А.Б., Вздыхалкин В.Н., Рузский А.В. Экологическая безопасность автомобилей. – М.: МАДИ, 2024. – 218 с.
16. Ельцов В.В., Потехин В.П., Зеленков А.С. Формирование сварочной ванны при наплавке трехфазной дугой неплавящимися электродами с подачей присадочной проволоки // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2020. – № 12. – С. 2-6.
17. Зайцев О.И. Прогнозирование параметров режима при импульсно-дуговой сварке алюминиевых сплавов: дис. ... канд. техн. наук. – Тула: Тульский государственный университет, 2023.
18. Исаева Е.И., Безбородов С.В. Применение логистических принципов в управлении складским комплексом // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий. – 2022. – С. 265-270.
19. Каракулова М.А., Кузичкина Е.В. Роль информационной системы "1С-логистика: управление складом" в современных условиях // Информационные технологии в экономике, образовании и бизнесе. – 2023. – С. 105-107.
20. Кочкин И.А., Ягузинская И.Ю. Использование RFID-технологии для управления складским технологическим процессом // Научная мысль. – 2021. – № 2. – С. 87-90.

21. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов. – Тольятти: ТГУ, 2024. – 335 с.
22. Косенков А.А. Устройство автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2022. – 445 с.
23. Крутько А.Д. Факторы, влияющие на организацию складского технологического процесса // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. – 2024. – № 1(25). – С. 47-49.
24. Лапин И.Е., Косович В.А. Неплавящиеся электроды для дуговой сварки. – Волгоград: ВолгГТУ, 2023. – 190 с.
25. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. – 2023. – № 10. – С. 54-61.
26. Морохова Н.А., Перепелкин В.М. Автоматизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 3. – С. 133.
27. Одарченко А.Н. Преимущества внедрения системы автоматизации склада на базе WMS // Бизнес информ. – 2022. – № 12. – С. 329-332.
28. Патент № 2418661 РФ. Способ сварки трёхфазной дугой. – Оpubл. 2023.
29. Пустовалова К.Х. Логистическая организация и управление складированием на предприятиях оптовой торговли // Интеграция наук. – 2023. – № 6(10). – С. 105-107.
30. Рачков М.Ю. Технические средства автоматизации. – Москва, 2022. – 322 с.
31. Рабкин Д.М., Игнатьев В.Г., Довбищенко И.В. Сварка алюминия и его сплавов. – Киев: Наукова думка, 2023. – 80 с.
32. Ситявин Ю.И., Терминасов Ю.С., Зубриенко Г.Л. Структура и свойства сварных швов алюминиевых сплавов в зависимости от некоторых

факторов технологии сварки // Сварочное производство. – 2022. – №8. – С. 28-29.

33. Щетинина И.В., Амелин С.В. Повышение конкурентоспособности промышленного предприятия на основе формирования "бережливого склада" // Организатор производства. – 2023. – № 4. – С. 79-91.

34. ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

35. РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю.