

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

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

15.03.01 «Машиностроение»  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

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

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка плазматрона для плазменной сварки на обратной полярности

Студент

М.Н. Баранов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.т.н., доцент И.В. Дерябин

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Значительную часть оборудования для плазменной обработки составляют аппараты, предусматривающие работу на постоянном токе прямой полярности. В первую очередь это объясняется тем, что работа на обратной полярности сопровождается увеличением тепловой нагрузки на плазматрон, что заставляет интенсифицировать их охлаждение за счёт усложнения конструкции и увеличения габаритов. При этом надежность плазматронов, работающих на обратной полярности, всё равно, оказывается ниже, чем у плазматронов, работающих на прямой полярности.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки конструкций из алюминиевых сплавов за счёт применения плазменной сварки постоянным током обратной полярности.

В работе решены задачи:

- выполнить анализ схем питания плазменной дуги,
- модернизировать конструкцию плазматрона,
- оптимизировать параметры режима плазменной точечной сварки,
- выполнить оценку проектной технологии на предмет безопасности труда и отрицательного воздействия на окружающую среду,
- выполнить оценку финансовых затрат на осуществление базовой и проектной технологии с вычислением экономической эффективности предлагаемых технологических решений.

При выполнении экологического раздела выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство.

## Содержание

Введение .....	5
1 Современное состояние плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов. ....	7
1.1 Особенности применения алюминиевых сплавов в автомобилестроении. ....	7
1.2 Обзор способов сварки листовых заготовок из алюминиевых сплавов. ....	9
1.3 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменной с варки. ....	14
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. ....	16
2 Разработка оборудования для точечной плазменной сварки. ....	17
2.1 Особенности сварки постоянным током обратной полярности. ....	17
2.2 Особенности плазменной сварки дугой переменного тока. ....	19
2.3 Плазменная сварка трёхфазной дугой. ....	22
2.4 Конструкция плазматрона. ....	23
2.5 Расчёт эффективной мощности сварки. ....	25
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы. ....	29
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	29
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	31
3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов. ....	33
3.4 Пожарная безопасность на производстве. ....	35
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии. ....	37
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений. ....	40
4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности. ....	40

4.2 Расчёт объёмов фонда времени. . . . .	42
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	43
4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии. . . . .	45
4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии. . . . .	49
4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии. . . . .	51
Заключение . . . . .	55
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	56

## Введение

В настоящее время в мировой промышленности наблюдается неуклонный рост применения алюминиевых сплавов, который составляет порядка 5...15 % в год [26].

Изготовление и ремонт изделий из алюминиевых сплавов требует применения технологий сварки и наплавки. При этом самое широкое распространение получила аргонодуговая сварка неплавящимся электродом и механизированная сварка плавящимся электродом [1]. При этом приходится мириться с недостатками, присущими дуговым технологиям [11]. К этим недостаткам следует отнести, во-первых, низкую производительность сварочного процесса при выполнении соединений деталей больших толщин. Во-вторых, повышенное содержание в сварном шве дефектов. В-третьих, прочность сварного шва значительно меньше, чем прочность основного металла, т.е., в большинстве случаев не соблюдается требование равнопрочности. В-четвёртых, дуговая сварка изделий из алюминиевых сплавов затруднена при выполнении сварочных работ в положениях, отличных от нижнего. Кроме того, к присадочному металлу предъявляются повышенные требования по подготовке поверхности.

Помимо этого следует принимать во внимание, что при сварке деталей толщиной 10...15 мм требуется применение предварительного подогрева, что существенно усложняет технологию сварки, особенно в монтажных условиях.

Значительную часть оборудования для плазменной обработки составляют аппараты, предусматривающие работу на постоянном токе прямой полярности. В первую очередь это объясняется тем, что работа на обратной полярности сопровождается увеличением тепловой нагрузки на плазматрон, что заставляет интенсифицировать их охлаждение за счёт усложнения конструкции и увеличения габаритов. При этом надежность

плазматронов, работающих на обратной полярности, всё равно, оказывается ниже, чем у плазматронов, работающих на прямой полярности [3], [29].

Решение большинства проблем дуговой сварки алюминиевых сплавов достигается за счёт применения сварки постоянным током обратной полярности. Сварке на обратной полярности присущи ряд преимуществ, к которым следует отнести, во-первых, локализацию нагрева, во-вторых, высокий эффективный КПД сварки, в-третьих, возможность управления мощностью сварочной дуги. За счёт этих преимуществ обеспечивается повышение производительности сварки в 2...3 раза, уменьшаются затраты на проведение механической обработки до и после сварки, значительно уменьшается расход сварочных материалов [29]. Помимо этого следует отметить интенсивную катодную очистку, которая при плазменной сварке и наплавке позволяет получить высокое качество сварного шва и наплавленного металла одновременно со снижением требований по подготовке поверхности деталей [3].

Повысить производительность и качество сварочных процессов при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов можно за счёт повышения концентрации источника тепла и применения комбинированных способов сварки, предусматривающих два и более источника тепла в зоне сварки [26].

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки конструкций из алюминиевых сплавов за счёт применения плазменной сварки постоянным током обратной полярности.

Объектом исследования является технологический процесс плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов.

Предметом исследования являются современные средства повышения эффективности плазменной сварки на токе обратной полярности.

# **1 Современное состояние плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов**

## **1.1 Особенности применения алюминиевых сплавов в автомобилестроении**

К материалам, которые применяются при изготовлении деталей машин автомобиля предъявляются серьёзные требования по снижению массы, высокой коррозионной стойкости и механическим характеристикам. Также значительную роль в выборе материала для изготовления деталей кузова автомобиля играет декоративная составляющая поверхности элементов, которые будут изготовлены из того или иного материала.

Применение алюминиевых сплавов в автомобилестроении оправдано и является перспективным по причине того, что их применение позволяет существенно повысить грузоподъёмность автомобиля, снизить расход топлива и увеличить динамические характеристики [9], [14]. Также следует учесть высокую антикоррозионную стойкость алюминиевых сплавов, что существенно продлевает сроки эксплуатации автомобилей.

Широкое применение алюминиевых сплавов в автомобилестроении затрудняется по двум основным причинам. Первой причиной является высокая стоимость алюминиевых сплавов, которая в несколько раз выше стоимости конструкционной стали. Второй причиной является набор трудностей, которые сопровождают обработку алюминиевых сплавов в массовом производстве при сварке, резке, штамповке.

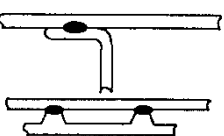
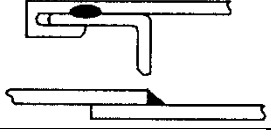
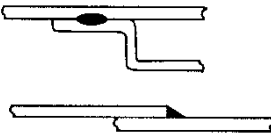
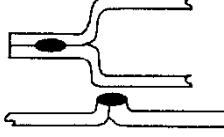
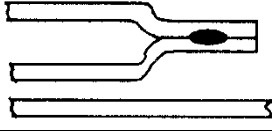
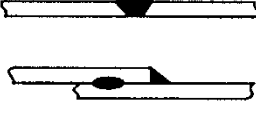
Решение вопросов стоимости деталей из алюминиевых сплавов обеспечивается при переходе на массовое производство, которое позволяет обрабатывать материалы в значительных объёмах. Также следует учитывать, что алюминиевые сплавы обладают значительным ресурсом вторичной переработки, что также в конечном итоге снизит стоимость их применения для производства кузова легкового автомобиля.

При этом сам кузов автомобиля следует проектировать специально с учётом простоты последующей вторичной переработки [9]. Это достигается за счёт модульного принципа проектирования кузовов автомобилей.

Применение алюминиевых сплавов для кузовных деталей автомобиля позволяет расширить область автомобилей с гибридной силовой установкой и электрической силовой установкой [20].

Как показал опыт практического применения алюминиевых сплавов при изготовлении кузова автомобиля, масса автомобиля снижается на 20...25 %, при этом полезная нагрузка и пробег без подзарядки аккумуляторной батареи увеличивается на 30...33 %.

Таблица 1 – Особенности применения алюминиевых сплавов в автомобилестроении

Элемент конструкции	Сплав	Толщина, мм	Основной тип соединения	Способ сварки
«Крылья передние и задние»	АМг2, 1523	1,0...2,5		Контактная точечная, дуговая
Двери	АМг2, АД37, АМг4, 1523, 1535	1,0...2,0		Точечная дуговая, аргонодуговая
Капоты, крыши	АМг2, АМг4, АД37, 1523, 1535	1,0...2,5		Точечная дуговая, аргонодуговая
Топливный бак	АМг2, АМг4, АМг6, 1523	1,5...2,5		Точечная дуговая, ручная дуговая, автоматическая аргонодуговая
Система выхлопа газов	1419, 1151, САП	1,2...1,8		Точечная дуговая, ручная дуговая, автоматическая аргонодуговая
Силовые элементы, лонжероны, бампер» [12]	АМг4, АМг6, АД37, 1535, 1545, 1570	1,5...3,0		Точечная дуговая, ручная дуговая, автоматическая аргонодуговая



Современные тенденции развития мировой экономики и общества позволяют предполагать, что в ближайшее время следует ожидать роста применения алюминиевых сплавов. Причём значительную часть этого роста будут составлять не легковые автомобили, а специализированные и грузовые автомобили. Так, применение алюминиевых сплавов для изготовления кузова грузового автомобиля позволяет увеличить полезную нагрузку на 1...2 тонны.

Также применение алюминиевых сплавов позволяет существенно уменьшить массу сельскохозяйственной техники, что обеспечит снижение эрозии почвы из-за нагружения её тяжёлой техникой.

В основном при изготовлении деталей кузова автомобиля применяются листовые заготовки толщиной 0,8...1,3 мм. В таблице 1 представлены типы соединений и способы сварки деталей кузова автомобиля при изготовлении их из алюминиевых сплавов [21].

## **1.2 Обзор способов сварки листовых заготовок из алюминиевых сплавов**

При контактной точечной сварке, схема которой представлена на рисунке 1, сварка деталей происходит по отдельным участкам их касания [6]. Детали 1 перед сваркой собирают внахлёстку, далее к ним прикладывают сварочное усилие  $F_{св}$  от электродов 2, после чего, не снимая усилия, пропускают электрический ток, генерируемый в сварочном трансформаторе 3. В результате локального расплавления и протекания термомодеформационных процессов в свариваемых деталях происходит образование совместной литой зоны – ядра сварной точки 4.

При соединении деталей из низкоуглеродистых сталей контактная точечная сварка хорошо зарекомендовала себя и позволяет провести процесс в высокой производительностью и стабильностью качества. Однако при сварке деталей из алюминиевых сплавов необходимость многократного

повышения величины сварочного тока требует разработки новых контактных машин с десятикратным увеличением мощности по сравнению с универсальными машинами контактной сварки.

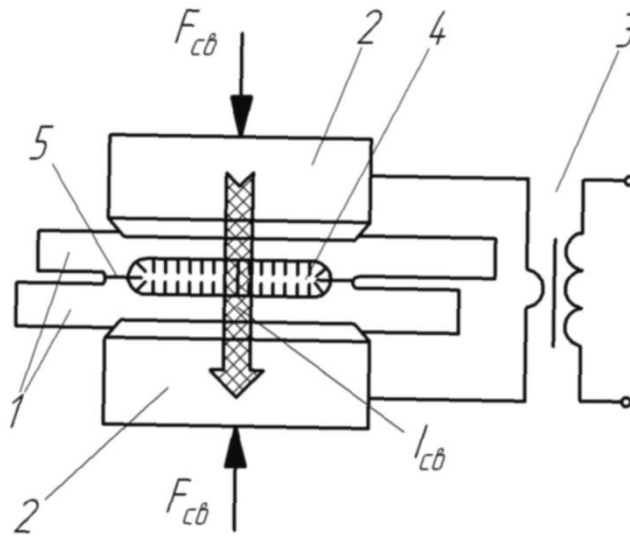


Рисунок 1 – Схема выполнения контактной точечной сварки

Некоторыми перспективами применительно к изготовлению кузова автомобиля обладает лазерная сварка [23], [24], схема которой представлена на рисунке 2. При облучении поверхности светом лазера происходит поглощение энергии излучения и повышение температуры поверхности. Применение лазерного излучения позволяет получить высокую концентрацию нагрева и уменьшение размеров зоны термического влияния.

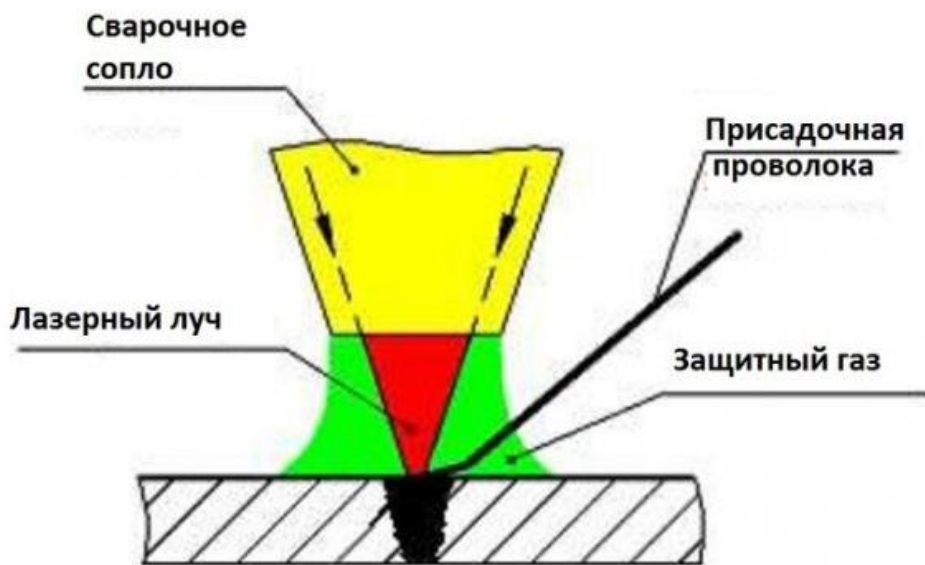


Рисунок 2 – Схема выполнения лазерной сварки

В числе преимуществ лазерной сварки следует отметить, во-первых, высокую производительность, которая существенно превышает производительность традиционных способов сварки плавлением. Во-вторых, при лазерной сварке за счёт высокой концентрации энергии существенно уменьшается зона термического влияния, что особенно важно в случае сварки алюминиевых сплавов, которые обладают высокой теплопроводностью. В-третьих, излучение лазера способно разрушать окисную плёнку на деталях из алюминиевых сплавов.

В числе недостатков лазерной сварки следует признать существенную стоимость и сложность применяемого оборудования, которое значительно усложнит технологический процесс изготовления деталей по сравнению с применением традиционных способов сварки.

Применение сварки электрозаклёпками, схема выполнения которой представлена на рисунке 3, позволяет существенно снизить коробления конструкции по сравнению с дуговыми способами сварки. В процессе сварки электрозаклёпочник позиционируют относительно детали, далее возбуждают сварочную дугу и подают сварочную проволоку. Через некоторое время подачу сварочной проволоки прекращают, что вызывает естественный обрыв дуги и формирование электрозаклёпки с благоприятной формой. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. При этом в качестве сварочной проволоки может применяться как проволока сплошного сечения, так и порошковая проволока.

Преимуществом сварки электрозаклёпками является возможность полной автоматизации, высокая стабильность качества и управляемость процесса, стабильность разрушения окисной плёнки.

Недостатком сварки электрозаклёпками является малая стойкость сопла горелки, малая производительность сварочных работ и необходимость регулирования величины дугового промежутка, что затрудняет автоматизацию процесса сварки в массовом производстве.

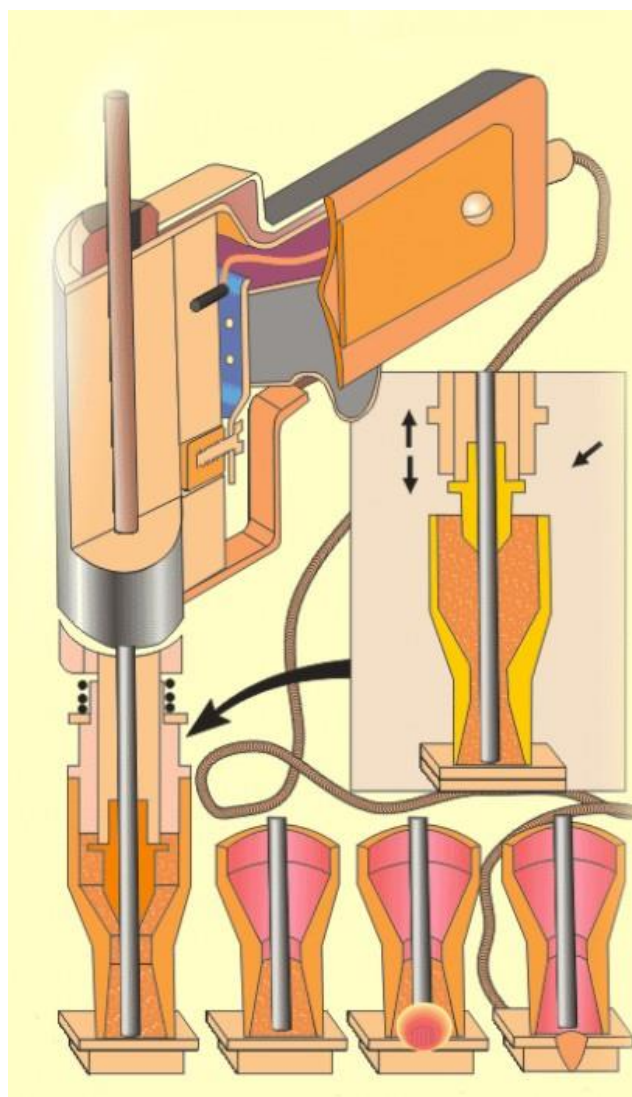
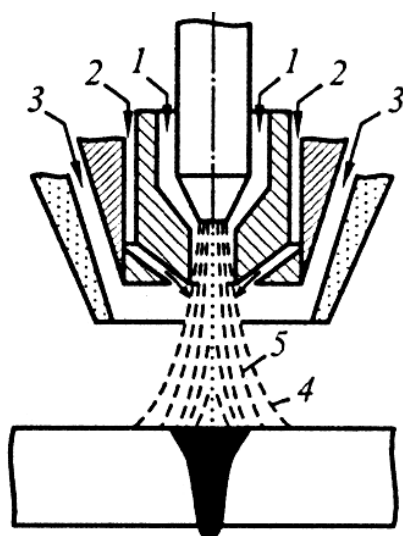


Рисунок 3 – Схема выполнения сварки электродом

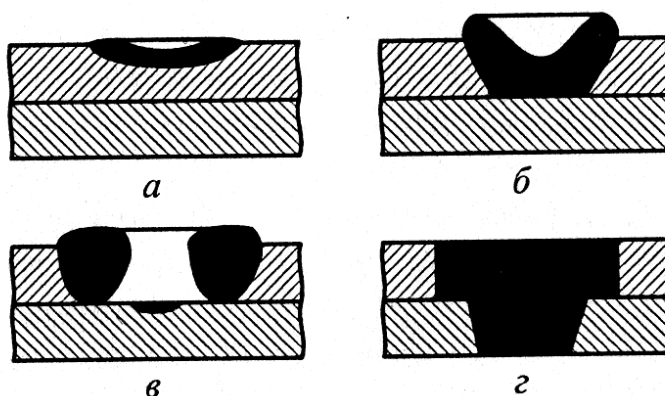


1 – плазмообразующий газ; 2 – фокусирующий газ; 3 - защитный газ; 4 – дуга без фокусирующего газа; 5 - дуга с фокусирующим газом

Рисунок 4 – Схема плазмообразующего сопла с дополнительным газовым потоком для фокусировки дуги

Одним из перспективных способов сварки деталей из алюминиевых сплавов является сварка сжатой дугой, схема выполнения которой представлена на рисунке 4. Применение специальных сопел позволяет придавать требуемую форму пятну нагрева. Дополнительные отверстия в сопле позволяют сфокусировать газовый поток и дополнительно сжать дугу.

При сварке листовых деталей из алюминиевых сплавов показала эффективность точечная плазменная сварка [17]. Процесс сварки представлен на рисунке 5 и включает в себя несколько стадий.



а – начало процесса; б – выдавливание металла сварочной ванны;  
 в – образование отверстия в верхней и начало оплавления нижней детали;  
 г – сформированная сварная точка

Рисунок 5 – Точечная сварка сжатой дугой

На первой стадии сварочная ванна образуется на верхнем листе. На второй стадии в результате нагрева увеличивается объём сварочной ванны, которая под действием давления дуги продавливается, образуя углубление. На третьей стадии углублении сварочной ванны на верхнем листе образуется отверстие, а активное пятно дуги переходит на нижний лист металла. На четвёртом этапе на нижнем листе образуется сварочная ванна, которая при слиянии со сварочной ванной верхнего листа образует общую сварную точку.

### **1.3 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменной с варки**

Выполнен поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменной сварки на токе обратной полярности.

Поиск информации вёлся в сети ИНТЕРНЕТ с использованием поисковика GOOGLE по ключевым словам «плазменная сварка», «обратная полярность», «диссертация», «плазматрон», «Автоматическая сварка», «Сварочное производство». Кроме поисковой системы GOOCLE вёлся поиск в таких базах данных как «Киберленинка» (база научных статей), «freepatent.ru» (база данных патентов РФ и авторских свидетельств СССР), «DisserCat» (база данных диссертаций).

В первой работе «Представлены результаты исследования работы двухдугового плазмотрона с использованием двух дуг прямого действия на токе обратной полярности. Показана практическая возможность устойчивой работы плазмотрона в двухдуговом режиме на токе обратной полярности. Проведены сравнительные исследования распределения энергии при работе однодугового и двухдугового плазмотрона на токе обратной полярности. Проведена оценка теплопередачи в изделие, электрод и плазмообразующее сопло плазмотрона» [26].

Результаты этой работы будут использованы при анализе возможных способов сварки и обосновании актуальности исследования.

Во второй работе «рассмотрен опыт применения оборудования и плазменных технологий, основанных на использовании тока обратной полярности. Показана высокая эффективность автоматической и ручной плазменной сварки при изготовлении и ремонте конструкций из цветных металлов и сплавов. Плазменная наплавка током обратной полярности обеспечивает высокое качество и производительность при восстановлении изделий из цветных металлов и высоколегированных сталей» [29].

Результаты работы будут использованы при обосновании актуальности темы исследования.

В третьей работе предложена технология и подобраны режимы плазменного поверхностного упрочнения катков и плит однокатковой опорной части мостовой конструкции из высоколегированных коррозионно-стойких сталей типа 40X13 [3].

Результаты этой работы показывают эффективность применения плазменной обработки металлов при использовании оборудования, работающего на обратной полярности. Результаты работы будут использованы при обосновании актуальности темы исследования.

В четвёртой работе представлены результаты разработки технологии плазменной сварки плазменной дугой током обратной полярности с одновременной подачей присадочной проволоки, алюминиевых сплавов АМг5 толщиной 2 мм [1].

Результаты этой работы показывают высокую эффективность применения плазменной сварки на обратной полярности и будут использованы при составлении проектной технологии.

В пятой работе [25] «сделана попытка оценить величину падения напряжения на анодном участке дуги при работе плазмотрона на токе обратной полярности. Получен большой массив экспериментальных данных. Для этого были проведены сравнительные исследования тепловложения в анод плазмотрона разной конструкции. Представлены результаты определения падения напряжения на анодном участке дуги при плазменной обработке металлов» [25]

Результаты этой работы будут использованы при назначении оптимальных параметров режима плазменной сварки на обратной полярности.

## 1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварки конструкций из алюминиевых сплавов за счёт применения плазменной сварки постоянным током обратной полярности.

При анализе состояния вопроса проведено литературное исследование преимуществ и недостатков различных способов сварки, которые могут быть применены в массовом производстве при сварке листовых конструкций из алюминиевых сплавов. Доказана эффективность плазменной точечной сварки.

Таким образом, были сформулированы задачи выпускной квалификационной работы:

- выполнить анализ схем питания плазменной дуги,
- модернизировать конструкцию плазматрона,
- оптимизировать параметры режима плазменной точечной сварки.

В оценочном блоке предусматриваются работы по экономическому и экологическому обоснованию предложенных технологических решений:

- выполнить оценку проектной технологии на предмет безопасности труда и отрицательного воздействия на окружающую среду [4], [5];
- выполнить оценку финансовых затрат на осуществление базовой и проектной технологии с вычислением экономической эффективности предлагаемых технологических решений [8], [10].



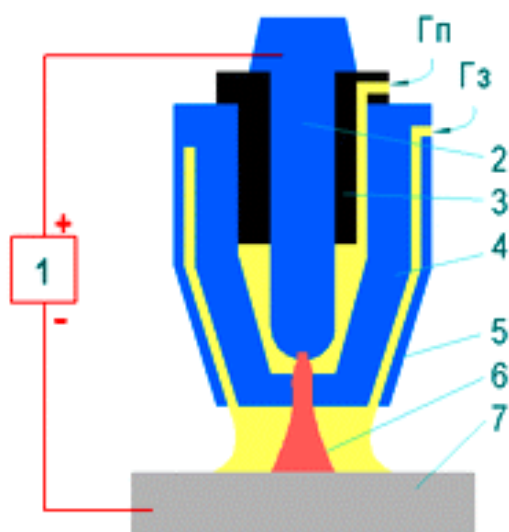
## **2 Разработка оборудования для точечной плазменной сварки**

### **2.1 Особенности сварки постоянным током обратной полярности**

Развитие плазменных технологий сварки в основном проходило в сторону разработки плазматронов, которые работают на постоянном токе прямой полярности. Это объясняется тем, что несмотря на явные преимущества, работа плазматрона на обратной полярности имеет ряд недостатков. К первому недостатку следует отнести необходимость усложнения плазматрона, увеличение его массы и габаритов. Ко второму недостатку следует отнести повышенное энергозатрачивание в изделие при сварке. Третьим недостатком сварки на обратной полярности является увеличение нагрузки на электрод плазматрона, которая приводит к его ускоренному износу.

Несмотря на перечисленные недостатки, плазменная сварка на обратной полярности является перспективным процессом, поскольку обладает рядом неоспоримых достоинств [29]. За счёт явления катодного распыления, которое наблюдается при сварке на обратной полярности, происходит очистка поверхности деталей, что позволяет решить проблемы окисных плёнок на поверхности при сварке алюминиевых и магниевых деталей. Также сварка на обратной полярности позволяет осуществлять регулирование теплового и силового воздействия на свариваемый металл в значительно более широком диапазоне по сравнению со сваркой на прямой полярности.

Схема выполнения процесса плазменной сварки на обратной полярности представлена на рисунке 6. В корпусе плазматрона выполнены магистрали для подведения воды, защитного и плазмаобразующего газа. Электрод играет роль анода. В качестве защитного и плазмаобразующего газов используется аргон, который подают в соответствующие магистрали плазматрона.



- 1 - источник питания сжатой дуги; 2 - электрод-анод;  
 3 - изолятор-завихритель; 4 - плазмообразующее сопло;  
 5 - защитное сопло; 6 - сжатая дуга; 7 – изделие;  
 Гп - плазмообразующий газ; Гз - защитный газ

Рисунок 6 – Схема плазменной сварки на обратной полярности

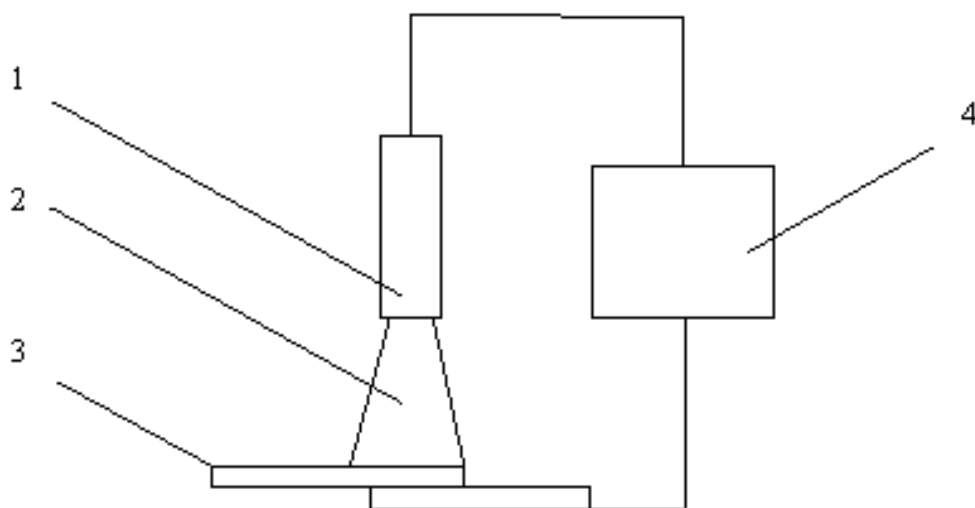
Дежурную дугу возбуждают между плазмообразующим соплом и электродом. Основная дуга горит между электродом и деталью.

За счёт высокой концентрации тепловой энергии сжатой дуги обеспечивается высокая производительность процесса. При сварке на обратной полярности наблюдается эффект катодного распыления, в результате которого с поверхности заготовок удаляются окисные плёнки и загрязнения. Это позволяет значительно повысить качество сварных соединений из алюминиевых и магниевых сплавов, а также существенно снизить требования к подготовке поверхности деталей.

Работа плазматронов в режиме сварки на обратной полярности вызывает повышенные тепловые нагрузки на конструкцию плазматрона. В результате конструкцию плазматронов для сварки на обратной полярности приходится усложнять, повышая эффективность охлаждения и стойкость электродов [18], [31]. Экспериментально установлено, что самой нагруженной частью плазматрона при сварке на обратной полярности является электрод-анод [27], [28], [30].

## 2.2 Особенности плазменной сварки дугой переменного тока

Плазменная сварка на переменном токе, схема проведения которой представлена на рисунке 7, позволяет получать удовлетворительное качество при сварке деталей из алюминиевых и магниевых сплавов. При этом способе сварки происходит попеременное переключение электрода плазматрона из режима «анод» в режим «катод». Это позволяет снизить тепловую нагрузку на электрод, при этом сохранить эффект катодной очистки поверхности деталей. Горение сварочной дуги условно разбивается на два полупериода – полупериод прямой полярности и полупериод обратной полярности. В течение полупериода обратной полярности происходит интенсивное очищение поверхности заготовок за счёт эффекта катодного распыления. В течение полупериода прямой полярности происходит некоторое остывание электрода плазматрона, что уменьшает на него тепловую нагрузку и продлевает его ресурс. Таким образом, плазменная сварка на переменном токе является компромиссным вариантом между сваркой на токе прямой полярности и сваркой на токе обратной полярности.



1 – электрод; 2 – плазменная дуга;  
3 – свариваемое изделие; 4 – источник питания

Рисунок 7 – Схема принципа плазменной сварки на переменном токе

Основным недостатком сварки на переменном токе является малая устойчивость горения дуги из-за необходимости повторных зажиганий при смене полярности. Усугубление действия этого недостатка происходит по причине интенсивного охлаждения столба дуги плазмообразующим газом. Для повышения стабильности зажигания дуги при смене полярности приходится прибегать к увеличению напряжения источника питания сварочной дуги или применению специальных стабилизаторов горения сварочной дуги. По причине низкой стабильности горения сжатой дуги на переменном токе этот способ сварки не получил распространения в промышленности.

Для точечной плазменной сварки на переменном токе предложена конструкция плазматрона, представленная на рисунке 8.

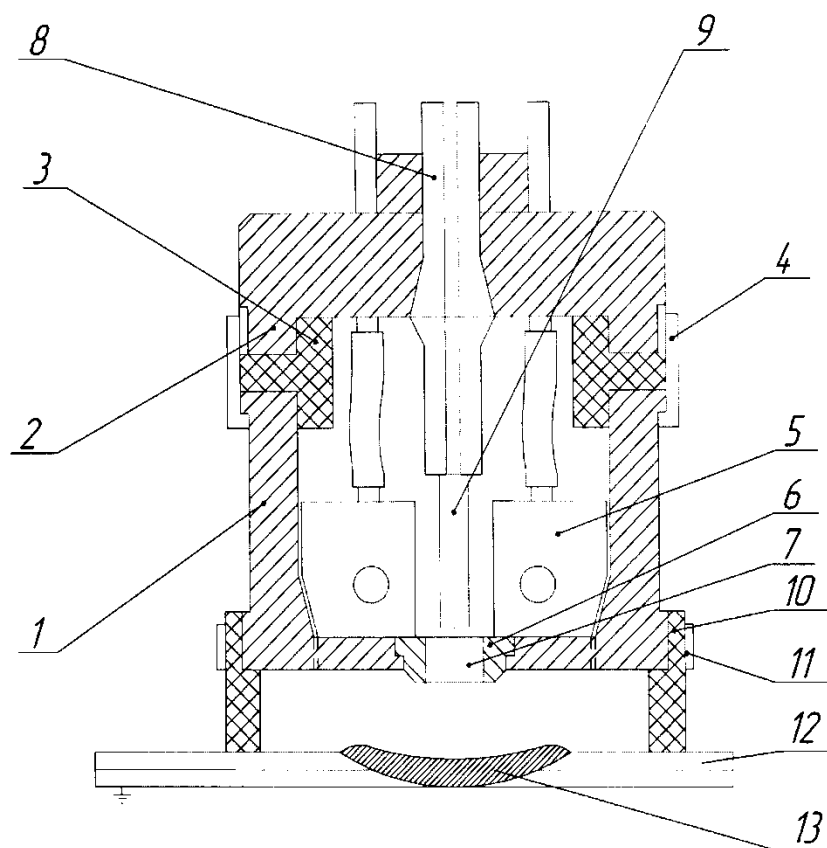


Рисунок 8 – Конструкция плазматрона для точечной плазменной сварки на переменном токе

Особенности конструкции плазматрона позволяют повысить эффективность плазменной точечной сварки. При этом разработка обладает

изобретательским уровнем, что позволило подать заявку на патент. «Внутри корпуса 1 расположена камера охлаждения 5, к которой посредством стягивающей гайки 4 прижата вставка 6, выполненная с каналом сжатия 7. В центре крышки 2 расположен электрододержатель 8 с размещенным в нем неплавящимся вольфрамовым электродом 9 таким образом, что его рабочий конец располагается перед каналом сжатия 7. На нижней наружной части корпуса 1 установлена неэлектропроводная опорная насадка 10 с закрепленным на ней на уровне канала сжатия 7 и нижнего рабочего конца электрода 9 замкнутым металлическим кольцом 11. Свариваемые детали 12 прижаты насадкой 10, а после расплавления деталей образуется точечное сварное соединение 13» [13].

Проведённые исследования [16] доказали эффективность применения для точечной плазменной сварки алюминиевых сплавов на переменном токе плазматронов ГСД-1М и Abiplast, которые представлены на рисунке 9.

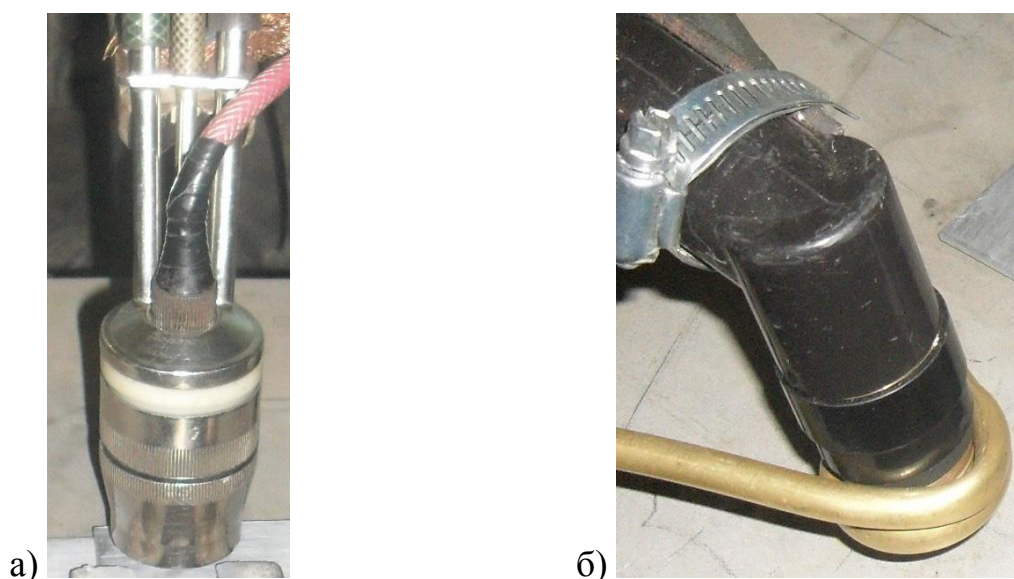
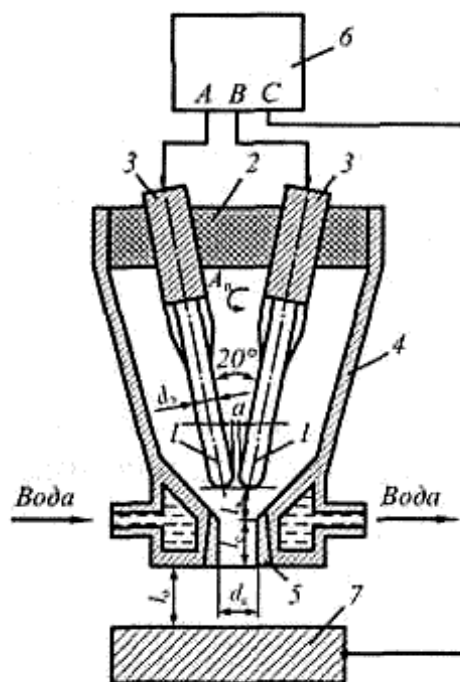


Рисунок 9 – Внешний вид плазматронов ГСД-1М (а) и Abiplast (б)

Питание плазматронов предлагается вести от источника переменного тока ТДМ-402-У2, снабжённым устройством стабилизации сварочной дуги [7]. Было изучено влияние параметров сварки на формирование столба сжатой дуги и выполнена оптимизация параметров режима сварки.

### 2.3 Плазменная сварка трёхфазной дугой

Применение трёхфазной дуги позволяет повысить стабильность процесса плазменной сварки на переменном токе. Схема плазматрона для сварки трёхфазной дугой представлена на рисунке 10. Плазматрон имеет два неплавящихся электрода. При этом дежурная дуга горит между электродами, а сопло плазматрона остаётся электрически нейтральным. Рабочая дуга горит между электродом и изделием. Ограничение тока дежурной дуги, горящей между электродами, не требует применения специальных устройств. За счёт снижения тепловой нагрузки на плазматрон становится возможным уменьшить диаметр электродов и массу самого плазматрона.



- 1 - вольфрамовые электроды; 2 - изолятор; 3 - токоподводы-электрододержатели; 4 - корпус; 5 – тугоплавкая вставка-сопло; 6- источник сварочного трехфазного тока; 7-обрабатываемое изделие

Рисунок 10 – Схема плазматрона для трехфазной сжатой дуги

За счёт повышения стабильности горения дуги свойства трёхфазной дуги приближаются к свойствам дуги, горящей на постоянном токе обратной полярности.

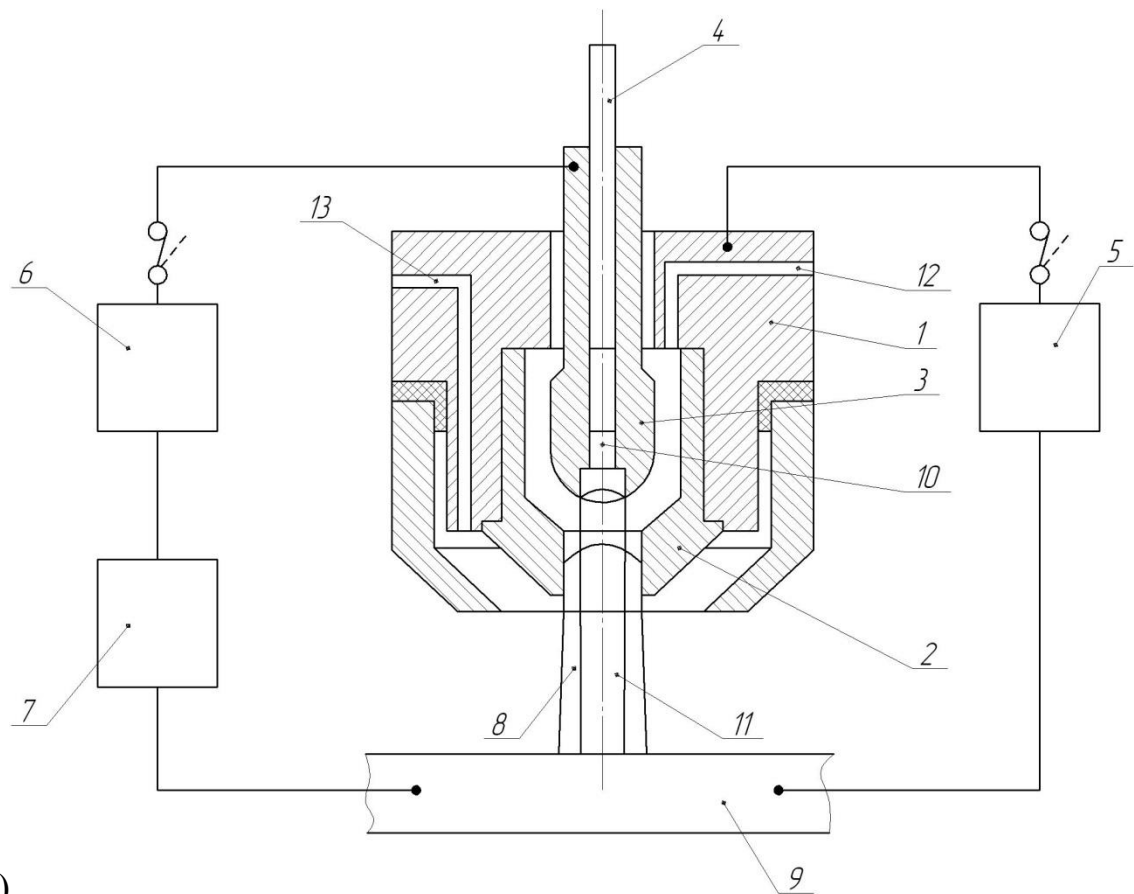
## 2.4 Конструкция плазматрона

Для точечной плазменной сварки предложена конструкция плазматрона, представленная на рисунке 11. В корпусе 1 установлен кольцевой неплавящийся электрод 2. Между электродом 2 и изделием 9 горит сжатая дуга 8. В плазматроне также имеется пусковой неплавящийся электрод 3, в котором выполнено отверстие 10. Пусковой электрод 3 размещён внутри кольцевого электрода 2. Между изделием 9 и пусковым электродом 3 горит дуга 11.

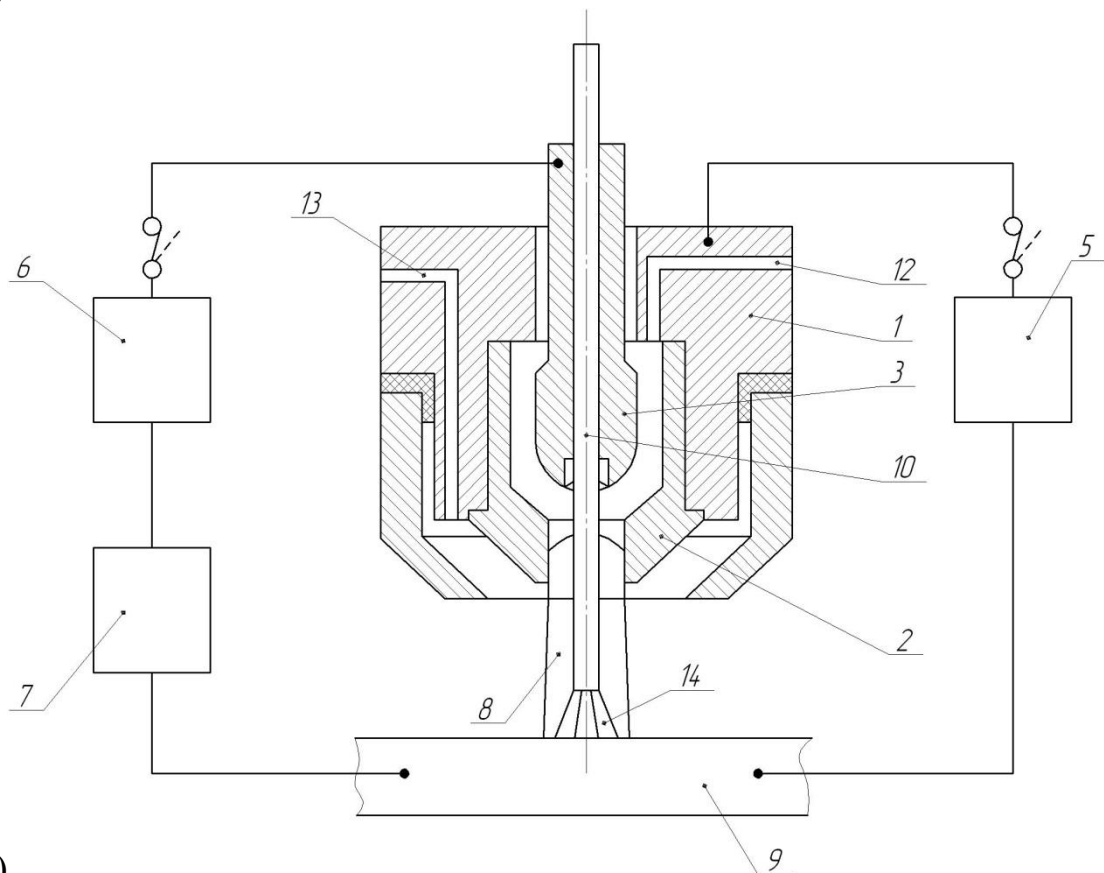
В отверстие 10 пускового электрода 3 вставляется плавящаяся проволока 4, которая имеет возможность поступательного перемещения относительно пускового электрода 3. Каналы для подачи охлаждающей воды выполнены в корпусе 1. Плазмообразующий и защитный газы подаются через каналы 12 и 13, которые также выполнены в корпусе 1.

В процессе сварки к источнику питания 5 подключены кольцевой неплавящийся электрод 2 и свариваемое изделие 9. К источнику питания 6 подключены осциллятор 7, пусковой электрод 3 и свариваемое изделие 9.

При сварке выполняют позиционирование плазматрона относительно свариваемой детали 9, включают подачу через каналы 12 и 13 плазмообразующего и защитного газов, а также подачу охлаждающей воды. Далее включают источник питания 6 и осциллятор 7. Под действием кратковременного включения осциллятора 7 между пусковым электродом 3 и изделием 9 загорается дуга 11. После включения источника 5 начинает гореть сварочная дуга 8, она горит между кольцевым электродом 2 и изделием 9. После загорания дуги 8 включают подачу плавящегося электрода 4. В момент выхода плавящегося электрода 4 из осевого отверстия 10 загорается дуга 14, которая горит между электродом 4 и изделием 9, а дуга 11 между пусковым электродом 3 и изделием 9 гаснет.



а)



б)

Рисунок 11 – Работа предлагаемого плазматрона:  
а) возбуждение дуги, б) сварка



## 2.5 Расчёт эффективной мощности сварки

Для предварительной оценки величины эффективной мощности при точечной плазменной сварке проведём математическое моделирование процесса нагрева при сварке. Для этого детали представим в виде бесконечной пластины, нагреваемой линейным источником тепла [15], [22], как показано на рисунке 12. Действие этого источника будет происходить в течение времени сварки  $t_{св}$ . Тогда в соответствии с принципом суперпозиции температурных полей (их суммирования от различных источников тепла) суммарное температурное поле будет определяться как сумма температур  $dT$  от элементарных мгновенных источников тепла, действующих на отрезке времени  $0 \dots t_{св}$ :

$$dT = \frac{qdt}{\delta c\rho(4\pi at)} e^{-\frac{r^2}{4at}}, \quad (1)$$

где  $q$  – мощность источника тепла, Вт;

$\delta$  – толщина нагреваемого тела (двойная толщина пластины), см;

$a$  – коэффициент температуропроводности,  $a=1 \text{ см}^2/\text{с}$  ;

$c\rho$  – удельная теплоёмкость,  $c\rho=2,7 \text{ Дж}/\text{см}^3 \cdot \text{°C}$ ;

$t$  – время, прошедшее после действия источника тепла, с;

$r$  – расстояние от источника тепла, см.

Тогда закон распределения тепла в нагреваемой пластине будет выражаться зависимостью:

$$T = \int_0^{t_{св}} \frac{qdt}{\delta c\rho(4\pi at)} e^{-\frac{r^2}{4at}}, \quad (2)$$

где  $t_{св}$  – время сварки, с.

Мощность  $q$  линейного источника тепла определим из тока дуги  $I_\delta$  и напряжения на дуге  $U_\delta$ :

$$q = \eta \cdot I_\delta \cdot U_\delta, \quad (3)$$

где  $\eta$  - эффективный КПД сварки ( $\eta=0,8$ ).

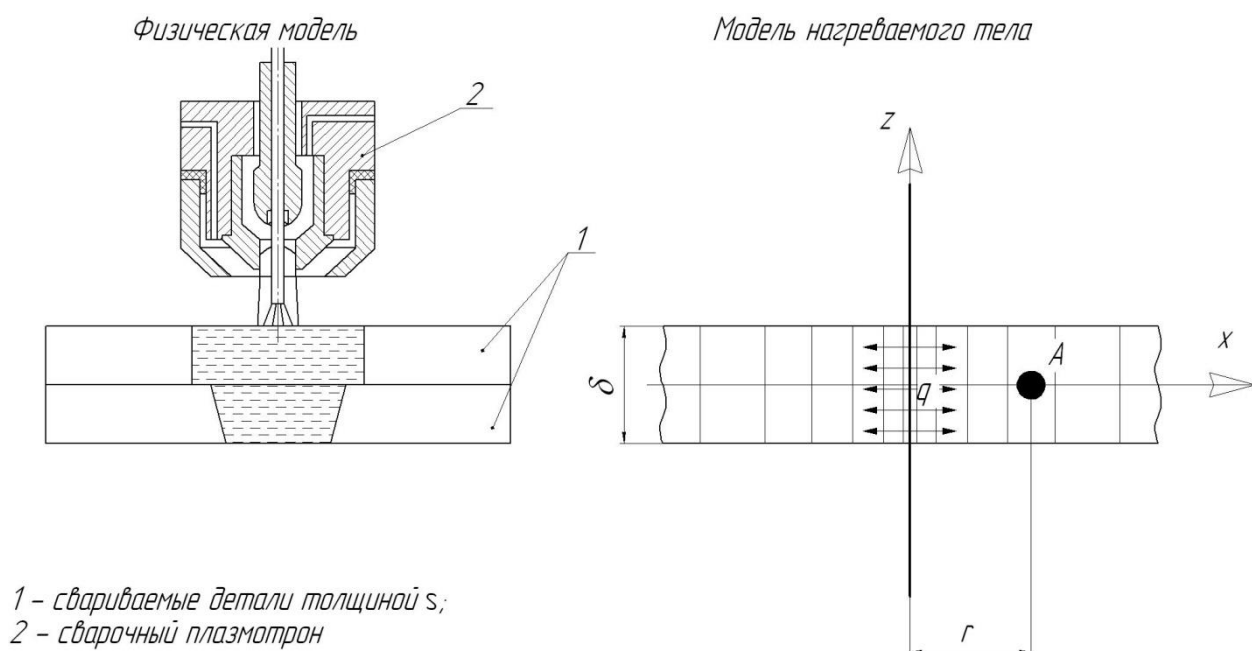


Рисунок 12 – Расчётная схема при моделировании

При сварке толщин 2+2 мм диаметр сварной точки должен составлять не менее 7 мм (радиус 3,5 мм), толщин 3+3 мм – не менее 9 мм (радиус 4,5 мм). С использованием формулы (3) были рассчитаны температуры на расстоянии 3,5 мм для толщины 2+2 мм и 4,5 мм для толщины 3+3 мм при различных значениях времени сварки  $t_{св}$  и эффективной мощности  $q$  сварки, как показано на рисунке 13 и рисунке 14.

Если принять предельную температуру в точке замера 660 °С, то внутри описываемой окружности с принятым радиусом (3,5 мм для 2+2 мм и 4,5 мм для 3+3 мм) температура будет выше температуры плавления. Время достижения такого состояния (получение точки необходимого радиуса) для каждой мощности может быть определено путём построения перпендикуляра на ось времени от точки 600 °С на графиках (рисунок 13 и рисунок 14), что хорошо сходится с данными [12], [19]. Параметры теплового воздействия сжатой дуги представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры теплового воздействия дуги

	2000 Дж	2500 Дж	3000 Дж	3500 Дж	4000 Дж	4500 Дж
2+2 мм	4,5 с	2 с	1 с	-	-	-
3+3 мм	-	-	8 с	4 с	2,5 с	2 с

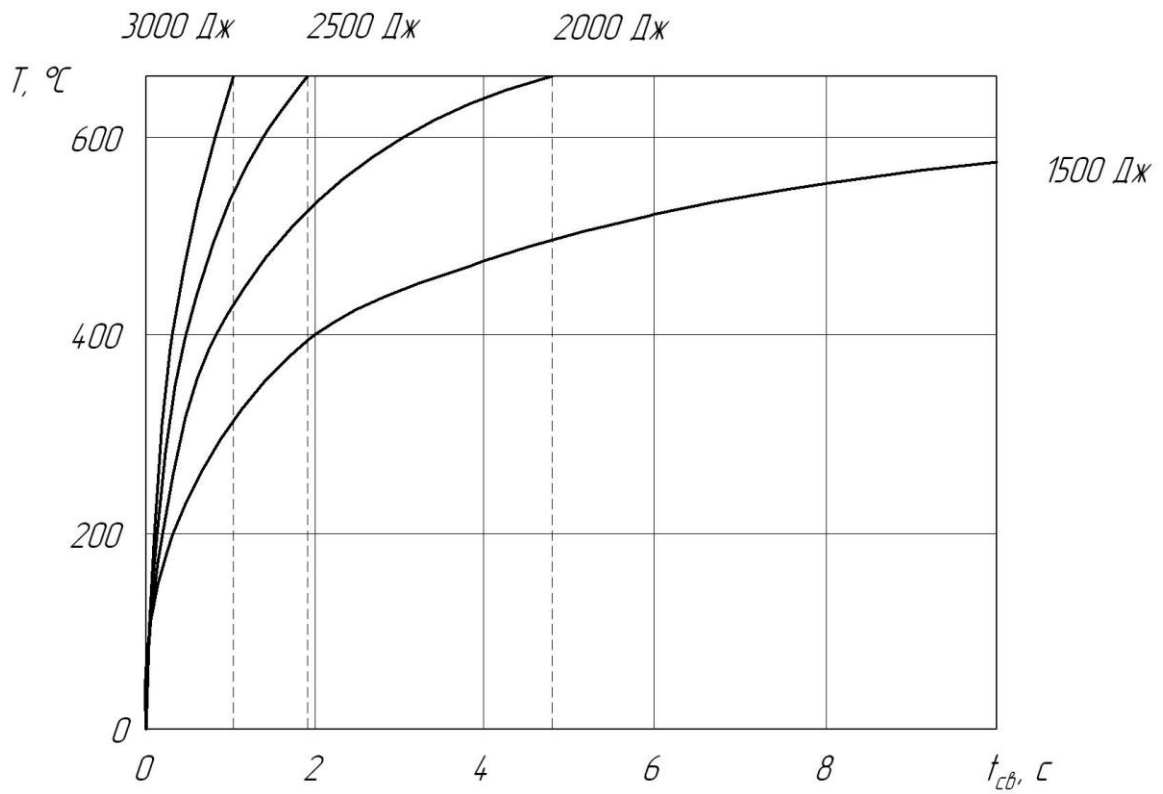


Рисунок 13 – Температура на расстоянии 3,5 мм от оси точки для толщины 2+2 мм при различной эффективной мощности дуги

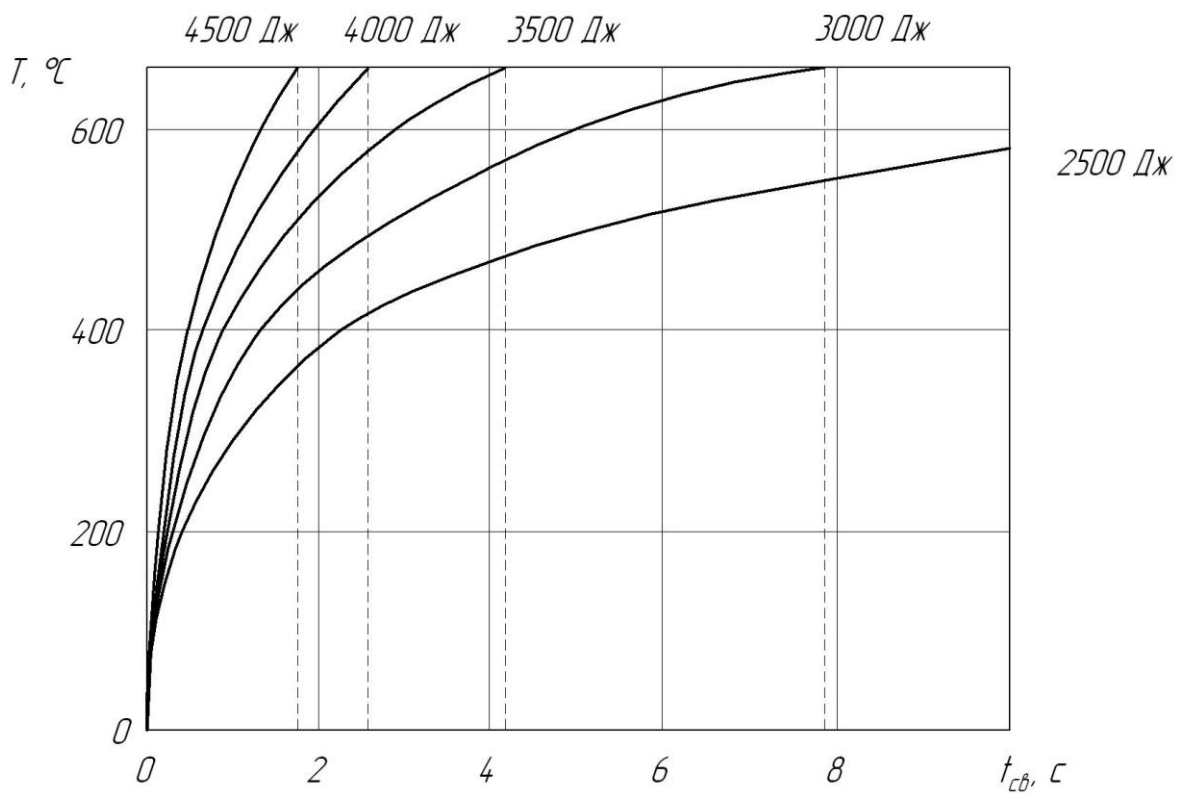


Рисунок 14 – Температура на расстоянии 4,5 мм от оси точки для толщины 3+3 мм при различной эффективной мощности дуги

## Выводы по второму разделу

В первом разделе выпускной квалификационной работы были поставлены задачи:

- выполнить анализ схем питания плазменной дуги,
- модернизировать конструкцию плазматрона,
- оптимизировать параметры режима плазменной точечной сварки.

Был выполнен анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменной точечной сварки, рассмотрены различные схемы питания сжатой дуги.

На основании проведённого анализа показана эффективность плазменной сварки на постоянном токе обратной полярности, при которой обеспечивается высокая эффективность катодной очистки поверхности деталей от окислов и других загрязнений.

Повышение эффективности сварки может быть получено при устранении главного недостатка сварки на постоянном токе обратной полярности – повышенного износа частей плазматрона под усиленной тепловой нагрузкой.

С использованием математического моделирования выполнена оптимизация параметров режима точечной плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов.

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы необходимо идентифицировать опасные и вредные производственные факторы, предложить меры по их устранению [4], [5].

Также необходимо провести экономические расчёты, доказывающие эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство [8], [10].

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

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

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности плазменной точечной сварки деталей кузова автомобиля.

При выполнении операций технологического процесса плазменной точечной сварки деталей кузова автомобиля предусматривается: подготовка поверхности деталей, загрузка деталей в транспортёр-накопитель, сварка, разгрузка, контроль качества.

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

Кроме того, предстоящий анализ позволит не только устранить профессиональные риски, но и повысить пожарную безопасность технического объекта, паспорт которого представлен в таблице 3.

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

Таблица 3 – Технологический паспорт участка ремонтной сварки магистрального трубопровода

«Составляющая технологический процесс операция»	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества» [5]
подготовка поверхности деталей	Слесарь-сборщик	камера помывочная, камера сушильная,	раствор кальцинированной соды, сжатый воздух
загрузка деталей в транспортёр-накопитель	Электросварщик	транспортёр-накопитель	сжатый воздух
сварка	Электросварщик	плазменная горелка, источник питания, сварочный робот, транспортёр-накопитель, кондуктор	сжатый воздух, вода техническая, аргон, проволока сварочная
разгрузка	Слесарь-сборщик	тара оборотная, транспортёр-накопитель	сжатый воздух
контроль качества	Дефектоскопист	ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i	масло

Разделение проектного технологического процесса на операции позволяет идентифицировать профессиональные риски на каждой операции и обосновать выбор средства защиты от них.

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

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

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Профессиональные заболевания и травмы работников, которые были задействованы при выполнении проектного технологического процесса, возникают в результате негативного действия факторов, являющихся профессиональными рисками. При этом воздействия, вызывающие резкое ухудшение состояния человека, травмы и гибель, относятся к опасным производственным факторам. Воздействия, вызывающие появление у работников хронических заболеваний, относятся к вредным производственным факторам.

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 4.

На основании данных таблицы 4 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги;
- ультрафиолетовое излучение;
- инфракрасное излучение;
- ультразвуковое излучение.

Таблица 4 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

«Операция технологического процесса	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [5]
подготовка поверхности деталей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> </ul>	камера помывочная, камера сушильная,
загрузка деталей в транспортёр-накопитель	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> </ul>	транспортёр-накопитель
сварка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> </ul>	плазменная горелка, источник питания, сварочный робот, транспортёр-накопитель, кондуктор
разгрузка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> </ul>	тара оборотная, транспортёр-накопитель
контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> </ul>	ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i

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



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

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

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [4], [5] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 5, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Для уменьшения профессиональных рисков предлагается:

- проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда;
- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;
- оснащение оборудования защитной блокировкой;
- установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону;
- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства;
- применение устройств защитного отключения электропитания оборудования;
- применение защитного заземления и зануления оборудования;
- контроль состояния защитных устройств и изоляции;
- инструктаж по электробезопасности;
- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения;
- автоматизация технологических процессов.

Таблица 5 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

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

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

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

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

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

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

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

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

В таблице 6 представлена идентификация факторов пожара.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 7.

Таблица 6 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок с установленным на нём технологическим оборудованием	Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [4]	Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания

Таблица 7 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [5]
Проведение сборки и сварки деталей кузова автомобиля из алюминиевых сплавов	- Проведение «ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. - Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [2]	- Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. - На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения.

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 8. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 8 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

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

### 3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

При реализации предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений возникают не только опасные и вредные производственные факторы, но происходит негативное воздействие на окружающую среду. Борьбе с опасными и вредными производственными факторами посвящена предыдущая часть раздела. Устранению негативных антропогенных воздействий посвящена настоящая часть раздела. Необходимость повышения экологической ответственности предприятий повышает актуальность экологической повестки и заставляет принимать меры по защите атмосферы, гидросферы и литосферы.

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 10.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 9.

Таблица 9 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

Технологический процесс	Операции, технологического процесса	Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду		
		в атмосфере	в гидросфере	в литосфере
Проведение сборки и сварки деталей кузова автомобиля из алюминиевых сплавов	подготовка поверхности деталей	-	-	частицы упаковки, бытовой мусор
	загрузка деталей в транспортёр-накопитель	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
	сварка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	разгрузка	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
	контроль качества	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 10 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [5]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [5]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [5]

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

## Выводы по экологическому разделу

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

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

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

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

Таким образом, предложенные в исполнительском разделе выпускной квалификационной работы технические решения не несут недопустимых профессиональных рисков и не оказывают недопустимого антропогенного действия на окружающую среду.

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

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

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности плазменной точечной сварки деталей кузова автомобиля.

При выполнении операций технологического процесса плазменной точечной сварки деталей кузова автомобиля предусматривается: подготовка поверхности деталей, загрузка деталей в транспортёр-накопитель, сварка, разгрузка, контроль качества.

При контактной точечной сварке, которая принята за базовый вариант технологии, предусматривается применение стационарной контактной машины значительной мощности и габаритов, что связано с особенностями контактной сварки алюминиевых сплавов. Также наблюдается значительное снижение производительности по причине большого числа дефектных точек, которые необходимо исправлять. Также следует иметь ввиду, что в базовом, как и в проектном варианте технологии, предусматривается наличие промышленного робота, который обеспечивает автоматизацию основных и вспомогательных сварочных процессов. Поэтому стоимость применяемого оборудования в базовом и проектном вариантах будет различаться незначительно. Кроме того, применяемая в базовом варианте контактная машина имеет стоимость выше, чем оборудование для точечной плазменной сварки

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 11 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.



Таблица 11 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	3450 тыс.	2800 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	250	200
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,2	3,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	$(P/m^2)/год$	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	$P/m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [8]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

При расчётах предстоит определить фонд времени работы оборудования, оценить себестоимость проведения работ по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитать капитальные затраты.

## 4.2 Расчёт объёмов фонда времени

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

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

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

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (4)$$

При подстановке исходных значений в формулу (4) получаем:

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

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

$$F_э = F_H (1 - B/100). \quad (5)$$

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем:

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

### 4.3 Расчёт штучного времени

При расчёте штучного времени будем вести вычисления для сварки одного кузова автомобиля, содержащего 5000 точек. Годовую программы выполнения работ можно рассчитать, зная штучное время, которое определяет временные затраты на выполнение проектного и базового процессов применительно к одной единице изделия из годовой программы. Величину штучного времени для проектного и базового вариантов технологии определяем с учётом нормирования труда сварщика по технологической карте.

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

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (6)$$

При подстановке исходных значений в формулу (6) получаем для базового варианта:  $t_{шт.баз} = 0,4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,7$  часа, проектного варианта:  $t_{шт.пр} = 0,3 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,5$  часа.

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

$$P_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт.}} \quad (7)$$

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем для базового варианта:  $P_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/0,7 = 2900$  кузовов за год, проектного варианта:  $P_{\Gamma.\text{пр.}} = 2054/0,5 = 4108$  кузовов за год.

При проведении последующих экономических расчетов примем годовую программу для проектного и базового вариантов технологии  $P_{\Gamma} = 2000$  кузовов в год, что примерно соответствует количеству экспериментальных кузовов. При дальнейшем расширении производства можно будет рассмотреть варианты увеличения программы выпуска.

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

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт.}} \cdot P_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (8)$$

При подстановке исходных значений в формулу (58) получаем для базового варианта:  $n_{\text{расч}} = 0,7 \cdot 2000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,7$ , проектного варианта:  $n_{\text{расч}} = 0,5 \cdot 2000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,5$ .

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

$$K_{\text{э}} = n_{\text{расч}} / n. \quad (9)$$

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта:  $K_{\text{э.б.}} = 0,7/1 = 0,7$ ; проектного варианта:  $K_{\text{э.п.}} = 0,5/1 = 0,5$ .

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

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

Проведение операции сварки при контактной точечной сварке и плазменной точечной сварке требует затрат материалов. При базовом варианте и проектном варианте это будут электроды и техническая вода. При проектном варианте это будут техническая вода, сварочная проволока и аргон. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты  $M$  на материалы с учётом цены материалов  $C_M$ , нормы расхода материалов  $H_p$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$ , воспользовавшись формулой:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (10)$$

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем:

$$M_{\text{баз.}} = (3500 \cdot 0,028 + 200 \cdot 0,35) \cdot 1,05 = 170 \text{ руб.};$$

$$M_{\text{пр.}} = (7100 \cdot 0,04 + 300 \cdot 0,46 + 200 \cdot 0,15) \cdot 1,05 = 452 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_d . \quad (11)$$

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{\text{осн}} = 0,7 \cdot 200 \cdot 1,88 = 236 \text{ руб.}$ ; проектного варианта технологии:  $Z_{\text{осн}} = 0,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 188 \text{ руб.}$

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 263 \cdot 12 / 100 = 32$  руб.; проектного варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 188 \cdot 12 / 100 = 23$  руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ . При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 236 + 32 = 268$  руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 188 + 23 = 211$  руб.

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

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (13)$$

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 268 \cdot 34 / 100 = 91$  руб.; для проектного варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 211 \cdot 34 / 100 = 72$  руб.

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

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (14)$$

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

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (15)$$

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового варианта:  $A_{об.} = 3450000 \cdot 21,5 \cdot 0,7 / 2054 / 100 = 252$  руб.; для проектного варианта:  $A_{об.} = 2800000 \cdot 21,5 \cdot 0,5 / 2054 / 100 = 146$  руб.

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

$$P_{ээ} = M_{уст.} \cdot t_{маш.} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (16)$$

При подстановке исходных значений в формулу (16) получаем для базового варианта:  $P_{ээ} = 0,7 \cdot 250 \cdot 3,2 / 0,7 = 800$  руб. Для проектного варианта получаем:  $P_{ээ} = 0,5 \cdot 200 \cdot 3,2 / 0,85 = 380$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта:  $Z_{об} = 252 + 800 = 1052$  руб. Для проектного варианта технологии получаем:  $Z_{об} = 146 + 380 = 526$  руб.

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

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{сн} + Z_{об}. \quad (17)$$

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем для базового варианта:  $C_{тех.} = 170 + 268 + 91 + 800 = 1329$  руб. Для проектного варианта:  $C_{тех.} = 452 + 211 + 72 + 380 = 1115$  руб.

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (18) получаем для базового:  $C_{\text{цех}} = 1329 + 1,5 \cdot 263 = 1329 + 395 = 1724$  руб. Для проектного:  $C_{\text{цех}} = 1115 + 1,5 \cdot 188 = 1115 + 282 = 1397$  руб.

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

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (19)$$

При подстановке исходных значений в формулу (19) получаем для базового:  $C_{\text{зав}} = 1724 + 1,15 \cdot 263 = 1724 + 302 = 2026$  руб. Для проектного:  $C_{\text{зав}} = 1397 + 1,15 \cdot 188 = 1397 + 216 = 1613$  руб.

В таблице 12 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 12 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. «Затраты на материалы	М	170	452
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	268	211
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	91	72
4. Затраты на оборудование	Зоб	800	380
5. Технологическая себестоимость	Стех	1329	1115
6. Объём цеховых расходов	Рцех	395	282
7. Цеховая себестоимость	Сцех	1724	1397
8. Объём заводских расходов	Рзав	302	216
9. Заводская себестоимость» [10]	$C_{\text{зав}}$	2026	1613

Как видно из таблицы 12, проведение производственного процесса по проектной технологии характеризуется меньшей заводской себестоимостью.



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

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

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{з.б.} \quad (20)$$

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

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (21)$$

При подстановке исходных значений в формулу (21) получаем остаточную стоимость  $\Pi_{\text{об.б.}} = 3450000 - (3450000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 1966500$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (20) получаем величину общих капитальных затрат  $K_{\text{общ. б.}} = 1966500 \cdot 0,7 = 1376550$  руб.

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (22)$$

Объём капитальных вложений в оборудование  $K_{об}$  при осуществлении проектного технологического процесса рассчитывается с учётом цены оборудования  $C_{об}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{з.п.}$ , который был рассчитан ранее. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{об.пр.} = C_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{з.п.} \quad (23)$$

При подстановке исходных значений в формулу (23) капитальные вложения в оборудование  $K_{об.пр.} = 2800000 \cdot 1,05 \cdot 0,5 = 1470000$  руб.

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

$$P_{соп} = P_{дем} + P_{монт} \quad (24)$$

Расходы на демонтаж  $P_{дем}$  определяются исходя из стоимости оборудования по базовому варианту с учётом коэффициента затрат на демонтаж  $K_{дем}$ . При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{дем} = C_{об. б.} \cdot K_{д.} \quad (25)$$

При подстановке исходных значений в формулу (25) расходы на демонтаж оборудования составили:  $P_{дем} = 3450000 \cdot 0,05 = 172500$  руб.

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

$$P_{монт} = C_{об. пр.} \cdot K_{м.} \quad (26)$$

При подстановке исходных значений в формулу (26) расходы на монтаж оборудования составили:  $P_{монт} = 2800000 \cdot 0,05 = 140000$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (24) сопутствующие расходы составили:  $P_{\text{соп}} = 172500 + 140000 = 312500$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили:  $K_{\text{общ.пр.}} = 312500 + 1470000 = 1782500$  руб.

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр.}} - K_{\text{общ.б.}} \quad (27)$$

При подстановке исходных значений в формулу (27) дополнительные капитальные вложения составят:  $K_{\text{доп}} = 1782500 - 1376550 = 405950$  руб.

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

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ.}} / \Pi_{\text{г}} \quad (28)$$

При подстановке исходных значений в формулу (28) удельные капитальные вложения по базовому:  $K_{\text{уд}} = 1376550/2000 = 688$  руб. на один кузов. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют:  $K_{\text{уд}} = 1782500/2000 = 891$  руб. за один кузов.

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

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

- снижение трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ ;
- повышение производительности труда  $P_T$ ;
- снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ ;
- условно-годовая экономия  $P_{ок}$ ;
- срок окупаемости капитальных вложений  $T_{ок}$ ;
- годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_r$ .

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт.б.} - t_{шт.пр.}) \cdot 100 \% / t_{шт.б.} \quad (29)$$

При подстановке исходных значений в формулу (29) снижение трудоёмкости составило:  $\Delta t_{шт} = (0,7 - 0,5) \cdot 100 \% / 0,7 = 28 \%$ .

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

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}). \quad (30)$$

При подстановке исходных значений в формулу (30) повышение производительности труда составило:  $P_T = 100 \cdot 28 / (100 - 28) = 38 \%$ .

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

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.}, \quad (31)$$

При подстановке исходных значений в формулу (31) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило:  $\Delta C_{\text{тех}} = (1724 - 1397) \cdot 100\% / 1724 = 19\%$ .

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

$$\Pi_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}}) \cdot \Pi_{\text{г}}. \quad (32)$$

При подстановке исходных значений в формулу (32) условно-годовая экономия составила:  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (2026 - 1613) \cdot 2000 = 826000$  руб.

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

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}}. \quad (33)$$

При подстановке исходных значений в формулу (33) срок окупаемости дополнительных составил:  $T_{\text{ок}} = 405950 / 826000 = 0,5$  года.

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

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (34)$$

При подстановке исходных значений в формулу (34) годовая экономия составила:  $\mathcal{E}_{\text{г}} = 826000 - 0,33 \cdot 405950 = 692036$  руб.

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

## Выводы по экономическому разделу

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

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

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

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 28 % и увеличить производительность на 38 %.

Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 19%. При этом условно-годовая экономия составила 0,826 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,5 года. При этом годовой экономический эффект составит 0,692 млн. рублей.

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

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности проведения работ при сварке кузова автомобиля с применением плазменной точечной сварки.

Во втором (исполнительском) разделе решены задачи:

- выполнить анализ схем питания плазменной дуги,
- модернизировать конструкцию плазматрона,
- оптимизировать параметры режима плазменной точечной сварки.

При решении первой задачи выполнен анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменной точечной сварки, рассмотрены различные схемы питания сжатой дуги. На основании проведённого анализа показана эффективность плазменной сварки на постоянном токе обратной полярности, при которой обеспечивается высокая эффективность катодной очистки поверхности деталей от окислов и других загрязнений.

При решении второй задачи показано, что повышение эффективности сварки может быть получено при устранении главного недостатка сварки на постоянном токе обратной полярности – повышенного износа частей плазматрона под усиленной тепловой нагрузкой. Предложена оригинальная конструкция плазматрона для плазменной точечной сварки.

При решении третьей задачи с использованием математического моделирования выполнена оптимизация параметров режима точечной плазменной сварки деталей из алюминиевых сплавов.

В оценочной части выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность внедрения результатов выпускной работы в массовое производство.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Баженов А. М., Панов А. И., Гилев И. А. Плазменная сварка алюминиевых сплавов малых толщин // Вестник ПНИНУ. 2015. № 3. С. 5-12.
2. Банов М. Д., Казаков Ю. В., Козулин М. Г. Сварка и резка материалов : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.
3. Беленин Д. С. Совершенствование технологии плазменной поверхностной обработки тяжело нагруженных изделий из высоколегированных сталей : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2014
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
5. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Климов А. С., Смирнов И.В., Кудинов А.К., Кудинова Г. Э. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки // С.-П.: Изд-во «Лань», 2021. 336 с.
7. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. Тольятти : ТГУ, 2009. 335 с.
8. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
9. Кудрявцев С. М., Пачурин Г. В., Соловьёв Д. В. Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля. Н. Новгород : Издательство НГТУ, 2010. 236 с.
10. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
11. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет.: К.В. Фролов (пред.) [и д.р.] – М.: Машиностроение. – Измерения, контроль, испытания и



диагностика. Том 3 / В.В. Ключев [и д.р.]; под общ. ред. В.В. Ключева. 1996, 464 с.

12. Нагорный П. Н., Медведев А. З., Асмолов А. С. Полуавтоматическая сварка электродными конструкциями из алюминиевых сплавов // Сварочное производство. 1977. № 2. С. 14–15

13. Патент № 2479394 РФ. МКИ В23К10/02 Горелка для точечной плазменной сварки / К.В. Моторин, В.П. Сидоров, Г.М. Короткова; Бюл. № 11. 2013.

14. Резник Г. Законы диалектики в автомобильном секторе // Металлы мира. 2003. № 5.

15. Рыкалин Н. Н. Расчёты тепловых процессов при сварке // М.: Машиностроение, 1951. 296 с.

16. Сидоров В. П., Короткова Г. М., Забияка И. С. Влияние способов подачи плазмообразующего газа на пятно нагрева при сварке сжатой дугой // Вестник науки ТГУ. № 3. 2012. С. 97-101.

17. Сидоров В.П. Научные основы проектирования технологических процессов и оборудования для обработки алюминиевых сплавов трехфазной сжатой дугой // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Тольятти, 1999. 399 с.

18. Сидоров В. П. Расчет теплоотвода в сопло плазмотрона от столба плазменной аргоновой дуги // Сварочное производство. 1987. № 2. С. 36–37.

19. Столбов В. И., Сидоров В. П., Куркин И. П. Оптимизация режимов трёхфазной сжатой дуги при сварке алюминия электродными конструкциями // Сварочное производство. 1989. № 10. С. 7–9.

20. Триндюк Л.М., Петров Р.Л. Материалы в автомобиле // Автомобильная промышленность. 1998. № 6. С. 30-33.

21. Фридляндер И. Н., Сандлер В. Г., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы - перспективный материал в автомобилестроении // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 9. С. 3-9.

22. Фролов В. В., Волченко В. Н., Ямпольский В. М. Теория сварочных процессов // М.: Высш. шк. 1988. 559 с.
23. Шиганов И. Н., Шахов С. В., Лукин В. И. Особенности лазерной сварки термоупрочненного алюминиевого сплава АД37 // Сварочное производство. 2003. № 12. С. 34–39.
24. Шиганов И. Н., Шахов С. В., Холопов А.А. Лазерная сварка алюминиевых сплавов авиационного назначения // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2012. С. 34–50.
25. Щицын Ю. Д., Беленин Д. С., Неулыбин С. Д. Определение падения напряжения на анодном участке дуги при плазменной обработке металлов // Вестник ПНИНУ. 2015. № 2. С. 5-12.
26. Щицын Ю. Д., Гилев И. А., Беленин Д. С. Плазменная сварка алюминиевых сплавов при работе двухдугового плазматрона на токе обратной полярности // Вестник ПНИПУ. 2015. № 3. С. 61-70.
27. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А. Влияние полярности на тепловые нагрузки плазматрона // Сварочное производство. 1997. № 3. С. 23–25.
28. Щицин Ю. Д., Косолапов О. А., Струков Н. Н. Распределение энергии в сжатой дуге при работе плазматрона на токе прямой и обратной полярности // Вестник ТГПУ. № 2. 2010. С. 8-14.
29. Щицын Ю.Д., Косолапов О.А., Щицын В.Ю. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности // Сварка и диагностика. 2009. № 2. С. 42–45.
30. Щицын В. Ю., Язовских В. М. Влияние полярности на тепловложение в сопло плазматрона // Сварочное производство. 2002. № 1. С. 17–19.
31. Эсибян Э. М. Плазменно-дуговая аппаратура. Киев: Техника, 1971. 164 с.