



## АННОТАЦИЯ

Цель настоящей работы – повышение качества ремонтных сварных соединений кузова легкового автомобиля и производительности ремонта.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) установлены параметры режима сварки;
- 2) составлена проектная технология сварки дефектов кузова с использованием предлагаемого способа сварки и выбранных параметров режима сварки и технологического оборудования;
- 3) произведен экологический анализ предложенных технологических решений на предмет возможной опасности для окружающей среды и персонала участка кузовного ремонта;
- 4) произведена экономическая оценка предлагаемых технических решений на предмет эффективности их внедрения в производство.

Пояснительная записка содержит 55 стр., 10 рисунков, 5 таблиц.

Для повышения эффективности механизированной сварки дефектов кузова предложено применить импульсную подачу проволоки. Разработана технология сварки дефектов кузова. Подобрано соответствующее оборудование.

Для защиты персонала от вредных факторов предложены соответствующие технические и организационные мероприятия.

Проведена экономическая оценка проекта.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений.....	7
1.1 Основные дефекты кузова автомобиля, исправляемые сваркой.....	7
1.2 Оценка свариваемости материала автомобильного кузова. ....	9
1.3 Описание применяемого технологического процесса ремонта кузовов сваркой. ....	12
1.4 Задачи работы.....	16
2 Разработка проектной технологии .....	18
2.1 Выбор способа сварки .....	18
2.2 Определение параметров режима сварки.....	21
2.3 Проектный технологический процесс сварки.....	24
3 Оборудование для импульсной подачи проволоки. ....	26
4 Безопасность и экологичность технического объекта. ....	28
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта. .....	28
4.2 Риски, сопровождающие технологию сварки труб. ....	29
4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков .....	29
4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки.....	30
4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	32
4.6 Заключение по разделу .....	33
5 Экономическая эффективность проекта.....	35
5.1 Исходные данные для экономического обоснования .....	36
сравниваемых вариантов .....	36
5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса.....	37
5.3 Расчет затрат на новое оборудование .....	38

5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений.....	49
5.6 Выводы по разделу.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	53

## ВВЕДЕНИЕ

Создание технического объекта, в котором все узлы и детали изнашиваются и приходят в полную негодность одновременно не представляется возможным. Поэтому экономически целесообразным является ремонт, при котором уже достигшие крайней степени своего износа детали и узлы заменяются на новые.

Наиболее дорогостоящим узлом автомобиля является его кузов. В процессе эксплуатации автомобиля он воспринимает все нагрузки, на него действуют коррозионные среды, большие значения перепадов температур. Выход кузова из строя приводит к невозможности эксплуатации автомобиля.

Кроме того, одна из особенностей современных автомобильных кузовов – он является, по сути, монолитной деталью, так как листовые панели соединены сваркой. Поэтому ремонт повреждений кузова характеризуется множеством особенностей и является ответственной задачей авторемонтных предприятий.

Если при производстве кузова большинство соединений листовых панелей выполняется контактной точечной сваркой, то при ремонте повреждений кузова основная технология – дуговая и газовая сварка. Следует отметить, что листовые панели кузова отличаются сравнительно небольшими толщинами, в пределах 1 мм. Сварка данных толщин обладает рядом особенностей. С другой стороны при производстве кузова на предприятиях автомобилестроения соединяют строго одинаковые кузовные панели. При ремонте практически каждый дефект кузова является индивидуальным по геометрии и расположению его является случайным. Как следствие – ремонтная сварка практически не поддается автоматизации.

Поэтому применение новых разработок в области дуговой сварки для кузовного ремонта является актуальным.

Наиболее перспективным направлением модернизации дуговой сварки кузова является применение импульсных процессов горения сварочной дуги [1]. Дуговая сварка может выполняться с применением следующих

разновидностей импульсных процессов: модулированный ток; импульсно-дуговая сварка; сварка пульсирующей дугой; пульсирующая подача сварочной проволоки. Подбор наиболее подходящего варианта для ремонтных технологий автомобильного кузова следует производить исходя из повышения производительности ремонта и качества.

Отсюда цель работы – повышение качества ремонтных сварных соединений кузова легкового автомобиля и производительности ремонта.

# 1 Анализ исходных данных и известных технических решений

## 1.1 Основные дефекты кузова автомобиля, исправляемые сваркой

Кузов автомобиля относится к базовым и самым дорогостоящим его узлам. На рисунке 1.1 показана схема кузова автомобиля 10го семейства – модификация универсал. На кузове закреплены остальные узлы и агрегаты.

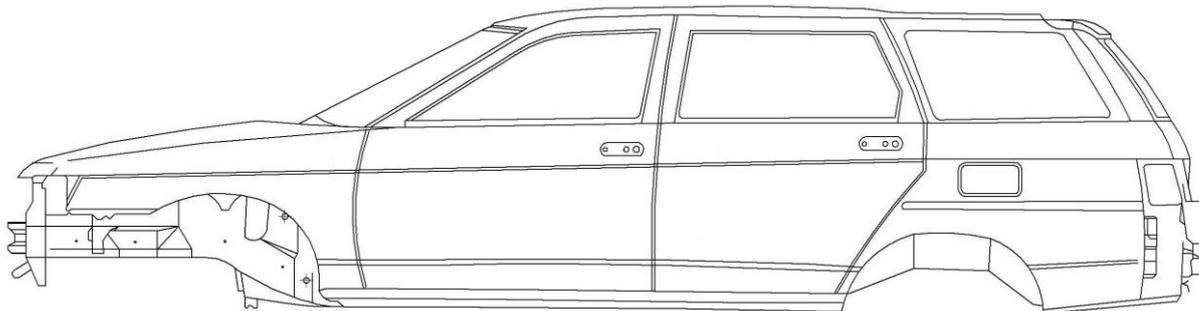


Рисунок 1.1 - Общий вид кузова автомобиля ВАЗ - 2111

Температурный диапазон эксплуатации кузова, применительно к российским реалиям составляет от +40 до –40. На кузов действуют статические и динамические нагрузки, появляющиеся при движении автомобиля и при его стоянке. Важной является такая функция кузова автомобиля – как пассивная безопасность. При различного рода авариях автомобиля кузов и его элементы защищают пассажиров и сами испытывают ударные нагрузки..

Следует отметить, что детали кузова защищены от воздействия агрессивных и коррозионных сред при эксплуатации автомобиля. Для защиты от коррозии весь кузов автомобиля проходит следующие этапы нанесения покрытий: обезжиривание; фосфатирование; катодорез; грунтование эпоксидным грунтом; окончательное грунтование; окраска; нанесение текстила в скрытых сечениях.

В процессе эксплуатации кузова действие комплекса факторов

приводит к тому, что элементы кузова – панели – испытывают различного рода повреждения. Наиболее просто решается вопрос при повреждениях лакокрасочного покрытия, если элементы кузова не повреждены коррозией, не деформированы. Процедура ремонта в данном случае стандартна. Зачистка поврежденного участка и нанесение лакокрасочного покрытия. При незначительных деформациях также ремонт прост. В некоторых случаях даже не требуется поправлять лакокрасочное покрытие. В перечисленных случаях применение технологии сварки не требуется.

Сварку применяют при разнообразных вариантах повреждения кузова. По размерам повреждений максимальные кузов получает при аварийных столкновениях. Наиболее опасны фронтальные столкновения или удары сбоку. При этом на кузов и его силовые элементы действуют значительные нагрузки, приводящие к деформациям, потере исходной геометрии отдельных панелей кузова и силовых элементов. Нарушается геометрия проемов дверей, отклоняются от первоначального положения стойки.

При незначительных по силе ударных нагрузках на кузов автомобиля могут возникнуть визуально не выявляемые деформации. Они проявляют себя заеданием при закрывании дверей, может нарушиться управляемость автомобиля. Точные значения деформаций для данного случая получаются при инструментальном контроле, на стендах и с применением калибров.

Повреждения кузова в результате аварий требуют, в ряде случаев, замены деталей, при этом требуется помощь сварщика. Но иногда достаточными являются методы правки, в том числе и на стендах, гидравлической правки. Естественно, после подобного рода воздействия на кузов требуется контроль его геометрии.

Также приходится включаться в работу сварщику и при некоторых эксплуатационных повреждениях кузова. Вмятины могут исправляться сравнительно легко, но возможно появление сложных вмятин, с загибами и острыми краями.

Часто при эксплуатации появляются трещины. Причиной их появления могут быть как значительные силовые воздействия вследствие нарушения правил эксплуатации транспортного средства, так и скрытый производственный брак.

Опасными являются коррозионные повреждения. При стремительном развитии процессов коррозии и своевременном неприятии мер возможны коррозионные повреждения, требующие замены кузовных панелей, и, соответственно, вмешательства сварщика.

Также, в ряде случаев, происходит разрушение сварных швов, как выполненных точечной сваркой, так и дуговой.

Интересный вид повреждений кузова – износы отверстий и стержней. Кузов современного автомобиля несущий, крепление узлов и агрегатов автомобиля к кузову реализуется разными способами. Из-за систематических нагрузок, прилагаемых к стержням и поверхностям отверстий происходит их износ.

## **1.2 Оценка свариваемости материала автомобильного кузова.**

Для обоснованного подбора присадочных материалов и режимов сварки дефектного кузова необходима предварительная оценка свариваемости его материала. Методикам оценки свариваемости посвящены как отечественные, ГОСТ 29273–92, так и зарубежные, ИСО 581–80, стандарты.

Следует отметить, что принципиальный подход в оценке свариваемости совпадает и в отечественных и зарубежных стандартах. Его основу составляет комплексность в подходе, а именно, свариваемость зависит от множества факторов. Выделяют следующие четыре фактора, от которых зависит свариваемость. Первый фактор – это материал, его химический состав и, соответственно, свойства. Второй фактор – технология сварки. К третьему фактору относят тип сварной конструкции. И четвертый фактор – функциональное назначение конструкции.

Таким образом, заданный материал обладает свариваемостью, если при данном технологическом процессе сварки конструкции удастся получить соединение, которое отвечает техническим требованиям, предъявляемым к данному изделию.

Технические требования на данное изделие сформулированы в документации на его производство. Понятное дело, что разные сварные металлоконструкции эксплуатируются в разных условиях и требования к ним разные. Если из всего перечня эксплуатационных показателей, предъявляемых к сварной конструкции хотя бы один не достигается, при данном способе сварки, то материал не обладает свариваемостью. Однако применив другой способ сварки можно обеспечить достижение заданных значений всех эксплуатационных показателей, следовательно, при данном способе сварки материал будет обладать свариваемостью.

Поэтому анализируя свариваемость, исходя из указанных ранее факторов оценки, можно получить разные значения свариваемости.

Материал, соединенный одним способом сварки для изделия в одних условиях эксплуатации может быть признан обладающим свариваемостью, а для других условий эксплуатации может быть признан не обладающим свариваемостью.

Материал, соединение которого одним способом сварки получить не удастся, другим способом успешно соединяется.

Конструкция сварного соединения и его местоположение на металлоконструкции может быть таким, что соединение, отвечающее заданным условиям эксплуатации получено не может быть. В то же время, другой тип соединения, выполненный тем же способом сварки обеспечит получение соединения, отвечающего заданным условиям эксплуатации. Следовательно, материал свариваемостью обладает.

Для количественной оценки свариваемости производят вычисления по формулам, главным в которых является учет содержания химических элементов. Например, при расчете по соответствующей формуле

свариваемости низкоуглеродистой низколегированной стали принимают во внимание содержание в стали таких химических элементов, как С, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P. В зависимости от содержания перечисленных элементов выполняется расчет углеродного эквивалента. Формула, по которой можно рассчитать эквивалент углерода для таких сталей выглядит следующим образом [6]:

$$C_{\text{э}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cu}}{13} + \frac{\text{V}}{14} + \frac{\text{P}}{2},$$

После того, как определено численное значение эквивалента углерода начинается анализ его значений. Если полученные значения эквивалента углерода не превышают 0,25 данная сталь, а речь идет о низкоуглеродистой низколегированной стали, считается хорошо сваривающейся. Если значение эквивалента углерода превышает 0,25 но менее 0,35 то сталь считается удовлетворительно сваривающейся. Такие стали мало склонны к образованию холодных трещин, в ряде случаев требуется предварительный подогрев изделия. При значениях эквивалента углерода превышающих 0,35 но менее 0,45 то сталь считается ограниченно сваривающейся. В данной стали возможно образование закалочных структур, могут появляться холодные трещины. Поэтому применяют специальные технологические приемы.

Определить вероятность образования при сварке сталей горячих трещин можно используя формулу определения показателя Уилкинсона [9]:

$$\text{HCC} = \frac{C \left( S + P + \frac{\text{Si}}{25} + \frac{\text{Ni}}{100} \right) 10^3}{3\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}},$$

Аналогично первой формуле после выполненных расчетов проводят оценку появления горячих трещин по величине показателя и по величине предела прочности.

Конечно, приведенные формулы не учитывают всего многообразия действующих на конструкцию факторов и всех нюансов технологического

процесса сварки. Поэтому, в ряде случаев, для более точного ответа на вопрос о свариваемости того или иного материала руководствуются результатами сварки т.н. технологических проб. В мировой практике сварщиков можно насчитать около 300 разных технологических проб. В основном пробы позволяют оценить свариваемость по образованию холодных или горячих трещин.

### **1.3 Описание применяемого технологического процесса ремонта кузовов сваркой.**

Вначале выполняют мойку кузова, очистку его от загрязнений. Затем выполняется снятие старого лакокрасочного покрытия, контроль кузова, разработка технологической карты его ремонта. Как было сказано выше, повреждения кузова являются уникальными и разработать единую для всех случаев технологию его ремонта сваркой нереально.

Замена кузовной панели осуществляется в несколько этапов. Вначале на поврежденной панели намечают линию среза по всему периметру карандашом или мелом. Линию намечают так, чтобы остались полосы шириной 20-30 мм в местах приварки дефектной детали к другим панелям кузова. После чего срезают дефектную деталь абразивным отрезным кругом, ножницами по металлу. Теперь оставшиеся полосы удаляют выполнив высверливание сварных точек дрелью, на предприятии применяется дрель, рисунок 1.2, и при помощи плоскогубцев или тонкого зубила удаляют полосы.

Следующий этап – установка новой панели и тщательная подгонка по требуемой геометрии кузова. И наконец выполняется сварка.

Затем выполняется сварной шов. Как правило, на авторемонтных предприятиях используют механизированную сварку в среде углекислого газа. К параметрам режима здесь относят:

- полярность и сила сварочного тока;
- напряжение на дуге;

- диаметр и скорость подачи присадочной проволоки;
- скорость сварки;
- расход углекислого газа.



Рисунок 1.2 – Дрель Makita 6510LVR

Следующий этап – установка новой панели и тщательная подгонка по требуемой геометрии кузова. И, наконец, выполняется сварка.

Сварку в среде углекислого газа можно производить как постоянным током прямой полярности так и обратной полярности, а так же переменным током с помощью осциллятора.

При сварке постоянным током прямой полярности устойчивость дуги меньше, большая склонность к образованию пор в металле шва, меньше проплавление основного металла. Поэтому в подавляющем большинстве случаев сварку ведут постоянным током обратной полярности.

В нашем случае сварку кузова ведем на постоянном токе обратной полярности.

При сварке в среде углекислого газа низкоуглеродистых сталей, химический состав проволоки должен примерно соответствовать основному металлу. При использовании в качестве защитной среды углекислого газа происходит выгорание углерода, что приводит к образованию пор в сварных соединениях. Для уменьшения интенсивности порообразования в сварочную ванну элементы – раскислители. Раскислители вводят через электродную проволоку. Для сварки низкоуглеродистых сталей в среде углекислого газа применяют кремнемарганцовую проволоку марки Св-08Г1С (табл. 1.3, 1.4), так как это одна из марок проволоки, обеспечивающее получение швов с меньшей склонностью к образованию пор и трещин.

Таблица 1.3 - Химический состав проволоки марки Св-08Г1С

Марка проволоки	Содержание элементов в %						
	С не более	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
				Не более			
Св-08ГС	0,1	1,4-1,7	0,6-0,8	0,2	0,25	0,03	0,03

Таблица 1.4 - Механические свойства металла шва, сваренного на низкоуглеродистой стали в углекислом газе

Материал электродной проволоки	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$a_n$ при темпер. в °С		$a_n$ после механического старения МПа
					-20	+20	
					СВ-08ГС	300	

Принятые режимы дуговой сварки, таблица 1.5, призваны обеспечить формирование сварных соединений по ГОСТ 14771-76, при этом используется омеднённая сварочная проволока диаметром 0,8 мм Св08Г1С.

Таблица 1.5 - Параметры режима механизированной сварки в углекислом газе на деталях толщиной 2 мм [6, 7]

№	Параметр	Значение
1	Катет шва, мм	0,8
2	Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8
3	Число слоёв	1
4	Сварочный ток, А	90...130
5	Напряжение дуги, В	19...21
6	Скорость сварки, м/час	14...16
7	Расход газа на 1 слой, л/мин	8...10

Для ремонтной сварки узлов кузова на авторемонтном предприятии применяется применяется шланговый полуавтомат для дуговой сварки в среде защитных газов Форсаж-302. На рисунке 1.3 показан источник питания. Данный источник является инверторным.



Рисунок 1.3 – Полуавтомат Форсаж-302

Поскольку сварка механизированная, то источник питания укомплектован полуавтоматом, рисунок 1.4.



Рисунок 1.4 – Источник питания и полуавтомат

Аппарат сварочный постоянного тока ФОРСАЖ-302 промышленного применения предназначен для полуавтоматической сварки (режим «MIG/MAG») стальных материалов, деталей и агрегатов в качестве источника питания. Аппарат также может применяться для ручной электродуговой сварки (режим «ММА»).

#### **1.4 Задачи работы**

Цель настоящей работы – повышение качества ремонтных сварных соединений кузова легкового автомобиля и производительности ремонта.

При выполнении анализа состояния вопроса были рассмотрены операции типового технологического процесса сварки дефектов кузова автомобиля с использованием механизированной дуговой сварки проволокой

сплошного сечения, выявлены и обозначены возникающие в процессе его реализации недостатки.

На основании проведённого анализа сформулируем задачи выпускной квалификационной работы, последовательное выполнение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- 1) Подобрать режимы импульсной механизированной сварки для замены применяемого способа;
- 2) Разработать технологический процесс сборки и импульсной механизированной сварки окраек проволокой при ремонте дефектов кузова;
- 3) Разработать мероприятия по технике безопасности;
- 4) Экономически обосновать проект.

## **2 Разработка проектной технологии**

### **2.1 Выбор способа сварки**

За последние несколько лет новое технологическое развитие получил способ сварки плавящимся электродом в защитных газах. С появлением цифровых инверторных сварочных источников питания с мощными высокоскоростными процессорами началась активная разработка специализированных алгоритмов управления переносом электродного металла при сварке в защитных газах, обеспечивающих высокое качество получаемых сварных швов и «простоту техники сварки» даже при относительно невысокой квалификации и незначительных навыках сварщика [1]. Прежде всего, это обусловлено общей тенденцией развития сварочных технологий и оборудования, направленных на снижение влияния «человеческого фактора» на качество свариваемых изделий. Однако большее значение имеют разработки, связанные с расширением технологических возможностей и повышением производительности (эффективности) полуавтоматической сварки в защитных газах [2].

Таковыми новыми разработками в 2009 году стали процессы MIG/MAG сварки SpeedPuls, SpeedArc, SpeedUp и чуть позднее появился SpeedRoot, каждый из которых, имея свою оригинальную особенность применения, обеспечивал высокое качество сварных швов при максимальной производительности процесса сварки в защитных газах в конкретных условиях применения [3]. Алгоритмы управления такими процессами сварки реализованы программным обеспечением сварочных источников питания в виде синергетических программ (настроек) для сварки углеродистых сталей, нержавеющей сталей в смесях защитных газов (Ar и CO<sub>2</sub>) и алюминиевых сплавов в аргоне. Процесс SpeedRoot, предназначенный для сварки корневых проходов с формированием обратного валика реализован и для сварки в 100% CO<sub>2</sub>. Еще одним преимуществом явилось то, что все указанные выше процессы, можно включать на типовых сварочных аппаратах разработчика, наряду с обычными («стандартными») режимами полуавтоматической сварки

в защитных газах. Активация функций Speed-процессов производится изначально при предпродажной подготовке сварочного оборудования, либо по необходимости уже в процессе эксплуатации при возникновении соответствующих сварочных задач (дооснащение). Speed-процессы легко автоматизируются и поэтому активно применяются в автоматических и роботизированных сварочных установках.

В 2016 году совместно с модернизированным сварочным оборудованием серии S SpeedPuls XT представлено два усовершенствованных процесса сварки SpeedPuls XT, SpeedArc XT.

Применение импульсной дуги при MIG/MAG сварке сталей в основном связано с необходимостью обеспечения четко дозированного переноса электродного металла и как следствие обеспечение минимальных тепловложений, связанных с этим деформаций и т.п. Дозированность переноса как правило реализуется при помощи импульсов сварочного тока в определенном диапазоне. Недостатком традиционного импульсного процесса в свою очередь является меньшая производительность сварки. Отличие процесса SpeedPuls (и далее SpeedPuls XT) от традиционного импульсного процесса сварки заключается в том, что во время пауз между импульсами на долю миллисекунды включается струйный процесс переноса металла, т.е. за основной направляющей каплей следует вторичный перенос металла, тем самым перенос электродного металла в сварочную ванну происходит и между импульсами тоже, рисунок 2.1.

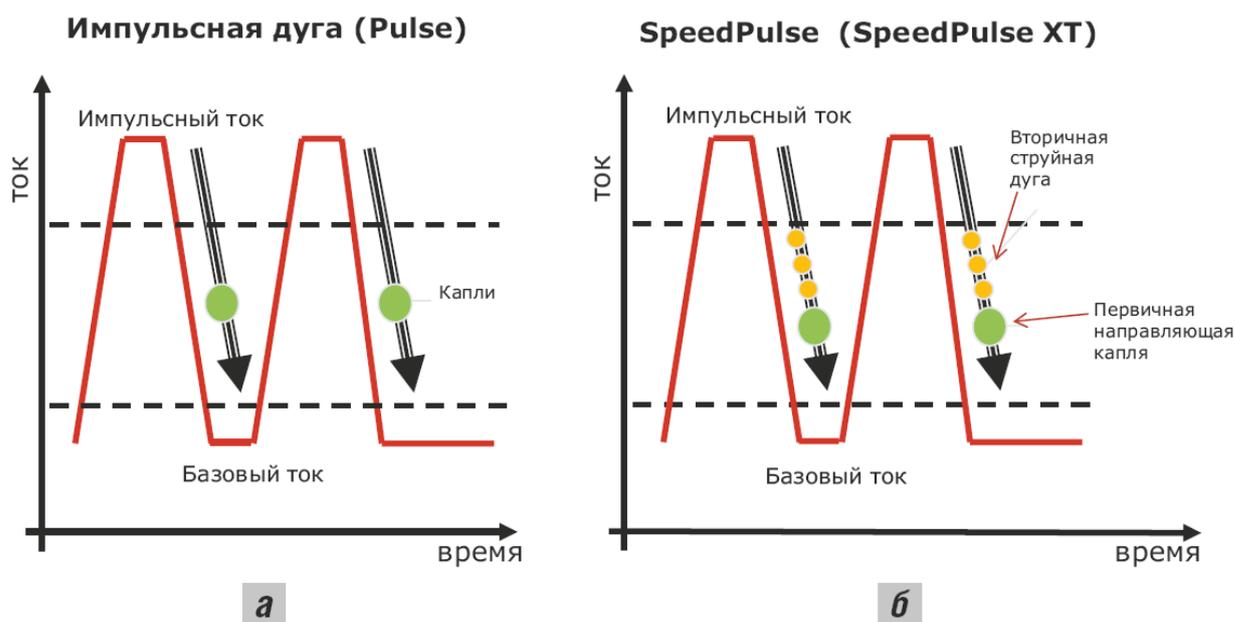


Рисунок 2.1 – Механизм переноса электродного металла: импульсная дуга (а), режим дуги SpeedPuls (б)

В последнее время все более активно развивается еще одно направление в области импульсного управления процессом сварки посредством импульсной подачи электродной проволоки [3, 4]. Разработан целый ряд технических решений [5], позволяющих управлять параметрами импульсов (шагом, частотой, формой, скважностью) при формировании сварного шва или валика наплавленного металла, в том числе глубиной проплавления, ЗТВ, а также расходом материальных и энергетических ресурсов. Одним из наиболее оригинальных решений является система импульсной подачи электродной проволоки с использованием специального вентильного электропривода, оснащенного компьютеризированным регулятором характеристик вращения вала. При этом подающий ролик установлен непосредственно на валу электродвигателя [6], что исключает дополнительные инерционные звенья. Применение такой системы позволяет, например, при сварке с короткими замыканиями (КЗ) осуществлять управляемый каплеперенос электродного металла. В свою очередь управляемый каплеперенос позволяет в значительной степени влиять на служебные характеристики сварного соединения.

Однако, несмотря на явные преимущества, расширение областей применения систем с импульсной подачей электродной проволоки сдерживается как из-за отсутствия серийного оборудования, имеющего надежные системы импульсной подачи с регулируемыми параметрами, так и из-за относительной сложности задания этих параметров для получения ожидаемого технологического эффекта или даже ряда эффектов. Поэтому можно утверждать, что проблемы производства такого оборудования и выбор режимов сварки-наплавки в некоторой степени связаны.

## 2.2 Определение параметров режима сварки

Для определения параметров режима сварки с импульсной подачей проволоки следует помнить, что такие параметры, как частота  $f_{и}$  и шаг подачи  $h$  определяют интегральное значение скорости подачи электродной проволоки  $v_{п}$ , а следовательно, и ток сварки  $I_{св}$ , то

$$I_{св} = k_1 v_{п} = k_1 f_{и} h, (1)$$

$$I_{св} = k_1 \cdot v_{п} = k_1 \cdot f_{и} \cdot h$$

где  $k_1$  — коэффициент, определяющий зависимость между током сварки и скоростью подачи, которая обычно представляется линейной.

При импульсной подаче электродной проволоки важной характеристикой является скважность ее импульсного перемещения  $S$ , определяемая как соотношение времени действия импульса движения к общему периоду цикла подачи, который может включать в себя, кроме импульса, время паузы и время реверсивного движения электродной проволоки [7].

При этом для определенных диаметров и материалов электродной проволоки, защитного газа существует также определенная скважность импульсов, позволяющая активно управлять сварочным процессом. Экспериментально также установлено, что для определенных видов электродов и защитных сред частота импульсной подачи для принудительного управления короткими замыканиями должна быть близка к

характерной при естественных коротких замыканиях или отличаться от нее не более чем в 1,5—1,7 раза. Из этого следует, что наиболее действенной характеристикой, на которую можно влиять в широких пределах, является шаг подачи электродной проволоки. Следовательно, это характеристика должна быть управляемой. Такая задача управления шагом импульсной подачи успешно решена в системе импульсной подачи на основе вентильного электропривода, а эффективность применения такого решения подтверждена в ходе многочисленных экспериментов и исследований.

На основе данной разработки успешно реализован синергетический алгоритм управления [8]:

$$U_{св} = f(I_{св}), \quad (2)$$

где  $U_{св}$  — напряжение сварочного процесса.

Для автоматического регулирования в соответствии с зависимостью (2) может быть использована предложенная и проверенная зависимость интегральной скорости подачи электродной проволоки  $v_{п}$  от напряжения сварки  $U_{св}$ :

$$v_{п} \propto U_{св} - 15. \quad (3)$$

На рисунке 2.2 приведена данная зависимость. Угол  $\alpha$  определяет степень зависимости  $v_{п} = f(U_{св})$  или, точнее, зависимости

$$v_{п} = \alpha(U_{св} - 15). \quad (4)$$

Важно отметить, что напряжение 15 В является тем минимальным значением, при котором процесс сварки еще может быть устойчивым. Исходя из приведенных соотношений предложено в компьютеризованный регулятор вентильного электропривода ввести зависимость (4) в виде обратной связи по напряжению дуги  $U_{св}$ , что позволяет обеспечить требуемую скорость сварки:

$$U_{св} = + 15. \quad (5)$$

Для реализации данной зависимости разработан специальный интерфейс связи выходного напряжения сварочного источника с программной частью регулятора, формирующего шаг подачи  $h$ . Одновременно была обеспечена

защита цепей обратной связи от высоковольтных импульсов как следствия короткого замыкания дуги.

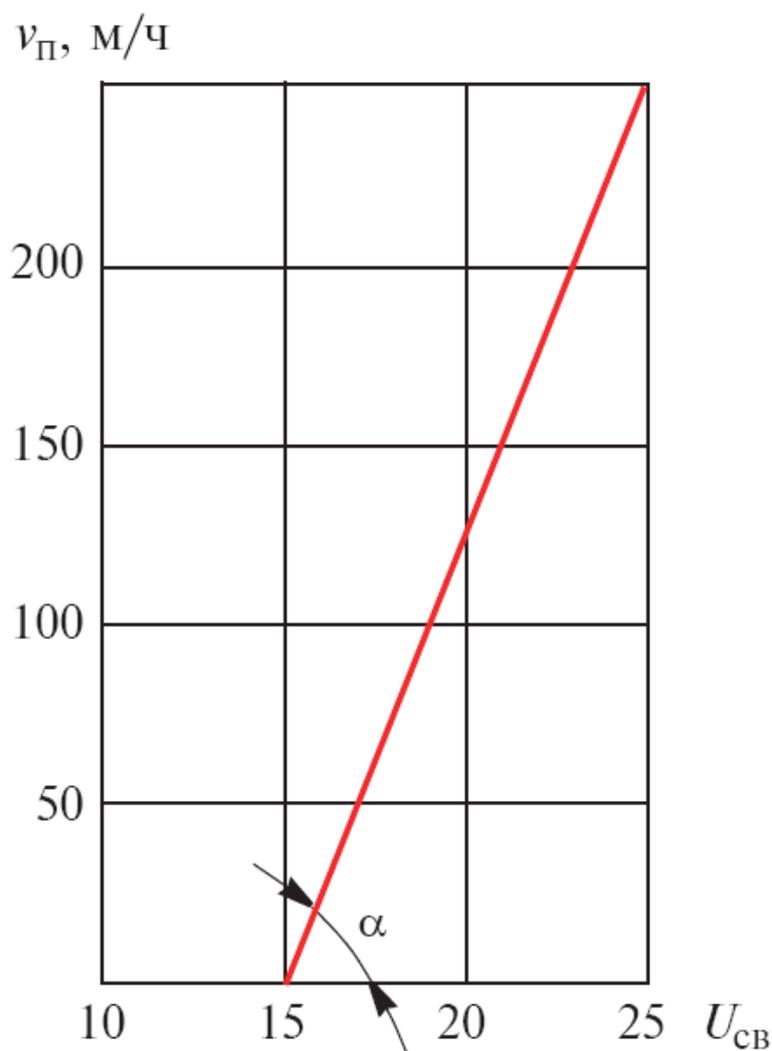


Рисунок 2.2 – Графическое представление зависимости скорости подачи от напряжения сварки

Практическая реализация данного технического решения, прежде всего, дает возможность одноручечного, т. е. регулирования одним регулятором нескольких параметров сварочного процесса как одного из вариантов синергетического управления.

Так, задавая значение только напряжение  $U_{св}$ , выбирается режим сварки с автоматически выбранным шагом подачи, а следовательно, интегральным значением тока сварки. Такое решение позволяет также обеспечить в

значительной степени независимость качества сварки от свойств и характеристик источника сварочного тока и квалификации сварщика.

### **2.3 Проектный технологический процесс сварки**

Вначале выполняют мойку кузова, очистку его от загрязнений. Затем выполняется снятие старого лакокрасочного покрытия, контроль кузова, разработка технологической карты его ремонта. Как было сказано выше, повреждения кузова являются уникальными и разработать единую для всех случаев технологию его ремонта сваркой нереально.

Замена кузовной панели осуществляется в несколько этапов. Вначале на поврежденной панели намечают линию среза по всему периметру карандашом или мелом. Линию намечают так, чтобы остались полосы шириной 20-30 мм в местах приварки дефектной детали к другим панелям кузова. После чего срезают дефектную деталь абразивным отрезным кругом, ножницами по металлу. Теперь оставшиеся полосы удаляют выполнив высверливание сварных точек и при помощи плоскогубцев или тонкого зубила удаляют полосы.

Следующий этап – установка новой панели и тщательная подгонка по требуемой геометрии кузова. И, наконец, выполняется сварка.

Затем выполняется сварной шов. Как правило, на авторемонтных предприятиях используют механизированную сварку в среде углекислого газа. К параметрам режима здесь относят:

- полярность и сила сварочного тока;
- напряжение на дуге;
- диаметр и скорость подачи присадочной проволоки;
- скорость сварки;
- расход углекислого газа.

Сварку в среде углекислого газа можно производить как постоянным током прямой полярности так и обратной полярности, а так же переменным током с помощью осциллятора.

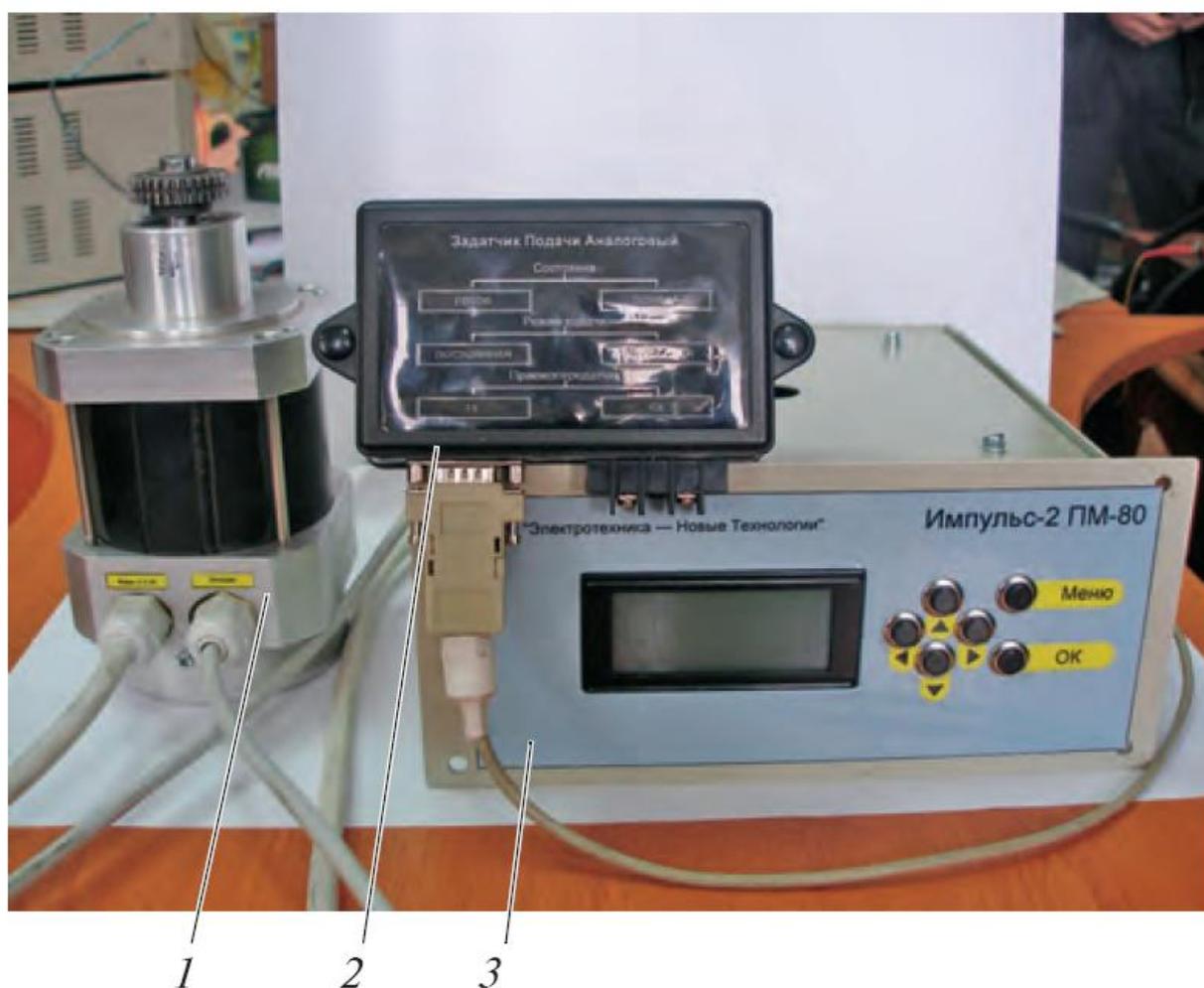
При сварке постоянным током прямой полярности устойчивость дуги меньше, большая склонность к образованию пор в металле шва, меньше проплавление основного металла. Поэтому в подавляющем большинстве случаев сварку ведут постоянным током обратной полярности.

В нашем случае сварку кузова ведем на постоянном токе обратной полярности.

При сварке в среде углекислого газа низкоуглеродистых сталей, химический состав проволоки должен примерно соответствовать основному металлу. При использовании в качестве защитной среды углекислого газа происходит выгорание углерода, что приводит к образованию пор в сварных соединениях. Для уменьшения интенсивности порообразования в сварочную ванну элементы – раскислители. Раскислители вводят через электродную проволоку. Для сварки низкоуглеродистых сталей в среде углекислого газа применяют кремнемарганцовую проволоку марки Св-08ГС.

### 3 Оборудование для импульсной подачи проволоки.

На рисунке 3.1 показан вентильный электропривод системы подачи электродной проволоки с устройством связи аналогового сигнала сварочного напряжения с цифровым регулятором параметров импульсной подачи электродной проволоки.



1 – вентильный электропривод; 2 – разработанное устройство связи; 3 – регулятор параметров импульсной подачи.

Рисунок 3.1 – Вентильный электропривод механизма подачи электродной проволоки с обратной связью по напряжению дугового процесса.

Кроме параметров импульсной подачи с лицевой панели регулятора дополнительно задается характеристика « $\alpha$ », уточняющая тип применяемой

электродной проволоки, состав защитной газовой среды, пространственное положение сварочной ванны при сварке.

Испытания новой разработки в лабораторных условиях показали полное соответствие теоретического обоснования возможности одноручечного синергетического управления сваркой с импульсной подачей электродной проволоки его технической реализации с доработкой необходимого программного продукта.

Техническая реализация импульсной подачи электродной проволоки от электропривода с автоматическим регулятором интегрального значения тока в зависимости от напряжения позволяет простыми способами дополнительно осуществить синхронную автоматическую модуляцию тока и напряжения с заданной глубиной модуляции; синхронный программируемый процесс возбуждения дуги и заварки кратера шва; возможность выполнения сложных алгоритмов синхронного изменения параметров сварочного процесса, например, при дуговой точечной сварке с импульсной подачей электродной проволоки [9]; процесс сварки с источниками питания дуги, имеющими различные вольт-амперные характеристики.

## 4 Безопасность и экологичность технического объекта.

### 4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.

Согласно распоряжению по институту машиностроения тема бакалаврской работы сформулирована следующим образом: «Модернизация технологического процесса ремонтной сварки кузова автомобиля». В настоящее время сварка технологических трубопроводов в указанной организации производится технологией механизированной сварки проволокой сплошного сечения. В разделе 1 настоящей работы у данной технологии выявлен ряд недостатков, и показано, что применяя импульсные технологии их можно нейтрализовать. Разработана технология механизированной сварки с импульсной подачей проволоки, естественно, что при внедрении данных технических решений необходимо предусмотреть мероприятия по нейтрализации опасных и вредных технологических факторов, сопровождающих технологию механизированной сварки.

На участке кузовного ремонта в настоящее время размещен сварочный выпрямитель Форсаж-302, механизм подачи сварочной проволоки Форсаж МП5 и вспомогательное оборудование, предназначенное для перемещения дефектных кузовов и контроля. Для внедрения разработанной при выполнении бакалаврской работы технологии механизированной сварки понадобится новый источник питания сварочной дуги и полуавтомат.

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Выполняемые работы	Должности работников, реализующих данный техпроцесс	Вновь установленное оборудование	Вспомогательные материалы
1	Выполнение прерывистых сварных швов при ремонте кузова	Подготовка, сборка и сварка труб	Слесарь-сборщик, сварщик изделий из тугоплавких металлов,	Выпрямитель Форсаж 302, механизм подачи Форсаж МП5	Присадочная проволока Св-08Г1С, углекислый газ, круг абразивный

## 4.2 Риски, сопровождающие технологию сварки труб.

Различные негативные производственные факторы при действии на организм работников, реализующих разработанный в бакалаврской работе технологический процесс могут вызвать нетрудоспособность работника. В таблице 4.2 систематизируем и проанализируем выявленные на участке сварки негативные производственные факторы.

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков.

№п/п	Выполняемые работы	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	Подготовка, сборка и сварка дефектного кузова	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки. повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, от которого запитано оборудование; световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Выпрямитель Форсаж 302, механизм подачи Форсаж МП5, присадочная проволока Св-08Г1С, углекислый газ, круг абразивный

## 4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков

Уже внедренные на производственном участке и разработанные в рамках бакалаврской работы мероприятия по снижению негативного действия профессиональных рисков систематизируем и проанализируем в таблице 4.3. В таблицу не будем включать такие организационные мероприятия, как инструктажи по технике безопасности.

Таблица 4.3 – Мероприятия и средства уменьшения негативного действия профессиональных рисков.

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	Острые кромки		Перчатки, спецодежда.
2	движущиеся детали оборудования и заготовки	Плакаты и надписи, барьеры и ограждения.	
3	повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке	вентиляция	Средства защиты дыхательных путей
4	повышенная температура оборудования и воздуха участка	вентиляция	Спецодежда, перчатки
5	повышенное напряжение, от которого запитано оборудование;	Заземление, контроль изоляции.	
6	световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Экранирование места сварки щитами,	маска сварщика, спецодежда.

#### 4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки.

В таблице 4.4 выполним анализ возможных опасных факторов, сопровождающих пожар, при его возникновении на производственном участке.

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Подготовки, сборки и сварки дефектного кузова автомобиля	Выпрямитель Форсаж 302, механизм подачи Форсаж МП5	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; выделение вредных продуктов при горении; Уменьшение содержания кислорода при горении; дым препятствует нормальной видимости.	Повреждение из-за высокой температуры электрической изоляции на проводах может привести к поражению электрическим током; действие на человека веществ, применяемых для пожаротушения

Таблица 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили или (вызываются)	Не применяются	Не применяются	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Сварка	обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом по поводу пожарной безопасности, создание добровольной пожарной дружины.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

#### 4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие объекта, технологического процесса (здания по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортного средства	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Сварка	Подготовка кузова к сварке, сборка сварка.	газообразные частицы; сажа;	Проявитель и закрепитель рентгеновских снимков	упаковка от электродов, бумажная, полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; огарки электродов; бытовой мусор.

Таблица 4.8 – Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Фильтры в системе вентиляции участка задержат мелкодисперсные частицы сажи
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Важным является соблюдение культуры производства, исключение утечек жидкости, применяемой при подготовке кузова к ремонтным работам.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Размещение на территории участка кузовного ремонта емкостей для селективного сбора металлолома, бытовых отходов и производственных отходов. На емкостях или рядом стоящих плакатах необходимо нанести предписывающие сообщения. С рабочими необходимо провести разъяснение по необходимости селективного складирования отходов. Желательно периодически, во время ежеквартального инструктажа по технике безопасности, разъяснять производственному персоналу правила сбора твердых отходов

#### 4.6 Заключение по разделу

Планируемый к внедрению технологический процесс механизированной сварки дефектного кузова автомобиля с импульсной подачей проволоки сопровождается факторами, оказывающими вредное воздействие на рабочих производственного участка.

Сделан анализ возможности снижения негативного действия выявленных факторов на рабочих и полного устранения их действия. По результатам анализа можно сделать вывод, что уже применяемые на производстве средства защиты и организационные мероприятия по технике безопасности обеспечат безопасность работника при реализации разработанного при выполнении бакалаврской работы технологического процесса механизированной сварки.

Установлено, что дополнительных мероприятий и средств для защиты от опасных и вредных факторов, сопровождающих процесс механизированной сварки, не нужно.

Также технология механизированной сварки дефектов кузова автомобиля с импульсной подачей проволоки оказывает негативное влияние на окружающую среду. Для минимизации такого влияния предложен комплекс организационных мероприятий.

## 5 Экономическая эффективность проекта

По базовому варианту технологического процесса сварки дефектов кузова применяется механизированная дуговая сварка проволокой сплошного сечения. Результаты анализа научно-технической и патентной литературы позволили рекомендовать для проектного варианта механизированную сварку с импульсной подачей проволоки.

Сопоставительный анализ двух вариантов, базового и проектного, приведен в таблице 5.1. В таблице рассмотрены выявленные в 1 разделе работы недостатки базовой технологии сварки и принцип их устранения при использовании механизированной сварки.

Таблица 5.1 – Сопоставительный анализ базового и проектного варианта технологии

Базовая технология	Проектная технология
Сварка механизированная малых толщин кузова предусматривает необходимость контроля большого количества параметров процесса. Для сварки по базовой технологии требуются рабочие высокого разряда и размер тарифной ставки у них, соответственно, высокий.	При импульсной механизированной сварке малых толщин подача присадочной проволоки в зону горения сварочной дуги осуществляется так, что вероятность прожога уменьшается. Можно поставить на операцию рабочего с меньшим разрядом, и, соответственно, меньшей тарифной ставкой.
Скорость сварки низкая, так как сила тока при традиционной сварке не может быть большой из-за высокой вероятности прожога, так как металл кузова тонкий 0,8 мм.	Сила тока при импульсной механизированной сварке больше, значит можно увеличить скорость без опасений получить такой дефект, как прожог.

## 5.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для проведения экономического расчета

Показатели	Услов. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
			Базовый	Проект.
Годовая программа	$N_{\text{пр}}$	шт	500	500
Финансовые затраты на 1 кг присадочного материала	$\text{Ц}_{\text{эл.}}$	Руб/кг	68	59
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	ктз	-	1,05	1,05
Значение тарифной ставки	$C_{\text{ч}}$	Руб/час	95,29	84,87
Коэффициент, учитывающий начисления к основной заработной плате	$k_{\text{зпп}}$	-	1,81	1,81
Отчисления на дополнительную заработную плату	$k_{\text{д}}$	%	10	10
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$N_{\text{соц}}$	%	30	30
Финансовые затраты на покупку оборудования	$\text{Ц}_{\text{об}}$	Руб	40000	70000
Норма амортизационных отчислений на оборудование	$N_{\text{а}}$	%	18	18
Коэф. Полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,78
Стоимость электроэнергии	$\text{Ц}_{\text{э-э}}$	Руб/кВт	3,02	3,02
Удельный расход защитного газа	$U_{\text{зг}}$	$\text{М}^3/\text{час}$	-	50
Стоимость защитного газа	$\text{Ц}_{\text{зг}}$	Руб/ $\text{м}^3$	-	50
Стоимость аренды площади	$S_{\text{экспл}}$	Руб/ $\text{м}^2$	1800	1800
Стоимость приобретения производственных площадей	$\text{Ц}_{\text{пл}}$	Руб/ $\text{м}^2$	4500	4500
Площадь занимаемая оборудованием	$S$	$\text{М}^2$	8	11
Значения коэффициентов, финансовых расходов на монтаж и демонтаж оборудования	$k_{\text{монт}}$ $k_{\text{дем}}$	%	2	2
Коэффициент цеховых расходов	$k_{\text{цех}}$		1,72	1,72
Коэффициент заводских расходов	$k_{\text{зав}}$		1,97	1,97

## 5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Для расчета штучного времени на сварку одного дефекта кузова автомобиля применим зависимость:

$$t_{шт} = t_{n-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п} \quad (5.1)$$

где  $t_{n-з}$  – время, расходуемое на подготовительно-заключительные операции,  $t_{n-з} = 0,05\%$  от  $t_0$

$t_0 = t_M$  – время, расходуемое непосредственно на выполнение сварного шва - машинное.

$t_в$  – время, расходуемое на подготовку сварочного оборудования к работе  
 $t_в = 10\%$  от  $t_0$ .

$t_{отл}$  – время, расходуемое рабочими на отдых и личные надобности  $t_{отл} = 5\%$  от  $t_0$ ;

$t_{обсл}$  – время, расходуемое рабочими на обслуживание рабочего места  
 $t_{обсл} = 8\%$  от  $t_0$ ;

$t_{н.п}$  – время неустраняемых перерывов,  $1\%$  от  $t_0$ .

Машинное время определим по следующей формуле:

$$t_0 = \frac{60 * M_{напл.мет} * L_{ш}}{I_{св.} * \alpha_{напл}}, \quad (5.2)$$

где:  $L_{ш}$  – протяженность шва по среднестатистическим данным предприятия  
примем - 0,238 м;

$I_{св}$  – сварочный ток, А;

$\alpha_{напл}$  – коэффициент наплавки, 9 Г/А·час.

$M_{напл.мет}$  – масса наплавленного металла, кг/м;

Масса наплавленного металла  $M_{напл.мет}$  – может быть определена по зависимости, кг/м:

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_H \cdot 10^{-3} \quad (5.3)$$

где  $\rho$  – плотность, 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$F_H$  – площадь валика, мм<sup>2</sup>.

$$F_H = (8 \div 12) \cdot d_{эл.}$$

На толщину 0,8 мм.

$$F_H = F_1 = 72 \text{ мм}^2$$

$$M_{напл.мет.б} = 7,8 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,561 \text{ кг/м}$$

$$M_{напл.мет.пр} = 7,8 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,561 \text{ кг/м}$$

Так как толщина свариваемого металла для базового варианта и для предлагаемого неизменна, то получается что для одного дефекта требуется одинаковый расход наплавленного металла

Подставив в (5.2) необходимые значения, получим:

$$t_{об} = \frac{60 \cdot 0,561 \cdot 0,238}{120 \cdot 9} = 0,049 \text{ час} = 2,94 \text{ мин.}$$

$$t_{пр} = \frac{60 \cdot 0,561 \cdot 0,238}{210 \cdot 9} = 0,027 \text{ час} = 1,62 \text{ мин.}$$

Подставив в (5.1) необходимые значения, получим:

$$t_{штб} = 2,94 + 0,294 + 0,147 + 0,235 + 0,029 = 3,64 \text{ мин} = 0,060 \text{ час}$$

$$t_{штпр} = 1,62 + 0,162 + 0,081 + 0,129 + 0,0162 = 2,00 \text{ мин.} = 0,033 \text{ час.}$$

### 5.3 Расчет затрат на новое оборудование

$$K_{общ} = K_{пр} + K_{соп} \quad (5.5)$$

где  $K_{пр}$  – затраты непосредственно на закупку оборудования, прямые, руб.;

$K_{соп}$  – финансовые затраты на демонтаж старого, установку нового оборудования, сопутствующие, руб.

Расчет прямых финансовых затрат выполним по зависимости:

$$K_{\text{ПР}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_3 \quad (5.6)$$

где  $\sum \Pi_{\text{об}}$  – суммарные финансовые затраты на закупку оборудования, руб.;

$k_3$  – коэффициент загрузки оборудования.

Для определения коэффициента загрузки оборудования вначале рассчитаем нужное количество оборудования по формуле:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} \quad (5.7)$$

где  $N_{\text{пр}}$  – годовая программа, см. табл. 5.2, 500 шт.;

$t_{\text{шт}}$  – время, расходуемое на сварку одного стыка трубопровода (штучное), мин.;

$\Phi_{\text{эф}}$  – фонд времени работы оборудования, час.

Необходимое количество оборудования, определенное по (5.7) может быть дробным числом, поэтому округляем до целого ( $n_{\text{об.прин}}$ ).

Для расчета коэффициента загрузки воспользуемся формулой:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (5.8)$$

Фонд времени определим по формуле:

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{вых}} - D_{\text{пр}}) * T_{\text{см}} * S * (1 - k_{\text{р.п}}) \quad (5.9)$$

где  $D_{\text{к}}$  – всего дней в году;

$D_{\text{вых}}$  – всего выходных в году;

$D_{\text{пр}}$  – всего праздничных дней в году;

$T_{\text{см}}$  – длительность рабочей смены на предприятии, час;

$S$  – принятое на предприятии количество рабочих смен;

$k_{\text{р.п}}$  – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{\text{эф.}} = (365 - 110 - 14) * 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

Для базового варианта технологии

$$n_{\text{об.расчетн.б}} = \frac{500 \cdot 4,21}{1812 \cdot 60} = 0,027 \text{ шт}$$

$$k_{зб} = \frac{0,027}{1} = 0,027$$

$$K_{\text{прб}} = 40000 \cdot 0,027 = 1080 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$n_{\text{об.расчетн.пр}} = \frac{500 \cdot 2,00}{1812 \cdot 60} = 0,012 \text{ шт}$$

$$k_{зпр} = \frac{0,012}{1} = 0,012$$

$$K_{\text{прпр}} = 70000 \cdot 0,012 = 840 \text{ руб.}$$

Сопутствующие финансовые затраты определяются расчетным путем только для проектного варианта:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{площ}} \quad (5.10)$$

$K_{\text{монт}}$  – финансовые расходы, необходимые для выполнения монтажа оборудования для проектного варианта технологии;

$K_{\text{дем}}$  – финансовые расходы, необходимые для выполнения демонтажа оборудования применяемого в базовом варианте технологии;

$K_{\text{площ}}$  – финансовые расходы на дополнительные площади, необходимые для установки оборудования для проектного варианта технологии.

$$K_{\text{монт}} = \sum C_{\text{об}} \cdot k_{\text{монт}} \quad (5.11)$$

где:  $k_{\text{монт}}$  – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям  
 $k_{\text{монт}} = 0,2$ .

$$K_{\text{монт}} = 70000 \cdot 0,2 = 14000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{дем}} = \Sigma C_{\text{об}} \cdot k_{\text{дем}} \quad (5.12)$$

где  $k_{\text{дем}}$  – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям,  $k_{\text{дем}} = 0,2$

$$K_{\text{дем}} = 40000 \cdot 0,2 = 8000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{площ}} = S_{\text{площ}} \cdot C_{\text{площ}} \cdot g \cdot k_3 \quad (5.13)$$

где  $g$  – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{\text{площ}} = 3 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 0,12 = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{пр}} = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{пр}} = 840 + 14000 + 8000 + 5400 = 28240 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.14)$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{БАЗ}} = 1080/700 = 1,54 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{пр}} = 28240/700 = 40,34 \text{ руб.}$$

Общий размер финансовых расходов на материалы определяется как сумма расходов на основные материалы и вспомогательные:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всп}}$$

Поскольку конструкция изделия изменений не претерпевает, и в базовом варианте и в проектном материал изделия не меняется, первое слагаемое формулы, финансовые расходы на основные материалы, расчету не подлежит.

Для применяемой в настоящее время на предприятии технологии сварки в качестве вспомогательных материалов используют штучные электроды, расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{\text{эл.}} = N_{\text{эл.}} \cdot C_{\text{эл.}} \quad (5.16)$$

где  $C_{эл}$  – стоимость штучных электродов, руб/кг;

$N_{эл}$  – расход штучных электродов согласно нормативам, кг.

$$N_{эл} = Y \cdot L_{ш} \quad (5.17)$$

где  $Y$  – расход штучных электродов на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{ш}$  – общая протяженность сварного соединения, м.

$$Y = k_p \cdot M_{напл.мет} \quad (5.18)$$

где  $k_p$  – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,7;

$M_{напл.мет}$  – общее количество присадочного материала, штучных электродов, нужных для формирования сварного соединения, кг.

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (5.19)$$

где  $\rho$  – плотность стали – материал штучных электродов, 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$F_n$  – площадь поперечного сечения шва,  $F_n = 129 \text{ мм}^2$ .

$$M_{напл.мет} = 7,8 \cdot 159 / 1000 = 1,240 \text{ кг.}$$

$$Y = 1,7 \cdot 1,240 = 2,10 \text{ кг/м.}$$

$$N_{эл} = 2,10 \cdot 0,687 = 1,448 \text{ кг.}$$

$$ЗМ_{элб} = 68 \cdot 1,448 = 98,49 \text{ руб;}$$

$$ЗМ_{г} = 98,49 \text{ руб.}$$

Для предлагаемой в проектном варианте технологии в качестве вспомогательных материалов используют присадочную проволоку и защитный газ, суммарные расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{свпр} = ЗМ_{свпр} + Зг \quad (5.20)$$

Расходы на закупку присадочной проволоки определим по формуле:

$$ЗМ_{свпр} = C_{пр} \cdot N_{пр} \quad (5.21)$$

где  $C_{пр}$  – стоимость применяемой в проектной технологии присадочной проволоки, руб/кг;

$N_{\text{пр}}$  - норма расхода применяемой в проектной технологии присадочной проволоки, кг.

Для определения нормы расхода применяемой в проектной технологии присадочной проволоки воспользуемся формулой:

$$N_{\text{пр}} = Y \cdot L_{\text{ш}} \quad (5.22)$$

где  $Y$  - расход сварочной проволоки на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{\text{ш}}$  - общая протяженность сварного соединения, м.

$$Y = k_p \cdot M_{\text{напл.мет}} \quad (5.23)$$

где  $k_p$  - коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

$M_{\text{напл.мет}}$  - общее количество присадочного материала, присадочной проволоки, нужных для формирования сварного соединения, кг.

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{ш}} \cdot 10^{-3}, \quad (5.24)$$

где  $\rho$  - плотность стали - материал присадочной проволоки, 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$F_{\text{ш}}$  - площадь поперечного сечения шва,  $F_{\text{ш}} = 159 \text{ мм}^2$ .

$$M_{\text{напл.мет}} = 7,8 \cdot 159 / 1000 = 1,240 \text{ кг.}$$

$$Y = 1,05 \cdot 1,240 = 1,302 \text{ кг/м.}$$

$$N_{\text{пр}} = 1,302 \cdot 0,687 = 0,894 \text{ кг}$$

$$ЗМ_{\text{свпр}} = 59,0 \cdot 0,894 = 52,77 \text{ руб.}$$

Расходы на применяемый для защиты сварочной ванны газ, в предлагаемом варианте аргон, определим по формуле:

$$З_{\text{з.г.}} = Ц_{\text{з.г.}} \cdot N_{\text{з.г.}} \quad (5.25)$$

где  $Ц_{\text{з.г.}}$  - рыночная стоимость одного литра защитного газа в рублях;

$N_{\text{з.г.}}$  - норма расхода используемого в предлагаемом варианте технологии защитного газа в литрах на 1 погонный метр шва.

Норма расхода вычисляется по зависимости:

$$N_{\text{з.г.}} = Y_{\text{з.г.}} \cdot L + Y_{\text{доп}} \quad (5.26)$$

где  $Y_{з.г.}$  – расход защитного газа непосредственно на выполнение сварного шва, л.

$$Y_{з.г.} = q_{з.г.} \cdot t_0 \quad (5.27)$$

где  $q_{зг} = 10$  л/мин;

$t_0$  - вычисленное по формуле (5.2) время сварки шва.

$$Y_{з.г.} = 10 \cdot 1,62 = 16,2 \text{ л}$$

$Y_{доп.}$  – учитывает дополнительный расход газа на операции не связанные с формированием шва,  $м^3$ .

$$Y_{доп} = t_{всп} \cdot q_{зг} \quad (5.28)$$

где  $t_{всп}$  – время расхода газа, мин;

$q_{зг}$  – норма расхода газа в единицу времени,  $м^3/\text{мин}$ .

$$Y_{доп} = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ л.}$$

$$H_{з.г.} = 16,2 \cdot 0,687 + 0,5 = 11,62 \text{ л.}$$

$$Z_{з.г.} = 0,011 \cdot 50 = 0,55 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта общая сумма расходов на вспомогательные материалы составит:

$$Z_{M_{пр}} = 52,77 + 0,55 = 53,32 \text{ руб.}$$

Финансовые расходы на электрическую энергию

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_0}{КПД} Ц_{э-э} \quad (5.29)$$

где  $P_{об}$  – мощность, расходуемая оборудованием при выполнении сварного соединения, кВт;

$Ц_{э-э}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – коэффициент полезного действия оборудования, задействованного при выполнении сварного соединения.

Мощность расходуемую оборудованием при выполнении сварного соединения вычислим по режимам сварки: сила сварочного тока и напряжение дуги.

Для базового варианта технологии

$$P_{\text{обб}} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кВт}$$

$$z_{\text{э-э}}^{\text{б}} = \frac{3,6 \cdot 0,056}{0,7} \cdot 3,02 = 0,86 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$P_{\text{обпр}} = 210 \cdot 30 = 6300 \text{ Вт} = 6,3 \text{ кВт}$$

$$z_{\text{э-э}}^{\text{пр}} = \frac{6,3 \cdot 0,027}{0,75} \cdot 3,02 = 0,68 \text{ руб.}$$

На следующем этапе выполняем расчет затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования как суммы затрат на амортизацию и ремонт.

$$z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{т.р}} \quad (5.30)$$

где  $A_{\text{об}}$  – отчисления на амортизацию, руб.;

$P_{\text{т.р}}$  – отчисления на ремонт, руб.;

Отчисления на амортизацию рассчитаем по зависимости:

$$A_{\text{об.}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_{\text{об}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60 \cdot 100} \quad (5.31)$$

где  $C_{\text{об}}$  – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб.;

$N_{\text{об}}$  – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{\text{об}}^{\text{б}} = \frac{40000 \cdot 4,21 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,27 \text{ руб.}$$

$$A_{\text{об}}^{\text{пр}} = \frac{70000 \cdot 2,00 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,23 \text{ руб.}$$

Отчисления на ремонт рассчитаем по зависимости:

$$P_{\text{т.р}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{т.р}} \cdot k_3}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100} \quad (5.32)$$

где  $H_{\text{т.р}}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования,  $\approx 35\%$ ;

$$P_{\text{тр}}^{\text{б}} = \frac{40000 \cdot 35 \cdot 0,027}{1812 \cdot 100} = 0,20 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{тр}}^{\text{пр}} = \frac{70000 \cdot 35 \cdot 0,012}{1812 \cdot 100} = 0,16 \text{ руб.}$$

Суммарные расходы на содержание и эксплуатацию

$$Z_{\text{об}}^{\text{б}} = 0,27 + 0,20 = 0,47 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{об}}^{\text{пр}} = 0,23 + 0,16 = 0,39 \text{ руб.}$$

Для определения размера отчислений на площади, на которых установлено оборудование и оснастка базового и проектного вариантов технологии воспользуемся зависимостью:

$$Z_{\text{плоч}} = \frac{C_{\text{плоч}} \cdot S_{\text{плоч}} \cdot Na_{\text{плоч}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100 \cdot 60} \quad (5.33)$$

где:  $C_{\text{плоч}}$  – цена  $1 \text{ м}^2$  производственной площади, руб.;

$Na_{\text{плоч}}$  – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{\text{плоч}}$  – площадь, занимаемая сварочным оборудованием,  $\text{м}^2$ ;

$$Z_{\text{плоч}}^{\text{б}} = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 4,21}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,015 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{плоч}}^{\text{пр}} = \frac{4500 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 2,00}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,015 \text{ руб.}$$

На следующем этапе определяем затраты по оплате труда  
Фонд заработной платы определим как сумму:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{\text{осн}} + ЗПЛ_{\text{доп}} \quad (5.34)$$

где  $ЗПЛ_{\text{осн}}$  – основная зарплата;

$ЗПЛ_{\text{доп}}$  – дополнительная зарплата.

$$ЗПЛ_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot k_{\text{зпл}} \quad (5.35)$$

где  $C_{\text{ч}}$  – значение тарифной ставки, руб/час;

$t_{\text{шт}}$  – штучное время, час;

$k_{\text{зпл}}$  – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{зпл} = k_{пр} \cdot k_{вн} \cdot k_{у} \cdot k_{пф} \cdot k_{н} \quad (5.36)$$

где  $k_{пр} = 1,25$  – коэффициент премирования;

$k_{вн} = 1,1$  – коэффициент выполнения норм;

$k_{у} = 1,087$  – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{пф} = 1,14$  – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{н} = 1,076$  – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{зпл} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,087 \cdot 1,14 \cdot 1,076 = 1,79$$

$$ЗПЛ_{осн}^Б = 0,034 \cdot 95,2 \cdot 9 \cdot 1,79 = 5,79 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{осн}^{пр} = 0,016 \cdot 84,8 \cdot 7 \cdot 1,79 = 2,43 \text{ руб.}$$

Дополнительная определяется по следующей зависимости:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} \quad (5.37)$$

где  $k_{д}$  – коэффициент - 10%.

Для базового варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 5,79 \cdot 10/100 = 0,57 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^{пр} = 2,43 \cdot 10/100 = 0,24 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{Б} = 5,79 + 0,57 = 6,36 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{пр} = 2,43 + 0,24 = 2,67 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{сн} = \PhiЗП \cdot N_{соц} / 100 \quad (5.38)$$

где  $N_{соц}$  – коэффициент отчислений, 30 %.

Для базового варианта технологии

$$O_{сн}^Б = 6,36 \cdot 30/100 = 1,90 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$O_{\text{CH}}^{\text{пр}} = 2,67 \cdot 30 / 10 = 0,80 \text{ руб.}$$

#### Технологическая себестоимость

Для определения размера технологической себестоимости просуммируем все расходы, найденные выше:

$$C_{\text{ТЕХ}} = 3\text{М} + 3_{\text{Э-Э}} + 3_{\text{ОБ}} + 3_{\text{ПЛ}} + \Phi\text{ЗП} + O_{\text{CH}} \quad (5.39)$$

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{Б}} = 98,48 + 0,86 + 0,47 + 0,015 + 6,36 + 1,90 = 108,085 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{ПР}} = 53,32 + 0,68 + 0,39 + 0,015 + 2,67 + 0,80 = 57,87 \text{ руб.}$$

#### Цеховая себестоимость

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}} \quad P_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.40)$$

где  $P_{\text{ЦЕХ}}$  – финансовые затраты на цеховые расходы, руб.

$$P_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + k_{\text{ЦЕХ}} \cdot 3_{\text{ОСН}} \quad 3_{\text{ОСН}} \quad (5.41)$$

где  $k_{\text{ЦЕХ}}$  – коэффициент цеховых расходов, 2,5;

$3_{\text{ОСН}}$  – основная зарплата, руб.

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{Б}} = 108,085 + 5,79 \cdot 1,72 = 108,085 + 9,95 = 118,035 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 57,87 + 2,43 \cdot 1,72 = 57,87 + 4,17 = 62,04 \text{ руб.}$$

#### Заводская себестоимость

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot 3_{\text{ОСН}} \quad (5.42)$$

где  $P_{\text{ЗАВ}}$  – финансовые затраты на заводские расходы, руб.

$k_{\text{ЗАВ}}$  – коэффициент заводских расходов, 1,8

Для базового варианта технологии

$$C_{ЗАВ}^Б = 118,035 + 5,79 \cdot 1,97 = 118,035 + 11,40 = 129,44 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{ЗАВ}^{ПР} = 62,04 + 2,43 \cdot 1,97 = 62,04 + 4,78 = 66,82 \text{ руб.}$$

#### Калькуляция себестоимости

Таблица 5.3 – Перечень и значения статей затрат на сварку одного дефекта кузова автомобиля

Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
		базов	Проект
Материалы	ЗМ	98,48	53,32
Фонд заработной платы	ФЗП	6,36	2,67
Отчисления на социальные нужды	О <sub>СН</sub>	1,90	0,80
Затраты на оборудование	З <sub>ОБ</sub>	0,47	0,39
Затраты на площади	З <sub>ПЛ</sub>	0,015	0,015
Затраты на электроэнергию	З <sub>Э-Э</sub>	0,63	0,49
Себестоимость технологическая	С <sub>ТЕХ</sub>	108,09	57,87
Цеховые расходы		11,50	3,82
Себестоимость цеховая	С <sub>ЦЕХ</sub>	118,04	62,04
Заводские расходы		11,40	4,78
Себестоимость заводская	С <sub>ЗАВ</sub>	129,44	66,82

### 5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений

Величину прибыли, ожидаемой от снижения себестоимости сварки стыка, определим по формуле:

$$Пр_{ож.} = Э_{у.г.} = \left( C_{зав}^Б - C_{зав}^{ПР} \right) \cdot N_{пр} \quad (5.43)$$

$$Пр_{ож.} = Э_{у.г.} = (129,44 - 66,82) \cdot 500 = 33280 \text{ руб.}$$

Величину годового экономического эффекта, ожидаемого от внедрения технических решений, обеспечивающих увеличение производительности, определим по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = [(C_{3AB}^Б + E_H \cdot K_{УД}^Б) - (C_{3AB}^{ПП} + E_H \cdot K_{УД}^{ПП})] \cdot N_{ПП} \quad (5.44)$$

$$\mathcal{E}_Г = [(129,44 + 0,33 \cdot 1,54) - (66,82 + 0,33 \cdot 40,34)] \cdot 500 = 24710 \text{ руб.}$$

Размер уменьшения трудоемкости

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПП}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (5.45)$$

$$\Delta t_{шт} = \frac{0,034 - 0,016}{0,034} \cdot 100\% = 43\%$$

Размер увеличения производительности труда

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (5.46)$$

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot 43}{100 - 43} = 75\%$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{ок} = \frac{K_{общпр}}{\mathcal{E}_{УГ}} \quad (5.47)$$

$$T_{ок} = \frac{28240}{33280} \approx 0,8 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{сп} = 1/T_{ок} = 1/0,8 = 1,25. \quad (5.48)$$

## 5.6 Выводы по разделу

Внедрение оборудования с большей производительностью позволило уменьшить на 43% трудоемкость сварки одного дефекта кузова автомобиля, при увеличении производительности труда на 75%.

Планируемый размер годового экономического эффекта составит 24710 руб.

Для внедрения оборудования с большей производительностью нужны финансовые затраты в размере 28240 руб., которые окупятся через 0,8 года.

С учетом полученных результатов расчетов можно сделать вывод о необходимости внедрения результатов бакалаврской работы в производственные условия ремонтных предприятий автосервиса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ базового технологического процесса сварки показал, что его недостатки обусловлены недостатками механизированной сварки проволокой сплошного сечения.

Выполненный анализ возможных вариантов модернизации механизированной сварки позволил рекомендовать механизированную сварку с импульсной подачей присадочной проволоки. Разработан технологический процесс механизированной сварки с применением импульсной подачи присадочной проволоки.

Применение механизированной сварки с импульсной подачей проволоки по разработанной в бакалаврской работе технологии позволяет повысить производительность труда на 75%. При этом, рассчитанный в разделе «Экономическое обоснование» бакалаврской работы размер годового экономического эффекта составит 28240 руб.

Можно сделать вывод о достижении цели достижения цели бакалаврской работы

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лебедев, В.А. Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке и наплавке // Сварочное производство – 2008 - №8 - С.11-15
2. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки А. Г. Крампит, Е. А. Зернин, М. А. Крампит // Технологии и материалы : технический научно-производственный журнал. — 2015. — № 1. — [10 с.].
3. Козулин, М.Г. Производство сварных конструкций: Учебн. пособие к дипломному проектированию – Тольятти: ТолПИ, 1991 – 62 с.
4. Записка пояснительная к курсовому и дипломному проекту. Правила оформления. – Тольятти: ТолПИ, 1987 – 27 с.
5. Князьков А.Ф., Князьков В.Л. Исследование сварочно-технологических свойств покрытых электродов при сварке модулированным током // Сварочное производство – 2011 - №10 - С. 15-18.
6. Мозок, В.М. Дополнительные особенности технологии дуговой механизированной и автоматической сварки с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство – 2010 - №2 - С. 34-38
7. Павлов Н. В., Крюков А. В., Зернин Е.А. Распределение температурных полей при сварке в смеси газов с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство – 2011 - №1 - С.35-36
8. Гитлевич А.Д., Этитоф А.А. Механизация и автоматизация сварочного производства – М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
9. Лебедев, В.А. Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей сварочной проволоки // Сварочное производство – 2009 - №7 - С.10-14
10. Мозок В.М., Лебедев В.А. Ремонт крупногабаритных деталей с использованием управляемой импульсной подачи электродной проволоки // Сварочное производство – 2007 - №6 - С. 31-34
11. Лебедев В.А. Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство – 2007 - №8 - С. 30-35.

12. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Сварка с импульсной подачей проволоки в смеси газов // Сварочное производство – 2010 - №4 - С.27-28
13. Жерносеков А.М., Андреев В.В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (обзор) // Автоматическая сварка – 2007 - №10.
14. Жерносеков А.М. Влияние вылета электрода на параметры шва при импульсно-дуговой сварке сталей // Автоматическая сварка – 2004 - №8
15. Щекин В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов / В. А. Щекин. - Изд. 2-е, перераб. - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
16. Быковский О.Г., Петренко В.Р., Пешков В.В. Справочник сварщика. М.: Машиностроение, 2011. – 336 с.
17. Козулин, М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учеб. пособие для вузов / М. Г. Козулин. - ТГУ; Гриф УМО. - Тольятти: ТГУ, 2010. - 306 с.
18. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта для студентов спец. 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» / М.Г. Козулин. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 77 с.
19. Алешин Н.П., Гладков Э.А., Бродягин В.Н., Кузнецов П.С., Копотева Е.Н., Шолохов М.А. Импульсные технологии управления каплепереносом при MIG/MAGсварке // Сварка и диагностика – 2014 - №3.
20. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 2. Технология и оборудование. Справ. изд./Под ред. В.М. Ямпольского. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 1997. - 574 с.
21. Пат. 2254969 Россия. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / В.Т. Федько, О.Г. Брунов, А.В. Крюков и др. Заявлено 15.03.2004. Оpub.27.06.05 Бюл. №18. – 5 с.: ил.
22. Крюков, А.В. Повышение эффективности механизированной сварки в углекислом газе за счет применения импульсной подачи электродной

- проволоки. Автореферат диссертации кандидата технических наук. - Барнаул: 2008. – 19 с.
23. Алешин Н.П., Лысак В.И., Лукьянов В.Ф. Современные способы сварки: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 59 с.
24. Zhang Y.M., Liguó E., Kovacevic R. Active metal transfer control by monitoring excited droplet oscillation // *Welding Journal*. 1998. Vol. 77. N 9. P. 388-s—394-s.
25. Фивейский А.М. Новые процессы MIG/MAG сварки // *Техсовет*, 2010. № 4. С. 38.
26. Шолохов, М.А. Эффективность эксплуатации инверторных источников питания / М.А. Шолохов, А.М. Фивейский, Д.С. Бuzорина, Е.В. Лунина // *Сварка и диагностика*, 2012. № 3. С. 53–55.
27. Бранд, М. Высокая производительность и отличное качество MIG/MAG сварки // Марко Бранд, А.М. Фивейский. Состояние и перспективы развития сборочно-сварочного производства: сборник докладов международной научно-технической конференции. Нижний Тагил, 2011. С. 71–78.
28. Крюков, А.В., Павлов Н.В., Зеленковский А.А. Особенности сварки с импульсной подачей электродной проволоки // *Технология машиностроения*. 2013. № 7. С. 30—31.
29. Климов, А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение» / А.С. Климов. – Тольятти: ТГУ, 2014. – 52с.