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 Восстановление рамы полевого широко -захватного культиватора КПШ

Обучающийся А.В. Дмитриенко _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель к.т.н., профессор Г.М. Короткова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты к.э.н., доцент О.М. Сярдова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

В работе представлен перечень мероприятий по улучшению технологии сварки для ремонта металлических конструкций на примере каркаса сельскохозяйственной техники, а также результаты оценки их эффективности при внедрении на современном производстве. При выполнении аналитического раздела рассмотрена конструкция рамы культиватора, особенности её работы и возникающие дефекты, исправление которых рассматривается в рамках настоящей выпускной квалификационной работы. Также были рассмотрены особенности сварки материала и операции базового процесса ремонтной сварки, после чего сформулированы недостатки базовой технологии, далее на основании литературного обзора сформулированы задачи для выполнения выпускной работы. Вставлена экспертная оценка альтернативным способам сварки, это дало возможность правильно принять решение о замене способа сварки при построении проектной технологии. Проведение литературных изысканий предопределило выбор методики, позволяющей расширить технологические возможности сварки за счёт реализации импульсного управления процессом. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса ремонтной сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований.

Содержание

Введение 5
1 Анализ исходных данных и известных решений по направлению выпускной квалификационной работы 7
1.1 Сведения о конструкции культиватора и возникающих дефектах. 7
1.2 Сведения о материале несущей конструкции сельскохозяйственной техники 9
1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки рассматриваемой конструкции. 11
1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике. 15
1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы. 18
2 Построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой конструкции. 19
2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки. 19
2.2 Расширение технологических возможностей сварки в защитных газах 23
2.3 Проектная технология ремонтной сварки. 27
3 Промышленная безопасность производственного участка. 35
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи 35
3.2 Идентификация негативных производственных факторов. 36
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов. 38
3.4 Пожарная безопасность производственного участка 40
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка. 42
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических

решений. 44
4.1 Исходные данные для экономического расчёта. 44
4.2 Фонд времени работы оборудования. 46
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. . 47
4.4 Заводская себестоимость. 49
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам. 54
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей. 56
Заключение 58
Список используемой литературы и используемых источников. 60

.

Введение

В настоящее время значительная роль в восстановлении конструкции сельскохозяйственной техники отводится ручной дуговой сварке, применение которой на ремонтных предприятиях не встречает значительных трудностей [12]. Ручная дуговая сварка является изученным процессом и оборудование для его осуществления в необходимом объеме присутствует на ремонтных предприятиях, что позволяет незамедлительно приступать к восстановлению поврежденной конструкции, избегая логистических и кадровых затруднений. В арсенале предприятия имеется широкий выбор сварочных генераторов, трансформаторов, выпрямителей или современных инверторных источников питания. Однако ручная дуговая сварка характеризуется повышенными энергетическими затратами на образование сварного соединения, что влечет за собой снижение экономической эффективности ремонтного предприятия, которое должно функционировать и сохранять конкурентоспособность в настоящих непростых условиях, когда прямые и вспомогательные затраты на осуществление технологических процессов должны сокращаться [9].

Согласно утвержденной программе развития сельского хозяйства до 2025 гола предполагалось повышение эффективности использования засеваемых площадей за счёт повышения механизации почвообрабатывающих операций. При этом, программа в значительной части реализована не была, так как в Российской Федерации наблюдается ухудшение ситуации с оснащением сельского хозяйства специализированной техникой. Если на конец 2004 года на 1000 гектаров пахотных земель приходилось 5,9 трактора, то к началу 2014 года этот показатель уменьшился до 5,2. Таким образом, каждые 10 лет в России происходит уменьшение оснащения сельскохозяйственной техникой на 12…15 % [27]. К 2024 году следует признать неудовлетворительное положение с оснащением новой техникой сельхозпредприятий. Нормативный срок службы выработан у 71 % тракторов, 64 % комбайнов, 58 % почвообрабатывающей техники.

В связи с этим следует признать актуальными исследования, проводимые в направлении повышения эффективности сварочных работ при восстановлении металлических конструкций сельскохозяйственной техники. При этом интересующими моментами является наплавка изношенных деталей и ремонтная сварка металлических корпусных и несущих конструкций.

При ремонтной сварке в «основном применяется ручная дуговая сварка по причинам, указанным выше, однако мировые тенденции в развитии сварочных технологий и материалов заставляют проводить внедрение новых, более перспективных способов ремонтной сварки. Так, в Японии, КНР и Канаде ручная дуговая сварка повсеместно заменяется механизированной сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения, что отмечается рядом аналитиков» [23]. Увеличение доли механизированной сварки в защитных газах объясняется успехами, достигнутыми исследователями-сварщиками в области управляемого переноса электродного металла, что позволило существенно расширить технологические возможности этого способа сварки [23], [25].

«Применение ручной дуговой сварки для выполнения ремонта металлических конструкций также следует ограничить по причине высокой тепловой нагрузки на основной металл конструкции, в результате чего происходит ускоренное разрушение конструкции, отремонтированной с применением ручной дуговой сварки» [5].

На основании вышеизложенного следует признать актуальным выбранное направление исследования поставленную цель – повышение эффективности сварочных операций при восстановлении сельскохозяйственной техники.

«При генерировании технических решений, позволяющих достигнуть поставленную цель, необходимо опираться на достижения российских исследователей» [4] в области управления сварочными процессами, что позволит обеспечить промышленный суверенитет Российской Федерации в условиях санкционного давления [4], [15], [19], [21].

1 Анализ исходных данных и известных решений по направлению выпускной квалификационной работы

1.1 Сведения о конструкции культиватора и возникающих дефектах

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос исправления усталостных трещин при ремонте конструкции почвообрабатывающих агрегатов. Пример таких агрегатов представлен на рисунке 1. Такой агрегат позволяет проводить большинство видов работ, при этом за один проход по земле может быть выполнено сразу несколько видов работ. Рама агрегата позволяет устанавливать на нем различные виды оборудования, что повышает универсальность устройства. Агрегат может быть использован как для предпосевной, посевной, так и послеуборочной обработки почвы на глубину до 20 см.

Рисунок 1 – Примеры почвообрабатывающих агрегатов

В процессе работы почвообрабатывающих агрегатов происходит их интенсивный износ. Во-первых, истираются и изламываются рабочие элементы агрегата – диски, бороны, плуги, приводные валы, восстановление которых нужно вести с применением наплавочных технологий. Во-вторых, под действием знакопеременных и ударных нагрузок происходит образование усталостных трещин в конструкции самой несущей рамы, с результате чего в

негодность может прийти весь агрегат. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос ремонтной сварки трещин рамы почвообрабатывающих агрегатов, примеры которых представлены на рисунке 2.

Рисунок 2 – Примеры трещин в несущей раме

Зарождение трещины происходит вблизи концентратора напряжений, в качестве которого обычно выступает резки переход металла в зоне сварного шва. Далее трещина может распространяться как на основной металл, так и по металлу сварного шва. В процессе продолжительной работы происходит образование новых трещин и развитие уже образовавшихся, в результате чего целостность конструкции может быть нарушена и произойти авария. Поэтому необходимо проводить периодический осмотр рамы, оценку её состояния и своевременно удалять возникающие в ней трещины.

Удавление трещин проходит с применением ручной дуговой сварки, при этом возможно установка дополнительных конструкций, усиливающих сечение с устраняемым дефектом. При эксплуатации конструкции, в которой присутствует некоторое количество ремонтных швов, следует принимать во внимание высокую вероятность повторного нарушения целостности, так как сварка становится причиной ухудшения свойств металла конструкции, а привариваемые усиливающие накладки начинают играть роль концентраторов напряжений. Таким образом, проводимый ремонт лишь отсрочивает утилизацию дефектной конструкции, не исправляя её полностью.

1.2 Сведения о материале несущей конструкции сельскохозяйственной техники

Для изготовления несущей рамы почвообрабатывающих агрегатов применяется профиль из «стали 09Г2С, которая относится к низколегированным конструкционным сталям и нашла широкое применение при изготовлении металлических конструкций различного назначения» [5]. Содержание химических элементов в стали 09Г2С представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 09Г2С

C	Mn	Si	S	P	N
до 0,12	1,3-1,7	0,5-0,8	до 0,04	до 0,035	до 0,008

Работа конструкций их стали 09Г2С допускается при температурах от -40 до +475 °С, при этом допускается длительное действие на конструкцию повышенных давлений, что делает возможным применение этой стади для передачи горячей воды и пара.

По сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей сварка стали 09Г2С имеет ряд особенностей [11], [24]. Во-первых, под действием термического цикла в процессе сварки происходит образование некоторого количества мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. При благоприятном термическом цикле эти структурные составляющие равномерно распределены по объему и не оказывают существенного влияния на эксплуатационные характеристики изделия. Но при повышенных значениях погонной энергии сварки в зоне сварного шва могут образовываться участки с «повышенным содержанием закалочных структур, что особенно сильно проявляется вблизи концентраторов напряжений. Это объясняется отрицательным действием содержащихся в металле элементов углерода и кремния, содержание которых по сравнению с низкоуглеродистой сталью» [3] в рассматриваемой стали выше. Также при сварке стали с применением стандартных сварочных материалов в зоне сварного шва может наблюдаться коррозионное

растрескивание, что может быть устранено путем применения специализированных сварочных материалов с пониженным содержанием кремния и углерода. При выполнении сварных конструкций из рассматриваемой стали особое внимание следует уделить соблюдению техники сварки, от которой зависит термический цикл металла и свойства сварного соединения.

При выполнении сварных конструкций из стали 09Г2С характерными дефектами соединения являются поры, трещины и наплывы. Большинство дефектов возникает по причине нарушения техники сварки.

«Для того, чтобы обеспечить прочность сварного шва на уровне прочности основного металла, следует при сварке конструкций из стали 09Г2С применять сварочные» [11] материалы с дополнительным легированием такими элементами, как ванадий и ниобий, которые позволяют уменьшить размер зерен сварного шва и повысить стойкость против трещин.

Также для снижения вероятности образования трещин следует ограничить в сварочных материалах содержание серы.

Следует принимать во внимание, что современные достижения в области управления сварочными процессам позволили предложить ряд алгоритмов, обеспечивающих импульсный характер горения сварочной дуги и реализованных в представленном на рынке оборудовании для дуговой сварки. «Управление переносом электродного металла и импульсный характер горения сварочной дуги не только позволяют повысить пространственную стабильность и уменьшить разбрызгивание электродного металла» [11], но у успешно противостоять образованию в сварном шве дефектов. Также применение импульсного управления позволяет уменьшить размеры зерна металла сварного шва и зоны термического влияния, благоприятная структура позволяет повысить эксплуатационные свойства конструкции с ремонтными сварными швами и позволяет отказаться от применения усиливающих приварных элементов, благодаря чему долговечность конструкции после ремонта приближается к долговечности нового изделия.

1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки рассматриваемой конструкции

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос ремонтной сварки при исправлении дефекта типа трещины в несущей раме почвообрабатывающего агрегата. Толщина металла в месте залегания дефекта составляет 12 мм. При проведении ремонтной сварки выполняют последовательно следующие операции. «Первая операция – зачистка дефектного места. Вторая операция – выявление размеров и разделка трещины. Третья операция – заварка трещины с применением ручной дуговой сварки. Четвертая операция – контроль качества.

При выполнении первой операции, зачистки дефектного места, применяется шлифовальная машина и электрический» [5] сверлильный станок на магнитной платформе. При помощи шлифовальной машины с поверхности изделия удаляют всю краску и загрязнения в месте предполагаемого залегания дефекта и на расстоянии от него во все стороны 20…25 мм. Далее в применением сверлильного станка на концах трещины выполняют отверстия диаметром 8…10 мм, расстояние центра которых от предполагаемого конца трещины должно быть составлять 4…5 мм. После этого с применением электрического строгача выполняют разделку трещины на постоянном токе обратной полярности, сила которого равна 400…450 ампер. Скорость строжки составляет 300…400 мм в минуту. После выполнения строжки следует зачистить поверхность разделанной трещины с применением шлифовальной машины, удаляя поврежденный метал л на глубину не менее 1 мм. Разделка трещины выполняется под размер, соответствующий соединению типа С17 согласно ГОСТ 5264-80. Разделка должна быть выполнена на всю глубину металла. После разделки проводят заварку с применением ручной дуговой сварки, для чего используют сварочные электроды УОНИ 13/55 или ОЗС-3. В таблице 2 представлен состав этих электродов. В таблице 4 представлены свойства металла сварного шва с применением этих электродов. Перед

использованием электродов следует провести их прокалку на режимах согласно таблице 4. Параметры режима сварки представлены в таблице 5

Таблица 2 – «Содержание химических элементов в металле сварного шва

Марка электрода	C	Mn	Si	Ni	Mo	S+P
УОНИ 13/55	0,09	1,05	0,42	-	-	< 0,040
ОЗС-3	0,10	0,6	0,20	-	-	< 0,040

Таблица 3 – Свойства металла сварного шва

Марка электрода	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение	Ударная вязкость KCV
	$\sigma_т$, Н/мм^2	$\sigma_в$, Н/мм^2	δ, %	Дж/см^2
УОНИ 13/55	420	530	20	130, +20°С
ОЗС-3	390	490	27	140, +20°С

Таблица 4 – Параметры прокалки электродов УОНИ-13/55 и ОЗС-3

Марка электрода	Температура прокалки	Время прокалки
УОНИ 13/55	380…420 °С	90…120 мин
ОЗС-3	150…170 °С	60…90 мин

Таблица 5 – Параметры сварки электродами УОНИ 13/55 и ОЗС-3 ∅ 4 мм

Марка электрода	Положение сварного шва		
	нижнее	вертикальное	потолочное
УОНИ 13/55	130…160 А	120…150 А	120…150 А
ОЗС-3	200…240 А	180…200 А	180…200 А» [6]

«После того, как прокалка электродов была проведена, их помещают в резервную печь, откуда они вынимаются непосредственно перед самым использованием. Резервная печь предварительно должна иметь температуру разогрева 80…100 °С. Все прокаленные электроды должны быть использованы в течение одной рабочей смены, в противном случае необходимо проведение повторной прокалки, количество которых не должно быть более трех. Если после трех прокалок электроды не были использованы, их следует утилизировать» [5].

Ремонтную сварку ведут с применением представленного на рисунке 3 сварочного выпрямителя ВД-252.

Рисунок 3 – Применяемый при выполнении ремонтной сварке по базовой технологии сварочный выпрямитель ВД-252

При заварке «разделки для того, чтобы избежать перегрева основного металла, накладывают валики не большого размера, заполнение разделки ведут в несколько проходов. Необходимо обеспечить плавный переход от наплавленного металла к основному металлу» [5]. Запрещается зажигать и гасить дугу на поверхности детали, кратер необходимо выводить на ранее наплавленный металл. Зарпещается прерывать процесс заварки трещины до полного завершения. После того, как трещина была заварена, необходимо выполнить зачистку поверхности сварного шва, удаляя усиление шва заподлицо с поверхностью изделия.

После выполнения сварки проводят контроль качества, для чего применяют визуальный осмотр и ультразвуковой контроль. Визуальный осмотр проводят на 100% сварных швов, ультразвуковой контроль проводят на 30 %. Для выполнения визуального контроля применяют лупу с увеличением в 4…7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. Визуальному контролю следует подвергать все сварные швы по всей их протяженности. «Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Поры не должны иметь размеры более 2 мм, уменьшение катета сварного шва не должно быть более 1,5 мм, вогнутость сварного шва не должна превышать 1,5 мм, величина подрезов не должна превышать 2 мм. При ультразвуковом

контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм, цепочки пор и шлаковых включений, не допускается наличие между слоями несплавлений» [5]. На рисунке 4-а представлен применяемый для визуального контроля набор, на рисунке 4-б представлен применяемый для ультразвукового контроля дефектоскоп UCD-50.

а)

б)

Рисунок 4 – Применяемые для контроля качества набор визуального контроля контроля (*а*) и ультразвуковой дефектоскоп (*б*)

Любую совокупность включений, которая может быть вписана в квадрат с размером стороны, не превышающим значения допустимого максимального размера одного включения, можно рассматривать как одно сплошное одиночное включение. Любую совокупность включений, которая вписывается в прямоугольник с размерами сторон, не превышающими значений допустимого максимального размера и допустимой максимальной ширины одиночного протяженного .включения, можно рассматривать как одно сплошное одиночное протяженное включение.

«Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с последующим контролем качества. Допускается не более двух» [5] повторных сварок на одном месте, после чего дефектный участок конструкции должен быть полностью удален с установкой ремонтной конструкции.

1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике

С целью достижения необходимого технологического уровня генерируемых решений был выполнен поиск источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки с последующим проведением анализа этих литературных источников. В качестве массива для поиска научной литературы была использована сеть ИНТЕРНЕТ, которая позволяет вести поиск по ключевым словам. Кроме того, для проведения экспертного поиска были использованы размещенные в сети базы знаний, в частности, «Киберленинка», содержащая внушительный объем публикаций российских авторов, подготовленных по различным научным направлениям. Ещё одним полезным информационным ресурсом является база диссертаций «Диссеркэт», которая содержит значительное количество текстов диссертаций и авторефератов диссертаций по техническим направлениям, которые были защищены в последние 30 лет. Также для поиска была применена система «Е-Лайбрери», которая позволяет вести квалифицированный поиск по статьям и патентам российских авторов. Таким образом, для последующего анализа было выбрано пять работ.

В первой работе [12] показана высокая эффективность предлагаемого способа сварки, позволяющего применить малогабаритные источники питания сниженной мощности. Также наблюдается повышение производительности процесса ремонтной сварки. Установлено, что существенный вклад в тепловой баланс при ручной дуговой сварке может оказать горение экзотермической смеси, которая применяется при выполнении обмазки новых электродов. При этом повышается концентрация тепла при сварке, а расход электрической энергии снижается. Также применение экзотермической смеси при выполнении обмазки новых электродов позволяет существенно уменьшить разбрызгивание электродного металла, что позволяет улучшить внешний вид изделия после сварки, уменьшить расход сварочных материалов, повысить качество сварки и

производительность сварки. Предлагаемые решения могут быть с высокой эффективностью реализованы на ремонтных предприятиях, выполняющих восстановление сельскохозяйственной техники в условиях недостаточного ресурсообеспечения и энергообеспечения. Данная работа показывает высокий потенциал ручной дуговой сварки, которая, как способ получения соединений продолжает широко применяться при ремонте сельскохозяйственной техники. «Эта работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследования и обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии» [12].

Во второй работе [22] установлено, что в сварных конструкциях из стали 09Г2С под действием знакопеременных нагрузок происходит накопление усталостных повреждений материала. Этот процесс особенно интенсивно протекает в сварных швах и околошовной зоне. Количество накопленных повреждений в значительной мере зависит от количества испытанных материалом циклов нагружения. Накопление повреждений материала становится причиной охрупчивания конструкции, которое наибольшим образом проявляется при работе в условиях пониженных температур. Существенного увеличения ресурса металлических конструкций из стали 09Г2С можно добиться при проведении своевременных ремонтных работ, в ходе которых устраняются зарождающиеся усталостные трещины. При этом существенная роль отведена сварочным и наплавочным технологиям. «Данная работа будет использована для обоснования актуальности проводимых исследований и обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии ремонта» [22].

В третьей работе [26] предложена методика, которая позволяет выполнить оценку качества проведенных сварочных работ при «восстановлении металлических конструкций, назначать оптимальные параметры режима сварки и термической обработки. Установлено, что при построении технологии ремонтной сварки следует» [26] не только принимать во внимание свариваемость материала конструкции и его химический состав,

но и особенности эксплуатации и устраняемого повреждения, так как в противном случае возможно уменьшение ресурса конструкции после проведения ремонтных работ. Представленные в работе материалы будут использованы при актуализации направления исследования и экспертной оценки способов сварки.

В четвертой работе «исследовалось влияние параметров режима на глубину проплавления при механизированной сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения. Составлена математическая модель для прогнозирования формы сварного шва и рекомендации по повышению эффективности процесса сварки» [26].

«Данная работа демонстрирует высокий потенциал сварки в защитных газах и будет использована при обосновании выбора способа сварки для составления проектной технологии» [26].

В пятой работе [25] проведенные исследования позволяют судить о высокой эффективности применения импульсных методов управления горением сварочной дуги при сварке. Положительные изменения в тепловом балансе позволяют повысить производительность сварки при снижении затрат электрической энергии, что объясняется значительным уменьшением потерь на разбрызгивание и нагрев зоны термического влияния. Импульсный характер горения дуги не только позволяет повысить пространственную стабильность дуги и снизить разбрызгивание, но и улучшить выделение из сварочной ванны растворенных в ней газов, что положительно сказывается на качестве сварного соединения. Кроме того, импульсное ударное воздействие на поверхность сварочной ванны позволяет формировать мелкозернистую структуру металла сварного шва, что улучшает эксплуатационные свойства и позволяет при выполнении ремонтной сварки повысить усталостную прочность конструкции.

На основании этой работы для построения проектной технологи могут быть применены импульсные процессы управления сварочной дугой.

1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы ожидается генерация технических решений и мероприятий, применение которых в современном производстве обеспечит повышение производительности и качества работ при ремонте металлических конструкций. В качестве предмета исследования принимается технология устранения трещин на каркасах сельскохозяйственной техники, что при реализации базовой технологии предусматривает применение ручной дуговой сварки и характеризуется критическими недостатками, устранение которых будет выполнено в ходе решения сформулированных ниже технологических задач. При решении первой задачи предстоит провести экспертную оценку рассматриваемых способов применительно к выполнению рассматриваемых работ с указанием присущих им преимуществ и недостатков, что делает возможным обоснование выбора способа сварки, который впоследствии будет применен при построении проектной технологии. При решении второй задачи следует провести литературные исследования в области повышения эффективности проектной технологии за счёт применения современных разработок в области управления сварочными процессами, причем упор следует сделать на разработки российских исследователей, что позволит впоследствии устранить зависимость российской промышленности от поставок иностранных наукоемких комплектующих. При решении третьей задачи предстоит дать «перечень операций технологического процесса с указанием требований к их выполнению, выбором оборудования и назначением оптимальных параметров режима сварки. При выполнении оценочных разделов предстоит рассмотреть предлагаемые решения с точки зрения обеспечения промышленной и экологической безопасности» [2], [6], а также провести экономическое обоснование целесообразности внедрения [13], [20].

2 Построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой конструкции

2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки

При построении проектной технологи ремонтной сварки необходимо первоначально обосновать выбор способа ремонтной сварки, который должен основываться на анализе возможности рассматриваемого предприятия по обеспечению технологических требований процесса [10], [20]. На ремонтных предприятиях, выполняющих восстановление сельскохозяйственной техники, нецелесообразно применять дорогостоящее оборудование и как-то существенно изменять технологический процесс, что будет требовать переобучения персонала. При выполнении ремонтной сварки рассматриваемой конструкции отсутствуют признаки массового производства, по причине чего наибольшее распространение получила ручная дуговая сварка, выполнение которой проходит по схеме, представленной на рисунке 5.

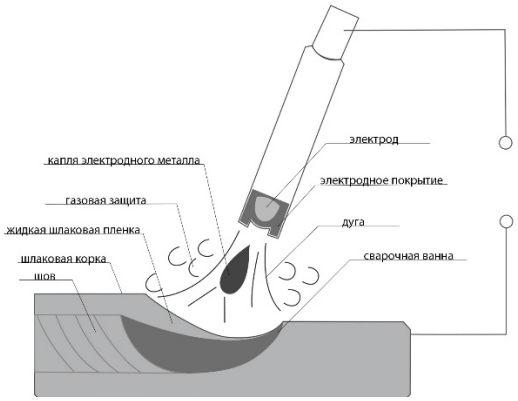


Рисунок 5 – Схема ручной дуговой сварки

При выборе ручной дуговой сварки для построения технологических процессов зачастую руководствуются тем, что на предприятии уже имеется достаточной количество оборудования реализации этого способа сварки, а сам процесс не требует значительной подготовки для проведения ремонтной сварки, что позволяет приступать к выполнению ремонтных работ

практически незамедлительно после поступления поврежденной техники. Также следует принимать во внимание, что в сочетании со сварочным агрегатом ручную дуговую сварпку можно провести в полевых условиях. Несмотря на преимущества ручной дуговой сварки её доля в промышленности неуклонно снижается, на что указывает ряд аналитиков [3], [25].При перечислении критических недостатков ручной дуговой сварки следует указать вредные условия труда сварщика, работа которого проходит в среде сварочных аэрозолей и излучения от дуги. Следует также отметить низкую стабильность качества сварных соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Низкие экономические показатели ручной дуговой сварки получаются по причине потерь металла на разбрызгивание и электродные огарки, а также вследствие низкой производительности. Некоторое улучшение показателей ручной дуговой сварки достигается применением импульсных технологий, новых сварочных материалов и совершенствования техники сварки, но перечисленные проблемы при этом полностью не решаются, в результате чего необходимо вести поиск новых способов сварки для построения технологии ремонтной сварки.

Значительного повышения производительности и улучшения условий труда сварщика следует ожидать при переходе на механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема дана на рисунке 6.

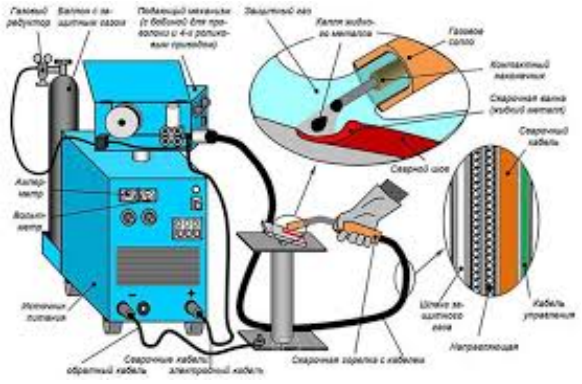


Рисунок 6 – Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах

Сварка в защитных газах по сравнению с ручной дуговой сваркой упрощает формирование шва при различных пространственных положениях по причине большей вязкости расплавленного металла сварочной ванны. При этом становится возможной сварка в потолочном положении. Так как при механизированной сварке отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности шва от шлака, производительность и качество сварки повышается. Также следует указать на улучшение условия труда сварщика при механизированной сварке в защитных газах, так как состав сварочного аэрозоля в этом случае менее вреден, чем при ручной дуговой сварке.

«Применение механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения ограничивается по причине затруднений, которые сопровождают этот способ сварки и не устранены в полной мере» [16]. Во-первых, при сварке наблюдается повышенное разбрызгивание электродного металла, что делает необходимым трудоемкую зачистку поверхности деталей, так как прилипшие брызги расплавленного металла ухудшают внешний вид и становятся очагами коррозии. Во-вторых, при сварке в защитных газах из-за повышенной вязкости расплавленного металла увеличивается вероятность появления в сварном шве трещин, ухудшаются условия отхождения из сварочной ванны газов.

На рисунке 7 представлена схема механизированной сварки самозащитной проволокой, которая может быть признана компромиссным вариантом, позволяющим получить преимущества ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах. При использовании порошковой проволоки упрощается легирование сварного шва, так как состав порошкового наполнителя проволоки может быть изменен в широком диапазоне без изменения технологии производства проволоки, что существенно снижает стоимость сварочных материалов при массовом их производстве. В числе недостатков сварки самозащитными проволоками следует указать повышенную мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также

следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлаки и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений.

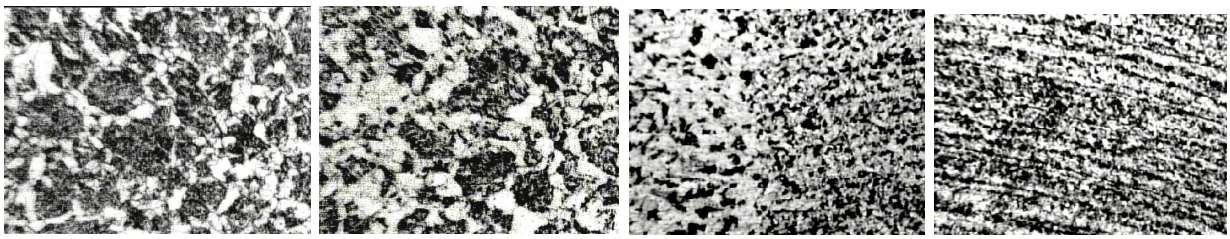
Рисунок 7 – Схема выполнения сварки самозащитной проволокой

При «обосновании выбора способа сварки для проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения» [16].

Для расширения технологических возможностей этого способа сварки в дальнейшем необходимо побороть такие трудности, как повышенное разбрызгивание электродного металла, высокая вероятность получения трещин и непроваров в сварном шве, улучшение условий отхождения газов из «металла сварочной ванны, формирование мелкозернистой структуры металла сварного шва. Для этого предлагается в последующих подразделах описать решения по импульсному управлению переносом металла и горения сварочной дуги, разработки в этой области интенсивно ведутся зарубежными и российскими исследователями- сварщиками» [7], [8].

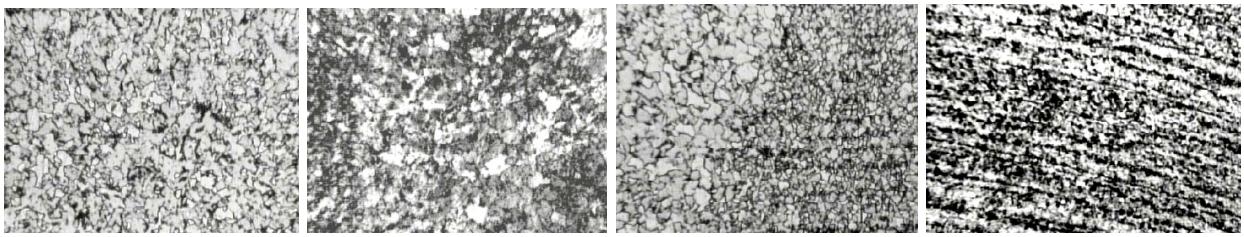
2.2 Расширение технологических возможностей сварки в защитных газах

Ранее были сформулированы недостатки сварки в защитных газах, наличие которых ограничивает применение этого способа в технологических процессах на современных производствах. Проблеме повышения эффективности сварки в защитных газах посвятили свои труды ряд зарубежных и отечественных исследователей-сварщиков [14]. В современном сварочном оборудовании, представленном на мировом рынке, реализованы алгоритмы управления переносом электродного металла и задания импульсного характера горения сварочной дуги, что позволяет улучшить условия формирования сварного соединения и повысить его эксплуатационные свойства, На рисунке 8 и рисунке 9 представлены микроструктуры различных зон сварного шва, полученные для традиционной сварки с постоянными параметрами и для перспективной сварки с реализацией алгоритма импульсного управления параметрами сварочной дуги. На рисунке 8-г и рисунке 9-г представлена исходная структура образцов до выполнения сварки. На рисунке 8-а и рисунке 9-а представлена структура металла сварного шва. На рисунке 8-б и рисунке 9-б представлена структура переходной зоны. На рисунке 8-в и рисунке 9-в представлена структура зоны термического влияния. Как видно из представленных рисунков, применение алгоритмов импульсного управления горением сварочной дуги позволяет существенно уменьшить размер кристаллитов металла, что улучшает механические и эксплуатационные свойства сварных соединений. Кроме того, при реализации импульсного управления горением сварочной дуги удается успешно бороться с разбрызгиванием и выгоранием электродного металла, что существенно улучшает внешний вид сварной конструкции и уменьшает трудоемкость её изготовления. Достигаемая повышенная проплавляющая способность дуги упрощает проведение ремонтных работ при сварке в узкую разделку и при заварке трещин. На рисунке 10 представлена область импульсных режимов.



а) *б)* *в)* *г)*

Рисунок 8 – Структура сварного соединения после стационарного режима сварки



а) *б)* *в)* *г)*

Рисунок 9 – Структура сварного соединения после импульсного режима сварки

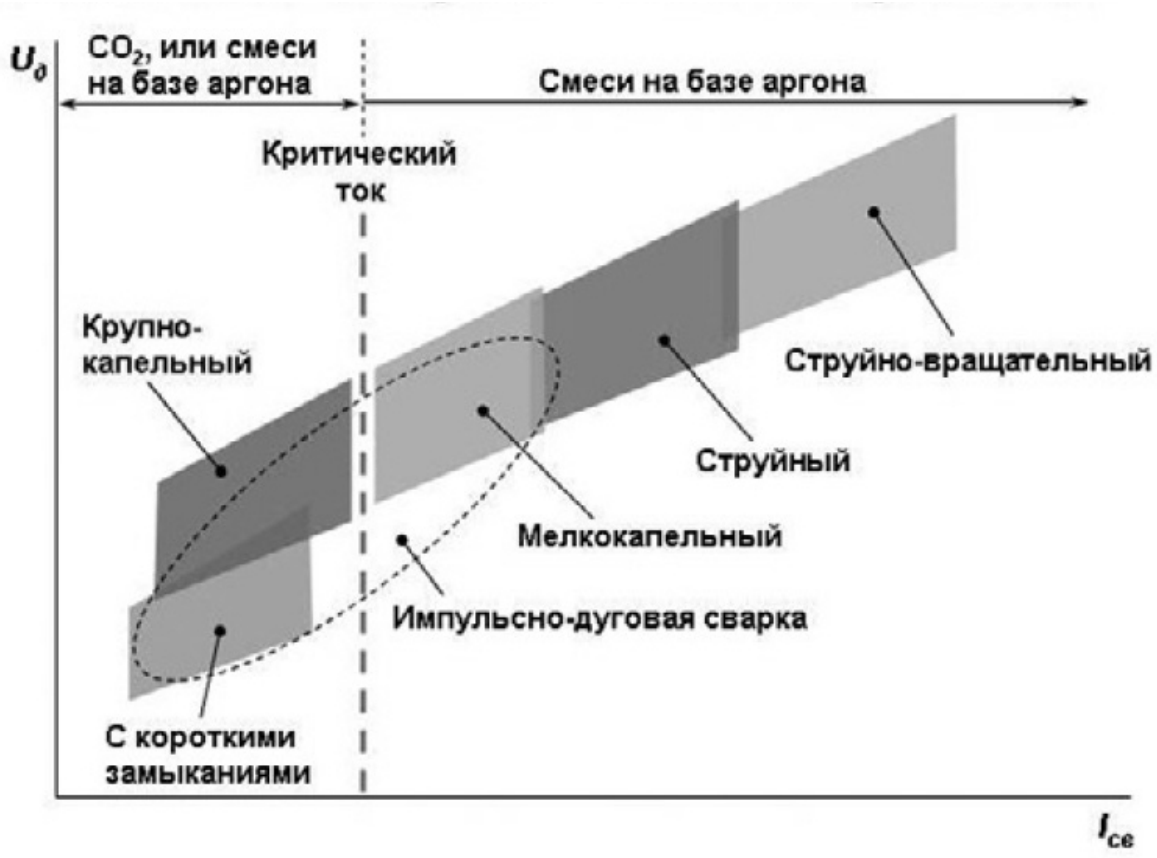


Рисунок 10 – Область импульсных режимов сварки

«Среди особенностей параметров импульсного режима горения сварочной дуги следует выделить следующее. Во-первых, следование импульсов сварочного тока происходит с задаваемой частотой, лежащей в диапазоне от 30 до 330 Гц, эта частота зависит от скорости подачи сварочной проволоки. Во-вторых, за один импульс сварочного тока происходит переход в сварочную ванну одной капли расплавленного электродного металла. В-третьих, величина тока при импульсной сварке характеризуется несколькими значениями, частности, максимальным и минимальным, причём максимальное значение тока соответствует параметрам сварки на длинной дуге, а минимальное значение соответствует дежурному току дуги» [8].

Алгоритм импульсного управления сварочной дугой предлагается реализовать в соответствии с литературным источников [1], описывающим достижения отечественных исследователей-сварщиков в области управления сварочными процессами. Схема предлагаемого источника, построенного на основании стандартного сварочного трансформатора, представлена на рисунке 11 и включает в себя силовой трансформатор 1, который подключен в трехфазную питающую сеть и передает пониженное напряжение на выпрямитель 2, подключенный к импульсному стабилизатору тока 3 и модулятору 7 через схему с резистором 4, диодом 5 и конденсатором 6. Подключение к сварочной грелке 9 и изделию 10 происходит через выходной диод 8 параллельно блоку дежурной дуги 11.

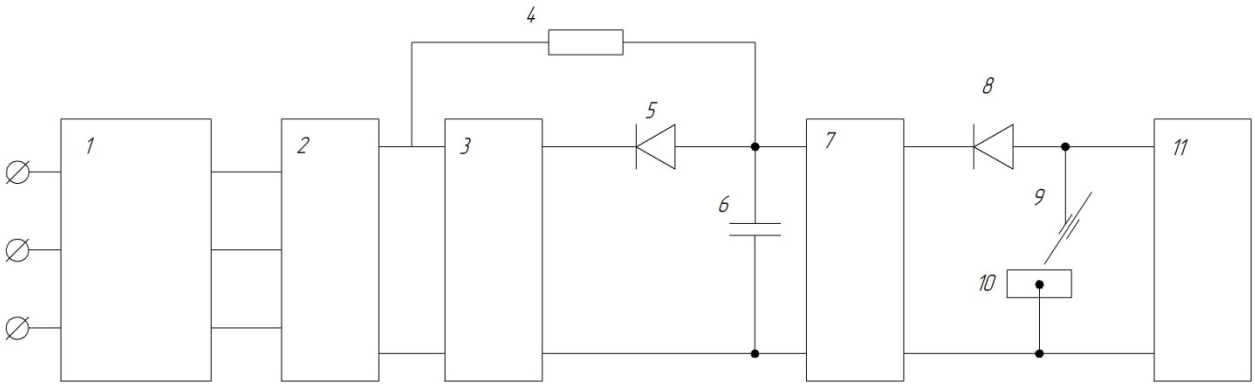


Рисунок 11 – Схема импульсного управления сварочной дугой согласно [28]

На рисунке 12 представлены диаграммы тока и напряжения при сварке с реализацией предлагаемого алгоритма управления.

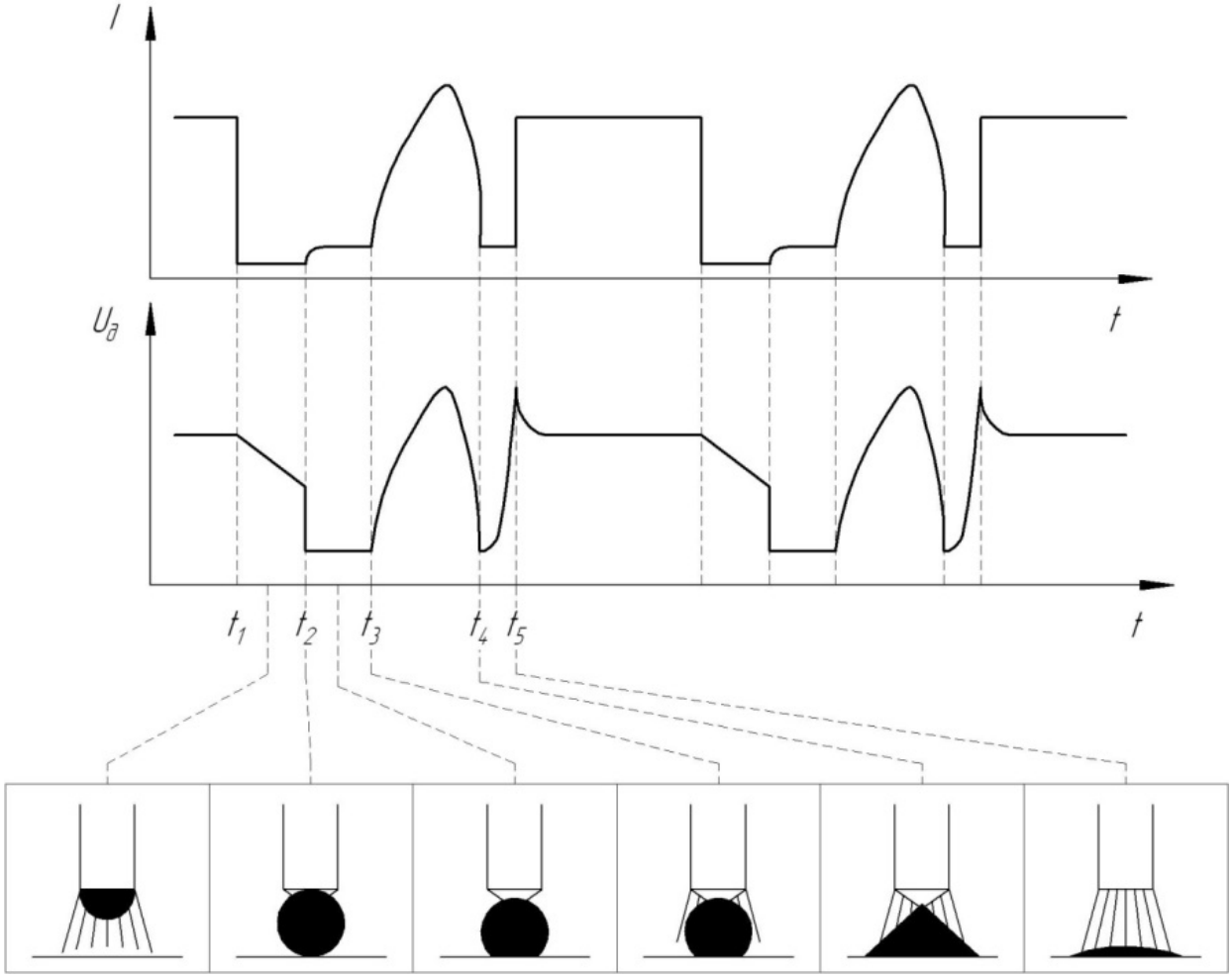


Рисунок 12 – Диаграммы тока и напряжения при реализации предлагаемого алгоритма управления

Таким образом, предлагаемая схема и алгоритм управления позволяет формировать сварочную дугу, которая характеризуется высокой пространственной устойчивостью и позволяющую получать стабильное качество при сварке во всех пространственных положениях, что особенно важно при выполнении ремонтных работ. Также импульсный характер горения дуги обеспечивает полноту выделения растворенных в сварочной ванне газов, что позволяет успешно бороться с образованием пор. Образующееся давление на поверхность сварочной ванны увеличивает глубину проплавления и улучшает формирование обратного валика при сварке в узкую разделку, что важно при ремонтной заварке трещин.

2.3 Проектная технология ремонтной сварки

При реализации проектной технологии ремонтной сварки происходит выполнение операций процесса, в состав которых «входит зачистка дефектного места, разделка трещины и её засверловка, заплавление разделки при помощи электрической сварки, зачистка поверхности и проведение контроля качества выполнения ремонтных работ.

При выполнении первой операции, зачистки дефектного места, применяется шлифовальная машина и электрический» [5] сверлильный станок на магнитной платформе, который представлен на рисунке 12. При помощи шлифовальной машины с поверхности изделия удаляют всю краску и загрязнения в месте предполагаемого залегания дефекта и на расстоянии от него во все стороны 20…25 мм. Далее с применением сверлильного станка на концах трещины выполняют отверстия диаметром 8…10 мм, расстояние центра которых от предполагаемого конца трещины должно быть составлять 4…5 мм. Для уточнения границ залегания трещины может быть применен нагрев газовым резаком до температуры 100…150 °С.

Рисунок 12 – Сверлильный станок на магнитном основании

При выполнении второй операции – разделки трещины, применяют представленный на рисунке 13 аппарат воздушно-плазменной резки Powermax 125 HAND. Зачистка торцев проводится с применением угловой шлифовальной машины. Кромки трещины должны быть разделаны под формы С17 согласно ГОСТ 14771, как показано на рисунке 14.

Рисунок 13 – Аппарат воздушно-плазменной резки Powermax 125 HAND

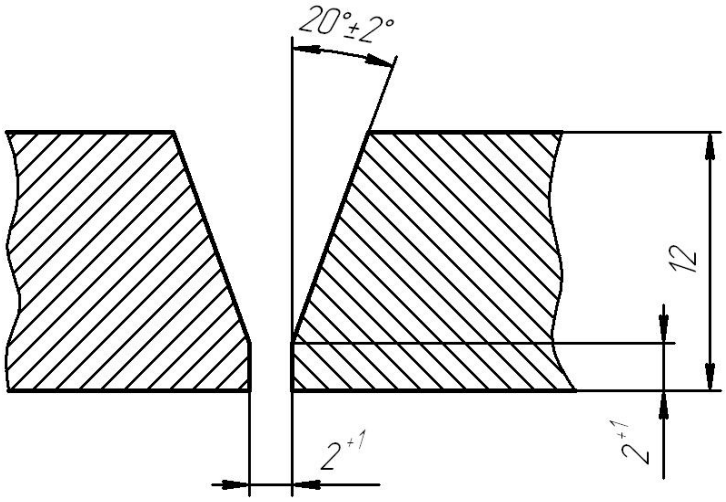


Рисунок 14 – Форма разделки трещины

При выполнении третьей операции – заплавлении разделки, применяется представленный на рисунке 15 сварочный выпрямитель ВДУ-506 и механизм подачи проволоки ПДГ-525. Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности проволокой диаметром 1,4 мм. Величина сварочного тока составляет 200…250 ампер при вылете проволоки 13…20 мм. Расход защитного газа составляет 1…1,4 кубических метра в час.

Рисунок 15 – Применяемый при сварке согласно реализуемой проектной технологии сварочный выпрямитель и механизм подачи проволоки

Защита поверхности деталей от образующихся при сварке брызг расплавленного металла обеспечивается раствором лигносульфаната, который приготовляют разбавлением порошка в нагретой до 50...60 °С воде с получением концентрата 1 к 4 по массе или 1 к 5 по объему. Защитный состав на поверхность деталей наносят кистью по ширине 100…1509 мм от сварного шва. Высыхание раствора происходит в течение 1…2 часа, после чего можно выполнять сварку.

Форма и размеры сварного шва при заполнении разделки трещины представлены на рисунке 16.

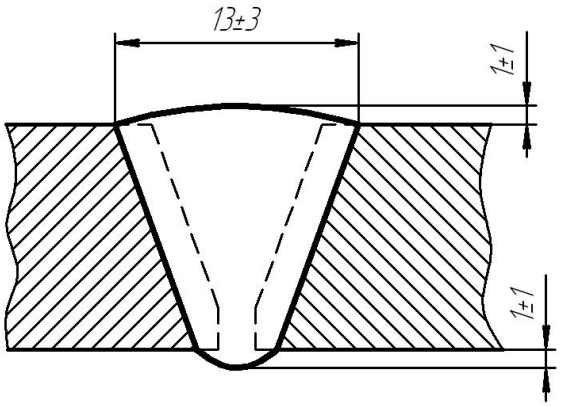


Рисунок 16 – Форма и размеры сварного шва при заполнении разделки трещины

Четвертая операция – контроль качества, предусматривает проведение визуально-измерительного контроля и ультразвукового контроля. Для выполнения визуального контроля применяют лупу с увеличением в 4…7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. Визуальному контролю следует подвергать все сварные швы по всей их протяженности. «Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Поры не должны иметь размеры более 2 мм, уменьшение катета сварного шва не должно быть более 1,5 мм, вогнутость сварного шва не должна превышать 1,5 мм, величина подрезов не должна превышать 2 мм. При ультразвуковом контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм, цепочки пор и шлаковых включений, не допускается наличие между слоями несплавлений» [25].

Выводы по второму разделу

В ходе выполнения настоящего раздела описан ход решения задач, постановка которых проведена в предыдущем (аналитическом) разделе. На основании выставленной экспертной оценки при анализе преимуществ и недостатков альтернативных способов ремонтной сварки для построения проектной технологии предложено применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, повышение эффективности которой достигнуто за счёт применения современных разработок отечественных исследователей-сварщиков в области управления сварочными процессами. Составленная проектная технология ремонтной сварки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования. Далее следует выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

В ходе исполнительского раздела выпускной квалификационной работы представлены технологические приемы и оборудование, применение которых в проектном технологическом процессе позволяет повысить эффективность сварочных работ на выполнении ремонта несущих конструкций сельскохозяйственной техники на примере культиватора широкозахватного. Решение о возможности внедрения предлагаемых решений в современное производств должно приниматься на основании анализа возможности обеспечения безопасности труда и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 6, которая позволяет получить необходимую информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что является достаточным для идентификации опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию ремонтной сварки металлических конструкций. Такие операции, как зачистка дефектного места и разделка трещины выполняются с привлечением слесаря-сборщика и дефектоскописта. Заполнение разделки с применением механизированной сварки выполняется электросварщиком. Контрольные операции выполняются с привлечением дефектоскописта по магнитному и ультразвуковому контролю. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или вредные).

Таблица 6 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки металлических конструкций

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«зачистка дефектного места	Слесарь-сборщик, дефектоскопист	- лупа х4, - машинка угловая шлифовальная - щётка металлическая	абразивный круг
разделка трещины	Слесарь-сборщик, дефектоскопист	- лупа х4 - машинка угловая шлифовальная - дрель электрическая, - щётка металлическая	- СОЖ, - абразивный круг
заполнение разделки механизированной сваркой в защитном газе	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- выпрямитель - полуавтомат - формирователь импульсов	- сварочная проволока, - углекислый газ
контроль качества заварки трещины» [5]	Дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю	Ультразвуковой дефектоскоп	масло

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

«При выполнении операций проектного технологического процесса ремонтной сварки металлических конструкций неизменно возникает ряд негативно влияющих на персонал факторов, источниками которых является применяемое на участке технологическое оборудование» [6]. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню «опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. На участке имеется оборудование с опасным уровнем напряжения и тока» [6]. В таблице 7 представлен перечень возникающих факторов

Таблица 7 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса ремонтной сварки металлических конструкций

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
«Зачистка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Разделка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - повышенная температура поверхностей
Сварка	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Контроль качества» [27]	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок

«Возникающие при реализации проектной технологии и представленные в таблице неблагоприятные производственные факторы могут быть отнесены к вредным производственным факторам и опасным производственным факторам» [6]. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. Ко второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая. Идентифицированные факторы относятся к факторам, ранее возникающим на предприятии, для их нейтрализации применяется стандартный набор средств.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Для предотвращения отрицательного влияния производственных факторов на персонал предприятия выше была выполнена их идентификация и составлен перечень согласно ГОСТ 12.0.003-2015. Далее предлагается проведение оценки эффективности применения стандартных средств и методик, которые представлены в таблице 8. В таблице рассматривается перечень негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено.

Обеспечение защиты персонала от действия негативных факторов может быть выполнено с применением как стандартных, так и специальных средств, обеспечивающих безопасность производственного процесса. При выработке решений по защите персонала от негативного воздействия производственных факторов необходимо учитывать их кумулятивное действие , выраженное в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал.

Таблица 8 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками» [6]	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону» [6]	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия

По результатам анализ представленной таблицы можно судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Разработки специальных средств не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

«Помимо негативных производственных факторов при реализации технологии сварки и наплавки необходимо считаться с высокой опасностью возникновения пожара. Это происходит по причине наличия самой дуги, горение которой характеризуется высокими температурами и интенсивностью теплового излучения; брызг расплавленного металла, которые могут попасть на горючие предметы; самих нагретых поверхностей. Для того, чтобы обеспечить горение дуги, применяются источники тока, подвод электрической мощности к которым также может стать причиной возгорания. Также наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение» [2]. В таблице 9 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 9 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок ремонтной сварки металлических транспортных конструкций
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [2]

В процессе возникновения и развития пожара на рассматриваемом производственном участке персонал предприятия и сотрудники МЧС могут подвергаться опасным факторам пожара. К таким фактора относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, «приводящее к удушению уменьшение

содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории Е, так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 10 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке» [2].

Таблица 10 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [6]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Планирование противопожарных мероприятий следует выполнять с учётом приоритетности предупредительных мероприятий. Особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания. Запрещается сваливание на участке мусора (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Современные производственные процессы должны отвечать не только требованиям промышленной безопасности и пожарной безопасности, но и предусматривать нанесение минимального ущерба окружающей среде. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс ремонтной сварки металлических конструкций сельскохозяйственной техники, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы.

В таблице 11 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 11– Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства

Участок	Участок проведения ремонтных работ конструкций сельскохозяйственной техники
Защита атмосферы	Вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Обеспечить раздельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел посвящен вопросам безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности производственного участка, которые возникают при реализации предлагаемого проектного процесса ремонтной сварки при исправлении дефектов металлических конструкций сельскохозяйственной техники. По результатам анализа операций проектного технологического процесса составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Необходимый уровень безопасности обеспечивается, и проведение специальной разработки не требуется. Рассмотрение вопросов пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволило составить перечень средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Установлено, что основной упор следует сделать на предотвращение возникновения ситуаций, в которых возможно возникновение пожара. Соблюдение требований современной мировой экологической повестки заставляет рассматривать производственный участок с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести с загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

В исполнительском разделе рассматривался вопрос построения технологии ремонтной сварки при исправлении дефектов металлических конструкций сельскохозяйственной техники. Базовый процесс предусматривает применение ручной дуговой сварки. Проведено обоснование применения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для реализации проектной технологии. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа сварки. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 12. Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии сварки при ремонте металлических конструкций. Дальнейшие экономические расчёты будут основаны на представленных в таблице исходных данных. С учётом особенностей рассматриваемого технологического процесса технология будет реализована при работе в одну смену.

Таблица 12 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$К_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$Р_р$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	Сч	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	Кдоп	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$К_д$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$К_{ВН}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	Цоб	руб.	450 тыс.	750 тыс.
Норма амортизации оборудования	$К_а$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$М_{уст}$	кВт	9	9
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Кт -з	%	5	5
Стоимость электрической энергии	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$К_{мон}$ $К_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	$м^2$	800	800
Стоимость эксплуатации площадей	Сэксп	$(Р/м^2)$/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	$Р/м^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$К_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [13]	Кзав	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает раздельное определение временных показателей рассматриваемого производства, раздельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, ву первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования $F_н$ и эффективный фонд времени работы оборудования $F_э$, связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени В. Годовой фонд времени работы оборудования $F_н$ в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, «для расчётов принимается количество смен $К_{см}$=1. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным Др=277. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчётов принимается равной $Т_{см}$=8 часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $Т_п$=1 час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчётов принимается равным $Д_п$=7 дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_н = (Д_р \cdot Т_{см} - Д_п \cdot Т_п) \cdot К_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [13] через коэффициент В, значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается В=0,07. На основании вышеизложенного

$$F_э = F_н(1\text{-}В) = 2209 \cdot (1 - 0{,}07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_э$= 2054 часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего «проведения задания годовой программы производства $П_г$. Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать» [13] по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [13] выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0{,}833 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1{,}008$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0{,}347 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0{,}420$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_э$ и штучного времени $t_{шт}$ как

$$П_г = F_э / t_{шт}. \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $П_{г.} = 2054/1,008 = 2000$ дефектов за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $П_г = 2054/0,420 = 5000$ дефектов за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $П_г = 2000$ ремонтируемых дефектов за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{расч}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени $F_э$, годовой программы $П_г$ и штучного времени $t_{шт}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $К_{вн}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $К_{вн} = 1,03$» [13]:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot П_г / (F_э \cdot К_{вн}). \quad (5)$$

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч.} = 1,008 \cdot 2000/(2054 \cdot 1,03) = 0,95$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч.} = 0,42 \cdot 2000/(2054 \cdot 1,03) = 0,4$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования $К_з$, который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$К_э = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $К_з = 0,95/1 = 0,95$ и $К_з = 0,4/1 = 0,4$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $С_{тех}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить раздельный расчёт составляющих: «затрат на материалы М, фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $О_{сс}$, затрат на оборудование $З_{об}$ и затрат на площади $З_{пл}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $Ц_{м}$, нормы расхода $Н_{р}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $К_{тз}$ = 1,05» [13]:

$$М = Ц_{м} \cdot Н_{р} \cdot К_{т-з} . \quad (7)$$

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить М=354,00 р/кг·1,58 $см^2$·50 см·7,8 г/ $см^3$·1,80·1,05:1000 = 412 руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $М_{баз.}$= 78,00 р/кг·1,0 $см^2$·50 см·7,8 г/ $см^3$·1,2·1,05:1000+16 руб.= 55 руб.

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $З_{осн}$ и дополнительную заработную плату $З_{доп}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $С_{ч}$, коэффициента доплат $К_{д}$ и коэффициента дополнительных затрат $К_{доп}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $С_{ч}$=200 руб., $К_{д}$=1,88 и $К_{доп}$=0,12» [13]. Расчёт величины $З_{осн}$:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot С_{ч} \cdot К_{д}. \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $З_{осн}$ = 1,008·200·1,88 = 379 руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{осн.}$ = 0,42·200·1,88 = 158 руб.

Расчёт величины $З_{доп}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot К_{доп}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{доп}$= 379·0,12 = 45 руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{доп}$ = 158·0,12 = 19 руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$ФЗП = З_{осн} + З_{доп}. \quad (10)$$

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину ФЗП = 379+45 = 424 руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину ФЗП = 158+19 = 177 руб.

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды $О_{сс}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $К_{сн}$, значение которого для рассматриваемого» [13] производства из таблицы исходных значений принимается $К_{сн}$=0,34. Расчёт величины $О_{сс}$:

$$О_{сн} = ФЗП \cdot К_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $О_{сн.}$ = 424·0,34 = 144 руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $О_{сн.}$ = 177·0,34 = 60 руб. «Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $З_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $А_{об}$ и затраты на электрическую энергию $Р_{ээ}$» [13]. При расчете величины $А_{об}$ применяются ранее определенные значения $F_э$ и $t_{маш}$, а также принятые для рассматриваемого

производства норма амортизации $Н_а$ и стоимость оборудования $Ц_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $А_{об}$:

$$А_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot Н_а \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $А_{об} = 450000 \cdot 21,5 \cdot 0,833 / 2054 / 100 = 19,61$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $А_{об} = 750000 \cdot 21,5 \cdot 0,347 / 2054 / 100 = 13,62$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $Р_{ээ}$ выполняется применяется цена электрической энергии $Ц_{ээ}$, установленная мощность применяемого оборудования $М_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $Р_{ээ}$:

$$Р_{ээ} = М_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ} / КПД. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $Р_{ээ} = 9 \cdot 0,833 \cdot 3,02 / 0,7 = 21,2$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $Р_{ээ} = 9 \cdot 0,347 \cdot 3,02 / 0,85 = 10,4$ руб.

Величина затрат на оборудование $З_{об}$ определяется как сумма $А_{об}$ и $Р_{ээ}$:

$$З_{об} = А_{об} + Р_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $З_{об.} = 19,61+21,2 = 31,81$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{об} = 13,62+10,4 = 24,02$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $С_{тех}$ выполняется как сумма затрат

на материалы М, фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $О_{сс}$, затрат на оборудование $З_{об}$, затрат на площади $З_{пл}$:

$$С_{тех} = М + ФЗП + О_{сс} + З_{об} + З_{пл}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $С_{тех}$ = 412+424+144+31,81+17,1=1028,91 руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $С_{тех}$ = 55+177+60+24,02+7,3= 323,32 руб..

Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $С_{цех}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $С_{тех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент цеховых расходов $К_{цех}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $К_{цех}$=1,5. Расчёт величины $С_{цех}$:

$$С_{цех} = С_{тех} + З_{осн} \cdot К_{цех}. \quad (16)$$

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $С_{цех}$=1028,91+1,5·379=1028,91+568,50=1597,41 руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $С_{цех}$=323,32+1,5·158=323,32+237,00 = 560,32 руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $С_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $С_{цех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $К_{зав}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $К_{зав}$=1,15. Расчёт величины $С_{зав}$:

$$С_{зав} = С_{цех} + З_{осн} \cdot К_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $С_{зав}$ = 1597,41+1,15·379 = 1597,41+435,85 = 2033,26 руб. Применение (17) для проектного варианта дает $С_{зав}$ = 560,32+1,15·158 = 560,32 +181,70 = 742,02 руб.

Для анализа которых на рисунке 19 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса» [13]. Калькуляция представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
«Затраты на материалы	М	412	55
Фонд заработной платы	ФЗП	424	177
Отчисления на соц. нужды	ОСН	144	60
Затраты на оборудование	Зоб	31,81	24,02
Расходы на площади	Зпл	17,1	7,3
Технологическая себестоимость	Стех	1028,91	323,32
Цеховые расходы	Рцех	568,50	237,00
Цеховая себестоимость	Сцех	1597,41	560,32
Заводские расходы	Рзав	435,85	181,70
Заводская себестоимость» [13]	Сзав	2033,26	742,02

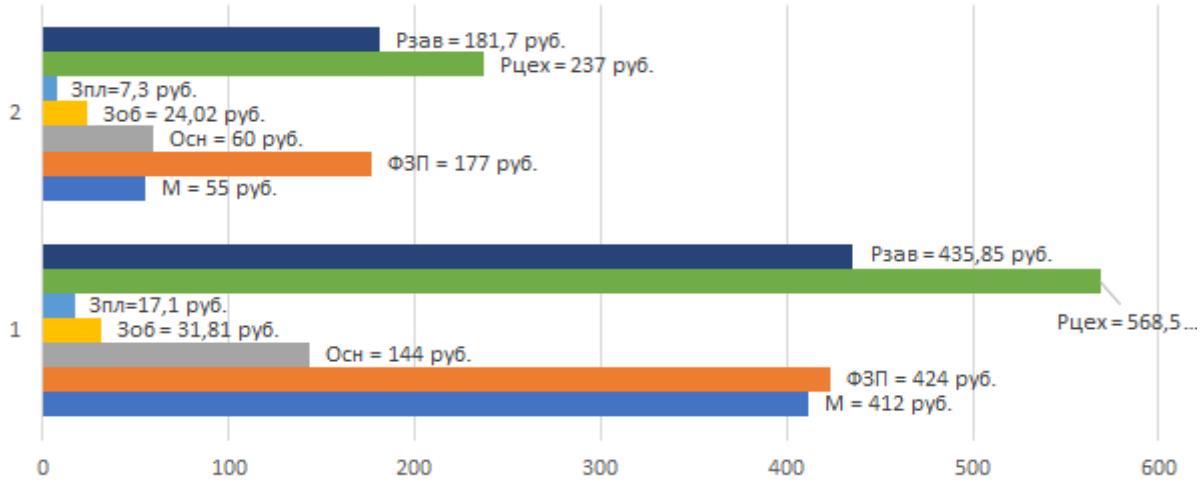


Рисунок 17 – Состав заводской себестоимости

Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $Ц_{об.б}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $Т_с$=2 года и цене оборудования $Ц_{перв}$= 450 тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $Н_а$=21,5 %» [13]:

$$Ц_{об.б.} = Ц_{перв.} – (Ц_{перв} \cdot Т_{сл} \cdot Н_а/100). \quad (18)$$

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $Ц_{об.б.}$ = 450000 – (450000 ·3·21,5/100) = 159750 руб.

Величина общих капитальных затрат $К_{общ.б}$ в базовом варианте технологии. рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки $К_з$ и остаточной стоимости $Ц_{об.б}$:

$$К_{общ.\ б.} = Ц_{об.б} \cdot К_{з.б} = 1 \cdot 159750 \cdot 0,95 = 151762 \text{ рублей}. \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $К_{об.\ пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $Ц_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $К_з$, расчётное значение которого составляет $К_з$=0,4. Из таблицы исходных данных принимается $Ц_{обюпр.}$=750 тыс. рублей, $К_{тз}$=1,05. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$К_{об.пр.} = Ц_{об.\ пр.} \cdot К_{тз} \cdot К_{зп} = 750000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 315000 \text{ руб}. \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $К_{дем}$=0,05 и цены оборудования $Ц_{об.б.}$= 40 тыс. рублей определяют как

$$Р_{дем} = Ц_{об.\ б.\ .} \cdot К_д = 1 \cdot 4500000 \cdot 0,05 = 22500 \text{ руб}. \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $К_{мон}$=0,05 и цены оборудования $Ц_{об.пр.}$= 750 тыс. рублей определяют как

$$Р_{монт} = Ц_{об.\ пр.} \cdot К_{м} = 750000 \cdot 0{,}05 = 37500 \text{ рублей.} \quad (22)$$

Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $Р_{дем}$ и расходов на монтаж $Р_{мон}$:

$$К_{соп} = Р_{дем} + Р_{монт} = 22500 + 37500 = 60000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

Величину капитальных затрат по проектной технологии $К_{общ.пр.}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $К_{соп}$ и капитальных затрат на оборудование $К_{об.пр.}$:

$$К_{общ.\ пр.} = К_{об.\ пр.} + К_{соп.} = 315000 + 60000 = 375000 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $К_{доп}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $К_{общ.\ б.}$ и капитальных затрат по проектной технологии $К_{общ.\ пр.}$:

$$К_{доп} = К_{общпр} – К_{общб} = 375000 – 151762 = 223238 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $К_{уд}$ рассчитывается по капитальным вложениям $К_{доп}$ с учётом годовой программы $П_{г}$:

$$К_{уд} = К_{общ} / П_{г}\ . \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [13] затрат составляет $К_{уд}$ = 151762/2000 = 75,88 рублей за один дефект на раме культиватора. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $К_{уд}$ = 375000/2000 = 187,5 рублей за один дефект на раме культиватора.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа показателей экономической эффективности. Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100\ \% / t_{шт\ б} = (1.008 - 0{,}42) \cdot 100\ \% / 1{,}008 = 58\ \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда $П_т$:

$$П_т = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 58 / (100 - 58) = 138\ \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (1028 - 323) \cdot 100\% / 1028 = 68\ \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $Э_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы $П_г$:

$$Э_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot П_г = (2033 - 742) \cdot 2000 = 5164960 \text{ рублей}. \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $Т_{ок}$:

$$Т_{ок} = К_{доп} / Э_{уг} = 258286 / 2113290 = 0{,}3 \text{ года}. \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта $Э_г$ с учетом коэффициента окупаемости затрат $Е_н$=0,33:

$$Э_г = Э_{уг} - Е_н \cdot К_{доп} = 5164960 - 0{,}33 \cdot 223238 = 5091291 \text{ рублей}. \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразность внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки при проведении ремонта металлических транспортных конструкций на примере рамы культиватора. На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели производства.

С учетом исходных данных и рассчитанных временных параметров процесса в базовом и проектном вариантах технологии выполнен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ. При расчётах установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ.

Таким образом, за счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удается уменьшить трудоемкость выполнения работ на 88 %, повысить производительность процесса на 138 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 68 %. При капитальных вложениях 258 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,3 года, а экономический эффект составляет 5,09 млн. рублей.

Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений на другие производства и предприятия, выполняющие ремонт транспортных металлических конструкций.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности и расширению технологических возможностей сварочных операций при ремонте несущих конструкций сельскохозяйственной техники на примере рамы культиватора. Во введении представлен краткий анализ состояния вопроса и обоснована актуальность выбранного направления исследования, выполнена формулировка цели выпускной квалификационной работы и способов её достижения.

В ходе выполнения аналитического раздела проведен анализ конструкции рамы культиватора и возникающих дефектов. Рассмотрены особенности сварки стали, из которой выполнена рама культиватора и особенности выполнения операций базовой технологии ремонта рамы культиватора, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки, недостатки которой сформулированы. На основании проведенного литературного обзора выполнен анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки металлических конструкций дуговыми способами, выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу.

При решении первой задачи обоснован выбор способа сварки для реализации проектной технологии. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков рассматриваемых способов предложено применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

При решении второй задачи расширение технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах предлагается достигать за счёт применения алгоритма управления, реализующего импульсное горение сварочной дуги и перенос электродного металла, который разработан российскими исследователями- сварщиками. Реализация возможностей, заложенных в предлагаемый к использованию сварочный

источник питания, позволяет за счёт изменения теплового баланса повысить эффективный кпд сварки и уменьшить тепловую нагрузку на основной металл. Также за счёт импульсного воздействия на сварочную ванну улучшаются условия к выходу из неё растворенных в расплавленном металле газов, что снижает пористость в соединении. Качество полученного сварного шва соразмерно с качеством, получаемым при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом.

При решении третьей задачи выполнено построение проектной технологии ремонтной сварки, для реализации которой составлен перечень операций, сформулированы требования к их выполнению и назначены параметры режима.

При выполнении третьего раздела настоящей выпускной квалификационной работы проведена идентификация негативных производственных факторов, образование которых и действие на персонал наблюдаются при реализации проектного технологического процесса. Кроме того, рассмотрены меры по обеспечению пожарной безопасности и экологической безопасности рассматриваемого сварочного участка.

При выполнении четвертого раздела настоящей выпускной квалификационной работы был выполнен расчёт экономических показателей, характеризующих реализацию базового технологического процесса и реализацию проектного технологического процесса. На основании сравнения этих показателей можно судить о высокой эффективности предлагаемых решений.

Ожидаемое повышение производительности труда за счёт применения более прогрессивных технологий сварки составляет 138 % при снижении технологической себестоимости на 40 %. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых решений на рассматриваемом производстве составляет 5,09 млн. рублей, что позволяет судить о высокой эффективности предлагаемых решений и достижении поставленной цели работы.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1234096 СССР, МКИ В23К9/00. Высокочастотный импульсный источник питания для дуговой сварки / Сергеев Ю. Е., Тефанов В. Н., Ибрагимов С. М., Лапытов Р. М. – № 3759932/25-27, заяв. 25.06.84; опубл. 30.05.86, Бюл. № 20. 2 с.

2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.

3. Варуха Е. Н., Морозов А. А. Расчёт глубины проплавления изделия при сварке в углекислом газе // Автоматическая сварка. 2002. № 8. С. 20–23.

4. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.

5. Волков А. С. Причины появления дефектов вблизи исправленных участков сварных швов // Сварочное производство. 1974. № 8. С. 33–34.

6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

7. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48–52.

8. Жерносеков А. М., Хаскин В. Ю., Набок Т. Н. Импульсная лазерно-дуговая сварка углеродистых сталей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 5/1. С. 12–16.

9. Захаров С. В., Квашин В. П. Рекомендации для технологического процесса ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2016. № 3. С. 80-83.

10. Занковец П. В., Шелег В. К. Математическое моделирование и автоматизация технологической подготовки производства сварных конструкций // Наука и техника. 2017. № 1. С. 5–15.

11. Ковенкский И. М., Кусков К. В., Венедиктова И. А. Усталостное разрушение сварных соединений трубных сталей 09Г2С и 17Г1С-У // Машиностроение и машиноведение: Омский научный вестник. 2013. № 2. С. 51-53.

12. Коротких В. М. Энергоэффективные технологии ремонта и восстановления сельскохозяйственной техники электросваркой // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 12. С. 90-95.

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

14. Крюков А. В. Повышение эффективности механизированной сварки в углекислом газе за счет применения импульсной подачи электродной проволоки : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул : Юргенский технологический институт. 2008.

15. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

16. Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В., Петрук В.С. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.

17. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.

18. Моторин, К.В. Методическое указание по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения / К.В. Моторин. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 7 с.

19. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

20. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

21. Погонышев В. А., Новцев П. А., Кравцов П. И. Исследование эффективности способов ремонта сельхозтехники // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №4. С. 27-31.

22. Позняков В. Д., Довженко В. А., Касаткин С. Б. Микроструктурные особенности усталостной повреждаемости и способы повышения долговечности сварных соединений стали 09Г2С // Автоматическая сварка. 2012. № 5. С. 32–37.

23. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

24. Салганик В. М.. Полецков П. П., Бережная Г. А. Разработка рациональных режимов прокатки высокопрочных сталей марок 17Г1С и 09Г2С с целью улучшения качества металлопроката // Качество в обработке металлов. 2015. № 2. С. 30-32.

25. Сидорец В. Н., Жерносеков А. М., Рымар С. В. Импульсно-дуговая сварка как основа современных технологий сварки плавящимся электродом // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 221–225.

26. Чупейкина Н. Н. Влияние качества ремонтной сварки на работоспособность сварных соединений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 3. С. 181-184.

27. Шахов В.А., Коляда В.С., Ракитянский А.А. Обоснование метода восстановления поперечных планок подбарабаний зерноуборочных комбайнов фирмы «CLAAS» // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: сб. трудов междунарнауч.-практич. конф. Оренбург, 2013. С. 85–90.