

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

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

«Оборудование и технология сварочного производства»
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс и оборудование восстановления ковша экскаватора

Студент

Е.Р. Ивашин
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

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

Консультанты

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

При проведении строительных работ в условиях городской застройки следует учитывать, что они значительно усложнены близлежащими зданиями и уже проложенными коммуникациями. В связи со стеснёнными условиями работы на строительной площадке применяют экскаваторы-погрузчики. Эта техника нашла применение при прокладке и восстановлении тепловых сетей, кабельных коммуникаций, организации городской инфраструктуры.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных операций при ремонте деталей машин на примере ковша экскаватора-погрузчика.

По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать механизированную сварку в защитных газах.

На основании результатов работы отечественных исследователей-сварщиков предложено использовать разработку, которая позволяет обеспечить импульсное управление сварочной дугой. В результате происходит стабилизация переноса электродного металла, и повышение качества ремонтной сварки и наплавки.

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

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 33 % и увеличить производительность. Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 20%. При этом годовой экономический эффект составит 0,66 млн. рублей.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние вопроса восстановления ковшей.	7
1.1 Описание детали и возникающих дефектов.	7
1.2 Анализ материала, применяемого для изготовления ковша.	10
1.3 Особенности технологии по базовому варианту.	13
1.4 Критический анализ базовой технологии.	19
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	20
2 Проектная технология ремонтной заварки трещины на ковше.	22
2.1 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки.	22
2.2 Обоснование выбора ремонтной сварки.	24
2.3 Повышение эффективности ремонтной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.	29
2.4 Контроль условий проведения ремонтной сварки.	31
2.5 Требования к сварочным материалам	32
2.6 Подготовка дефектного места	34
2.7 Требования к сварке	36
2.8 Наплавка износостойкого слоя	38
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы.	42
3.1 Технологическая характеристика объекта	42
3.2 Идентификация профессиональных рисков	44
3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов.	46
3.4 Пожарная безопасность на производстве.	48
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии.	50
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений.	53

4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности.	53
4.2 Расчёт объёмов фонда времени.	55
4.3 Расчет штучного времени	56
4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии.	58
4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии.	62
4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии.	64
Заключение	68
Список используемой литературы и используемых источников.	70

Введение

Эффективность экономики страны и темпы её развития определяются уровнем машиностроения. Также для успешного развития страны необходимо поддержание и расширение сети дорог.

При проведении строительных работ в условиях городской застройки следует учитывать, что они значительно усложнены близлежащими зданиями и уже проложенными коммуникациями. В связи со стеснёнными условиями работы на строительной площадке применяют экскаваторы-погрузчики. Эта техника нашла применение при прокладке и восстановлении тепловых сетей, кабельных коммуникаций, организации городской инфраструктуры. В качестве примера можно привести широко применяемый экскаватор-погрузчик ЭО-2626, который оснащён универсальным погрузочным ковшом. Конструкция ковша позволяет собирать мусор и осуществлять его погрузку в машины. Также ковш может быть использован при формировании поверхностей, засыпке траншей. Ковш может быть использован при работе как с сыпучими, так и мелкокусковыми материалами.

Увеличение интенсивности использования строительной техники приводит к необходимости проведения её изнашиваемых элементов.

Покупка новых запасных частей при ремонте деталей машин может привести к значительным финансовым и временным затратам. В случае вторичного использования деталей машин при условии проведения соответствующих ремонтных работ расходы могут быть ощутимо уменьшены. Для выполнения требований по ресурсосбережению и энергосбережению предпочтение следует отдавать именно восстановленным деталям. Это объясняется тем, что при износе теряется обычно не более 1...2 % исходного металла детали при сохранении прочности на уровне новой детали [11].

В условиях новой экономической реальности правильная организация ремонтных работ по восстановлению деталей машин и элементов строительной техники будет определяющим. Использование новых запасных

частей сопряжено с логистическими и финансовыми проблемами, решение которых может необоснованно отнять ресурсы предприятия. В тоже время, приблизительно 75 % всех изношенных деталей могут быть отремонтированы с восстановлением эксплуатационных свойств [10], [17].

Совершенствование технологии ремонта ответственных металлических конструкций происходило в нашей стране благодаря работам исследователей-сварщиков: Винокуров В.А., Ишков А.М., Квагинидзе В.С., Кузьмин В.Р., Куркин С.А., Ларионов В.П., Николаев Г.А., Патон Е.О., Патон Б.Е, Слепцов О.И.

Благодаря трудам этих учёных были предложены новые наплавочные материалы и технологии. Внедрение разработок позволило добиться не только восстановления эксплуатационных свойств деталей, но и рассчитывать на повышение эксплуатационных свойств восстановленных деталей машин по отношению к новым деталям.

Анализ литературных данных по характеру износа строительной техники [7], [12], [13] позволяет констатировать, что на нарушение геометрии и формы приходится порядка 13 % деталей, подлежащих восстановлению, уменьшение толщины – 52 %, трещины и изломы – 9 %.

Основными дефектами при износе ковша являются трещины и изломы.

Таким образом, следует признать, что цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных операций при ремонте деталей машин на примере ковша экскаватора-погрузчика – является актуальной и вопрос её достижения носит не только экономический, но и макроэкономический характер.

При выполнении настоящей выпускной квалификационной работы следует провести обзор современных достижений в области ремонтной сварки, предложить перспективные материалы и технологии.

1 Современное состояние вопроса восстановления ковшей

1.1 Описание детали и возникающих дефектов

Экскаватор ЭО-2626, представленный на рисунке 1, применяется для погрузки сыпучих и раздробленных материалов (песок, щебень, гравий), а также для разработки грунтов категорий I, II и III. Экскаватор имеет бульдозерный и экскаваторный ковши.



Рисунок 1 – Внешний вид экскаватора ЭО-2626

Главным рабочим органом экскаватора ЭО-2626 служит бульдозерный ковш, который представлен на рисунке 2. При помощи этого ковша выполняется отрывание ям, имеющих отвесные стенки, выработка котлованов, строительство оросительных систем и прокладка коммуникаций под землёй. Боковые стенки ковша имеют режущие кромки. Задняя стенка ковша оснащена проушинами, за которые выполняется крепление его к стреле. Сам ковш выполнен в виде жёсткой металлической конструкции коробчатой формы. В состав ковша входят: челюсть подвижная 1, челюсть стационарная 2, пальцы 4, 9 и 11, втулки 5, 6, 7, 8 и 10.

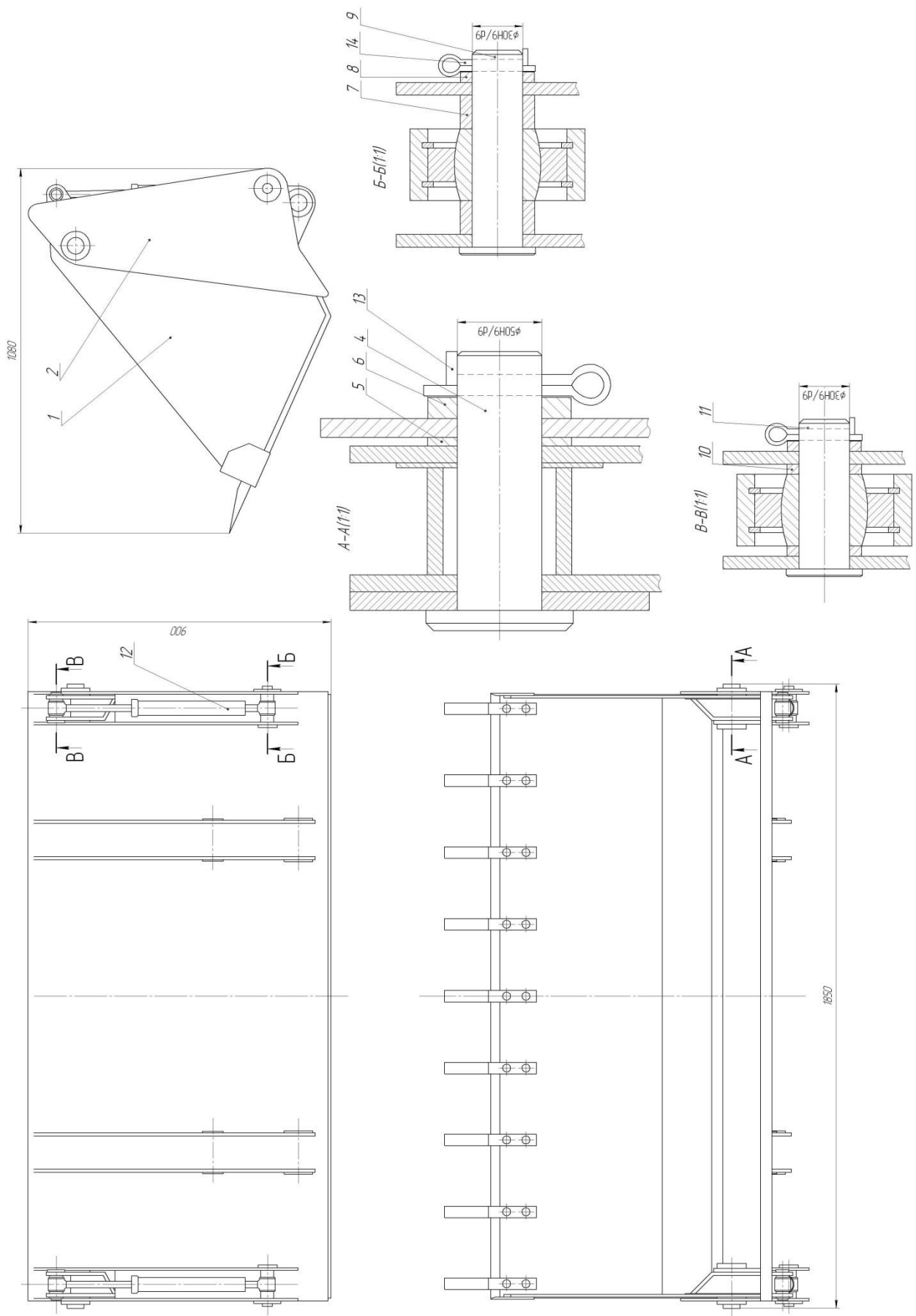


Рисунок 2 – Передний ковш экскаватора-погрузчика ЭО-2626

В процессе эксплуатации ковш подвергается значительному износу. Истираются днище и боковые стенки ковша, образуются и развиваются трещины в сварных соединениях, изнашиваются резьбовые соединения и отверстия проушин, отламываются ножи.

При эксплуатации ковша в его конструкции возникают два характерных дефекта, которые приводят к снижению его функциональности.

Первым дефектом являются трещины, которые образуются на боковой стенке. Причинами возникновения трещин является усталость металла при интенсивной эксплуатации и перегрузках ковша. В процессе эксплуатации элементы ковша изгибаются, что вызывает образование напряжений и приводит к возникновению трещин. Возникающие трещины имеют различную длину и направление.

Вторым дефектом является износ отверстий проушин. Причиной возникновения такого износа является повышенная нагрузка в процессе работы ковша и несвоевременно проведенная замена пальцев и втулок. В таблице 1 представлены исправляемые дефекты в теле ковша.

Таблица 1 – Дефекты ковша

Характеристика дефекта	Метод обнаружения дефекта	Возможность исправления дефекта
Изнашивание отверстий под втулку верхней проушины	Визуально-измерительный контроль	Дуговая наплавка, установка ремонтной детали
Трещина в сварном шве	Визуальный осмотр	Дуговая сварка, постановка заплатки
Поломка зуба ковша	Визуальный осмотр	Замена элемента
Трещина в боковой стенке	Визуальный осмотр	Дуговая сварка, постановка фигурной вставки
Изнашивание отверстия под малую втулку	Визуально-измерительный контроль	Дуговая наплавка, установка ремонтной детали

В пределах рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работы предприятий можно судить о высокой востребованности средств по решению вопроса восстановления ковшей, количество которых составляет 500 штук. При поломке зуба на ковше необходимо выполнить его замену на новый. В случае выявления на

поверхности боковой стенки трещины, необходимо провести ремонтную сварку, технология которой предусматривает выборку дефекта, заполнение выборки дуговой сваркой, приварку фигурной вставки. В случае, если трещина была обнаружена в сварном шве, её тоже выбирают и заваривают дуговыми методами с последующей установкой заплатки.

1.2 Анализ материала, применяемого для изготовления ковша

Детали ковша выполнены из стали 15ХСНД. Химический состав этой стали, представленный в таблице 2, регламентируется ГОСТ 19282-73. Механические свойства стали 15ХСНД представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в стали 15ХСНД согласно ГОСТ 19282-73

«С	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu
0,12-0,18	0,4-0,7	0,4-0,7	0,6-0,9	0,3-0,6	0,04	0,035	0,2-0,4

Таблица 3 – Механические свойства стали 15ХСНД согласно ГОСТ 19282-73

Твёрдость стали НВ	Предел прочности δ_B , МПа	Предел текучести $\delta_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость U кДж/см ²
220	740	640	20	68	176» [23]

При сварке металлических конструкций из стали 15ХСНД следует принимать во внимание её склонность к образованию закалочных структур. В связи с этим необходимо назначать правильные значения параметров режима сварки, во избежание перегрева и закалки металла в зоне термического влияния и сварном шве. При выполнении сварных соединений на металле более толщиной 15 мм актуальным является применение многослойной сварки каскадом, что существенно снижает тепловое воздействие на металл. Сварку стали 15ХСНД ведут электродами Э50А или Э55 диаметром 5 или 6 мм. Перед выполнением сварки следует провести

прокалку электродов, качеству выполнения которой необходимо уделять значительное влияние. Несоблюдение параметров прокалки электродов при сварке стали 15ХСНД приводит к возникновению множественных дефектов.

При выполнении ремонтной сварки деталей из стали 15ХСНД существует высокая вероятность появления различных дефектов, в числе которых, в первую очередь, следует назвать горячие трещины, непровары, поры [23].

Образование представленных на рисунке 3 горячих трещин происходит при нарушении параметров предварительного подогрева и при неправильно заданном порядке выполнения сварных швов. Также горячие трещины образуются при нарушении техники сварки, например, при чрезмерно высокой скорости охлаждения металла. Также горячие трещины могут образовываться при значительном промежутке времени между сваркой и термообработкой. На возникновение горячих трещин существенное влияние оказывает близость концентраторов напряжений, низкое качество основного металла и неправильно проведенная прокалка электродов.



Рисунок 3 – Горячие трещины при сварке

Уменьшение опасности горячих трещин при сварке металлических конструкций достигается при специальной технике сварки – длину дуги следует уменьшить, а сварку выполнять без поперечных колебаний электрода. При обрыве дуги необходимо обеспечить тщательное заплавление

кратеров, выводить которые на основной металл нельзя. В случае, если при визуальном осмотре кратера в нём обнаружилась кратерная трещина, необходимо с применением механических способов удалить дефект.

Для снижения склонности к образованию горячих трещин следует оптимизировать свариваемую конструкцию, заменяя, где это возможно, тавровые соединения на стыковые. На склонность к образованию горячих трещин существенное влияние оказывает применяемый способ сварки. В частности, применение сварки порошковой проволокой позволяет существенно снизить вероятность появления горячих трещин.

Непровары, представленные на рисунке 4, могут образовываться при нарушении техники сварки и неправильном выборе режимов сварки. Вероятность получения непровара повышается при недостаточной зачистке кромок и снижении погонной энергии сварки. Также непровары наблюдаются при нарушении требуемых размеров кромок во время их разделки.

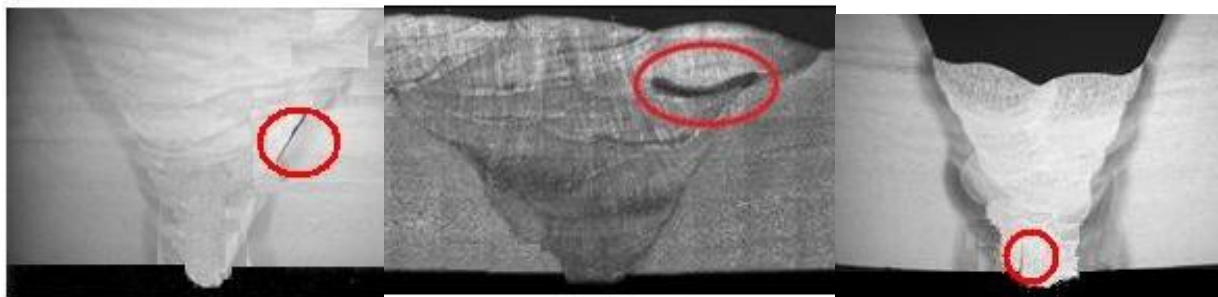


Рисунок 4 – Непровары при сварке

Снижение вероятности образования непроваров достигается при правильном выборе и поддержании параметров режима сварки, соблюдении заданной техники сварки. Необходимо обеспечивать качественную зачистку поверхности деталей перед сваркой и правильную форму разделки кромок. Если выполняется многопроходная сварка, каждый валик сварного шва необходимо зачищать, устраняя его выпуклость. Необходимо также проводить пооперационный контроль качества, своевременно обнаруживая

несплавления между валиками и удаляя эти несплавления при помощи зачистки.

Вероятность образования пор, представленных на рисунке 5, повышается при неудовлетворительном качестве зачистки поверхности деталей перед сваркой. Также на образование пор отрицательно сказываются нарушение газовой защиты, и техники сварки. В частности, повышенная скорость сварки и увеличенная длина дуги приводит к образованию пор в сварном шве. Кроме того, поры могут получаться в случае применения электродов с большим диаметром. Неправильная прокалка электродов перед сваркой также приводит к образованию пор.

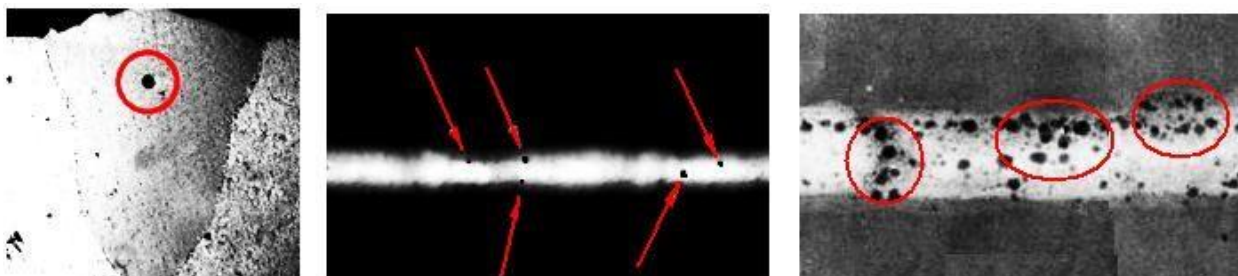


Рисунок 5 – Поры при сварке

Для того, чтобы подавить образование пор при сварке, необходимо обеспечить прокалку сварочных электродов в соответствии с режимами, представленными в инструкции к этим электродам. При обнаружении на электродах вздутия покрытия или осыпания покрытия следует отказаться от использования этих электродов. При выполнении проводят контроль качества сварных швов, в том числе и на предмет обнаружения участков с недопустимым количеством и размерами пор. Если такие участки были обнаружены, необходимо их вырубить и выполнить повторную заварку.

1.3 Особенности технологии по базовому варианту

Первая операция технологического процесса предусматривает выполнение разделки трещины. Поскольку длина трещины составляет

порядка 200 мм, для её разделки целесообразно применение кромкофрезерной машины ЕКФ 300, которая представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Ручная кромкофрезерная машина ЕКФ 300

Перед выполнением ремонтной заварки следует провести зачистку основного металла на расстоянии 25 мм в каждую сторону от трещины. Выявление концов трещины проводят с применением методов дефектоскопии: магнитная дефектоскопия, ультразвуковая дефектоскопия, проникающими растворами.

При проведении магнитного контроля можно выявить наличие дефектов на глубине до 2 мм. Выполняют намагничивание детали, после чего её покрывают тонким слоем магнитного порошка или суспензией порошка в масле. В зависимости от вида и размеров дефекта происходит искажение магнитных линий, и на поверхности порошка возникают бугорки.

При проведении ультразвукового контроля через стенку детали пропускают ультразвуковую волну, которая при встрече с границей дефекта частично отражается. По интенсивности и направлению отражённой волны можно судить о характере, размерах и глубине залегания дефекта. При этом, чтобы дефект был обнаружен, необходимо, чтобы его размеры превышали длину ультразвуковой волны.

При цветной дефектоскопии детали на 5...10 минут погружают в красную краску, которая глубоко проникает в полости дефекта. После этого краску с поверхности отливки удаляют и наносят на него тонкий слой белой краски. После того, как белую краску просушили, на ней в местах залегания дефектов выступают следы красной краски. Более глубокий дефект и более крупный дефект будут идентифицироваться более яркими красными следами.

Разделку трещины выполняют под сварные швы С17, С1 или С23 согласно ГОСТ 5264-80.

Вторая операция предусматривает засверливание концов трещины. Принимают диаметр сверла 7 мм и диаметр зенковки 8 мм. Для засверливания применяется станок на магнитном основании МС-36, который представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Сверлильный станок на магнитном основании МС-36

Третья операция предусматривает шлифовку места сварки, которая выполняется с применением шлифовальной машины ИЭ-2106, представленной на рисунке 8.



Рисунок 8 – Шлифовальная машина ИЭ-2106

Четвёртая операция предусматривает обезжиривание поверхности, которое выполняется с применением растворителя.

Пятая операция предусматривает ремонтную заварку трещины, которую выполняют электродами ДСК-50 согласно ГОСТ 9467-75. При использовании этих электродов наплавленный металл имеет химический состав и механические свойства, представленные в таблице 4 и таблице 5 соответственно.

В качестве источника питания применяется сварочный выпрямитель ВД-252, представленный на рисунке 9. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности.



Рисунок 9 – Выпрямитель сварочный ВД-252

Таблица 4 – Содержание химических элементов в наплавленном металле электродами ДСК-50

«С	Mn	Si	Ni	S	P
до 0,1	0,8...1,0	0,4...0,55	-	до 0,03	до 0,03

Таблица 5 – Механические свойства наплавленного металла при применении электродов ДСК-50

Марка электрода	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение	Ударная вязкость KCV	
	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	+20°С, Дж/см ²	-40°С, Дж/см ²
ДСК-50	430	510	20	196	137» [7]

Перед использованием сварочных электродов следует провести их прокалику на режимах, указанных в инструкции к этим электродам. Параметрами режима прокалики электродов являются температура и продолжительность прокалики. Для электродов ДСК-50 температура прокалики составляет 360...380 °С, а продолжительность составляет 2 часа. После того, как электроды были прокалены, их необходимо поместить в разогретую до температуры 80...100 °С печь, из которой электроды вынимают поштучно непосредственно перед использованием. В случае, если за смену были использованы не все прокаленные электроды, применение оставшихся электродов допускается только после выполнения повторной прокалики, при этом количество проведённых прокалок ограничивается тремя. Если электроды не были использованы после проведения трёх прокалок, их следует признать негодными и утилизировать.

Чтобы бороться с перегревом основного металла ремонтную заварку трещины следует выполнять за несколько проходов. При этом необходимо обеспечить плавный переход наплавленного металла на основной металл. При ремонтной заварке трещины, пока разделка полностью не заполнена, процесс сварки прерывать запрещено. Не следует также заплавлять отверстия на концах трещины.

После того, как разделка была заполнена, необходимо провести зачистку сварного шва, снимая усиление заподлицо с основным металлом.

Шестая операция предусматривает проведение контроля качества ремонтной сварки. Для обеспечения качества сварки при выполнении ремонта изделия проводят визуально-измерительный контроль и ультразвуковой контроль.

При выполнении визуально-измерительного контроля, объём которого составляет 100 %, измеряют геометрию сварного шва и сверяют размеры с заданным. Также проверяют сварной шов на наличие недопустимых видимых дефектов.

При выполнении ультразвукового контроля, объём которого составляет 100 %, выявляют недопустимые невидимые дефекты в металле сварного шва и основной металле околошовной зоны.

При проведении визуально-измерительного контроля обеспечивается обнаружение следующих дефектов:

- свищи;
- прожоги;
- подрезы;
- выходящие на поверхность поры;
- трещины;
- наплывы;
- незаваренные кратеры;
- грубая чешуйчатость.

При выполнении ультразвукового контроля недопустимыми являются дефекты:

- шлаковые включения размером более 2 мм;
- трещины всех видов и направлений;
- единичные поры размером более 1,5 мм;
- скопления пор более 5 штук на 1 квадратный сантиметр;
- участки со шлаковыми включениями суммарной длиной более 8 мм при расстоянии между ними менее 500 мм.

1.4 Критический анализ базовой технологии

При выполнении базовой технологии ремонтной заварки трещины на стенке ковша используется ручная дуговая сварка, имеющая значительное количество критических недостатков.

Первым недостатком следует признать повышенный расход дорогостоящих электродов из-за разбрызгивания, угара и огарков.

Вторым недостатком является низкая производительность ручной дуговой сварки, которая оказывается критичной при большой массе наплавленного металла. В настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы повышения эффективности за счёт оптимизации параметров режима, дальнейшее форсирование режимов наплавки и сварки не представляется возможным.

Третьим недостатком следует признать низкую стабильность качества, которая получается вследствие пористости, непроваров и трещин.

Четвёртым недостатком являются вредные условия труда сварщика, которому приходится выполнять сварку в атмосфере сварочного аэрозоля.

Также следует учесть, что отмеченные недостатки ручной дуговой сварки могут значительно усугубиться при малой квалификации сварщика. Таким образом, пятым недостатком следует признать высокую зависимость качества сварного шва и расхода сварочных материалов от квалификации сварщика.

Сформулированные недостатки базовой технологии, которая проходит с применением ручной дуговой сварки, требуют совершенствования технологии ремонтной сварки рассматриваемой детали. В настоящий момент в отечественной и мировой промышленности наблюдается тенденция к повсеместному отказу от ручной дуговой сварки и наплавки в пользу более перспективных способов, которые позволяют получить повышение производительности и стабильности качества [4].

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных операций при ремонте деталей машин на примере ковша экскаватора-погрузчика. Таким образом, работа посвящена повышению эффективности технологии ремонтной сварки и наплавки. Проведённый ранее анализ дефектов на рассматриваемой детали позволяет установить, что наибольшее распространение получили трещины на стенке ковша. Исправление этих дефектов заставляет затрачивать наибольшие финансовые и трудовые ресурсы.

При выполнении базовой технологии ремонтной заварки трещины на стенке ковша используется ручная дуговая сварка, имеющая значительное количество критических недостатков:

- повышенный расход дорогостоящих электродов из-за разбрызгивания, угара и огарков;
- низкая производительность ручной дуговой сварки, которая оказывается критичной при большом объёме выполняемых работ. В настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы повышения эффективности за счёт оптимизации параметров режима, дальнейшее форсирование режимов наплавки и сварки не представляется возможным;
- низкую стабильность качества, которая получается вследствие пористости, непроваров и трещин;
- вредные условия труда сварщика, которому приходится выполнять сварку в атмосфере сварочного аэрозоля.

Достижение поставленной цели возможно при исправлении сформулированных недостатков базовой технологии. Таким образом, по результатам проведённого анализа состояния вопроса были сформулированы задачи исполнительного и оценочного разделов.

Первой задачей является обоснование выбора способа ремонтной сварки рассматриваемой детали. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа ремонтной сварки с применением разработок преимущественно отечественных исследователей-сварщиков.

Третьей задачей является построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой детали, для чего необходимо привести перечень операций, назначить параметры режима, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

После решения задач в исполнительском разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнение оценочного блока, в котором будут решены ещё две задачи.

Во-первых, предстоит оценка предлагаемых технических решений на предмет экологической безопасности и охраны труда. Далее предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды [5], [8].

Во-вторых, предстоит выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [15], [16].

2 Проектная технология ремонтной заварки трещины на ковше

2.1 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки

В сети ИНТЕРЕНТ выполнен поиск источников научно-технической информации по ключевым словам «сварка», «ремонт металлоконструкций крана», «диссертация», «Сварочное производство (журнал)», «Автоматическая сварка (журнал)».

В первой работе «исследовано влияние способов автоматической дуговой наплавки на проплавление основного металла, качество формирования и геометрические размеры наплавленных валиков. В экспериментах использовали девять партий порошковых проволок. Установлено, что наибольшее влияние на формирование наплавленных валиков оказывает напряжение дуги. При этом диапазон значений напряжений, при котором обеспечивается хорошее формирование наплавленных валиков и отсутствие пор, не совпадает при наплавке разными способами проволокой одного диаметра. Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при выборе способа дуговой наплавки, режимов наплавки, которые в наибольшей степени удовлетворяют условиям эксплуатации и требованиям к наплавленному металлу для конкретных деталей» [3].

Результаты этой работы будут использованы при анализе возможных способов ремонтной сварки.

Вторая работа [21] посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки с применением самозащитных порошковых проволок.

Результаты этой работы показывают высокую эффективность применения порошковых проволок при наплавке деталей машин. Они будут использованы при анализе состояния вопроса и составлении проектной

технологии восстановления детали, если будет принято решение использовать наплавку порошковой проволокой.

В третьей работе [14] предлагаются решения по повышению эффективности сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения. Повышение производительности и качества сварки достигается за счёт импульсного управления горением сварочной дуги и переносом электродного металла. Эксперименты проводились на специально разработанной сварочной установке, которая имела возможность записи основных параметров сварки в условиях импульсного управления. Показано, что системы управления дуговой сваркой с обратной связью позволяют стабилизировать качество сварки.

Четвёртая работа [9] позволяет повысить адекватность математического моделирования тепловых процессов при ручной дуговой сварке.

Результаты четвёртого источника научно-технической информации показывают высокую эффективность ручной дуговой сварки и будут использованы при обосновании выбора способа сварки, а также при повышении эффективности сварки, если будет принято решение использовать ручную дуговую сварку.

В пятой работе «предложена модель для расчета глубины проплавления при сварке в углекислом газе на токе обратной полярности. Полученная эмпирическая формула обеспечивает наибольшую простоту и точность инженерных и научных расчетов глубины проплавления при механизированной сварке и позволяет проводить ее экспресс-оценку» [6].

Данная работа позволяет судить о высокой эффективности механизированной сварки в углекислом газе при выполнении ремонтной сварки. Этот источник научно-технической информации будет использован при обосновании выбора способа сварки и построении проектной технологии.

2.2 Обоснование выбора ремонтной сварки

Построение технологии выполнения ремонтной сварки несущих конструкций мостового крана требует обоснования выбора способа сварки.

При выборе способа сварки необходимо руководствоваться:

- «свойствами материала свариваемых деталей;
- толщиной свариваемых деталей;
- габаритами выполняемой конструкции;
- повышением производительности и снижением издержек при сварке конструкции» [23].

Рассматриваемая конструкция выполнена из стали 15ХСНД, низколегированной конструкционной стали, сварка которой возможна с применением всех известных способов, в качестве которых укажем:

- «ручная дуговая сварка;
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковой проволокой в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковой самозащитной проволокой;
- сварка в инертных газах неплавящимся электродом
- сварка под флюсом;
- плазменная сварка» [23].

Рассматриваемая толщина деталей составляет 8...14 мм. Для такой толщины металла можно признать эффективными следующие способы сварки:

- «ручная дуговая сварка;
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковой проволокой в среде защитных газов;

- механизированная сварка порошковой самозащитной проволокой;
- сварка в инертных газах неплавящимся электродом;
- сварка под флюсом» [23].

Поскольку в рассматриваемом случае происходит ремонтная сварка трещины, то пространственное положение при сварке не регламентировано. Трещина на конструкции может быть в различных положениях. На основании этого для дальнейшего рассмотрения следует принять:

- «ручная дуговая сварка;
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковой проволокой в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковой самозащитной проволокой;
- сварка в инертных газах неплавящимся электродом» [23].

В настоящей работе рассматривается ремонтная сварка единичных трещин, которые могут иметь различное расположение и протяжённость. Поэтому такое производство не может считаться массовым, автоматические способы сварки применять нецелесообразно. Предпочтение следует отдать ручным и механизированным способам.

Таким образом, для дальнейшего рассмотрения преимуществ и недостатков следует принять способы, которые представлены на рисунке 10:

- «ручная дуговая сварка;
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковой проволокой в среде защитных газов;
- механизированная сварка порошковой самозащитной проволокой» [23].

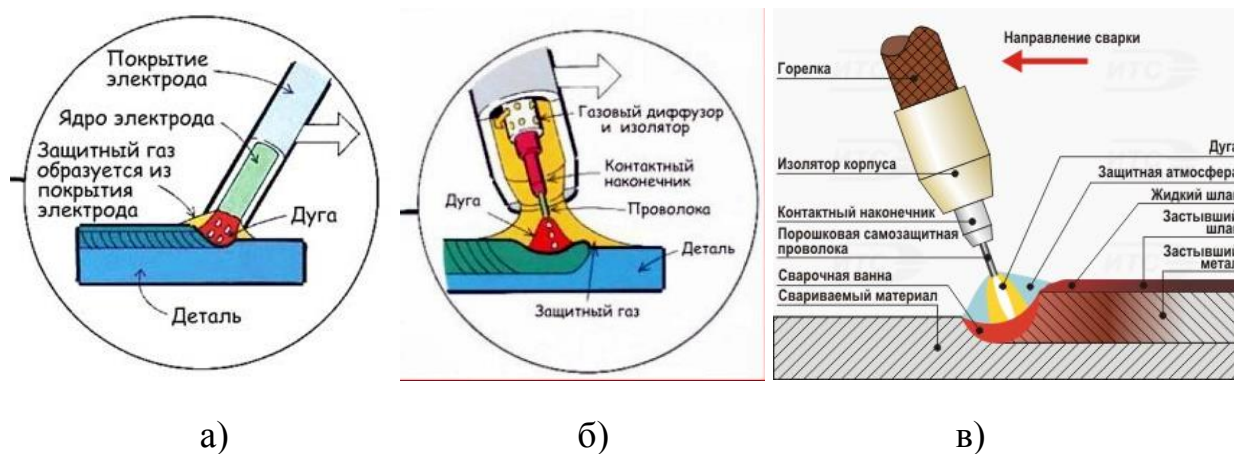


Рисунок 10 – Рассматриваемые способы ремонтной сварки: ручная дуговая (а), в защитном газе проволокой сплошного сечения (б), самозащитной порошковой проволокой (в)

Самым распространенным способом сварки в настоящее время можно считать ручную дуговую сварку, схема выполнения которой представлена на рисунке 10-а.

Широкое распространение ручной дуговой сварки в промышленности объясняется её преимуществами [2], [4], [17]:

- оборудование для ручной дуговой сварки по сравнению с оборудованием для других способов сварки обладает дешёвизной и простотой;
- применение ручной дуговой сварки не требует приобретения нового сварочного оборудования и может быть осуществлено имеющимися на предприятии средствами;
- при построении технологического процесса, использующего ручную дуговую сварку, отсутствует необходимость в получении специальных знаний.

Механизированная сварка в защитных газах, схема выполнения которой представлена на рисунке 10-б, получает всё большее распространение из-за своих преимуществ [19], [20]:

- высокая производительность процесса, которая существенно выше, чем при ручной дуговой сварке;

- отсутствие шлаковой корки, которую не нужно сбивать при выполнении многослойной сварки. Это позволяет повысить производительность и качество сварочных работ;
- при сварке в углекислом газе наблюдается повышение вязкости расплавленного металла по сравнению со сваркой порошковой проволокой и ручной дуговой сваркой. В результате упрощается сварка в различных пространственных положениях;
- проволока сплошного сечения по сравнению с порошковой проволокой обладает значительной стойкостью против заломов, поэтому механизм подачи проволоки сплошного сечения значительно проще, чем при сварке порошковой проволокой.

Сварка самозащитной порошковой проволокой, схема которой представлена на рисунке 10-в, обладает расширенными технологическими возможностями благодаря своим преимуществам [21], [22]:

- сварка порошковыми проволоками позволяет получить большую производительность по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой в защитном газе;
- существенно повышается мобильность сварочного поста, так как при сварке не требуется применение газовой аппаратуры;
- при работе на открытом воздухе обеспечивается лучшая защита сварного шва по сравнению со сваркой в защитном газе.

Выставление баллов по результатам экспертной оценки предлагается вести с использованием следующих критериев:

- «стоимость сварочного и вспомогательного оборудования;
- производительность рассматриваемого способа сварки;
- стабильность качества выполнения сварных соединений;
- условия труда сварщика и расходы на безопасность труда;
- маневренность сварочного оборудования при выполнении сварки;
- экономичность рассматриваемого способа сварки» [4].

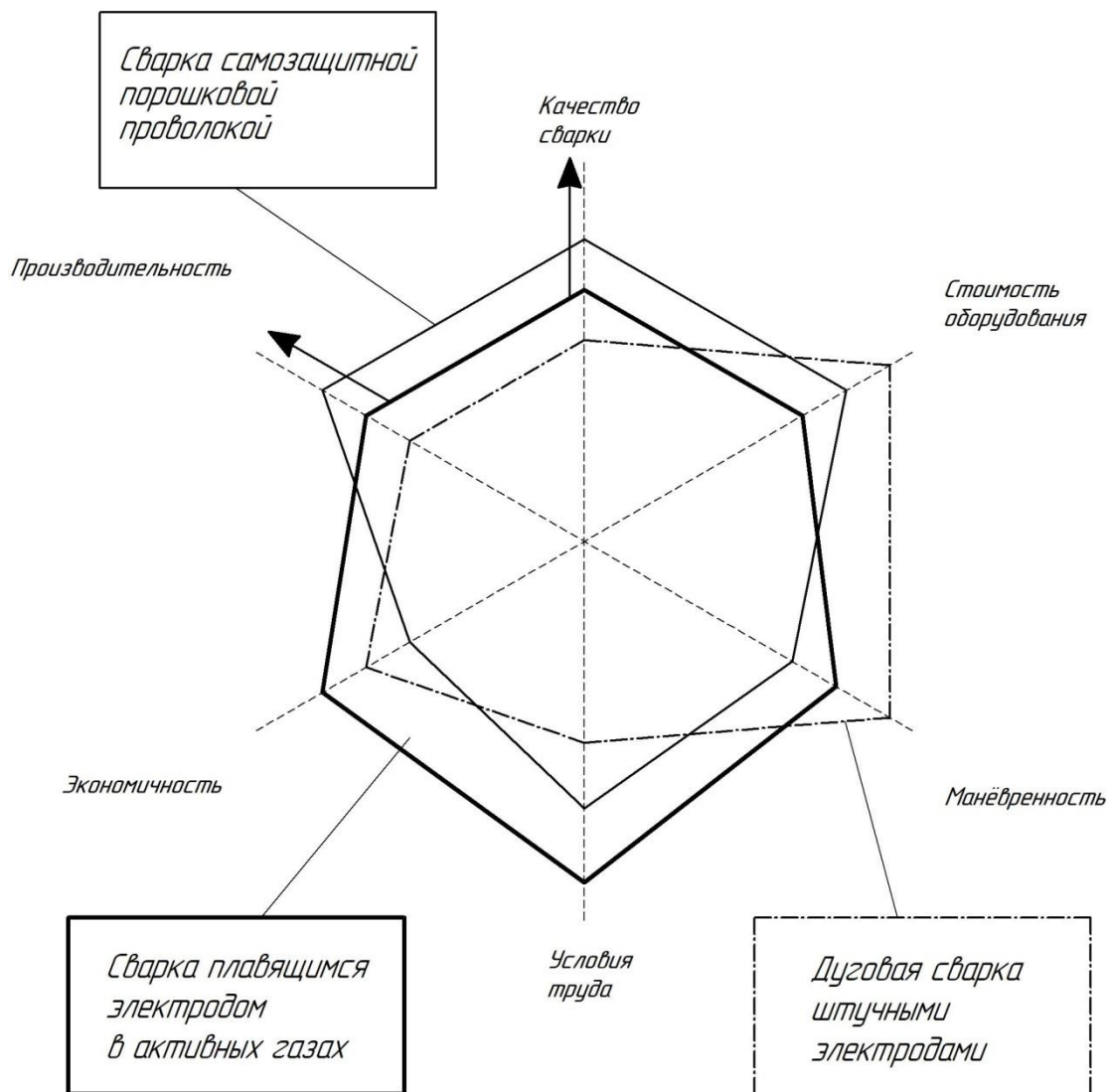


Рисунок 11 – Экспертная оценка альтернативных способов ремонтной сварки ковша фронтального погрузчика

На основании экспертной оценки каждого способа построена диаграмма, представленная на рисунке 11.

Представленная на рисунке 11 диаграмма позволяет установить, что для рассматриваемого случая ремонтной сварки трещин в металлических конструкциях наибольшей эффективностью будет обладать механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах. Этот способ сварки получил максимальный балл и дополнительно обладает резервом повышения эффективности за счёт увеличения производительности и качества сварки.

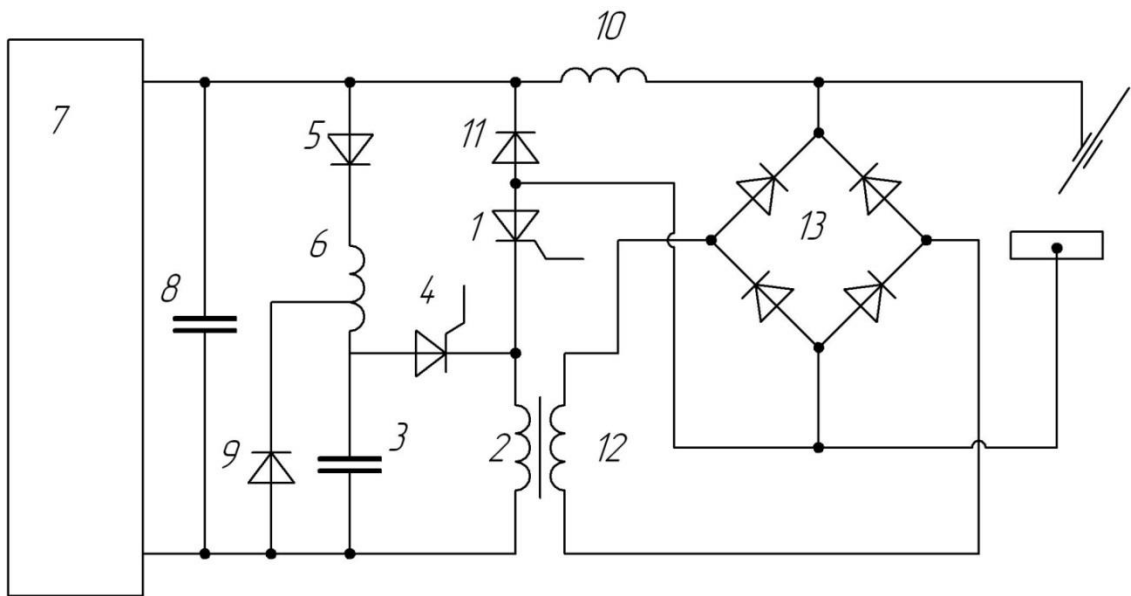
2.3 Повышение эффективности ремонтной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

«Технологические возможности и экономическая эффективность механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах определяются характером плавления и переноса электродного металла. В зависимости от этого изменяется поведение дуги при сварке и её пространственная устойчивость. Кроме этого, характер плавления и переноса электродного металла обуславливает тепловой баланс и особенности металлургических реакций в сварочной ванне. Кроме того, управляя переносом электродного металла при сварке можно устранить разбрызгивание и оптимизировать геометрию сварного шва» [6], [14], [19], [20].

Для повышения эффективности дуговой сварки следует рассмотреть такое перспективное направление, как исследование технологических возможностей сварочной дуги с импульсным управлением электрическими параметрами. Импульсное горение дуги:

- «обеспечить направленный перенос электродного металла при сварке;
- существенно уменьшить потери металла на угар и разбрызгивание;
- повысить стабильность качества сварных швов и их внешний вид» [14].

Предложено использовать импульсное управление сварочной дугой, реализация которого производится с использованием устройства, представленного на рисунке 12, состоящего из: «силового тиристора 1; коммутирующего дросселя 2; коммутирующего конденсатора 3; вспомогательного тиристора 4; диодов 5 и 9; зарядного дросселя 6; источника постоянного тока 7; конденсатора 8; последовательного дросселя 10; шунтирующего диода 11; дополнительной обмотки коммутирующего дросселя 12; диодного моста 13» [1].



1 - силовой тиристор; 2 - коммутирующий дроссель; 3 - коммутирующий конденсатор;
 4 - вспомогательный тиристор; 5, 9 - диод; 6 - зарядный дроссель; 7 - источник
 постоянного тока; 8 – конденсатор; 10 - последовательный дроссель; 11 - шунтирующий
 диод; 12 - дополнительная обмотка коммутирующего дросселя; 13 - диодный мост

Рисунок 12 – Схема источника питания

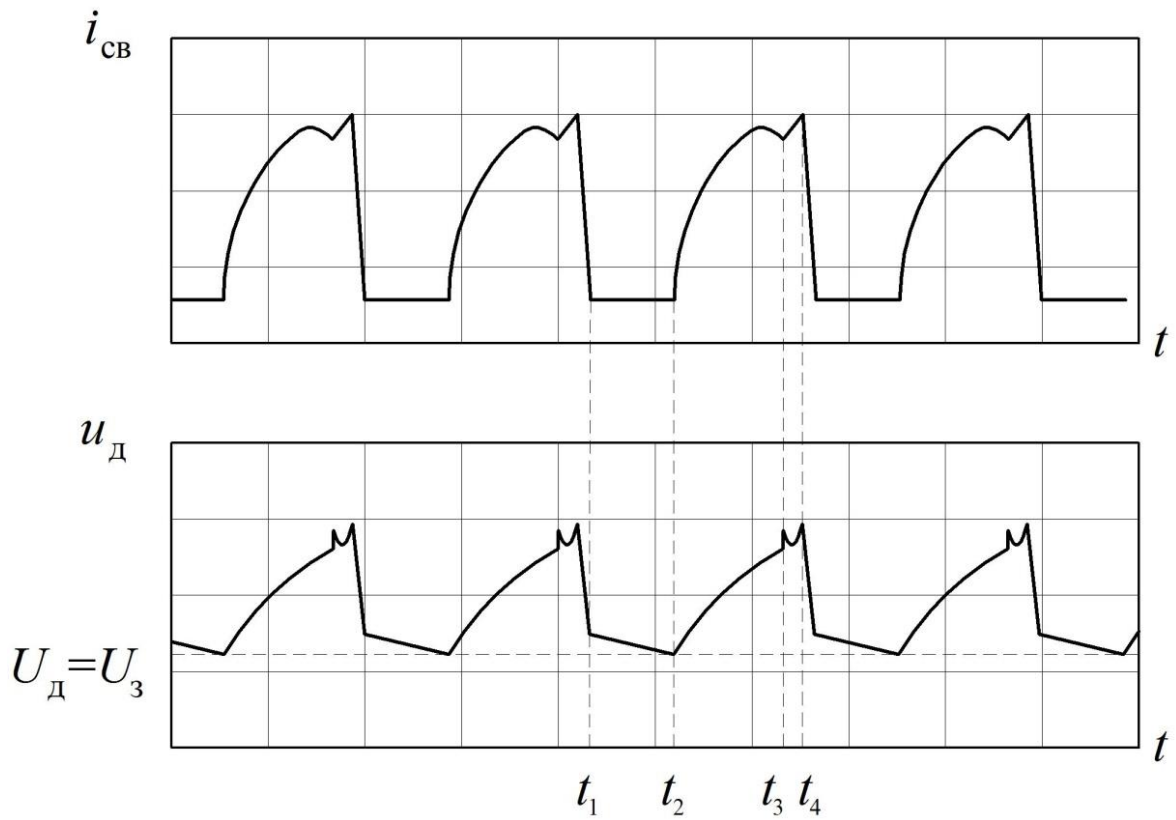


Рисунок 13 – Управление током в предлагаемом способе
 импульсно-дуговой сварки

На рисунке 13 показаны осциллограммы тока и напряжения, которые получают в процессе сварки с импульсным управлением горением дуги. «На промежутке времени t_1-t_2 происходит горение дежурной дуги, которая характеризуется минимальным током, составляющим 15...40 А. В течение этого интервала времени за счёт подачи проволоки уменьшается дуговой промежуток. В момент времени t_2 происходит подача импульса сварочного тока. В момент времени t_3 капля расплавленного металла отрывается от торца электродной проволоки. В течение временного промежутка t_3-t_4 происходит дозированная подача энергии, которая тратится на расплавление следующей капли электродного металла. Предлагаемое устройство позволяет полностью реализовать преимущества механизированной сварки в защитных газах» [1].

2.4 Контроль условий проведения ремонтной сварки

Перед началом ремонтной сварки проверяется:

- наличие у сварщика допуска к выполнению данной работы;
- качество сборки или наличие соответствующей маркировки на собранных элементах, подтверждающих надлежащее качество сборки;
- состояние кромок и прилегающих поверхностей;
- наличие документов, подтверждающих положительные результаты контроля сварочных материалов;
- состояние сварочного оборудования или наличие документа, подтверждающего надлежащее состояние оборудования;
- температура предварительного подогрева свариваемых деталей (если таковой предусмотрен НТД или ПТД).

Требования к помещению:

- сварку «необходимо выполнять в отапливаемых цехах, обеспечивающих положительную температуру свариваемой конструкции и окружающего воздуха;

- если поддержание положительной температуры в помещении, где проходит сварка, невозможно, в порядке исключения допускается вести сварку при температуре не ниже -10°C . При этом обязателен предварительный подогрев кромок и прилегающих к ним участков основного металла. Температура предварительного подогрева $120\dots150^{\circ}\text{C}$. Ширина предварительного подогрева составляет не менее 60 мм, если толщина свариваемого металла не превышает 25 мм и не менее 80 мм – если толщина свариваемого металла превышает 25 мм» [2].

2.5 Требования к сварочным материалам

Поступающая на предприятие проволока должна быть принята отделом технического контроля. В ходе приёмки сварочной проволоки проводят проверку состояния её поверхности и правильности заполнения сертификатов.

Для повышения технологических свойств сварочной проволоки её поверхность покрывают тонким слоем меди, толщина которого составляет порядка 0,15 мкм. Медное покрытие прочно сцепляется с основой и образует на проволоке гладкую поверхность, что позволяет упростить работу устройства подачи и подготовку проволоки перед сваркой.

Требования к сварочной проволоке:

- качество «сварочной проволоки должно соответствовать ГОСТ 2264;
- сварочные проволоки в зависимости от условий поставки могут быть полированными, омеднёнными или осветлёнными;
- упаковка сварочных материалов должна быть проведена согласно требованиям ТУ на эти материалы. Обязательно наличие сертификатов предприятия-изготовителя, которые удостоверяют качество поставленной сварочной проволоки;

- очищенная и намотанная в кассеты сварочная проволока должна храниться в закрытых помещениях, температура в которых не опускается ниже +15 °С. При этом на каждой кассете с проволокой на видном месте необходимо выполнить маркировку несмываемой краской;
- при намотке проволоки на кассеты следят за тем, чтобы не было перегибов» [2], [18].

Для сварки применяется проволока сплошного сечения диаметром 1,4 мм Св-08Г2С. Внешний вид проволоки Св-08Г2С представлен на рисунке 14-а. В качестве защитной среды применяем углекислый газ, внешний вид баллонов с которыми представлен на рисунке 14-б.



Рисунок 14 – Сварочные материалы: проволока Св-08Г2С (а) и баллоны с углекислым газом (б)

Таблица 6 – Содержание химических элементов в проволоке Св-08Г2С

«Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
1,8...2,1	0,7...0,95	< 0,20	< 0,25	< 0,20	< 0,03	< 0,025

Таблица 7 – Механические свойства наплавленного металла проволокой Св-08Г2С

«Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение	Ударная вязкость KCV	
			°С	Дж/см ²
σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	-20 °С	65» [7]
450	550	30		

В таблице 6 приведено содержание химических элементов в сварочной проволоке Св-08Г2С. В таблице 7 приведены типовые свойства наплавленного металла при использовании сварочной проволоки Св-08Г2С.

В случае, если сварку ведут в среде углекислого газа, применяемый газ должен иметь чистоту не хуже 98,8 %. Для удаления из защитного газа влаги применяется специальное осушающее устройство. Перед началом использования отдел технического контроля должен проверить газ на соответствие. Для этого необходимо провести пробную наплавку на образец, длина шва должна составлять 100...150 мм. В процессе пробной наплавки оценивают устойчивость горения дуги и характер переноса электродного металла. После наплавки оценивают состояние поверхности наплавленного металла и отсутствие брызг на нём.

2.6 Подготовка дефектного места

Выполняют зачистку металла конструкции в зоне расположения дефекта с применением металлической щётки и шлифовальной машинки. С поверхности металла удаляют краску и загрязнения. Ширина зачистки составляет 20...25 мм в обе стороны от трещины.

Для того, чтобы определить границы трещины, возможно использование газового пламени. При использовании газового пламени нагрев основного металла должен быть не выше 100...150 °С.

Для того, чтобы предотвратить развитие трещины при заварке, выполняют засверливание её концов. Для этого применяется сверло диаметром 8...12 мм. Центр отверстия при засверливании должен отстоять от конца трещины на расстояние, равное половине диаметра используемого сверла.

Отверстия по краям трещины выполняют с применением станка на магнитном основании МС-36, внешний вид которого представлен на рисунке 7.

Перед заправлением трещины необходимо выполнить разделку её кромок. Разделка кромок должна соответствовать разделке С17 согласно ГОСТ 14771-80, как показано на рисунке 15. Для разделки предлагается использовать аппарата воздушно-плазменной резки Powermax 125 HAND, внешний вид которого представлен на рисунке 16.

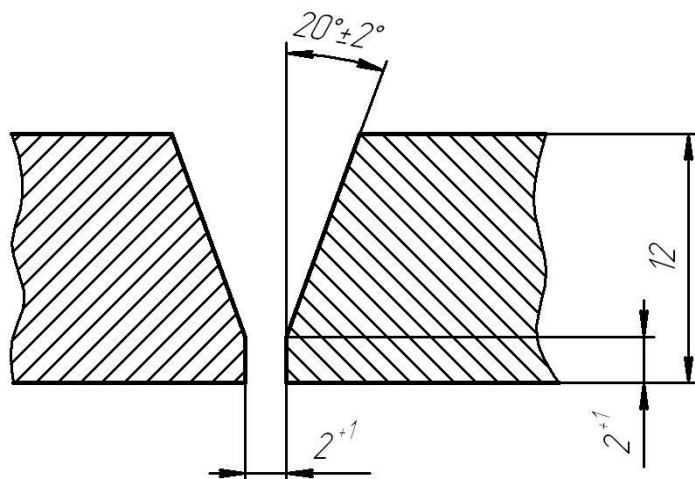


Рисунок 15 – Разделка дефектного места на конструкции согласно ГОСТ 14771-78 (С17)



Рисунок 16 - Аппарат воздушно-плазменной резки Powermax 125 HAND

Параметры плазменной строжки:

- давление газа 4 атм.,
- сила тока 150...170 А,
- напряжение 115...120 В,
- скорость реза 0,8...1,2 м/мин.

При выполнении разделки несквозной трещины необходимо удалять металла на глубину, превышающую залегание трещины на 1...2 мм, и на длину, превышающую длину залегания трещины на 15...20 мм.

2.7 Требования к сварке

Сварку производят на постоянном токе прямой полярности, диаметр сварочной проволоки 1,4 мм, вылет электрода 13...20 мм, ток сварки 200...250 А. Сварку производят «углом назад». При сварке в качестве защитного газа используется углекислый газ высшего и первого сорта (ГОСТ 8050). Расход газа при сварке принимаем 1,0...1,4 м³/ч.

«Необходимо учитывать, что вылет электродной проволоки (расстояние от торца токоподводящего наконечника горелки до изделия) существенно влияет стабильность горения дуги и качество шва. Чрезмерный вылет может ухудшить устойчивость горения дуги, и качество формирования шва, привести к повышенному разбрызгиванию» [4].

В качестве источника питания дуговой сварки применим выпрямитель ВД-252, представленный на рисунке 17-а. В качестве податчика проволоки используем полуавтомат ПДГ-525, представленный на рисунке 17-б.

Геометрия сварного шва представлена на рисунке 18.

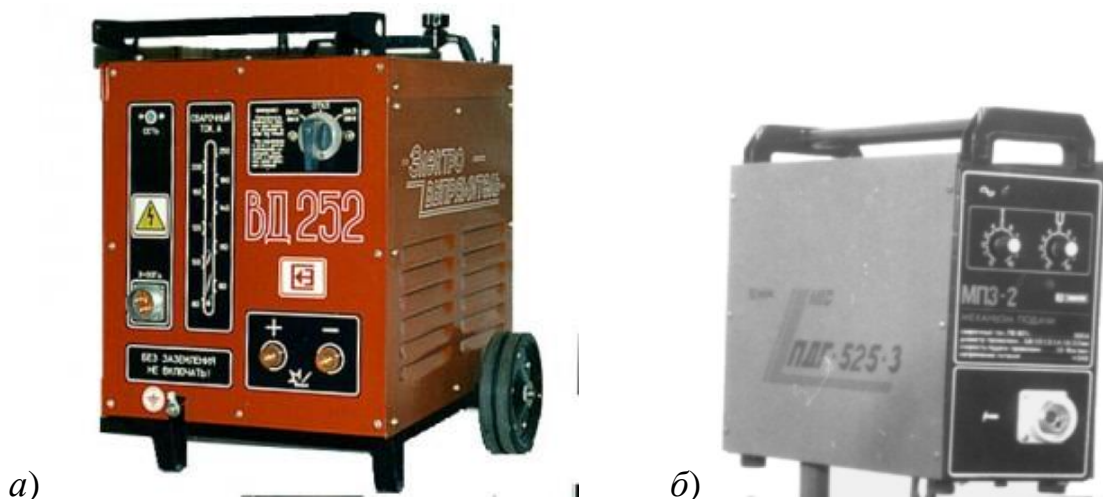


Рисунок 17 – Оборудование для заварки разделанной трещины: сварочный выпрямитель ВД-252 (а) и сварочный полуавтомат ПДГ-525 (б)

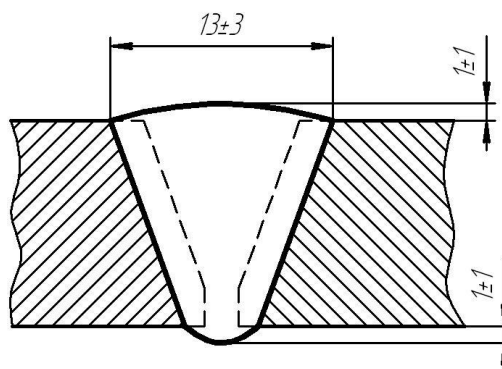


Рисунок 18 – Геометрия сварного шва при заварке трещины

После того, как было выполнено заполнение разделки трещины, следует провести зачистку, удаляя усиление шва заподлицо с поверхностью основного металла. Получающиеся при шлифовке риски должны быть направлены вдоль силового воздействия при последующей работе конструкции.

Результаты контроля качества после ремонтной сварки должны отвечать требованиям СНиП 3.03.01-87. Контроль размеров сварного шва и определение величины выявленных дефектов следует производить измерительным инструментом, имеющим точность измерения $\pm 0,1$ мм, или специальными шаблонами для проверки геометрических размеров швов. При внешнем осмотре рекомендуется применять лупу с 5...10-кратным увеличением. При внешнем осмотре качество сварных соединений конструкций должно удовлетворять требованиям. Трещины всех видов и размеров в швах сварных соединений конструкций не допускаются и должны быть устранены с последующей заваркой и контролем.

Недопустимы следующие дефекты: резкий переход от сварного шва к основному металлу; трещины всех видов и направлений; поверхностные раковины и поры диаметром более 1,5 мм; незаполнение разделки шва; наплывы; грубая чешуйчатость; подрезы основного металла более 1 мм; незаваренные кратеры; занижение или завышение размера сварного шва; непровар корня шва глубиной более 3 мм;

2.8 Наплавка износостойкого слоя

После заполнения разделки трещины необходимо наплавить на поверхность износостойкий слой. Геометрия шва после наплавки износостойкого слоя представлена на рисунке 19.

Износостойкий слой выполним с применением механизированной наплавки в углекислом газе с применением специальной порошковой проволоки. На основании литературного обзора предлагается проволока с составом, представленном в таблице 8.

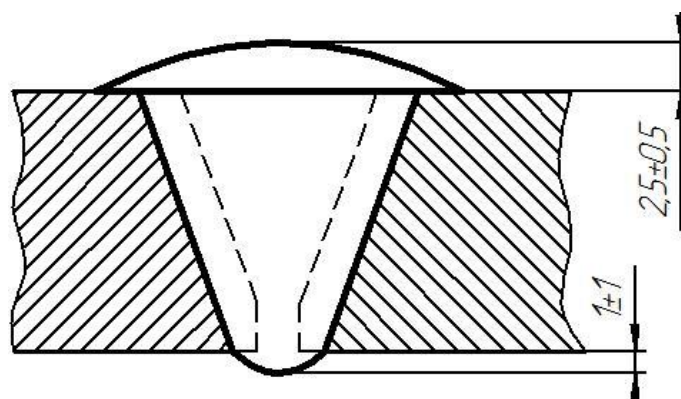


Рисунок 19 – Геометрия шва после выполнения наплавки износостойкого слоя

Таблица 8 – Содержание химических элементов в порошковой проволоке для наплавки износостойкого слоя

Элемент	Содержание в проволоке
Углерод	0,1...0,8 %
Никель	0,3...5,5 %
Марганец	5...14 %
Азот	0,1...0,4 %
Молибден	4...11 %
Вольфрам	0,1...5,5 %
Хром	2,5...14 %
Феррованадий	0,3...8 %
Бор	0,001...1 %
Ферротитан	0,3...4,5 %
Феррониобий	0,1...3 %
Кремний	0,1...3 %
Ферроалюминий	0,2...4 %
Оболочка	Остальное

За счёт содержания в проволоке азота достигается повышение релаксационных и пластических свойств наплавленного металла. Также благодаря выделению нитридов и карбонитридов происходит повышение прочностных свойств наплавленного металла. Введение в проволоку азота позволяет уменьшить содержание в ней дорогостоящего никеля. Также уменьшение содержания никеля в наплавленном металле позволяет уменьшить протекание процессов коагуляции, которые могут проходить при старении интерметаллидной фазы.

Введение в проволоку титана совместно с бором приводит к дисперсионному твердению наплавленного металла. Также титан совместно с алюминием обеспечивает интерметаллидное упрочнение наплавленного металла.

Наличие в проволоке ванадия и алюминия интенсифицирует протекающие при наплавке процессы карбидного и нитридного упрочнения.

Совместное действие молибдена, кремния, хрома и алюминия позволяет повысить окалиностойкость наплавленного металла.

За счёт введения в проволоку молибдена, проявляющего поверхностную активность к железу, на границах зёрен наплавленного металла не происходит выделения карбидов и интерметаллидов, поэтому прочность и пластичность наплавленного металла увеличиваются.

Значительное количество бора упрочняет границы зёрен наплавленного металла и очищает наплавленный металл от вредных примесей, повышая также стойкость против образования горячих трещин.

За счёт повышенного содержания марганца в проволоке обеспечивается уменьшение твёрдости наплавленного металла сразу после наплавки. Далее из-за аллотропических превращений при старении наплавленного металла происходит увеличение его прочности и твёрдости.

Выводы по второму разделу

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных операций при ремонте деталей машин на примере ковша экскаватора-погрузчика.

На основании проведённого ранее анализа состояния вопроса и источников научно-технической информации в первом разделе выпускной квалификационной работы были сформулированы её задачи.

Первой задачей является обоснование выбора способа ремонтной сварки рассматриваемой детали. Для этого необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых способов и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок.

Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа ремонтной сварки с применением разработок преимущественно отечественных исследователей-сварщиков.

Третьей задачей является построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой детали, для чего необходимо привести перечень операций, назначить параметры режима, выбрать основное и вспомогательное оборудование.

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов ремонтной сварки. Были приняты к рассмотрению следующие способы: ручная дуговая сварка, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка самозащитной порошковой проволокой.

Были вставлены экспертные оценки каждому способу по рассматриваемым критериям. По сумме количество баллов экспертной оценки для различных способов получено:

- ручная дуговая сварка – 11 баллов;
- сварка в защитных газах – 13 баллов;
- сварка самозащитной порошковой проволокой – 12 баллов.

По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать механизированную сварку в защитных газах.

Решая вторую задачу, на основании результатов работы отечественных исследователей-сварщиков предложено использовать разработку [1], которая позволяет обеспечить импульсное управление сварочной дугой. В результате происходит стабилизация переноса электродного металла, и повышение качества ремонтной сварки и наплавки.

Решая третью задачу, была построена проектная технология ремонтной сварки. При этом предусматривается выполнение следующих операций: зачистка, засверливание концов трещины, разделка кромок трещины, заполнение разделки дуговой сваркой, зачистка, наплавка износостойкого слоя, контроль качества.

Далее следует выполнить оценочный блок выпускной квалификационной работы.

Во-первых, необходимо будет оценить предлагаемые технологические решения на предмет экологической безопасности и охраны труда. Далее предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды.

Во-вторых, предстоит выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод о экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности ремонтной сварки при восстановлении ковша экскаватора.

При выполнении базовой технологии предусматривается применение ручной дуговой сварки штучными электродами. Проектная технология ремонтной сварки применение механизированной сварки в защитных газах с импульсным управлением сварочной дугой.

При выполнении проектной технологии предусмотрены следующие операции технологического процесса:

- подготовка трещины;
- разделка кромок;
- сварка;
- контроль качества;
- наплавка износостойкого слоя;
- контроль качества.

Изменение технологии сборки и сварки сопровождается изменением опасных и вредных производственных факторов, которые оказывают негативное воздействие на персонал и окружающую среду. Поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, оценить их влияние и предложить меры по защите от них персонала. Паспорт объекта представлен в таблице 9. Предстоящий анализ позволит устранить возникающие профессиональные риски.

Таблица 9 – Технологический паспорт участка ремонтной сварки

«Составляющая технологический процесс операция»	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества» [5], [8]
подготовка трещины	- слесарь-сборщик	- отрезная машина - угловая шлифовальная машина	- круги отрезные - круги шлифовальные
разделка кромок	- слесарь-сборщик	- отрезная машина - угловая шлифовальная машина - сверлильный станок	- круги отрезные - круги шлифовальные
сварка	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- источник питания - механизм подачи проволоки - газовое оборудование	- сварочная проволока - защитный газ
контроль качества	- дефектоскопист - слесарь-сборщик	- набор ВИК - лупа 4 крат -дефектоскоп	- мел - керосин - масло
наплавка износостойкого слоя	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- источник питания - механизм подачи проволоки - газовое оборудование	- сварочная проволока - защитный газ
контроль качества	- дефектоскопист - слесарь-сборщик	- набор ВИК - лупа 4 крат -дефектоскоп	- мел - керосин - масло

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

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

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

3.2 Идентификация профессиональных рисков

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

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 10.

На основании данных таблицы 10 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- «наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока;
- нагрев поверхности деталей до высоких температур;
- инфракрасное излучение;
- ультрафиолетовое излучение» [5], [8].

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

Таблица 10 – Идентификация профессиональных рисков

«Операция технологического процесса»	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [5], [8]
подготовка трещины	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	- отрезная машина - угловая шлифовальная машина
разделка кромок	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	- отрезная машина - угловая шлифовальная машина - сверлильный станок
сварка	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	- источник питания - механизм подачи проволоки - газовое оборудование
контроль качества	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - ультразвуковое излучение	- набор ВИК - лупа 4 крат -дефектоскоп
наплавка износостойкого слоя	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	- источник питания - механизм подачи проволоки - газовое оборудование

Данные из таблицы 10 позволят в дальнейшем предложить меры по защите от профессиональных рисков.

3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов

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

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [5], [8] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 11, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Для уменьшения профессиональных рисков предлагается:

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

Таблица 11 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов при проведении ремонтной сварки деталей машин

«Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [5], [8]
наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	<ul style="list-style-type: none"> - проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> - установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	<ul style="list-style-type: none"> - установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты
опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	<ul style="list-style-type: none"> - применение устройств защитного отключения электропитания оборудования; - применение защитного заземления и зануления оборудования; - контроль состояния защитных устройств и изоляции; - инструктаж по электробезопасности 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
нагрев поверхности деталей до высоких температур	<ul style="list-style-type: none"> - автоматизация технологических процессов; - инструктаж персонала 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
инфракрасное излучение	<ul style="list-style-type: none"> - установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультрафиолетовое излучение	<ul style="list-style-type: none"> - установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

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

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

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

3.4 Пожарная безопасность на производстве

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

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

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

В таблице 12 представлена идентификация факторов пожара.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 13.

Таблица 12 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок с установленным на нём технологическим оборудованием	Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [8]	Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания

Таблица 13 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [8]
Проведение ремонтной сварки при устранении трещин	- Проведение «ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. - Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [8]	- Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. - На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения.

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 14. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 14 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

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

3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

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

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 20.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 15.

Таблица 15 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

Технологический процесс	Операции, технологического процесса	Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду		
		в атмосфере	в гидросфере	в литосфере
Проведение ремонтной сварки при устранении трещин	подготовка трещины	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	разделка кромок	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	сварка	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	контроль качества	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	наплавка износостойкого слоя	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	контроль качества	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 16 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

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

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

Выводы по экологическому разделу

В выполнении исполнительского раздела выпускной квалификационной работы была составлена технология ремонтной сварки при устранении трещин в стенке ковша экскаватора. В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

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

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

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

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

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений

4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности ремонтной сварки при восстановлении ковша экскаватора.

При выполнении базовой технологии предусматривается применение ручной дуговой сварки штучными электродами, которая имеет недостатки:

- повышенный расход дорогостоящих электродов из-за разбрызгивания, угара и огарков;
- низкая производительность ручной дуговой сварки, которая оказывается критичной при большом объёме выполняемых работ. В настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы повышения эффективности за счёт оптимизации параметров режима, дальнейшее форсирование режимов наплавки и сварки не представляется возможным;
- низкую стабильность качества, которая получается вследствие пористости, непроваров и трещин;
- вредные условия труда сварщика, которому приходится выполнять сварку в атмосфере сварочного аэрозоля.

Проектная технология ремонтной сварки применение механизированной сварки в защитных газах с импульсным управлением сварочной дугой.

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 17 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.

Таблица 17 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	400 тыс.	1200 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	20	30
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,2	3,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	$м^2$	1000	1000
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	$(P/м^2)/год$	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	$P/м^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [15]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

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

4.2 Расчёт объёмов фонда времени

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

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

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

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

При подстановке исходных значений в формулу (1) получаем:

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

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

$$F_э = F_H (1 - B/100). \quad (2)$$

При подстановке исходных значений в формулу (2) получаем:

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

4.3 Расчёт штучного времени

Расчитанный выше эффективный фонд времени работы оборудования расходуется на выполнение операций проектного и базового технологического процесса. Годовую программы выполнения работ можно рассчитать, зная штучное время, которое определяет временные затраты на выполнение проектного и базового процессов применительно к одной единице изделия из годовой программы. Величину штучного времени для проектного и базового вариантов технологии определяем с учётом нормирования труда сварщика по технологической карте.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (3) получаем для базового варианта: $t_{шт.баз} = 3,4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 6$ часов, проектного варианта: $t_{шт.пр} = 2,3 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4$ часа.

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

$$П_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт.}} \quad (4)$$

В ходе расчётов согласно формуле (4) в неё подставляют определённые ранее значения $F_{\text{э}}$ и $t_{\text{шт.}}$, в результате для базового варианта: $П_{\Gamma\text{-баз.}} = 2054/6 = 342$ дефекта за год, для проектного варианта: $П_{\Gamma\text{-пр.}} = 2054/4 = 513$ дефекта за год.

Для расчёта экономического эффекта будем придерживаться годовой программы для проектного и базового вариантов технологии $П_{\Gamma} = 300$ исправленных дефектов за год, что примерно соответствует современным потребностям отрасли.

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

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт.}} \cdot П_{\Gamma} / (F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем для базового варианта: $n_{\text{расч}} = 6 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$,

проектного варианта: $n_{\text{расч}} = 4 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,6$.

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

$$K_{\text{э}} = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

При подстановке исходных значений в формулу (6) получаем для базового варианта: $K_{\text{э.б.}} = 0,9/1 = 0,9$; проектного варианта: $K_{\text{э.п.}} = 0,6/1 = 0,6$.

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

4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии

Проведение операции ремонтной сварки ковша экскаватора требует затрат сварочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служат сварочные электроды. При проектной технологии сварочными материалами служат электроды, проволока и защитный газ. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты M на материалы с учётом цены материалов C_m , нормы расхода материалов N_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$, воспользовавшись формулой:

$$M = C_m \cdot N_p \cdot K_{т-з} . \quad (7)$$

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем:

$$M_{\text{баз.}} = (1,9 \text{ кг} \cdot 110 \text{ р/кг} + 2,1 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 12 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 455 \text{ руб.};$$

$$M_{\text{пр.}} = (4 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 18 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 420 \text{ руб.}$$

Для того, чтобы рассчитать размер основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ необходимо задаться величинами штучного времени $t_{\text{шт}}$, коэффициента доплат K_d и часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$. Для этого воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (8) получаем для базового варианта технологии: $Z_{\text{осн}} = 6 \cdot 200 \cdot 1,88 = 2256$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{\text{осн}} = 4 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1504$ руб.

Для того, чтобы рассчитать размер дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$, необходимо задаться размером коэффициента дополнительных доплат $K_{\text{доп}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ (который был рассчитан выше) для проектного и базового вариантов. Расчёт ведём согласно:

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

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 2256 \cdot 12 / 100 = 270$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 1504 \cdot 12 / 100 = 180$ руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП вычисляется как сумма дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$. При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 2256 + 270 = 2526$ руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 1504 + 180 = 1684$ руб.

Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ рассчитаем с учётом ранее определённого фонда заработной платы ФЗП и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$. Расчёт ведём согласно:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем для базового варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 2526 \cdot 34 / 100 = 858$ руб.; для проектного варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 1684 \cdot 34 / 100 = 572$ руб.

Для расчёта размера затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ потребуется информация о величине амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. При расчётах используется зависимость:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (11)$$

Для определения размеров амортизационных отчислений следует задаться нормой амортизации $N_{\text{а}}$, ценой оборудования $\Pi_{\text{об}}$ для выполнения операций по базовому и проектному вариантам и машинным временем $t_{\text{маш}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта: $A_{\text{об.}} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 6 / 2054 / 100 = 251$ руб.; для проектного варианта: $A_{\text{об.}} = 1200000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 2054 / 100 = 502$ руб.

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

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ} / \text{КПД}. \quad (13)$$

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта: $P_{ээ} = 20 \cdot 6 \cdot 3,2 / 0,7 = 548$ руб. Для проектного варианта получаем: $P_{ээ} = 30 \cdot 4 \cdot 3,2 / 0,7 = 548$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта: $З_{об} = 251 + 548 = 799$ руб. Для проектного варианта технологии получаем: $З_{об} = 502 + 548 = 1050$ руб.

Величину технологической себестоимости $C_{тех}$ в случае применения базового и проектного вариантов построения технологического процесса рассчитаем как сумму затрат, которые были рассчитаны выше: на материалы M , на заработную плату ФЗП, на социальные нужды $O_{сн}$ и на оборудование $З_{об}$. При расчётах используется зависимость:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{сн} + З_{об}. \quad (14)$$

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта: $C_{тех} = 455 + 2526 + 858 + 799 = 4638$ руб. Для проектного варианта: $C_{тех} = 420 + 1684 + 572 + 1050 = 3726$ руб.

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

$$C_{цех} = C_{тех} + З_{осн} \cdot K_{цех}. \quad (15)$$

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового: $C_{\text{цех}} = 4638 + 1,5 \cdot 2256 = 4638 + 3384 = 8022$ руб. Для проектного: $C_{\text{цех}} = 3726 + 1,5 \cdot 1504 = 3726 + 2256 = 5982$ руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (16) получаем для базового: $C_{\text{зав}} = 8022 + 1,15 \cdot 2256 = 8022 + 2594 = 10616$ руб. Для проектного: $C_{\text{зав}} = 5982 + 1,15 \cdot 1504 = 5982 + 1730 = 7712$ руб.

В таблице 18 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 18 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. «Затраты на материалы	М	455	420
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	2526	1684
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	858	572
4. Затраты на оборудование	Зоб	799	1050
5. Технологическая себестоимость	Стех	4638	3726
6. Объём цеховых расходов	Рцех	3384	2256
7. Цеховая себестоимость	Сцех	8022	5982
8. Объём заводских расходов	Рзав	2594	1730
9. Заводская себестоимость» [16]	$C_{\text{зав}}$	10616	7712

Как видно из таблицы 18, проведение производственного процесса по проектной технологии характеризуется меньшей заводской себестоимостью.

4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии

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

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

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

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

При подстановке исходных значений в формулу (18) получаем остаточную стоимость $\Pi_{\text{об.б.}} = 400000 - (400000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 228000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем величину общих капитальных затрат $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 228000 \cdot 0,9 = 205200$ руб.

Расчётное определение величины общих капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ в случае применения базового и проектного вариантов построения технологического процесса выполним как сумму капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$ и сопутствующих затрат $K_{\text{соп.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (19)$$

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

$$K_{об.пр.} = C_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{з.п.} \quad (20)$$

При подстановке исходных значений в формулу (20) капитальные вложения в оборудование $K_{об.пр.} = 1200000 \cdot 1,05 \cdot 0,6 = 756000$ руб.

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

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт.} \quad (21)$$

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

$$P_{дем} = C_{об. б.} \cdot K_{дем.} \quad (22)$$

При подстановке исходных значений в формулу (22) расходы на демонтаж оборудования составили: $P_{дем} = 400000 \cdot 0,05 = 20000$ руб.

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

$$P_{монт} = C_{об. пр.} \cdot K_{монт.} \quad (23)$$

При подстановке исходных значений в формулу (23) расходы на монтаж оборудования составили: $P_{монт} = 1200000 \cdot 0,05 = 60000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) сопутствующие расходы составили: $P_{\text{соп}} = 20000 + 60000 = 80000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (19) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили: $K_{\text{общ.пр.}} = 756000 + 80000 = 836000$ руб.

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр}} - K_{\text{общ.б.}} \quad (24)$$

При подстановке исходных значений в формулу (24) дополнительные капитальные вложения составят: $K_{\text{доп}} = 836000 - 205200 = 630800$ руб.

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

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{г}} \quad (25)$$

При подстановке исходных значений в формулу (25) удельные капитальные вложения по базовому: $K_{\text{уд}} = 205200/300 = 684$ руб./ед. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют: $K_{\text{уд}} = 836000/300 = 2786$ руб./ед.

4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии

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

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

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт.б.} - t_{шт.пр.}) \cdot 100 \% / t_{шт.б.} \quad (26)$$

При подстановке исходных значений в формулу (26) снижение трудоёмкости составило: $\Delta t_{шт} = (6-4) \cdot 100 \% / 6 = 33 \%$.

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

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}). \quad (27)$$

При подстановке исходных значений в формулу (27) повышение производительности труда составило: $P_T = 100 \cdot 33 / (100 - 33) = 50 \%$.

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

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.}, \quad (28)$$

При подстановке исходных значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило: $\Delta C_{\text{тех}} = (4638 - 3726) \cdot 100\% / 4638 = 20 \%$.

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

$$\Pi_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}}) \cdot \Pi_{\text{г}}. \quad (29)$$

При подстановке исходных значений в формулу (29) условно-годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (10616 - 7712) \cdot 300 = 871200$ руб.

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

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}}. \quad (30)$$

При подстановке исходных значений в формулу (30) срок окупаемости дополнительных составил: $T_{\text{ок}} = 630800 / 871200 = 0,7$ года.

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

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

При подстановке исходных значений в формулу (31) годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{г}} = 871200 - 0,33 \cdot 630800 = 663036$ руб.

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

Выводы по экономическому разделу

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

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

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

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 33 % и увеличить производительность на 50 %.

Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 20 %. При этом условно-годовая экономия составила 0,871 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,7 года. При этом годовой экономический эффект составит 0,66 млн. рублей.

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

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности ремонтной сварки при заварке трещины в стенке ковша экскаватора.

При анализе состояния вопроса были проведены такие работы, как анализ дефектов детали, оценка свариваемости материала, анализ базовой технологии ремонтной сварки, для которой были сформулированы недостатки.

Проведённый анализ вопроса позволил сформулировать задачи выпускной квалификационной работы:

- обоснование выбора способа ремонтной сварки рассматриваемой детали;
- повышение эффективности выбранного способа ремонтной сварки с применением разработок преимущественно отечественных исследователей-сварщиков;
- построение проектной технологии ремонтной сварки рассматриваемой детали, для чего необходимо привести перечень операций, назначить параметры режима, выбрать основное и вспомогательное оборудование;
- оценка предлагаемых технических решений на предмет экологической безопасности и охраны труда;
- выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов ремонтной сварки. Были приняты к рассмотрению следующие способы: ручная дуговая сварка, сварка в защитных газах проволокой

сплошного сечения, сварка самозащитной порошковой проволокой. По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать механизированную сварку в защитных газах.

Решая вторую задачу, на основании результатов работы отечественных исследователей-сварщиков предложено использовать разработку, которая позволяет обеспечить импульсное управление сварочной дугой. В результате происходит стабилизация переноса электродного металла, и повышение качества ремонтной сварки и наплавки.

Решая третью задачу, была построена проектная технология ремонтной сварки. При этом предусматривается выполнение следующих операций: зачистка, засверливание концов трещины, разделка кромок трещины, заполнение разделки дуговой сваркой, зачистка, наплавка износостойкого слоя, контроль качества.

Четвёртая задача решена в оценочном разделе. Выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предложены мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Пятая задача решена в оценочном разделе. Выполнена оценка экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту. Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 33 % и увеличить производительность. Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 20%. При этом годовой экономический эффект составит 0,66 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1007871 СССР, МКИ В23К9/09. Устройство для сварки / Пирожков Е. Д., Чумак Л. Ф., Анкудинов В. А. № 3357427/25-27, заяв. 19.11.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. 3 с.
2. Алёшин Н. П., Чернышов Г. Г. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2-х томах. М.: Машиностроение, 2004. Том. 2. 480 с.
3. Бабинец А. А., Рябцев И. А., Панфилов А. И. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2016. № 11. С. 20–25.
4. Банов М. Д., Казаков Ю. В., Козулин М. Г. Сварка и резка материалов : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.
5. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
6. Варуха Е. Н., Морозов А. А. Расчёт глубины проплавления изделия при сварке в углекислом газе // Автоматическая сварка. 2002. № 8. С. 20–23.
7. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей. М. : Колос, 1981. 351 с.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
9. Гулаков С. В., Носовский Б. И. К вопросу построения модели сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 2002. № 9. С. 24–28.
10. Грузин В. В., Нуракова А. С. Обеспечение эффективности восстановления средств механизации в системе планово-предупредительного ремонта // Наука, техника, инновации. 2005. № 4. С. 82 – 86.
11. Ельцов В. В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2012. 176 с.

12. Крагельский И. В. Трение и износ. М. : Машиностроение, 1968. 370 с.
13. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М. : Машиностроение, 1977. 258 с.
14. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Крампит М. А. Сварка с импульсным питанием в углекислом газе при работе системы с обратными связями // Вестник науки Сибири. 2011. № 1. С. 715–721.
15. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
16. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
17. Нуракова А. С. Анализ экономической эффективности технологических вариантов восстановления изношенных деталей при ремонте машин // Вестник Евразийского Гуманитарного института. 2005. №3. С. 56 – 61.
18. Николаев А. Г. (пред.) Сварка в машиностроении : справочник в 4-х т. М. : Машиностроение, 1978. Том 2. 462 с.
19. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов А. Д. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
20. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М. : Машиностроение, 1974. 240 с.
21. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю., Рябцев И. А. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34–42.
22. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.

23. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. С.-Пб. :
Изд-во «Лань», 2012. 272 с.