

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

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

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

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

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс исправления дефектов чугунного  
литья

Студент

Э.Е. Ткачева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов

(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 изготовлении заготовок с применением литевых технологий значительная часть приходится отправлять в брак из-за возникающих литевых дефектов.

Проблема повышения эффективности исправления дефектов литья является актуальной. В связи с чем актуальна цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества исправления дефектов литья при помощи применения современных сварочных технологий.

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

- обосновать выбор способа ремонтной сварки чугунных отливок;
- составить проектную технологию ремонтной сварки;
- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию;
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитан годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы могут быть использованы для выполнения ремонтной сварки отливок из чугуна.

## Содержание

Введение .....	5
1 Современное состояние вопроса исправления дефектов литья чугунов. ....	7
1.1 Описание изделия и возникающих при его изготовлении дефектов. ....	7
1.2 Сведения о материале валка и проблемах его сварки. ....	11
1.3 Особенности базовой технологии ремонта валков. ....	12
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу ремонтной сварки чугунов. ....	17
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. ....	20
2 Проектная технология ремонтной сварки чугунных отливок. ....	21
2.1 Обоснование выбора способа сварки. ....	21
2.2 Предлагаемая для сварки порошковая проволока. ....	26
2.3 Операции технологического процесса ремонтной сварки чугунных отливок. ....	28
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы. ....	31
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	31
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	33
3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов. ....	34
3.4 Пожарная безопасность на производстве. ....	36
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии. ....	38
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений. ....	41
4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности. ....	41
4.2 Расчёт объёмов фонда времени. ....	43

4.3 Расчет штучного времени . . . . .	44
4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии. . . . .	46
4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии. . . . .	50
4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии. . . . .	52
Заключение . . . . .	56
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	57

## Введение

Являясь самым древним технологическим процессом, литьё металлических изделий не потеряло актуальности и в наше время. По сравнению с другими способами изготовления деталей машин, например, сваркой, ковкой или прокаткой, литьё даёт возможность изготовления деталей сложной конфигурации и с минимальными припусками на последующую обработку [3].

Литейные технологии занимают лидирующие позиции в изготовлении деталей машин и оборудования, на их долю приходится порядка 45 % всех изготовленных деталей. При этом приблизительно 75 % из них изготавливаются из чугуна. В ближайшее будущее доля чугуна в производстве будет только увеличиваться. Это объясняется преимуществом чугуна перед отливками из других сплавов по эксплуатационным свойствам и комплексу физико-механических свойств.

В настоящее время расширяется применение отливок из качественных чугунов, имеющих перлитную структуру и пластинчатый графит [21], [24]. Также широко распространено литьё чугуна с шаровидным графитом и чугунов с особыми свойствами. В настоящее время происходит замена деталей из углеродистых и легированных сталей деталями из чугуна в различных отраслях мировой промышленности.

При изготовлении заготовок с применением литейных технологий значительная часть приходится отправлять в брак из-за возникающих литейных дефектов [8], [10].

Проблема повышения эффективности исправления дефектов литья является актуальной. В связи с чем актуальна цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества исправления дефектов литья при помощи применения современных сварочных технологий.

# **1 Современное состояние вопроса исправления дефектов литья чугунов**

## **1.1 Описание изделия и возникающих при его изготовлении дефектов**

Характерным изделием, выполняемым с применением чугунного литья является цилиндрический валок, который является рабочим органом дробилки. Значительное распространение получили двухвалковые дробилки, которые применяются для измельчения вязких и влажных материалов, к которым относят, например, глины. При обработке глин происходит забивание оборудования, а использование валковых дробилок позволяет применить скребки для их очистки.

Рассматриваемая в выпускной квалификационной работе двухвалковая дробилка СМ-12Б представлена на рисунке 1. В состав дробилки входят два вала 1 и 2, кожух 3. Валок состоит из ступицы 5 и бандажа 4. Вращение вала 1 происходит в неподвижных подшипниках 9. Вращение вала 2 происходит в подвижных подшипниках 8. К корпусам подвижных подшипников 8 осуществляется подпор винтовых пружин 7. Части дробилки закреплены на раме 6. Привод 10 обеспечивает вращение вала дробилки.

Через отверстия в кожухе материал, который следует раздробить, поступает на валки и затягивается ими. В случае попадания между валками недробимого материала происходит отвод подвижного вала, против упругого действия поджимной пружины 7. За счёт регулирования расстояния между валками возможно регулирование степени измельчения материала.

Рабочим органом валковой дробилки является цилиндрический валок в сборе. Два вала дробилки вращаются навстречу друг другу, частично истирая измельчаемый материал и частично раздавливая его. Валок, представленный на рисунке 2, включает в себя вал 1, Два распорных конических кольца 2, валок 3. Поджатие вала происходит за счёт

крепёжного узла 4. Вращение вала происходит двух подшипниках 5. Вращающий момент передаётся валу от привода через шкив 6.

Корпус вала выполнен из чугуна ВЧ45 методом литья.

При проверке отливок выполняют контроль их химического состава, структуру металла и геометрию отливок. Также проверяется отсутствие недопустимых дефектов (внутренних и поверхностных). Порядка 20 % отливок имеют те или иные дефекты литья. При этом порядка 5 % отливок имеют неисправимые дефекты, а остальные 15 % - исправимые.

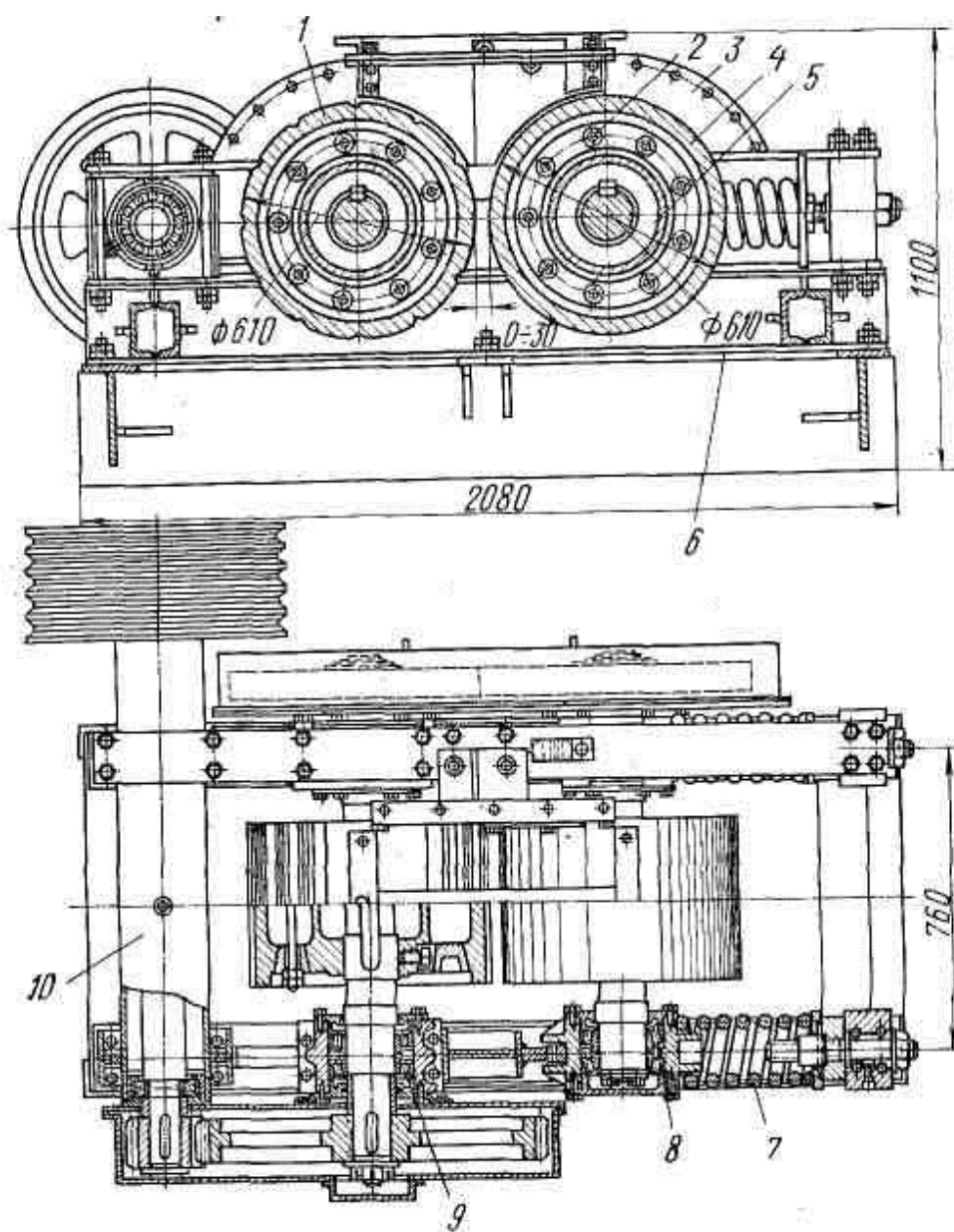


Рисунок 1 – Двухвалковая дробилка СМ-12Б

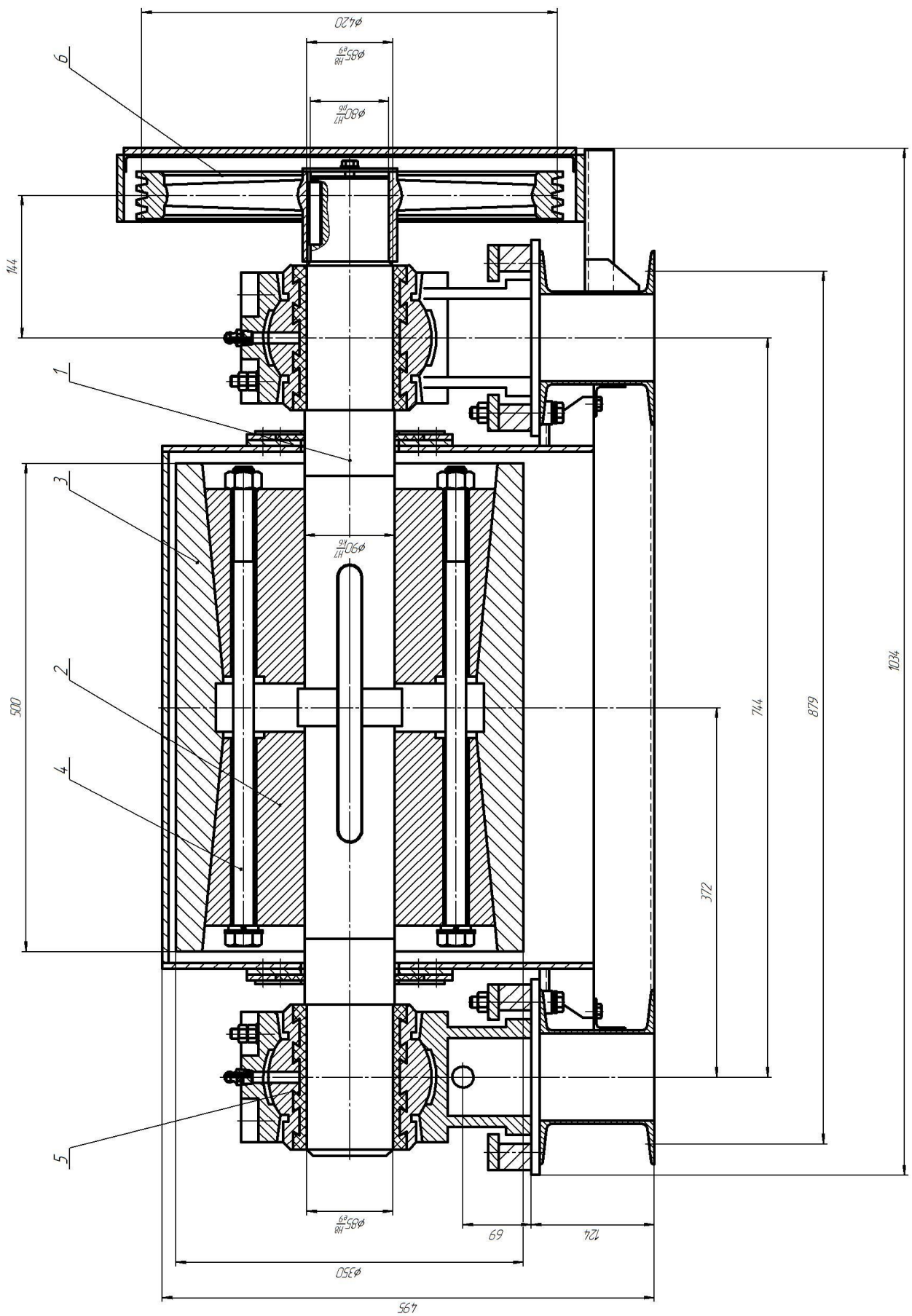


Рисунок 2 – Валок в сборе



Статистика по дефектам отливок из чугуна за 2021 год представлена на рисунке 3.

Основными дефектами отливок из чугуна являются [11], [18], [23]:

- газовые раковины, представленные на рисунке 4-а;
- шлаковые раковины, представленные на рисунке 4-б;
- усадочные раковины, представленные на рисунке 4-в;
- усадочная пористость, представленная на рисунке 4-г;
- трещины, представленные на рисунке 4-д;
- заливывы;
- недоливы;
- перекося;
- коробление.

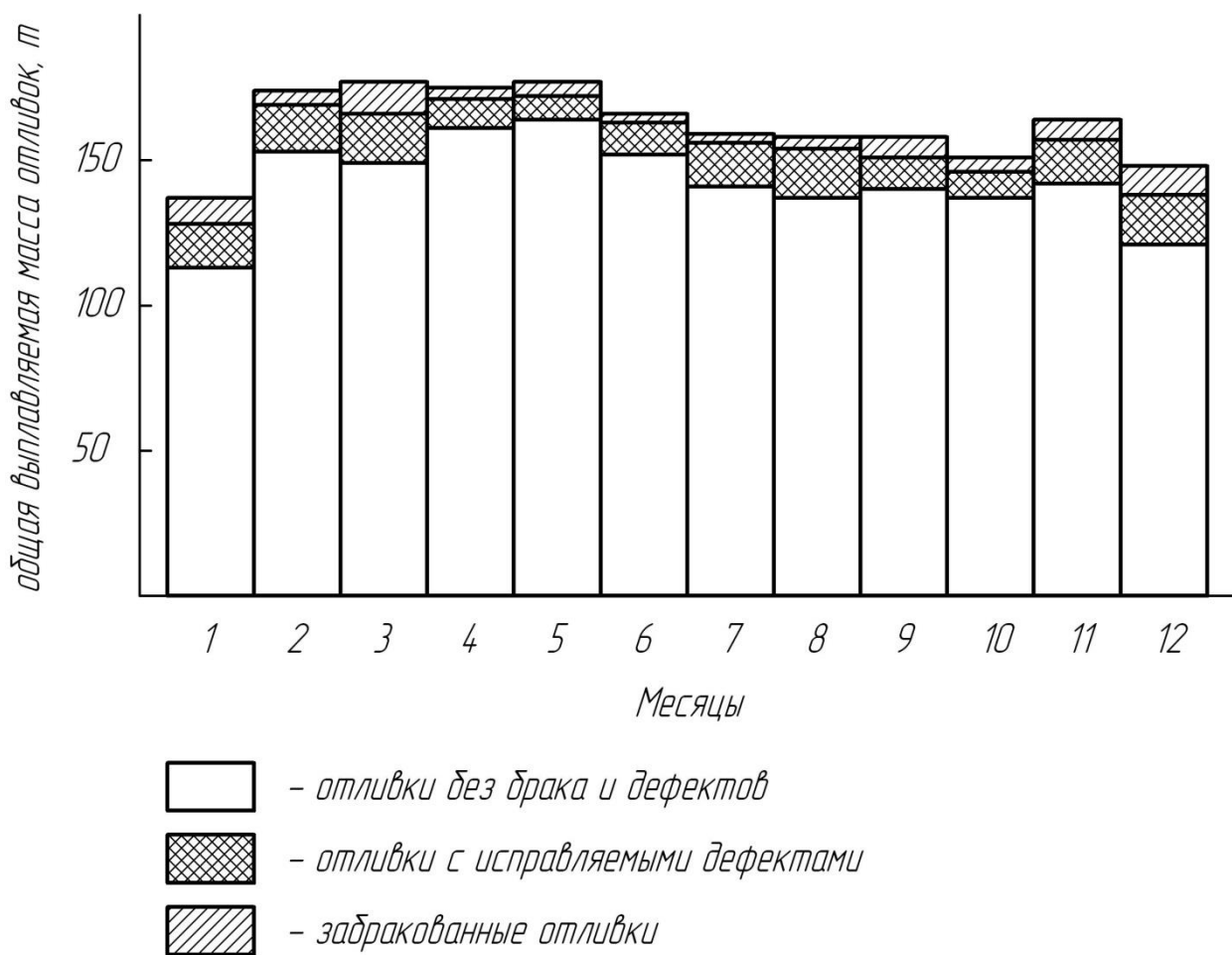


Рисунок 3 – Статистика по дефектам отливок из чугуна за 2021 год

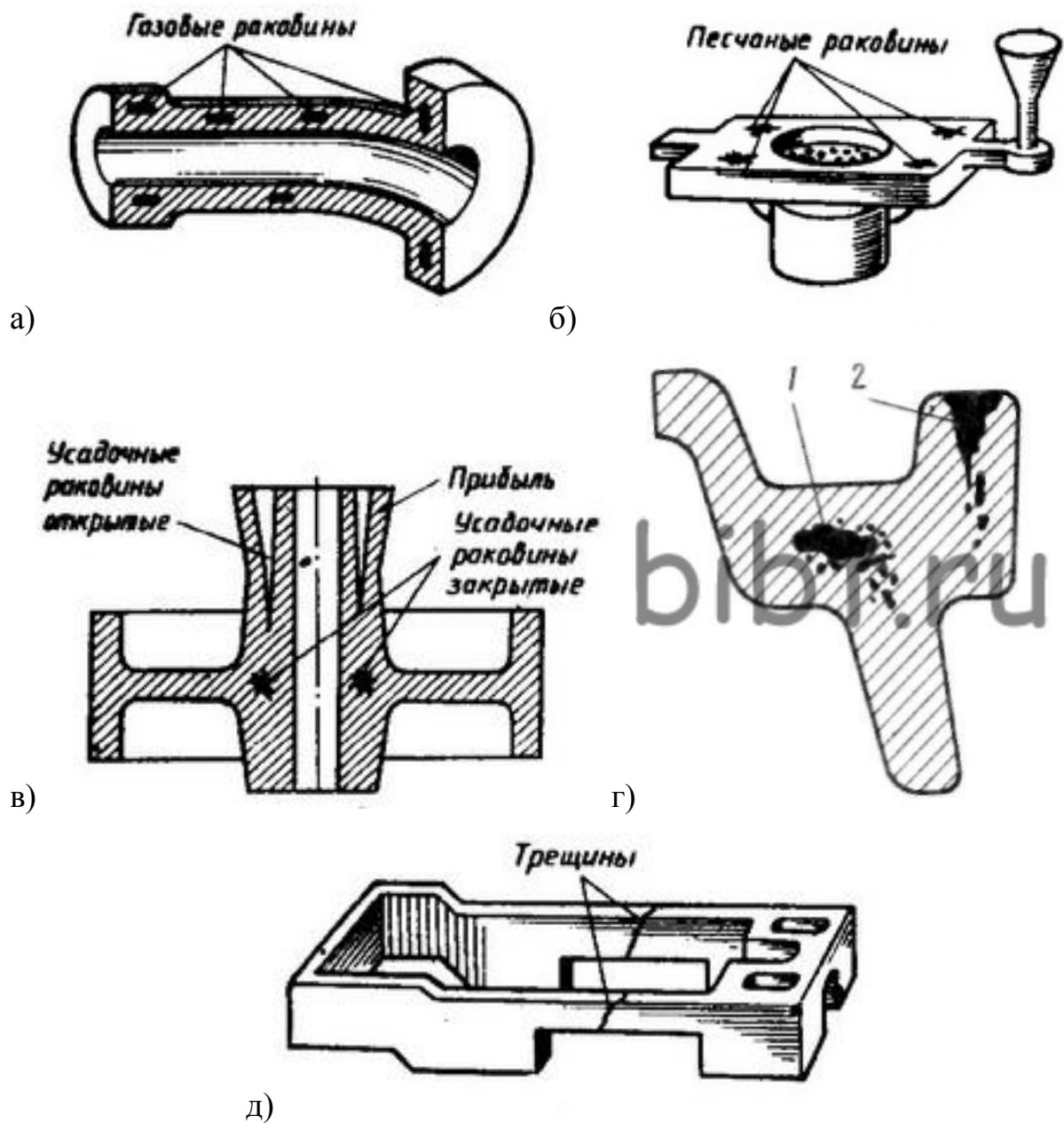


Рисунок 4 – Характерные дефекты отливок из чугуна: газовые раковины (а), шлаковые раковины (б), усадочные раковины (в) усадочная пористость (г), трещины (д)

Дефекты в отливках из чугуна разделяют на две группы. К первой группе относят неисправимые дефекты, которые обычно имеют значительные размеры и их исправление невозможно или невыгодно. Ко второй группе относят исправимые дефекты, обычно имеющие малые размеры, исправление таких дефектов экономически целесообразно.

## 1.2 Сведения о материале валка и проблемах его сварки

Рассматриваемые в настоящей выпускной квалификационной работе валки выполнены из белого высокопрочного чугуна ВЧ45. Содержание химических элементов в чугуне ВЧ45 представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в чугуне ВЧ45

C	Si	Mn	S	P	Cr
2,7...3,8	0,5...2,9	0,3...0,7	до 0,02	до 0,1	До 0,1

Сварку чугуна обычно выполняют только при проведении ремонтно-восстановительных работ и при устранении дефектов литья. Это происходит по причине затруднений, возникающих при сварке чугуна [6], [7].

К первому затруднению следует отнести высокую склонность к образованию трещин в околошовной зоне, что объясняется низкими пластическими свойствами металла и значительными остаточными напряжениями.

Ко второму затруднению следует отнести выгорание кремния, которое приводит к образованию в чугуне отбелённых зон, которые имеют высокую твёрдость и малую пластичность. Такие зоны образуются в металле шва и основном металле, они затрудняют последующую механическую обработку и становятся причиной образования трещин.

Третьим затруднением является резкий переход чугуна при нагреве из твёрдого состояния в жидкотекучее и наоборот. В результате из сварочной ванны не успевают выделиться до конца растворённые в металле газы, что приводит к образованию пористости. Также затрудняется сварка чугуна в положениях, отличных от нижнего.

Четвёртым затруднением при сварке чугуна является интенсивное выгорание электрода, что приводит к пористости металла шва и снижению его механических свойств.

Пятым затруднением является неоднородность химического и структурного состава различных частей детали, что происходит по причине различных условий охлаждения детали после сварки.

Чугунные детали машин, которые работают в течение длительного времени при высоких температурах, практически не поддаются ремонтной сварке. Это объясняется тем, что воздействие температур выше 300 °С вызывает окисление углерода и кремния, в результате чего чугун охрупчивается. Такой чугун в котором произошло окисление кремния и углерода, называют «горелым».

Также следует отметить сложности при ремонтной сварке чугунных деталей, которые длительное время работами в контакте с маслом и керосином. В этом случае поверхностные слои пропитываются маслом и керосином, что приводит к образованию пор при сварке.

### **1.3 Особенности базовой технологии ремонта валков**

#### **1.3.1 Обнаружение дефектов**

После отливки в валках обнаруживаются такие дефекты, как трещины, раковины и поры. Обнаружение видимых дефектов происходит после извлечения из формы отливки и её очистки. Обнаружение невидимых дефектов происходит в процессе магнитной или цветной дефектоскопии.

Для того, чтобы провести люминесцентный контроль, наносят специальный раствор на поверхность отливки. Этот раствор имеет свойство излучать свет под действием ультрафиолета и обладает способностью проникать в трещины, поры и раковины. После того, как раствор был нанесен на поверхность, его смывают и просушивают поверхность. После этого на поверхность детали наносят мелко измельченный силикагель. Силикагель впитывает в себя флюоресцирующий раствор, который затёк в полости дефектов на поверхности. После установки отливки под источник

ультрафиолета в местах дефектов наблюдается интенсивное свечение порошка силикагеля.

При проведении магнитного контроля можно выявить наличие дефектов на глубине до 2 мм. Выполняют намагничивание отливки, 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 цветной дефектоскопии отливки 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.

При применении радиографических методов отливки подвергают воздействию рентгеновского или гамма-излучения. Дефекты отливок менее интенсивно поглощают излучение, и на рентгеновских снимках они выглядят в виде тёмных пятен. По темноте пятна можно судить о характере, размерах и глубине залегания дефекта.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвука отражаться от поверхности дефектов, чем больше размер обнаруживаемого дефекта, тем выше уровень отражённого сигнала. При этом, для обнаружения дефекта он должен быть больше, чем длина волны ультразвука, иначе дефект обнаружен быть не может вследствие дифракции. Ввод ультразвуковой волны осуществляют через стенку отливки. Происходит частичное отражение ультразвуковой волны от границы дефекта. Информацию о размерах, глубине залегания и характере дефекта получают по интенсивности и направлению отражённой волны.

### **1.3.2 Подготовка дефекта под ремонтную сварку**

После обнаружения дефекта поверхность отливки в месте его залегания необходимо очистить от загрязнений. После того, как границы дефекта были определены, следует выполнить разделку дефектного места, удаляя все загрязнения и пористый металл. На расстоянии до 25 мм от границы разделки следует выполнить тщательную очистку поверхности от загрязнений.

Для разделки дефекта может применяться механическая обработка: шлифмашинка, металлорежущие станки, пневматический молоток.

При разделке дефекта зубилом следует снимать металл тонкими слоями, так как в противном случае существует опасность получения откола или трещины.

При удалении масляных загрязнений на поверхности металла допускается применение газового пламени горелки или резака.

Разделку деталей под ремонтную сварку следует выполнять с резким переходом. Это требуется для того, чтобы свести к минимуму выход расплавленного металла на поверхность детали и уменьшить таким образом зону термического влияния, где существует опасность образования отбелённой зоны.

### **1.3.3 Техника и режимы ремонтной сварки**

К ремонтной сварке при исправлении дефектов на чугунных отливках могут быть допущены сварщики не менее 4 разряда, которые имеют соответствующий опыт работы.

Применяемые сварочные электроды должны иметь копию сертификата и отметку ОТК о проведении входного контроля.

Перед выполнением сварки следует провести прокалку сварочных электродов на режимах, которые указаны на ярлыке на пачке с электродами.

После того, как была выполнена прокатка, необходимо хранить электроды в сушильном шкафу при температуре не ниже 60 °С.

Выполнение ремонтной сварки на чугунных отливках допускается при температуре окружающего воздуха не ниже 15 °С. Должны отсутствовать потоки холодного воздуха и сквозняки.

Для сварки применяются медно-никелевые электроды. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Параметры режима ремонтной сварки чугунных отливок с применением медно-никелевых электродов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры режима ремонтной сварки чугунных отливок с применением медно-никелевых электродов

Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
3	90...110
4	120...140
5	160...190

Заварку дефекта выполняют только в нижнем положении, длина накладываемых валиков должна составлять 20...30 мм, валики должны быть короткими и иметь высоту не менее 4 мм. После того, как был наложен очередной валик, необходимо провести зачистку места сварки, удаляя брызги металла и шлак, провести проковку наплавленного металла лёгкими ударами молотка. Сварку следующего валика необходимо начинать при температуре места сварки не выше 60 °С.

При заварке дефекта валики следует располагать параллельно, перекрытие валиков должно составлять 0,3...0,5 мм по ширине.

При обрыве дуги следует выводить кратер на наплавленный металл и полностью заправлять его повторным двух-трёхкратным зажиганием. Выводить кратер на основной металл запрещается.

### 1.3.4 Анализ базовой технологии

Медно-никелевые электроды получили применение при исправлении дефектов чугунного литья.

Они позволяют провести ремонтную сварку без получения местного повышения твердости на поверхности детали. Медь и никель, содержащиеся в электроде, не вступают в реакцию с углеродом основного металла и не образуют после сварки структур с высокой твёрдостью. Если зона ремонтной сварки имеет малые размеры, то отбелённые зоны в чугунных деталях практически отсутствуют. Это объясняется тем, что медь и никель являются элементами-графитизаторами. Также положительное влияние на структуру сварного шва оказывает неограниченная растворимость никеля в железе, что позволяет получить надёжное сплавление.

Применение медно-никелевых электродов рекомендовано при исправлении таких несквозных дефектов, как поры, раковины, рыхлоты, ужиминны. При этом завариваемый дефект должен иметь площадь не более  $10 \text{ см}^2$  и глубину не более 10 мм.

Если дефект имеет большие размеры, то возможность его исправления ремонтной сваркой согласовывается с главным специалистом и требует оформления дополнительных согласующих документов.

После выполнения ремонтной сварки с применением медно-никелевых электродов наплавленный металл представляет собой сплав меди и никеля. Твёрдость наплавленного металла составляет 120...160 НВ. Твёрдость переходной зоны составляет 280 НВ. Временное сопротивление металла сварного соединения при статическом растяжении составляет 4...5 кгс/мм<sup>2</sup>. После выполнения ремонтной сварки возможна механическая обработка наплавленного металла.

Следует учесть, что наплавленный металл склонен к образованию пор и трещин. При высоких нагрузках возможен ускоренный его износ, так наблюдается малая прочность соединения и высокая его вязкость.



Недостатками базовой технологии является недостаточная прочность наплавленного металла, малая производительность сварки, высокие требования к квалификации сварщика, значительное количество дефектов при сварке (поры и трещины).

#### **1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу ремонтной сварки чугунов**

Выполнен поиск в сети ИНТЕРНЕТ источников научно-технической информации по вопросу ремонтной сварки чугунов. Поиск проводился по ключевым словам «сварка чугуна», «чугунные изделия», «диссертация», «журнал Автоматическая сварка», «журнал Сварочное производство».

В первой работе «проведен эксперимент по наплавке высокохромистым чугуном. Установлена возможность влияния на структурообразование наплавленного металла низкочастотных колебаний, частота которых совпадает с частотой собственных колебаний изделия (в условиях резонанса). При этом наплавленный металл имеет большую твердость, а также характеризуется равномерным распределением хрома между дендритами и эвтектикой, меньшими размерами дендритов у линии сплавления. Отмечена более высокая трещиностойкость наплавленного металла» [22].

Во второй работе «рассматривается роль химического состава, структуры и механических свойств в чугунных отливках с позиции сварки. Названы главные факторы, определяющие значительные затруднения в получении плотнопрочных и легкообрабатываемых сварных соединений при сварке чугунных изделий без высокого предварительного подогрева и последующей термической обработки. Отмечено влияние графитной фазы и продуктов окисления металлической основы на принципиальную способность чугуна образовывать сварное соединение. Анализируются условия кристаллизации и формирования структуры в зоне сплавления.

Обобщаются результаты исследований влияния термического цикла дуговой сварки на структуру и свойства чугунов в металле ЗТВ. Описаны представления о природе околошовных трещин и принципы предотвращения отрывов и микротрещин в металле ЗТВ. Приведены исходные положения для выбора состава наплавленного металла и соответствующих электродных материалов, меры снижения склонности металла шва на основе никеля к образованию пор. Определяется комплекс требований к качеству дуговой сварки чугунов, обобщаются металлургические и технологические меры обеспечения сплошности, герметичности, прочности и обрабатываемости сварных соединений» [11].

В третьей работе «рассмотрено влияние малых добавок бора на свойства наплавленного металла типа белого чугуна доэвтектического состава при широкослойной дуговой наплавке порошковой проволокой. Установлено, что бор в количестве 0,07...0,14 мас. % существенно повышает трещиностойкость наплавленного металла типа белого чугуна. Показано, что рост трещиностойкости обусловлен модифицирующим воздействием бора на размеры и строение структурных составляющих наплавленного чугуна и упрочнением межзеренных границ» [13].

В четвёртой работе «предложена порошковая проволока, которая по сравнению с прототипом позволяет повысить прочность соединения и стойкость шва против образования пор и трещин» [2].

В пятой работе «предложены основы для составления технологии получения литосварных чугунных изделий. Предлагаемые мероприятия основаны на проведённых исследованиях свариваемости чугунов, повышения эффективности использования существующих сварочных материалов и разработке новых. Предложены подходы к технике сварки и построению оборудования для сварки, составлена методика оценки свойств и работоспособности соединений» [18]. В работе был предложен способ дуговой сварки деталей из чугуна, предусматривающий принудительное формирование сварного шва, который позволяет сочетать положительные

качества механизированной сварки с применением порошковой проволоки и электрошлаковой сварки. Этот способ позволяет получать высокое качество швов при толщине деталей 30...60 мм и более, не требует применения предварительного подогрева.

В шестом источнике научно-технической информации [17] предложены алгоритмы проектирования технологических процессов при изготовлении отливок из чугуна. Предложена методика исправления дефектов в отливках из чугуна, позволяющая выполнить идентификацию дефектов, анализ причин их возникновения и выбор способа исправления дефектов. Предложены походы к автоматизации исправления дефектов чугунного литья.

В седьмом источнике научно-технической информации [19] предложена технология ремонтной сварки деталей из чугуна с применением порошковой проволоки ПАНЧ-11. При этом не требуется предварительного подогрева детали. Технология позволяет получать сварные швы высокого качества, равнопрочные с основным металлом. Сварку предлагается выполнять в последовательности: разделка трещины, заварку короткими участками длиной 20...50 мм поперечно трещине, при этом следует обеспечить перекрытие валиков на 1/3. При сварке каждого валика необходимо дождаться его полного остывания.

В восьмом источнике научно-технической информации [16] показано, что причинами отказов деталей машин из чугуна являются: работа деталей в условиях циклических нагрузок и изнашивания, значительные статические и динамические нагрузки; абразивный износ; циклические напряжения; коррозионный износ.

Выполнено исследование эффективности горячей газовой и электродуговой сварки серого чугуна. Предложена специальная обмазка для электродов при горячей сварке чугуна.

В девятом источнике научно-технической информации [15] выполнен анализ эффективности различных способов сварки применительно к

холодной сварке деталей машин из серого чугуна. Рассмотрены такие способы сварки, как механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой, плазменной сварки с применением никелевого и хромоникелевого порошков, горячая электродуговая сварка штучными электродами. Установлено, что рассматриваемые способы сварки позволяют получить высокое качество металла сварного шва, равнопрочность с основным металлом, хорошую обрабатываемость после сварки с применением механических методов обработки металлов резанием.

### **1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества исправления дефектов литья при помощи применения современных сварочных технологий.

Базовая технология ремонтной сварки дефектов чугунного литья предусматривает ручную дуговую наплавку медно-никелевыми электродами. При анализе базовой технологии выделены её недостатки: малая прочность наплавленного металла, малая производительность сварки, высокие требования к квалификации сварщика, значительное количество дефектов при сварке (поры и трещины).

На основании проведённого анализа состояния вопроса могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы:

- обосновать выбор способа ремонтной сварки чугунных отливок;
- составить проектную технологию ремонтной сварки;
- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию [5], [9];
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве [12], [14].

## 2 Проектная технология ремонтной сварки чугунных отливок

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки

Предварительно проведённый анализ способов сварки чугунных деталей позволяет выделить наиболее приемлемые способы сварки:

- «газовая сварка чугуна;
- газопорошковая наплавка;
- сварка неплавящимся электродом;
- сварка штучным электродом;
- механизированная сварка проволоками сплошного сечения;
- механизированная сварка порошковыми проволоками» [4], [20].

Газовая сварка широко распространена при ремонтной сварке чугунных деталей. За счёт особенностей газового пламени становится возможным обеспечение требуемого термического цикла путём регулирования тепловых потоков в присадочный металл и основной металл. При исправлении дефектов со значительными размерами возможно применение нескольких горелок.

Для ремонтной сварки чугуна применяются серийно выпускаемые ацетиленовые или пропан-бутановые горелки. Для сварки чугуна рекомендуются к использованию такие горелки, как «Норд», «Факел» и другие горелки с наконечниками № 3, № 4 и № 5. При сварке на газе-заменителе могут быть применены горелки ГЗУ-3 и ГЗУ-5.

Получение плотных перлитных структур возможно при условии применения в качестве присадки прутков из низколегированного чугуна, состав которых представлен в таблице 3. При газовой сварке деталей из чугуна применяются флюсы, предотвращающие окисление кромок и очищающие расплавленный металл от оксидов и неметаллических включений.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в присадочных прутках для газовой сварки чугуна

Марка прутка	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Cu	Sn
I	3,3...3,5	3.4...3,7	0,5...0,7	<0,04	<0,15	<0,1	0,1	0,1	-	0,3
II	3,3...3,5	3.4...3,7	0,5...3,7	<0,04	<0,15	<0,1	0,6	0,1	2,0...2,5	-

Основным компонентом флюсов является бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), к которой может быть добавлено до 25...50 % углекислого натрия, углекислого калия и натриевой селитры. Порошковые флюсы затрудняет ведение сварки.

Для снижения пористости можно применять газоплюсовую сварку. При таком способе сварки во время подогрева, разделки и сварки изделия подают газообразный флюс, который позволяет получить равномерный шлаковый покров со значительным поверхностным натяжением, что приводит к образованию ровного валика. Прочность наплавленного металла при газоплюсовой сварке не уступает прочности основного металла, а твёрдость позволяет выполнять механическую обработку детали.

Преимуществами газовой сварки является:

- универсальность способа,
- шов можно механически обработать,
- возможность заварки дефектов на сложных тонкостенных отливках,
- малое коробление деталей.

Недостатками газовой сварки являются:

- тяжёлые условия труда сварщика (горячая отливка),
- сложность заварки дефектов больших размеров,
- низкая производительность,
- длительное тепловое воздействие на деталь.

Если после проведения механической обработки на поверхности отливки были обнаружены мелкие дефекты, то их можно эффективно устранить при помощи газопорошковой наплавки. При этом следует выполнить нагрев поверхность детали в месте наплавки до температуры

300...400 °С. Далее насыпают порошок на дефектную поверхность, после чего порошок оплавляют. Затем насыпают и наплавляют новый слой порошка. Неразъемное соединение образуется вследствие протекания диффузионных процессов между наносимыми слоями порошка и поверхностью детали. Проведение газопорошковой наплавки позволяет избежать протекания в основном металле неблагоприятных структурных изменений. При этом возможно нанесение слоя металла толщиной до 3 мм.

В таблице 4 представлен состав порошкообразных сплавов для проведения газопорошковой наплавки.

Таблица 4 – Состав порошкообразных сплавов для проведения газопорошковой наплавки

Марка сплава	Cu	B	Si
ПНЧ-1	5,0...7,0	1,0...1,8	0,7...0,95
ПНЧ-2	5,0...7,0	1,7...2,3	1,0...2,5

Преимуществами газопорошковой наплавки являются:

- нет структурных изменений основного металла,
- возможность ведения процесса в любом пространственном положении,
- отсутствует коробление деталей,
- выдерживается заданный размер деталей.

Недостатками газопорошковой наплавки являются:

- малая производительность наплавки,
- сложность заварки дефектов больших размеров.

Сварка неплавящимся электродом позволяет значительно уменьшить зону термического влияния. Ремонтная сварка чугуна ведётся на постоянном токе прямой полярности. Возможно исправление дефектов в высокопрочных чугунах.

Преимуществами сварки неплавящимся электродом чугунов являются:

- высокое качество сварки,

- хороший внешний вид шва,
- возможность заварки дефектов на всех перспективных чугунах.

Недостатками сварки неплавящимся электродом чугунов являются:

- низкая производительность,
- требуется высокая квалификация сварщика,
- сложно контролировать состав шва,
- возможность появления трещин.

Ручная дуговая сварка при ремонтной сварке деталей из чугуна может быть проведена с использованием специальных сварочных электродов и техники сварки. При этом возможна как «горячая» сварка, при которой выполняется предварительный нагрев деталей до температуры 600...650 °С, так и «холодная» сварка, при которой предварительного нагрева не выполняют.

В процессе «горячей» сварки охлаждается вся масса детали, что существенно снижает скорость охлаждения сварного шва. Это позволяет пройти процессам графитизации и значительно снижает остаточные напряжения, в результате чего не образуется трещин.

«Горячая» сварка позволяет получить более высокое качество, чем «холодная», но сам процесс сварки значительно усложняется из-за необходимости нагрева и проведения операций с горячей деталью.

Для проведения «холодной» сварки могут быть применены стальные электроды из малоуглеродистой стали или специальные электроды (ПАНЧ-11, МНЧ-1, МНЧ-2, ОЗЧ-4).

Электроды МНЧ-1 и МНЧ-2 позволяют получать сварные швы с хорошей обрабатываемостью. Электроды ОЗЧ-4 позволяют получить прочный сварной шов, но его обрабатываемость механическими способами затруднена.

При холодной сварке чугунов требуется обеспечить минимальное вложение тепла в основной металл, сварку ведут короткими валиками, дина



которых составляет 25...60 мм. Каждый валик охлаждают до температуры не выше 60 °С.

Преимуществами ручной дуговой сварки чугунов является:

- возможность механической обработки шва,
- незначительна зона отбелённого чугуна,
- малое число пор и трещин,
- дешевизна сварочных материалов.

Недостатками ручной дуговой сварки чугунов является:

- малая прочность сварного соединения,
- неоднородность соединения по структуре,
- пригодна только для малых дефектов,
- требуется высокая квалификация сварщика,
- высокая трудоёмкость.

С начала 60-х годов прошлого столетия начала применяться механизированная сварка чугунов. В ИЭС им. Е. О. Патона были разработаны различные присадочные проволоки, позволяющие обеспечить высокое качество соединений. При этом в качестве расходного материала могут быть применены:

- проволока сплошного сечения, с применением которой выполняют механизированную сварку чугуна в защитных газах;
- порошковая проволока, которая может быть как самозащитной и позволять выполнять сварку без защитного газа, так и предназначенной для механизированной сварки в среде защитных газов;
- пластинчатый электрод с порошковой присадкой, который применяется при заварке дефектов с большими размерами.

Преимуществами механизированной сварки чугунов является:

- благоприятный химический состав шва,
- не образуется трещины,

- удовлетворительная прочность соединения,
- возможность механической обработки шва.

В качестве критических недостатков механизированной сварки чугунов следует отметить:

- сложность проведения работ при полном нагреве детали,
- технические затруднения при исправлении дефектов больших размеров,
- малую производительность заварки дефекта,
- значительную продолжительность пребывания детали в нагретом состоянии.

На основании преимуществ и недостатков рассмотренных способов ремонтной сварки изделий из чугуна для построения проектной технологии предложим использовать механизированную сварку порошковой проволокой.

## **2.2 Предлагаемая для сварки порошковая проволока**

Повышающиеся требования к качеству выполнения сварных швов при ремонтной сварке изделий из чугуна требуют разработки новых сварочных материалов. Выше в качестве основного способа сварки обоснована целесообразность применения порошковой проволоки, которая состоит из стальной оболочки и шихты. Шихта, размещающаяся внутри металлической оболочки, включает в себя ферромарганец, ферротитан, железный порошок и силикокальций. Дополнительно шихта включает в себя ферромолибден, плавленый шпат и сплав «никель+хром+бор+ кремний». В состав оболочки и шихты компоненты внесены в следующем соотношении [1]:

- графит 5,2...11,0 %;
- ферромолибден 2,6...4,0 %;
- ферросиликокальций 1,7...7,0 %;

- ферротитан 0,3...0,78 %;
- ферромарганец 0,2...0,45 %;
- никель+хром+бор+кремний 0,05...0,1 %;
- плавиковый шпат 1,8...2,5 %;
- железный порошок 0,17...14,75 %;
- остальное составляет стальная оболочка проволоки.

Плавиковый шпат, внесённый в сварочную проволоку в количестве 1,8...2,5 %, позволяет повысить качество сварного шва за счёт перевода водорода в нерастворимое состояние и улучшения условий перехода легирующих элементов из проволоки в металл сварного шва.

Ферросиликокальций, который введён в проволоку в количестве 1,7...7,0 %, также помогает связывать свободный водород, находящийся в сварочной ванне.

Сварочная проволока с таким составом позволяет выполнять сварку чугуна с применением пониженной температуры предварительного подогрева.

Ферромолибден, который введён в проволоку в количестве 2,6...4,0 %, позволяет повысить пластичность металла сварного шва. При содержании ферромолибдена ниже 2,6 % повышается вероятность образования трещин в сварном соединении. Превышение содержания ферромолибдена более 4,0 % приводит к образованию в сварном шве нежелательных структур, которые могут снизить пластические свойства металла шва и привести к образованию трещин.

Введение в сварочную проволоку сплава никель+хром+бор+кремний позволяет исключить образование в металле сварного шва окисных включений. Также никель и кремний нейтрализуют отрицательно влияние бора. Хром способствует получению перлитной структуры металла шва.

Проволока позволяет повысить производительность и качество сварки чугунных отливок и снизить температуру предварительного подогрева.

## 2.3 Операции технологического процесса ремонтной сварки чугунных отливок

Для разделки дефекта может применяться механическая обработка: шлифмашинка, металлорежущие станки, пневматический молоток. На расстоянии до 25 мм от границы разделки следует выполнить тщательную очистку поверхности от загрязнений.

При удалении масляных загрязнений на поверхности металла допускается применение газового пламени горелки или резака.

Разделку деталей под ремонтную сварку следует выполнять с резким переходом. Это требуется для того, чтобы свести к минимуму выход расплавленного металла на поверхность детали и уменьшить таким образом зону термического влияния, где существует опасность образования отбелённой зоны.

Если дефекты расположены друг от друга дальше, чем на 20 мм, их вырубку осуществляют порознь. Если расстояние между дефектами меньше 20 мм, следует выполнить сплошную вырубку участка.

При разделке дефекта зубилом следует снимать металл тонкими слоями, так как в противном случае существует опасность получения откола или трещины.

Предварительный подогрев отливки перед сваркой проводят до температуры 250...300 °С. Сварку ведут на параметрах режима, которые указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры режима ремонтной сварки

Диаметр порошковой проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на сварочной дуге, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Коэффициент использования порошковой проволоки, %
3,0	300-450	32-36	100-200	85-90

При выполнении ремонтной сварки следует добиваться минимального проплавления основного металла. Для повышения производительности сварку ведут одновременно тремя проволоками, как показано на рисунке 5. При этом заварка дефекта выполняется ванным способом.

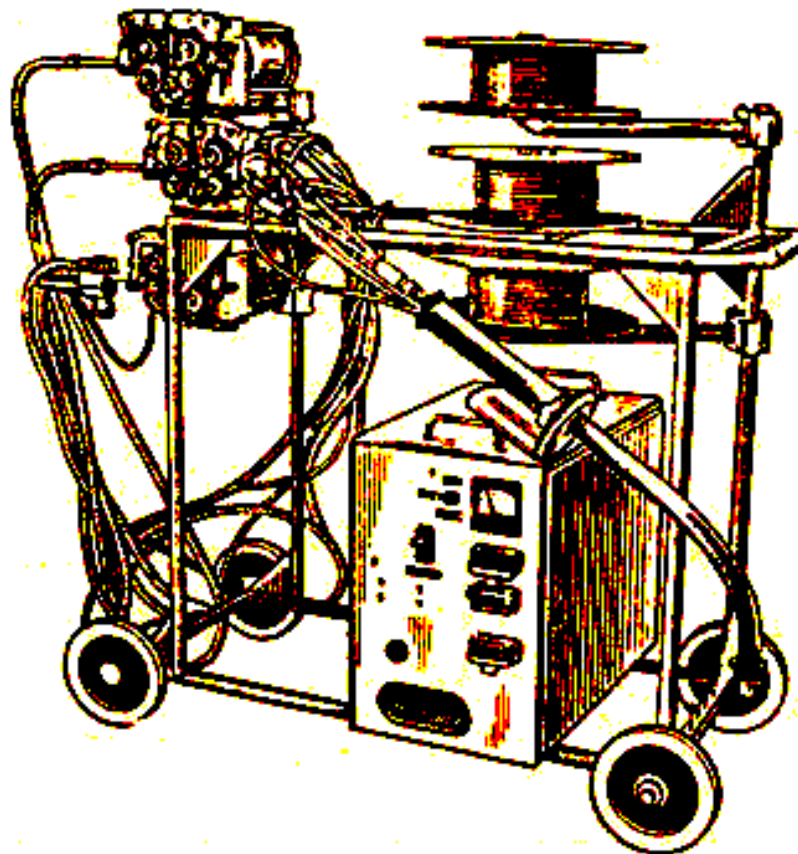
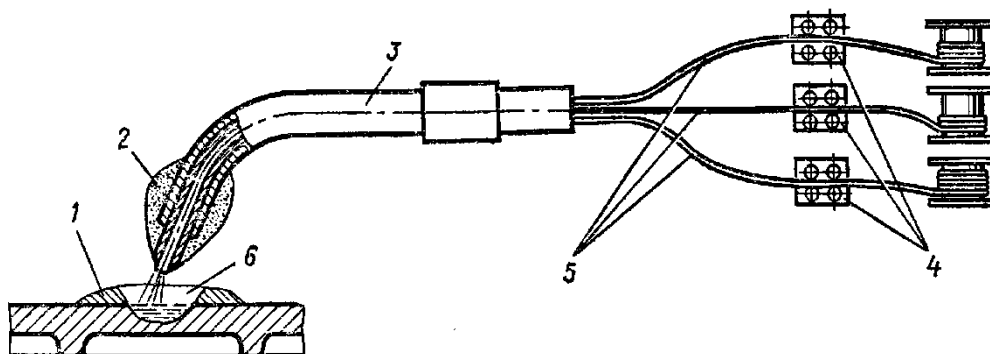


Рисунок 5 – Специализированный трехэлектродный полуавтомат для заварки дефектов чугуна литья



1 – огнеупорная форма; 2 – защитное покрытие горелки; 3 – горелка;  
4 – подающие механизмы; 5 – порошковые проволоки; 6 – сварочная ванна

Рисунок 6 – Схема механизированной дуговой сварки одновременно тремя проволоками

В качестве защитного покрытия горелки используют формовочную смесь завода «Станколит» (белая глина 40%, кварцевый песок 40%, серебристый графит 20%). Для сварки используем полуавтомат А-1072с. Схема сварки тремя дугами представлена на рисунке 6.

После сварки охлаждение отливки производят в цехе, накрыв его асбестовой тканью.

### Выводы по второму разделу

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества исправления дефектов литья при помощи применения современных сварочных технологий.

В ходе выполнения второго раздела выпускной квалификационной работы выполнен обоснованный выбор способа ремонтной сварки чугуновых отливок. Построение проектной технологии принято проводить с использованием механизированной сварки порошковой проволокой.

Для повышения качества сварки предложенная порошковая проволока с составом согласно разработкам отечественных исследователей [1].

Для повышения производительности сварку предложено вести тремя проволоками сразу.

Дальнейшие работы по достижению поставленной цели предполагают проведения оценки предложенных технологических решений, которая воспоследует в оценочном блоке (третий и четвертый разделы настоящей выпускной квалификационной работы):

- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию [5], [9];
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве [12], [14].

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

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

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности исправления дефектов литья чугунов.

При выполнении базовой технологии исправления дефекта предусматривалось применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Проектная технология исправления дефектов литья предусматривает применение механизированной сварки порошковой проволокой.

При выполнении проектной технологии предусмотрены следующие операции технологического процесса: подготовка под ремонтную сварку, предварительный подогрев, ремонтная сварка, зачистка, контроль качества.

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

Кроме того, предстоящий анализ позволит не только устранить профессиональные риски, но и повысить пожарную безопасность технического объекта, паспорт которого представлен в таблице 6.

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

Таблица 6 – Технологический паспорт участка восстановительно наплавки

«Наименование операции технологического процесса»	Наименование должности работника, выполняющего данную операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые на операции» [9]
подготовка под ремонтную сварку	слесарь-сборщик, дефектоскопист	пневматический молоток MLH-KFZ, УШМ Makita 9069, линейка	набор зубил, круги абразивные, сжатый воздух
предварительный подогрев	слесарь-сборщик, термист	печь с выкатным поддоном СДО 15.15.10/12, клещи, кран-балка	рукавицы, ветошь, асбестовое полотно
ремонтная сварка	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	полуавтомат А-1072С, источник питания импульсной дуги, диаметром 3 мм, горелка сварочная,	защитное покрытие горелки, асбестовое полотно, проволока сварочная ПП-АНЧ-5М
зачистка	слесарь-сборщик	щетка металлическая, УШМ Makita 9069	круги абразивные
контроль качества	дефектоскопист	дефектоскоп, лупа, шаблон сварщика	керосин, мел, масло

Технологический паспорт объекта – участка для проведения ремонтной сварки чугунных отливок – 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.



### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 7.

Таблица 7 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

«Операция технологического процесса»	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [9]
подготовка под ремонтную сварку	- 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;	пневматический молоток MLH-KFZ, УШМ Makita 9069, линейка
предварительный подогрев	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;	печь с выкатным поддоном СДО 15.15.10/12, клещи, кран-балка
ремонтная сварка	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной	полуавтомат А-1072С, источник питания импульсной дуги, диаметром 3 мм, горелка сварочная,
зачистка	- 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;	щетка металлическая, УШМ Makita 9069
контроль качества	- ультразвуковое излучение	дефектоскоп

На основании данных таблицы 7 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механическое 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
- ультразвуковое излучение.

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

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

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

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [9] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 8, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Таблица 8 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

«Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [9]
наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда;</li> <li>- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;</li> <li>- оснащение оборудования защитной блокировкой</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону;</li> <li>- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;</li> <li>- оснащение оборудования защитной блокировкой</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты
опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	<ul style="list-style-type: none"> <li>- применение устройств защитного отключения электропитания оборудования;</li> <li>- применение защитного заземления и зануления оборудования;</li> <li>- контроль состояния защитных устройств и изоляции;</li> <li>- инструктаж по электробезопасности</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
нагрев поверхности деталей до высоких температур	<ul style="list-style-type: none"> <li>- автоматизация технологических процессов;</li> <li>- инструктаж персонала</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
инфракрасное излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультрафиолетовое излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультразвуковое излучение	- уменьшение времени негативного воздействия	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

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

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

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

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

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

В таблице 9 представлена идентификация факторов пожара.

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.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 10.

Таблица 9 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок восстановительной наплавки 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)» [9]	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 10 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [9]
подготовка под ремонтную сварку, предварительный подогрев, ремонтная сварка, зачистка, контроль качества	«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» [9]	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 11. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 11 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства для тушения	Стационарные системы и установки 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**

Реализация предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений не только приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, борьбе с которыми посвящена предыдущая часть раздела, но и вызывает негативное воздействие на окружающую среду. 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 12.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 13.

Таблица 12 – 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
подготовка под ремонтную сварку, предварительный подогрев, ремонтная сварка, зачистка, контроль качества	подготовка	-	отходы смазывающе-охлаждающей жидкости	стружка, частицы упаковки, бытовой мусор
	предварительный подогрев	-	отходы масла	частицы упаковки, бытовой мусор
	ремонтная сварка	вредные испарения	-	частицы упаковки, бытовой мусор
	зачистка	вредные испарения	-	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	контроль качества	вредные испарения	отходы масла	частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 13 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок 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» [9]
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» [9]
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» [9]

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

## Выводы по экологическому разделу

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.

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



## **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 повышению эффективности ремонтной сварки при исправлении чугунных отливок.

При выполнении базовой технологии ремонтной сварки предусматривается применение ручной дуговой сварки штучными электродами. Устраняемые недостатки ручной дуговой сварки:

- низкая производительность;
- низкая стабильность качества;
- при ручной дуговой сварке наплавке сварщику приходится работать в тяжёлых условиях, которые усугубляются вредным воздействием образующегося при горении дуги сварочного аэрозоля;
- расход электродов на огарки, разбрызгивание и угар приводят к увеличению расходов на сварочные материалы.

Проектная технология восстановительной наплавки предусматривает применение механизированной сварки порошковой проволокой с импульсным управлением сварочной дугой.

Применение проектной технологии позволяет существенно повысить производительность и стабильность качества ремонтной сварки, которые должны привести к получению экономического эффекта.

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 14 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.

Таблица 14 – 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	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	$P_p$	-	$V$	$V$
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	100	100
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.	100 тыс.	2200 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	10	20
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	$S$	$м^2$	40	60
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» [20]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Исходные данные в таблице 14 позволяют выполнить последующий расчёт экономических показателей базового и проектного вариантов проведения работ.

## 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:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ часов.}$$

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:

$$F_э = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108 \text{ часов.}$$

### 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:  $t_{шт.баз} = 1,2 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,5$  часа, проектного варианта:  $t_{шт.пр} = 0,4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,5$  часа.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (4) получаем для базового варианта:  $P_{\Gamma.\text{баз.}} = 4108/1,5 = 2800$  деталей в год, проектного варианта:  $P_{\Gamma.\text{пр.}} = 4108/0,5 = 8500$  деталей в год.

При проведении последующих экономических расчетов примем годовую программу для проектного и базового вариантов технологии  $P_{\Gamma} = 1000$  деталей в 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:

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

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем для базового варианта:  $n_{\text{расч}} = 1,5 \cdot 1000 / (4108 \cdot 1,03) = 0,3$ , проектного варианта:  $n_{\text{расч}} = 0,5 \cdot 1000 / (4108 \cdot 1,03) = 0,1$ .

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:  $K_{\text{э.б.}} = 0,3/1 = 0,3$ ; проектного варианта:  $K_{\text{э.п.}} = 0,1/1 = 0,1$ .

Определённые выше значения штучного времени  $t_{\text{шт.}}$ , годовой программы  $P_{\Gamma}$ , 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 требует затрат сварочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служат сварочные электроды. При проектной технологии сварочным материалом служит порошковая проволока. 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:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем для базового варианта:  $M_{баз.} = 554 \text{ р/кг} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 1,5 \cdot 1,05 = 175 \text{ руб.};$   
проектного варианта:  $M_{пр.} = 220 \text{ р/кг} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 55 \text{ руб.}$

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (8) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{осн} = 1,5 \cdot 100 \cdot 1,88 = 260 \text{ руб.};$  проектного варианта технологии:  $Z_{осн} = 0,5 \cdot 100 \cdot 1,88 = 86 \text{ руб.}$

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 260 \cdot 12 / 100 = 31$  руб.; проектного варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 86 \cdot 12 / 100 = 10$  руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ . При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 260 + 31 = 291$  руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 86 + 10 = 96$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем для базового варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 291 \cdot 34 / 100 = 87$  руб.; для проектного варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 96 \cdot 34 / 100 = 29$  руб.

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

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта:  $A_{об.} = (100000 \cdot 21,5 \cdot 1,5)/(4108 \cdot 100) = 8$  руб.; для проектного варианта:  $A_{об.} = (2200000 \cdot 21,5 \cdot 0,5)/(4108 \cdot 100) = 55$  руб.

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

$$P_{э} = M_{уст} \cdot t_{шт} \cdot C_{э} / \text{КПД}. \quad (13)$$

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта:  $P_{э} = 10 \cdot 1,5 \cdot 3,02 / 0,7 = 62$  руб. Для проектного варианта получаем:  $P_{э} = 20 \cdot 0,5 \cdot 3,02 / 0,7 = 42$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта:  $Z_{об} = 8 + 62 = 70$  руб. Для проектного варианта технологии получаем:  $Z_{об} = 55 + 42 = 97$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта:  $C_{тех.} = 175 + 291 + 87 + 70 = 623$  руб. Для проектного варианта технологии:  $C_{тех.} = 55 + 96 + 29 + 97 = 277$  руб.

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



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

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

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового варианта:  $C_{\text{цех}} = 623 + 1,5 \cdot 260 = 623 + 390 = 1013$  руб. Для проектного варианта:  $C_{\text{цех}} = 277 + 1,5 \cdot 86 = 277 + 129 = 406$  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 варианта:  $C_{\text{зав}} = 1013 + 1,15 \cdot 260 = 1013 + 299 = 1312$  руб. Для проектного варианта:  $C_{\text{зав}} = 406 + 1,15 \cdot 86 = 406 + 99 = 505$  руб.

В таблице 14 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 14 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. «Затраты на материалы	М	175	55
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	291	96
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	87	29
4. Затраты на оборудование	Зоб	70	97
5. Технологическая себестоимость	Стех	623	277
6. Объём цеховых расходов	Рцех	390	129
7. Цеховая себестоимость	Сцех	1013	406
8. Объём заводских расходов	Рзав	299	99
9. Заводская себестоимость» [20]	$C_{\text{зав}}$	1312	505

Как видно из таблицы 14, 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  $\Pi_{\text{об.б.}} = 100000 - (100000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 54500$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем величину общих капитальных затрат  $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 54500 \cdot 0,34 = 18530$  руб.

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

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

Объём капитальных вложений в оборудование  $K_{\text{об}}$  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:

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

При подстановке исходных значений в формулу (20) капитальные вложения в оборудование  $K_{об.пр.} = 2200000 \cdot 1,05 \cdot 0,11 = 254100$  руб.

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

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

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:

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

При подстановке исходных значений в формулу (22) расходы на демонтаж оборудования составили:  $P_{дем} = 1 \cdot 100000 \cdot 0,05 = 5000$  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:

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

При подстановке исходных значений в формулу (23) расходы на монтаж оборудования составили:  $P_{монт} = 2200000 \cdot 0,05 = 110000$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) сопутствующие расходы составили:  $K_{соп} = 5000 + 110000 = 115000$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (19) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили:  
 $K_{\text{общ.пр.}} = 254100 + 115000 = 369100$  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:  $K_{\text{доп}} = 369100 - 18530 = 350570$  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 варианту:  $K_{\text{уд}} = 18530/1000 = 18$  руб./ед. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют:  $K_{\text{уд}} = 369100/1000 = 369$  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  $\Delta t_{\text{шт}}$ ;
- повышение производительности труда  $\Pi_{\text{т}}$ ;

- снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$ ;
- условно-годовая экономия  $\Pi_{\text{ож}}$ ;
- срок окупаемости капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$ ;
- годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_r$ .

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (26) снижение трудоёмкости составило:  $\Delta t_{\text{шт}} = (1,5 - 0,5) \cdot 100 \% / 1,5 = 66 \%$ .

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (27) повышение производительности труда составило:  $\Pi_T = 100 \cdot 66 / (100 - 66) = 194 \%$ .

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило:  $\Delta C_{\text{тех}} = (623 - 277) \cdot 100\% / 623 = 55 \%$ .

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:  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (1312 - 505) \cdot 1000 = 807000$  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 капитальных вложений составил:  $T_{\text{ок}} = 350570 / 807000 = 0,4$  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:  $\mathcal{E}_{\text{г}} = 807000 - 0,33 \cdot 350570 = 697912$  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 66 % и увеличить производительность на 194 %.

Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 55 %. При этом условно-годовая экономия составила 0,807 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,4 года. При этом годовой экономический эффект составит 0,7 млн. рублей.

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

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества исправления дефектов литья при помощи применения современных сварочных технологий.

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

- обосновать выбор способа ремонтной сварки чугунных отливок;
- составить проектную технологию ремонтной сварки;
- произвести экологическую экспертизу проекта и предложить меры защиты от опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую технологию;
- произвести экономическую экспертизу проекта и доказать эффективность его внедрения на производстве.

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов ремонтной сварки при исправлении дефектов чугунных отливок. По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать механизированную сварку порошковой проволокой.

Решая вторую задачу, была построена проектная технология ремонтной сварки. Для осуществления проектной технологии предложено соответствующее оборудование.

Решая третью задачу выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Решая четвёртую задачу выполнена оценка экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту. Годовой экономический эффект составит 0,7 млн. рублей.



## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство 1074688 СССР, МКИ В23К35/36. Состав порошковой проволоки для сварки чугуна / Сытник Н. М., Шабаль В. П., Гарцунов Ю. Ф. № 3511556/25-27, заявл. 24.09.82; опубл. 23.02.84, Бюл. № 7. 5 с.
2. Авторское свидетельство 1496972 СССР, МКИ В23К35/368. Порошковая проволока для сварки чугуна / Грецкий Ю. Я., Метлицкий В. А., Федосенко В. В. № 4389019/31-27, заявл. 09.03.88; опубл. 30.07.89, Бюл. № 28. 4 с.
3. Алёшин Н. П., Чернышов Г. Г. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2-х томах. М. : Машиностроение, 2004. Том. 2. 480 с.
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. Богачев, И. Н. Металлография чугуна. Свердловск : Metallurgizdat, 1962. 392 с.
7. Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М. : Metallurgiya, 1969. 416 с.
8. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М., Л. : Машиностроение, 1966. 562 с.
9. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
10. Грабин В. Ф., Грецкий Ю. А., Крошчина Г. М. Металлография сварных соединений чугуна. Киев: Наук. думка, 1987. 192 с.
11. Грецкий Ю.Я. Основные аспекты свариваемости конструкционных чугунов // Автоматическая сварка. 2006. № 9. С. 12–21.

12. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
13. Кривчиков С. Ю. Модифицирование бором наплавленного металла типа белого чугуна // Автоматическая сварка. 2012. № 6. С. 28–31.
14. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
15. Леонтьев Л. Б., Доценников Е.Д. Погодаев А.В. Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2017. № 1. С. 3–14.
16. Леонтьев Л. Б., Погодаев А.В. Кобылеков С.П. Сварка ответственных деталей из серого чугуна // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2015. № 4. С. 51–61.
17. Матохина А. В. Автоматизация диагностики и устранения дефектов газового происхождения в отливках из железоуглеродистых сплавов: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Волгоград : ВолГТУ. 2008
18. Метлицкий В.А. Технологические основы сварки чугуна в производстве литосварных конструкций : диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. Киев : Институт электросварки им. Е.О. Патона, 2001.
19. Михальченков А. М. Технологические основы восстановления корпусных деталей из серого чугуна с пластинчатым графитом : диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Москва: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2000.
20. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. С.-П.: Лань, 2011. 272 с.
21. Стеренбоген Ю. А., Грецкий Ю. Я., Хорунов В. Ф. Сварка и наплавка чугуна. Киев : Наук. думка, 1966. 215 с.

22. Тюрин Ю. Н., Кусокв Ю. М., Маркашова Л. И. Влияние низкочастотных резонансных колебаний на структуру и трещиностойкость наплавленного высокохромистого чугуна // Автоматическая сварка. 2001. № 2. С. 31–35.

23. American Welding Society: welding of cast iron. A selection of papers. Miami, Florida : AWS, 1985. 358 p.

24-3. Cottrell C. L. M. Welding cast irons. Abington, Cambridge : The Welding Inst., 1985. 22 p.