

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 Технология и оборудование для устранения дефектов в котле  
железнодорожной цистерны

Обучающийся

В.В. Чахно

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.ф-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Применение для ремонта сварочных технологий, которые были разработаны для изготовления металлических конструкций не является оправданным. Такие технологии не учитывают специфики ремонтной сварки и особенностей геометрии ремонтных соединений. Так, ремонтное соединение будет иметь значительно большее количество концентраторов напряжения, чем исходное, поэтому простое копирование технологии сварки приведёт к значительному снижению ресурса работы после выполнения ремонтной сварки.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества ремонтной сварки вагонов-цистерн.

.Выполнен поиск источников научно-технической информации в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

На основании проведенного анализа состояния вопроса были сформулированы задачи.

В исполнительском разделе выпускной квалификационной работы решены задачи обоснования выбора способа ремонтной сварки, повышения эффективности сварки и построения проектной технологии сварки.

В оценочных разделах проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние ремонтной сварки железнодорожных цистерн. . . . .	7
1.1 Описание предмета исследования. . . . .	7
1.2 Сведения о материале для изготовления котла цистерны. . . . .	9
1.3 Базовая технология ремонтной сварки железнодорожных цистерн. . . . .	11
1.4 Обзор источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки металлических конструкций. . . . .	14
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	17
2 Проектная технология ремонтной сварки цистерны. . . . .	18
2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки. . . . .	18
2.2 Расширение технологических возможностей ремонтной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. . . . .	21
2.3 Описание операций проектного технологического процесса ремонтной сварки. . . . .	25
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. . . . .	28
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. . . . .	28
3.2 Идентификация профессиональных рисков. . . . .	29
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков. . . . .	31
3.4 Обеспечение пожарной безопасности. . . . .	33
3.5 Экологическая безопасность. . . . .	34
4 Экономическое обоснование проектных решений. . . . .	36
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования. . . . .	36
4.2 Фонд времени оборудования. . . . .	38
4.3 Штучное время и годовая программа. . . . .	39

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии. ....	41
4.5 Расчёт капитальных затрат. ....	44
4.6 Расчёт экономических показателей. ....	48
Заключение .....	50
Список используемой литературы и используемых источников. ....	51

## Введение

В настоящее время наблюдается переходной этап в эксплуатации металлических конструкций, который можно считать и критическим. Этот этап характеризуется сочетанием ввода в эксплуатацию новых конструкций и массовой эксплуатации старых металлических, большая часть из которых уже отработала свой ресурс. Проблема отмечается рядом зарубежных и отечественных аналитиков [34], [35], [36].

Таким образом, на первый план выходит вопрос построения ремонтных технологий, которые позволяют обеспечить безопасную эксплуатацию устаревающих конструкций по мере замены их на новые конструкции. Вопрос повышения эффективности ремонтных технологий по актуальности даже превосходит вопрос повышения эффективности технологии производства новых конструкций, так как от его решения зависит не только развитие современного общества, но и продолжение его нормального существования. Также следует принимать во внимание вопросы повышения эффективности использования материалов при построении технологических процессов, решение которых помогает следовать мировой экологической повестке. При ремонте металлической конструкции затрачивается приблизительно 5...15 % материалов и энергии, которые будут израсходованы на изготовление новой металлической конструкции.

Применение для ремонта сварочных технологий, которые были разработаны для изготовления металлических конструкций не является оправданным. Такие технологии не учитывают специфики ремонтной сварки и особенностей геометрии ремонтных соединений. Так, ремонтное соединение будет иметь значительно большее количество концентраторов напряжения, чем исходное, поэтому простое копирование технологии сварки приведёт к значительному снижению ресурса работы после выполнения ремонтной сварки. Также следует учитывать влияние повторных циклов нагрева на структуру металла сварной конструкции [4], [20].

Таким образом, развитию ремонтных технологий следует уделять большее внимание, чем технологии сварки при изготовлении металлической конструкции. При этом необходимо решить задачу снижения остаточных напряжений и деформаций, уровень которых играет существенную роль в эксплуатационном ресурсе места сварки.

При ремонтной сварке основным дефектом, который приходится исправлять, являются усталостные трещины, появление которых происходит по причине ошибок проектирования сварной конструкции, неправильного выбора сварочных материалов и параметров режима сварки, наличие в сварном соединении дефектов, которые не были своевременно обнаружены и исправлены. Таким образом, склонность металлической конструкции к образованию усталостных трещин закладывается уже на этапе проектирования и изготовления [37].

В настоящее время перед отечественной промышленностью остро стоит вопрос обеспечения стабильности транспортных перевозок с учётом стремительного старения парка вагонов, ограничения доступа к иностранным комплектующим. Также необходимо учесть резкое увеличение протяжённости обслуживаемого железнодорожного пути на новых территориях, при этом железнодорожный транспорт на этих территориях находился в исходно разрушенном состоянии.

Одним из самых распространённых вагонов является вагон-цистерна, который нашёл применение для перевоза химических веществ и топлива. Действие агрессивной среды и знакопеременных нагрузок приводит к возникновению в цистерне усталостных трещин, которые необходимо своевременно обнаруживать и устранять. Ремонтная сварка таких дефектов происходит с применением ручной дуговой сварки, однако повышение качества и производительности требует изменения технологии.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества ремонтной сварки вагонов-цистерн.

# 1 Современное состояние ремонтной сварки железнодорожных цистерн

## 1.1 Описание предмета исследования

На рисунке 1 представлена железнодорожная цистерна, которая относится к специальным вагонам, представляющим собой жесткую раму, на которую смонтирован котел с эллиптическим днищем. Для заполнения цистерны служат горловины, которые расположены на цистерне в количестве одна или две штуки в зависимости от назначения и объема цистерны. Горловины служат также для проведения осмотра и ремонта внутренней полости цистерны. Для слива продукта служат нижние сливные приборы, которые также устанавливаются на цистерне. Рассматриваемая в настоящей работе цистерна служит для перевозки аммиака.



Рисунок 1 – Железнодорожная система для транспортировки аммиака

В ходе интенсивной эксплуатации железнодорожных цистерн в них образуются и развиваются следующие дефекты. Первым дефектом является образование вмятина или пробой в цилиндрической части днища. Вторым дефектом является образование неплотностей в сварных швах и клепанных соединениях. Третьей группой дефектов является повреждение стенок и элементов цистерны под действием коррозионных процессов от перевозимых кислот и других активных химикатов.

При нарушении плотности котла возможно вытекание перевозимого продукта и образование нежелательных экологических последствий. Причиной разрыва котла цистерны является некачественное выполнение сварных швов и нарушение технологии проведения ремонтных работ, последствия которых особенно проявляются при спуске цистерны с сортировочной горки, когда на неё действуют повышенные нагрузки. Также разрыв может образоваться по основному металлу в зоне термического влияния около заплатки, при приварке которой металл подвергся перегреву. Наиболее часто встречающиеся повреждения котла цистерны представлены на рисунке 2. На схеме позицией 1 «обозначено днище с приваренной новой частью, позицией 2 показана пробоина, которая была заварена с применением накладки. Трещина в круговом шве, устраненная с применением дуговой сварки, обозначена позицией 3. Позицией 4 обозначена трещина, возникшая в сварном шве у колпака цистерны. Позицией 5 обозначена трещина в основном металле обечайки цистерны. В месте приварки волнорезов возможно образование усталостных трещин, которые обозначены на схеме позицией 6». При ремонте цистерны возможна замена части обечайки, обозначенная на схеме позицией 7. Эксплуатация цистерны вызывает образование усталостных трещин в местах пересечения сварных швов, как показано на схеме позицией 8. Продольная трещина в сварном шве броневых листов обозначена на схеме позицией 9.

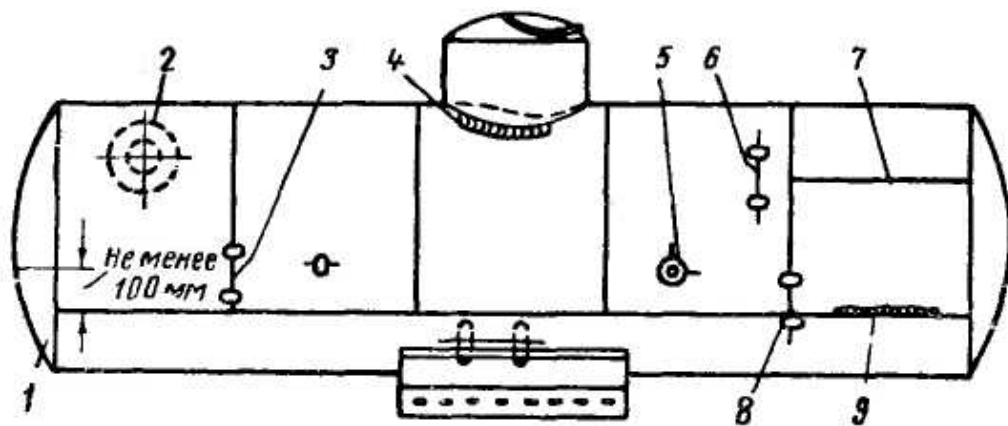


Рисунок 2 – Наиболее частые повреждения котла цистерны



При выполнении ремонтных сварочных работ большинство сварных швов усиливаются с применением кусковых накладок, которые привариваются с наружной части цистерны. Такие накладки, даже если они полностью перекрывают трещину, не позволяют обеспечить исходной прочности, являются концентраторами напряжений и в ходе проведения капитального ремонта цистерны должны полностью срезаться. Выполнение усиливающих накладок при ремонте цистерны может рассматриваться только как временная мера. Разрешается эксплуатация цистерны, в каждой части которой приварено не более двух накладок, суммарная площадь накладок при этом не должна превышать 0,1 м<sup>2</sup>.

## 1.2 Сведения о материале для изготовления котла цистерны

Рассматриваемая в настоящей выпускной квалификационной работе железнодорожная цистерна выполняется из стали 09Г2С, которая относится к низколегированным конструкционным сталям. В таблице 1 представлен химический состав стали 09Г2С [6], [30], который обуславливает хорошую свариваемость стали с применением всех способов сварки.

Таблица 1 – «Содержание химических элементов в стали 09Г2С»

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
до 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	До 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,008	~96-97

Сварка стали 09Г2С» [1], [31] может быть выполнена без ограничений всеми известными способами. Но состав и свойства стали 09Г2С вносят некоторые изменения в структуру металла сварного шва по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей, что необходимо учитывать при построении технологии сварки ответственных конструкций из стали. При сварке стали 09Г2С образуются закалочные структуры: бейнит, мартенсит, остаточный аустенит. Повышение скорости охлаждения при сварке вызывает

группирование, что становится причиной хрупкого разрушения конструкции. Сварку конструкций из стали 09Г2С по этой причине следует вести на режимах с меньшей погонной энергией по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей. При соблюдении параметров режима и техники сварки образующиеся закалочные структуры равномерно распределены по объему металла и имеют различную пространственную ориентацию, что существенно снижает их отрицательное влияние на эксплуатационные свойства сварных соединений. Но при увеличении погонной энергии сварки количество закалочных структур также увеличивается, а сами они начинают группироваться и приобретать направленность, что приводит к снижению усталостной прочности сварных соединений и может уменьшить ударную вязкость. Также следует принимать во внимание образование при сварке зон с локальным повышением уровня остаточных напряжений, действие которых в конструкции проявляется не только в снижении «механических характеристик, но и ускорении коррозионных процессов, а также растрескивании в процессе эксплуатации. В связи с этим сварку конструкций из стали 09Г2С следует проводить на режимах с меньшей погонной энергией, чем при сварке низкоуглеродистых сталей» [30]. Ещё одним затруднением при выполнении сварных конструкций из стали 09Г2С является опасность получения горячих трещин. Для уменьшения опасности возникновения горячих трещин сварку следует вести без поперечных колебаний, поддерживая минимальную длину дуги. При обрыве дуги зажигание и гашение необходимо проводить на кромках или наплавленном металле, следует заглаживать кратеры, которые не допускается выводить на основной металл. При проектировании сварного соединения следует принимать во внимание, что стыковые швы лучше противостоят образованию горячих трещин по сравнению с тавровыми швами. При построении технологического процесса и выборе способа сварки следует принимать во внимание, что сварка порошковой проволокой позволяет успешно бороться с горячими трещинами [28].

### **1.3 Базовая технология ремонтной сварки железнодорожных цистерн**

При ремонтной сварке котла цистерны следует выполнить ряд операций, которые прописаны в технологии сварки.

Поступающий на ремонт котел цистерны следует пропарить, промыть и дегазировать. Сварочные работы можно выполнять только после того, как была проверена газовоздушная среда внутри цистерны, необходимо убедиться в отсутствии пожароопасных и токсичных выделений.

Для выполнения сварочных работ допускаются сварщики, прошедшие аттестацию по утвержденным Гостехнадзором правилам, которые имеют соответствующее удостоверение. При выполнении ремонтной сварки конкретный сварщик может быть допущен только до тех работ, которые указаны у него в удостоверении.

Ремонтную сварку цистерн можно выполнять только в закрытых помещениях при положительной температуре.

Перед сваркой следует провести очистку поверхности цистерны на предполагаемой области залегания трещины, удаляя загрязнения, краску и следы ржавчины. После определения границ залегания трещины при помощи керн намечают центры засверливания, которые должны отстоять на 3...5 мм от концов трещины. Засверливание концов трещины выполняют при помощи сверла диаметром 8...10 мм.

При выполнении ремонтной сварки применяются электроды, представленные в таблице 2. Хранение электродов проводится в отапливаемых помещениях. Перед сваркой электроды следует прокалить, параметры прокалики электродов приведены в таблице 2. После прокалики электроды помещаются в резервную печь, откуда они вынимаются перед самым использованием. Прокаленные электроды необходимо использовать в течение смены, если электрод не был использован, его необходимо заново прокалить. Сварку проводят на режимах, представленных в таблице 3.

Таблица 2 – Применяемые при ремонтной сварке электроды и параметры их прокалки перед сваркой

«Марка электродов	Режим сушки электродов		Марка электрода	Режим сушки электродов	
	Темп-ра, °С	Время, ин		Темп-ра, °С	Время, ин
ЭА-395/9	360	60	ОЗЛ-7	300	40
ОЗЛ-8	300	60	НИАТ-1	190-210	60
ЗИО-8	300-320	90	ОЗЛ-36	300	60
ЦЛ-11	320	40	ЦТ-15	320	40» [27]

Таблица 3 – Параметры режима сварки при применении электродов различных марок в зависимости от пространственного положения и диаметра

«Положение шва	Диаметр электрода, мм	Ток, А			
		ЭА-395/9	ОЗЛ-8	ЗИО-8	ЦЛ-11
Нижнее	3	80...100	60...80	70...90	70...90
	4	120...150	120...140	120...150	130...150
	5	150...180	140...160	150...170	150...180
Вертикальное	3	70...90	50...70	50...70	50...80
	4	100...130	100...120	90...120	110...130
	5	-	120...140	-	120...160
Потолочное	3	70...90	50...70	40...60	50...80
	4	100...130	100...110	90...120	110...130
		ОЗЛ-7	НИАТ-1	ОЗЛ-6	ЦТ-15
Нижнее	3	60...80	50...80	80...90	80...100
	4	110...130	100...140	140...160	110...140
	5	140...160	130...170	170...180	150...180
Вертикальное	3	50...70	50...75	65...80	70...90
	4	90...120	100...120	110...140	100...125
	5	120...140	130...150	140...150	135...160
Потолочное» [27]	3	50...70	50...75	65...80	70...90
	4	90...110	100...120	110...140	110...125

После засверливания выполняют разделку трещины. При разделке трещины применяется воздушно-плазменная строжка с последующей зачисткой металла шлифовальной машиной для удаления науглероженного слоя. Механическую зачистку кромок следует проводить на глубину не менее 1 мм.

Сварку выполняют с наружи цистерны в несколько проходов. Сварку ведут до заполнения разделки. После заполнения разделки сваривают заключительный шов внутри цистерны. При сварке задают параметры режима, представленные в таблице 3. Для питания сварочной дуги применяется выпрямитель ВД-252.

После сварки необходимо зачистить поверхность сварного шва и прилегающий металл на ширину 20 мм в обе стороны, удаляя шлак и брызги металла. Проводят 100% визуальный контроль сварных швов. Сварные швы осматривают по всей протяженности с двух сторон. Визуальный контроль проводят невооруженным глазом и с применением лупы 4-кратного увеличения. Проверяют наличие трещин, свищей, натеков. Если обнаружены недопустимые дефекты, их необходимо устранить, и только после этого переходить к контролю качества с применением других методов.

Далее проверяют герметичность при помощи керосина. Сварной шов смачивают керосином, а с обратной стороны наносят меловую основу. О наличии пор и трещин судят по желтым точкам или полоскам, которые обнаруживаются на поверхности меловой основы.

Дефекты при ремонтной сварке могут возникать по целому ряду причин: низкое качество сварочных материалов и их неправильная прокатка, несоблюдение техники выполнения сварки, плохая подготовка поверхности деталей перед сваркой.

При контроле качества недопустимыми дефектами являются трещины всех видов и направлений, увеличение размеров сварного шва более 2 мм от нормативных, а также в сторону уменьшения от нормативных. Сварной шов не должен иметь резкого перехода к основному металлу и волнистость более 2 мм. Не допускается наличие подрезов, наплывов, несплавлений, прожогов и кратеров. При наличии пор и шлаковых включений они должны группироваться по длине не более 10 мм, а расстояние между соседними группами пор должно быть не менее 500 мм.

Исправление обнаруженных дефектов форму сварного шва выполняется частичной или полной зачисткой и подваркой. При обнаружении внутренних дефектов дефектный участок удаляют механическим способом и переваривают с последующим контролем качества.

## **1.4 Обзор источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности ремонтной сварки металлических конструкций**

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности работ при выполнении сварочных операций в процессе ремонта вагонов-цистерн. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для достижения поставленной цели предстоит решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности сварочных процессов. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

Для поиска информации воспользуемся ключевыми словами «ремонт металлических конструкций сваркой» «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «статья», «диссертация».

Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам.

В первой работе [2] рассмотрены технические мероприятия, повышающие эффективность механизированной сварки в углекислом газе.

Для снижения разбрызгивания и угара предлагается применить импульсное управление сварочной дугой. Предлагаемые решения защищены патентами Российской Федерации на изобретение. В работе предложен ряд рекомендаций по выбору параметров режима и техники сварки.

Данная работа показывает эффективность применения механизированной сварки в защитных газах при изготовлении и ремонте металлических конструкций. Она будет использована для обоснования выбора способа ремонтной сварки и построения проектной технологии.

Во второй работе [9] показано, что применение высокочастотной проковки зоны перехода от наплавленного металла к основному металлу позволяет повысить циклическую долговечность сварного шва в 4 раза для первой ремонтной сварки и в 3 раза для второй ремонтной сварки. Таким образом, циклическая долговечность сварного соединения после проведения ремонтной сварки по предлагаемой технологии возрастает по сравнению с исходной конструкцией, при изготовлении которой высокочастотная обработка сварных швов не проводилась. Предлагаемая технология оказывается эффективной при проведении первого и второго ремонта металлической конструкции, позволяет продлить ресурс её использования вплоть до полного морального устаревания всей конструкции.

Данная работа будет использована для построения проектной технологии ремонтной сварки.

В третьей работе [27] представлен промышленный опыт применения технологии сварки и наплавки порошковой проволокой на различных предприятиях. Показана высокая эффективность применения механизированной наплавки порошковой проволокой. Для промышленности предложена проволока оригинального состава диаметром 1,6 мм. Применение этой проволоки отличается отсутствием дефектов в наплавленном металле и уменьшенным уровнем остаточных напряжений.

Данная работа позволяет судить о высокой эффективности применения сварки порошковой проволокой и будет рассмотрена для обоснования выбора способа ремонтной сварки при построении проектной технологии.

В четвертой работе [14] исследовано влияние параметров импульсного управления питанием сварочной дуги на качество сварного соединения при изготовлении и ремонте металлических конструкций из низкоуглеродистых сталей. Исследовался процесс механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения. Установлено что длительность накладываемых импульсов в значительной степени определяет свойства наплавленного металла, при этом длительность импульса дополнительного тока позволяет задавать величину среднего сварочного тока и частоту отрыва капель расплавленного металла от электродной проволоки. Значение среднего сварочного тока может быть изменено путём регулирования амплитудного значения тока сварки. Применение систем импульсного управления с обратной связью по току позволяет повысить стабильность качества сварки, уменьшить разбрызгивание электродного металла и добиться пространственной стабильности сварочной дуги, что особенно важно при выполнении монтажной сварки и проведении ремонта крупногабаритных металлических конструкций.

Данная работа показывает эффективность применения импульсного управления при механизированной сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах. Работа будет рассмотрена для обоснования выбора способа ремонтной сварки при построении проектной технологии.

В пятой работе [13] выполнен детальный анализ методов обнаружения и исправления усталостных трещин на несущих металлических конструкциях на примере грузоподъёмной техники. Предложены программные средства и аппаратные средства для проведения теплового контроля металлических конструкций, которые позволяют обнаруживать зарождающиеся усталостные трещины и прогнозировать остаточный ресурс металлической конструкции. Применение предлагаемых средств позволяет повысить производительность



диагностики состояния несущих металлических конструкций в 2,5...4 раза по сравнению с традиционными методами контроля. При этом достоверность диагностики повышается, что является решающим при исследовании состояния ответственных конструкций.

Данная работа применена для обоснование актуальности выпускной квалификационной работы и будет использована для построения проектной технологии ремонтной сварки.

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

Применяемая в базовой технологии ручная дуговая сварка обуславливает наличие недостатков, устранение которых позволит достигнуть поставленной цели настоящей выпускной квалификационной работы. На основании проведенного анализа состояния вопроса могут быть сформулированы задачи.

«Первой задачей является обоснование выбора способа ремонтной сварки, при выполнении которой следует выполнить анализ преимуществ и недостатков каждого рассмотренного способа, оценить эффективность способа по выбранным критериям и дать обоснование выбора способа» [23], [32]. «Второй задачей является расширение технологических возможностей выбранного способа ремонтной сварки на основе достижений отечественных исследователей-сварщиков и анализа мирового опыта в области повышения эффективности сварочных процессов» [3], [15], [22]. «Третьей задачей является построение проектной технологии ремонтной сварки, решение которой предусматривает формулировку перечня технологических операций, составление требований к выполнению каждой операции, назначение параметров режима и выбор технологического оборудования» [8], [26].

В оценочном разделе предстоит выполнить экологическое и экономическое обоснование предлагаемых в работе решений [7], [18], [19].

## **2 Проектная технология ремонтной сварки цистерны**

### **2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки**

Проектная технология ремонтной сварки должна быть «основана на способе сварки, от правильности выбора которого в существенном мере зависит экономическая эффективность предлагаемых решений» [5], [23]. «При выполнении сварных швов в процессе ремонта цистерны могут быть применены следующие способы сварки: ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 3, аргодуговая сварка неплавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 4, механизированная сварка проволокой сплошного сечения с защитных газах, схема выполнения которой представлена на рисунке 5.

Самым универсальным способом следует признать ручную дуговую сварку, которая до недавнего времени являлась самым распространенным способом при изготовлении металлических конструкций. Ручная дуговая сварка имеет ряд недостатков, которые ограничивают применение этого способа сварки» [23] и заставляют переходить на более перспективные способы сварки. Первым недостатком является перерасход сварочных электродов, который происходит по причине разбрызгивания и угара, кроме того, значительное количество электродного материала расходуется на огарки. Вторым недостатком является необходимость прерывания процесса сварки на замену сварочного электрода, что отрицательно сказывается на производительности и качестве сварочных работ. Третьим недостатком является зависимость качества выполнения сварочных работ от квалификации сварщика, которая оказывается критической и заставляет затрачивать значительные ресурсы предприятия для подготовки сварщиков-профессионалов. Четвертым недостатком следует указать тяжелые условия труда сварщика, по причине которых происходит образование профессиональных заболеваний.

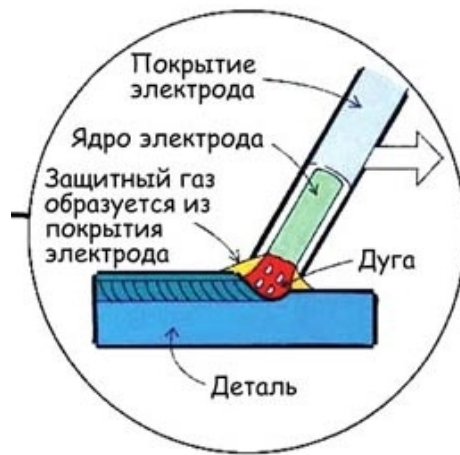


Рисунок 3 – Схема дуговой сварки штучными электродами

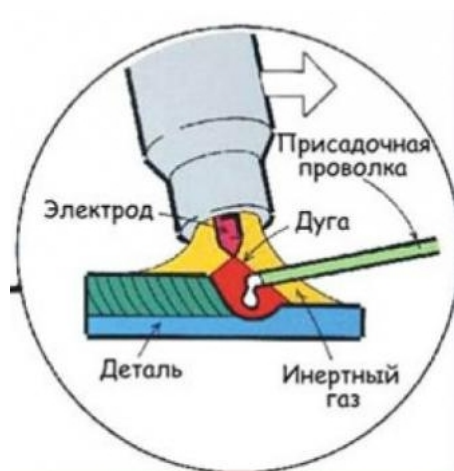


Рисунок 4 – Схема аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

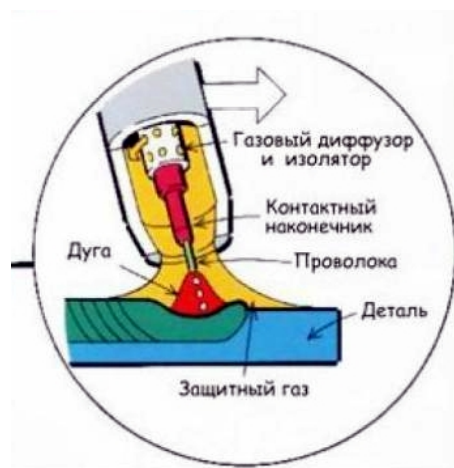


Рисунок 5 – Схема механизированной сварки в среде защитного газа

Сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет существенно повысить эффективность проведения сварочных

работ по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке не происходит образования шлаковой корки, что упрощает проведение многослойной сварки. Кроме того, низкая текучесть расплавленного металла позволяет проводить сварку в различных пространственных положениях. Применение механизированной сварки в защитных газах позволяет существенно улучшить условия труда сварщика.

Следует указать на недостатки механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения [33]. Первым недостатком является необходимость применения газовой аппаратуры, которая ограничивает мобильность сварщика. Вторым недостатком следует указать низкую пространственную стабильность сварочной дуги и усиление разбрызгивания при переходе на форсированные режимы сварки. В качестве третьего недостатка следует указать недостаточную текучесть расплавленного металла, по причине которой возможно образование несплавлений в многослойных швах.

Самое высокое качество сварки получается при использовании аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, которая широко применяется при ремонте ответственных конструкций. Однако применение сварки неплавящимся электродом ограничивается высокими требованиями к подготовке сварщиков и высокой стоимостью оборудования. Также следует отметить малую производительность сварки неплавящимся электродом по сравнению с рассматриваемыми вариантами построения технологического процесса.

Таким образом, для построения проектного технологического процесса ремонтной сварки предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, для которой необходимо предусмотреть мероприятия, расширяющие технические возможности применения способа сварки и позволяющие устранить недостатки – повышенное разбрызгивание, низкую текучесть расплавленного металла, малую пространственную стабильность сварочной дуги.

## 2.2 Расширение технологических возможностей ремонтной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Применение импульсных технологий позволяет устранить большинство недостатков, присущих механизированной сварке в углекислом газе. Следует отметить существенное вложение в изучение импульсных процессов, которое сделали российские исследователи-сварщики [12], [16], [17], [21]. С учётом мирового и отечественного опыта в области модернизации сварочного оборудования могут быть предложены решения, применение которых позволиткратно повысить эффективность уже используемого сварочного оборудования и существенно расширить его технологические возможности. Разработки в этом направлении ведут зарубежные и отечественные производители сварочного оборудования, представленные на рисунке 6.



Рисунок 6 – Основные разработчики технологий импульсного управления при механизированной сварке в защитных газах

Возможные виды переноса электродного металла при механизированной сварке в защитных газах представлены на рисунке 7. Характер переноса электродного металла определяется технологическими факторами, совокупность которых представлена на рисунке 8.

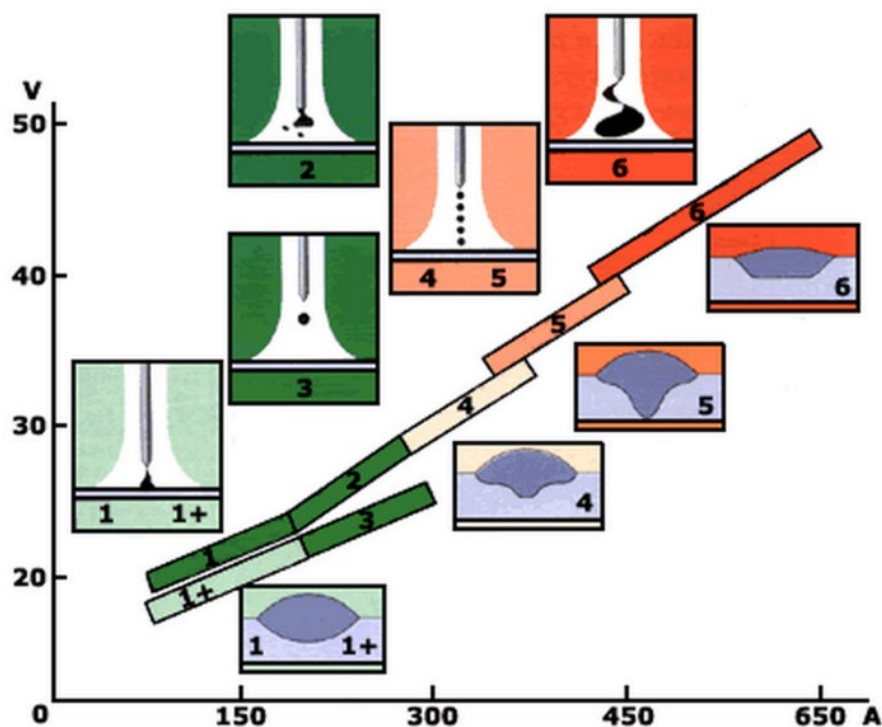


Рисунок 7 – Диапазон сварочных токов и напряжений на дуге при различных типах переноса металла

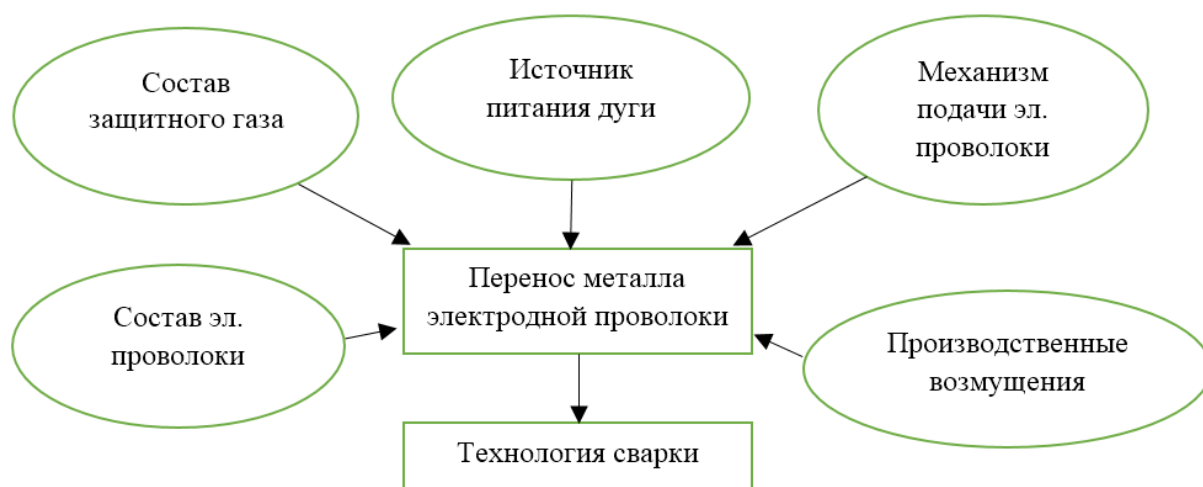


Рисунок 8 – Совокупность технологических факторов, которые определяют особенности переноса электродного металла

При реализации технологии сварки с применением импульсного управления применим способ, предложенный отечественными исследователями-сварщиками [24], [25], основанный на регулировании энергетических параметров горения сварочной дуги с использованием

обратных связей. Предлагаемый способ позволяет за счёт управления энерговыделением обеспечить стабилизацию размеров капель расплавленного электродного металла. На рисунке 9 представлены осциллограммы тока и напряжения при сварке согласно предлагаемому способу. Способ предлагает отследить момент отрыва капли расплавленного электродного металла, для чего служит всплеск напряжения на дуговом промежутке. Начиная с этого момента происходит дозирование энергии, которая идёт на формирование новой капли расплавленного электродного металла.

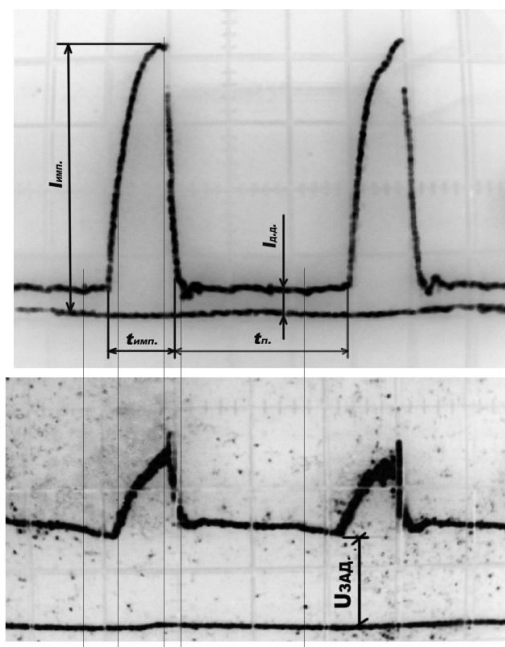


Рисунок 9 – Осциллограммы напряжения при импульсном управлении

На рисунке 10 представлена предлагаемая электрическая схема модернизированного источника питания, в которую входит «источник постоянного тока 1; коммутирующий дроссель 2; силовой тиристор 3; шунтирующий резистор 4; сварочный дроссель 5; цепочка диодов 6-7; фильтрующий конденсатор 8; вспомогательный тиристор 9; коммутирующий конденсатор 10; зарядный дроссель 11; зарядный тиристор 12; перезарядный диод 13; блокирующий диод 14; дополнительный зарядный тиристор 15» [25].

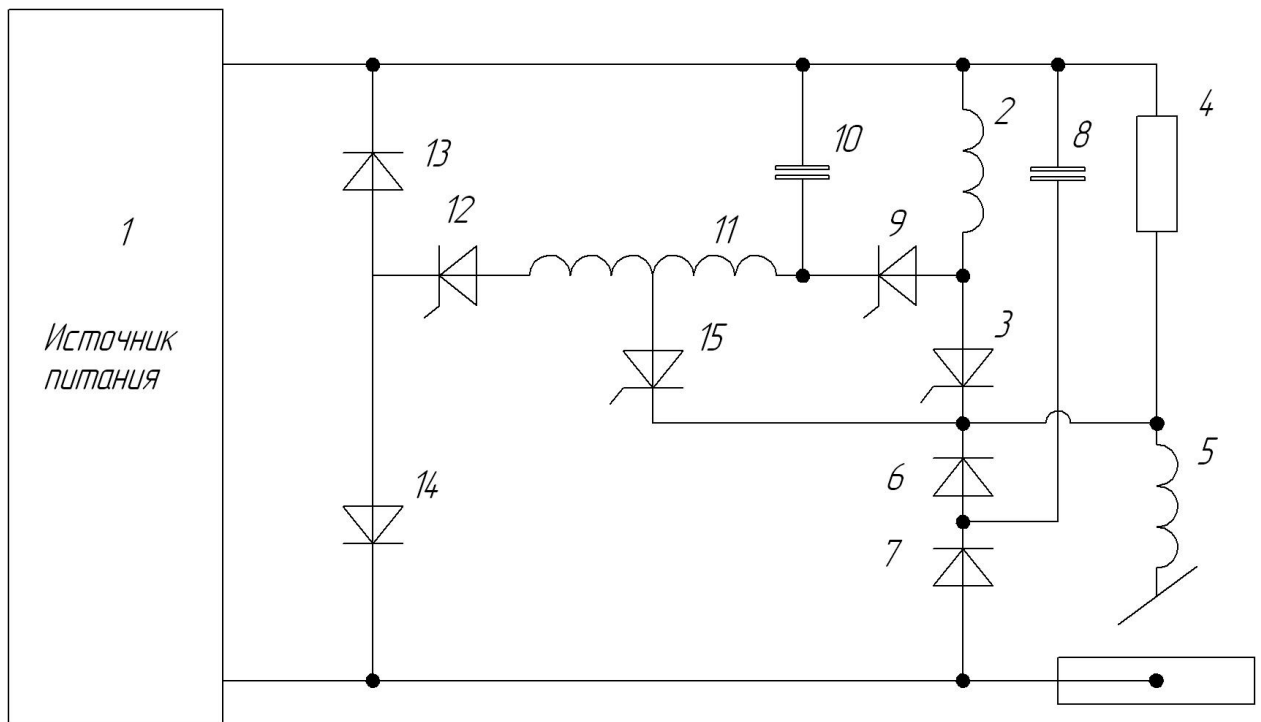


Рисунок 10 – Схема модернизированного источника питания с функцией импульсного управления

Применение импульсного управления горением сварочной дуги позволяет уменьшить или полностью устранить набрызгивание электродного металла на основной металл изделия, улучшить внешний вид сварного соединения, повысить его качество и снизить трудозатраты на доводку изделия. За счёт изменения теплового баланса при импульсной сварке наблюдается снижение затрат электрической энергии и теплового воздействия на металл. Также следует принимать во внимание положительное воздействие, которое оказывает импульсный режим на структуру сварного шва – наплавленный металл приобретает мелкую зернистость, устраняется опасность возникновения горячих трещин и пор.

Для сварки с применением импульсного управления в качестве источника тока применим сварочный выпрямитель, ВДУ-504 который дополнительно оснащен формирователем импульсов ИРС-1200АДМ, работа и устройство которого описаны авторами [10], [11], [15].



### 2.3 Описание операций проектного технологического процесса ремонтной сварки

Перед выполнением ремонтной сварки следует провести пропаривание и дегазацию цистерны. В месте проведения ремонтной сварки необходимо удалить загрязнения, краску и ржавчину. Зачистку следует проводить с применением абразивных кругов с проволочными щётками, также при очистке может быть использована дробеструйная обработка. Очистку следует вести до металлического блеска на расстоянии до 20 мм от трещины во все стороны.

Перед разделкой трещины следует провести кернение и засверливание её концов. Кернить необходимо на расстоянии 15...20 мм от предполагаемого конца трещины, далее выполняют засверливание диаметром 8...12 мм и раззенковывание на  $1/3...1/2$  толщины металла.

Далее проводят разделку трещины с применением плазменной резки. Для плазменной резки применяется резак РПВ-101, который представлен на рисунке 11. Так как при сварке предлагается применить импульсное управление, позволяющее повысить качество формирования сварного шва в узкую разделку, при разделке кромок предлагается уменьшить угол раскрытия кромок с  $50^\circ$  в базовом варианте технологии до  $20^\circ$  в проектном варианте технологии. Форма разделки по проектному варианту технологии представлена на рисунке 12 и выполнена на основе ГОСТ 14771-78.



Рисунок 11 – Плазменный резак РПВ-101

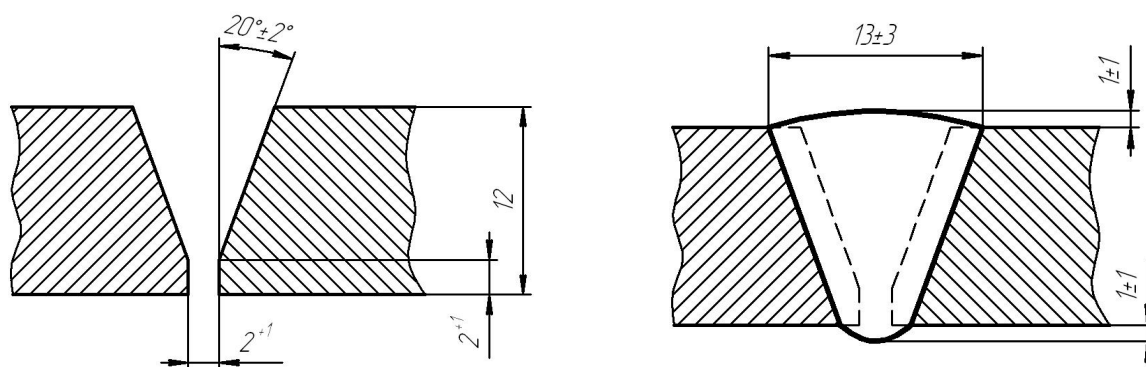


Рисунок 12 – Форма разделки (а) и форма сварного шва (б)

Питание плазмореза предлагается вести от сварочного выпрямителя ВД-252. Плазменную строжку ведут на токе 150...170 А при напряжении 115...120 В. Скорость строжки составляет 0,8...1,2 м/мин.

Сварку ведут в среде углекислого газа с применением проволоки Св-08Г2С диаметром 1,4 мм. Сварочный ток поддерживается в диапазоне 200...250 А, сварку следует вести углом назад при вылете сварочной проволоки 13...20 мм и скорости подачи проволоки 100...150 мм/с. Расход углекислого газа при помощи газовой аппаратуры поддерживается в диапазоне 900...1200 л/час. Сварку следует вести короткой дугой в два прохода.

В течение всего производственного цикла проводят контроль качества. Перед выполнением сварки необходимо проверить сертификаты на сварочную проволоку. Оборудование и приспособления также подлежат периодической проверке на соответствие паспортным данным.

При сварке проводят пооперационный контроль, в ходе которого проверяют правильность последовательности выполнения операций и соблюдения параметров режима.

Все сварные швы проходят визуальный и измерительный контроль. Если в ходе проведения визуального и измерительного контроля выявлены недопустимые дефекты, их следует устранить до проведения контроля с применением других средств.

При контроле качества недопустимыми дефектами являются трещины всех видов и направлений, увеличение размеров сварного шва более 2 мм от нормативных, а также в сторону уменьшения от нормативных. Сварной шов не должен иметь резкого перехода к основному металлу и волнистость более 2 мм. Не допускается наличие подрезов, наплывов, несплавлений, прожогов и кратеров. При наличии пор и шлаковых включений они должны группироваться по длине не более 10 мм, а расстояние между соседними группами пор должно быть не менее 500 мм.

Далее проверяют герметичность при помощи керосина. Сварной шов смачивают керосином, а с обратной стороны наносят меловую основу. О наличии пор и трещин судят по желтым точкам или полоскам, которые обнаруживаются на поверхности меловой основы.

#### Выводы по второму разделу

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решены задачи обоснования выбора способа ремонтной сварки, повышения эффективности сварки и построения проектной технологии сварки.

Дальнейшие работы необходимо выполнить в направлении оценки промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. Решение этой задачи предусматривает оценку производственных рисков и выработку перечня мер по их снижению [7], [18].

Также следует выполнить экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Решение этой задачи предусматривает оценку базовой и проектной технологии с точки зрения затрат на их осуществление и сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий [19], [23].

### **3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений**

#### **3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта**

Проектная технология ремонтной сварки железнодорожных цистерн составлена на базе механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Расширение технологических возможностей этого способа сварки достигается применением предложенного российскими исследователями-сварщиками способа импульсного управления переносом электродного металла. Изменения в проектной технологии по сравнению с базовой технологией, предусматривающей применение ручной дуговой сварки, вызывает возникновение новых негативных производственных факторов, которые следует рассмотреть в настоящем разделе выпускной квалификационной работы. Также следует рассмотреть вопрос обеспечения пожарной безопасности производственного участка и вопросы экологичности предлагаемых решений.

Анализ проектной технологии ремонтной сварки представлен в таблице 4. Проектный технологический процесс укрупненно предусматривает последовательное выполнение шести операций: подготовительная операция, сборочная операция, предварительный контроль состояния ремонтного места, сварка, зачистка, контроль качества сварки. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал, приведенный во втором столбце таблицы 4, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 4. Также для выполнения операции могут потребоваться расходные материалы, которые приведены в четвертом столбце таблицы 4. Таким образом, проектный технологический процесс условно разбивается на шесть операций, в каждой из которых происходит образование негативных производственных факторов.

Таблица 4 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
1 «Подготовительная операция»	Слесарь-сборщик	Кран-балка, лупа х4	Рукавицы х/б
2. Сборочная операция	Слесарь-сборщик	Дробемётный аппарат, резак ГРМ-70, сверлильный станок, газорезательная машина	Мел, ацетилен, кислород, круг абразивный сверло Р6М5
3. Предварительный контроль состояния ремонтируемого места	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Кран-балка, лупа х4	Рукавицы х/б
4. Сварочная операция	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Сборочное приспособление, полуавтомат сварочный, выпрямитель сварочный, шаблон сварщика УШС-3	Сварочная проволока, углекислый газ
5. Зачистка	Слесарь-сборщик	Шлифмашинка, молоток, зубило	Круг абразивный
6. Проведение контроля качества» [29]	Дефектоскопист ультразвукового контроля	Ультразвуковой дефектоскоп	Масло

Представленные в таблице 4 особенности выполнения операций технологического процесса сборки и сварки позволят в дальнейшем провести идентификацию негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

При выполнении операций проектного технологического процесса с применением современного сварочного оборудования происходит возникновение негативных факторов, источниками которых является само применяемое технологическое оборудование, элементы обрабатываемых деталей. Также следует принимать во внимание, что сварочные технологии, предполагающие использование дуги, являющейся источником интенсивного нагрева и излучения, сопровождаются образованием большего количества и

интенсивности негативных факторов, чем при применении других технологий. В таблице 5 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

Таблица 5– Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
«Подготовительная операция	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений</li> </ul>
Сборочная операция  Предварительный контроль состояния ремонтируемого места	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых деталей до высоких температур</li> </ul>
Сварочная операция  Зачистка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых деталей до высоких температур</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- брызги расплавленного металла</li> </ul>
Проведение контроля качества» [29]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенный уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне</li> </ul>

При реализации проектного технологического процесса источниками негативных факторов выступает технологическое оборудование, применяемое для подготовки дефектного места, анализа его состояния, сварки и контроля качества. Представленные в таблице 5 негативные факторы в количестве семи штук, не являются новыми и успешная нейтрализация может быть обеспечена стандартными техническими средствами и методиками, находящимися в резерве промышленного предприятия.

### **3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков**

Предлагаемые в настоящем разделе выпускной квалификационной работы технические средства и организационные мероприятия должны обеспечить полную нейтрализации рассматриваемых негативных производственных факторов или уменьшение их действия на персонал до приемлемого уровня. Для нейтрализации возникающих негативных производственных факторов, идентификация которых выполнена выше, в рамках выполнения настоящей выпускной квалификационной работы предлагаются мероприятия и технические средства, представленные в таблице 6.

Особое внимание следует уделить обеспечению на рабочем месте порядка и поддержанию трудовой дисциплины, так как большинство несчастных случаев на производстве происходит как раз вследствие нарушения трудовой дисциплины и захламления рабочего пространства.

В ходе идентификации выделено семь негативных производственных факторов, которые ранее возникали и успешно нейтрализовывались на предприятии, устранение которых или уменьшение до приемлемого уровня не требует применения специальных технических средств и разработки дополнительных мероприятий кроме стандартных.

Таблица 6 – Устранение профессиональных рисков

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
1) «острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) ролевые игры с работниками предприятия 3) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) предупреждающие плакаты и таблички 2) защитное отключение приводов оборудования 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) общеобменная вентиляция 2) устройства удаления загрязненного воздуха	Применение индивидуальных средств защиты органов дыхания
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) проверка изоляции и заземления 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ролевые игры с работниками предприятия	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, перчатками
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений» [7]	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками

На основании анализа состава таблицы 6 можно заключить, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых в таблице 6 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски.



### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

При построении технологических процессов с применением сварочных технологий приходится считаться с тем, что используемая при сварке дуга становится источником пожарной опасности. Это объясняется высокой температурой дуги, разбрызгиванием металла и интенсивным излучением. Также необходимо принимать во внимание высокую опасность образования пожара по причине короткого замыкания, так как к сварочному оборудованию подводится ток, характеризуемой высокой мощностью. В таблице 7 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 7 – Идентификация класса потенциального пожара

«Наименование участка	Участок сборки и сварки
Наименование оборудования	Оборудование для подготовки, сборки и сварки. Аппаратура контроля
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [7]

Таким образом, при возникновении пожара на рассматриваемом производственном участке он будет отнесен к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. При перечислении негативных факторов возможного пожара следует выделить поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Поскольку проведение сварочных процессов предусматриваем подведение к участку электрической энергии

высокой мощности, возникающий пожар может нарушить изоляцию технологического оборудования и электрической проводки, что станет причиной дополнительной опасности для погорельцев и спасателей. В таблице 8 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 8 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарная сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [7]

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия. При обеспечении пожарной безопасности следует особо отметить необходимость проведения инструктажа персонала предприятия, от правильных действий которого в начальный период возникновения пожара зависит его тяжесть и возникающий ущерб предприятию.

### 3.5 Экологическая безопасность

В настоящее время в мировую повестку включены вопросы обеспечения экологической безопасности промышленных производств, для чего все технологические процессы рассматриваются с точки зрения

возникающих антропогенных факторов, которые стремятся уменьшить. В настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует осветить вопросы защиты основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 9. Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

Таблица 9 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта		Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	на	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [7]
действие на гидросферу		«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [7]
действие на литосферу	на	«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» [7]

#### Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящен идентификации опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при выполнении операций проектного технологического процесса ремонтной сварки.

Далее были предложены меры по нейтрализации негативных производственных факторов, представляющие набор стандартных методик и технических средств из резерва предприятия. Кроме того, были рассмотрены негативные воздействия производства на окружающую среду и предложены мероприятия по обеспечению экологической ответственности и грамотности.

## **4 Экономическое обоснование проектных решений**

### **4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных технологий при проведении ремонтных работ в процессе исправления дефектов котла железнодорожной цистерны. При реализации базового технологического процесса применяется ручная дуговая сварка, которая характеризуется рядом недостатков, имеющих критичный характер в условиях современного производства. Применение ручной дуговой сварки в ремонтных работах характеризуется малой производительностью труда, недостаточной стабильностью качества и тяжелыми условиями труда сварщика. Кроме того, сварочные электроды, особенно для ремонтных работ, имеют высокую стоимость по сравнению со сварными материалами для механизированной и автоматической сварки. Также следует учитывать значительное тепловое воздействие на основной металл, при ремонтной сварке приводящее к усиленному трещинообразованию при дальнейшей эксплуатации конструкции. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы для повышения эффективности технологии выполнено обоснование замены способа сварки и предложены меры по расширению технологических возможностей сварки с применением отечественных разработок в области импульсного управления переносом электродного металла. Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 10. Применение предлагаемых решений позволяет устранить перечисленные недостатки, повысить производительность и качество сварочных работ.

Таблица 10 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
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.	140 тыс.	270 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	10	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	4,2	4,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ $m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [19]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [19].

## 4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени  $F_H$  и эффективного фонда рабочего времени  $F_3$ , который отличается от фонда рабочего времени  $s$  по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени  $B$ . Для расчётов принимается  $B=7\%$ .

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен  $K_{см}$  и количество рабочих дней в году  $D_p$ , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем  $K_{см}=2$  и  $D_p=277$ . С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет  $T_{см}=8$  часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве  $D_{п}=7$  дней, в эти дни на величину  $T_{п}=1$  час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ часов.} \quad (1)$$

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным  $B = 7\%$ , таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

$$F_3 = F_H(1 - B/100) = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108 \text{ часов.} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени  $F_3 = 4108$  часов.

### 4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени  $t_{шт}$ . Для расчета величины штучного времени  $t_{шт}$  необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как  $t_{маш}$  – машинное время. Вспомогательное время  $t_{всп}$  является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять  $t_{всп} = 0,1t_{маш}$ . На обслуживание рабочего места расходуется время  $t_{обсл}$ , для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять  $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$ . На личный отдых работника затрачивается время  $t_{отд}$ » [19], для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять  $t_{отд} = 0,05t_{маш}$ . На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как  $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$ . Таким образом, расчёт штучного времени для базового  $t_{шт.баз}$  и проектного  $t_{шт.проектн.}$  вариантов технологии составит:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$
$$t_{шт.баз} = 2 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,42 \text{ часов}$$
$$t_{шт.проектн.} = 1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,21 \text{ часов}$$

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание «годовой программы  $P_g$ , значение которой зависит от штучного времени  $t_{шт}$  и эффективного фонда времени  $F_э$ , расчёт годовой программы выполняется по формуле

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

Согласно (4) были получены для базового варианта  $\Pi_{\Gamma} = 4108/2,42 = 1687$  дефектов за год, для проектного варианта  $\Pi_{\Gamma} = 4108/1,21 = 2374$  дефектов за год. С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать 500 исправляемых дефектов в год. С учётом годового эффективного фонда времени  $F_{\text{з}} = 4108$  часов, годовой программы  $\Pi_{\Gamma} = 500$ , коэффициента выполнения нормы  $K_{\text{вн}} = 1,03$ , штучного времени  $t_{\text{шт}}$  количество оборудования рассчитывается как

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

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 2,42$  часов,  $n_{\text{расч.}} = 2,42 \cdot 500 / (4108 \cdot 1,03) = 0,3$ , при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 1,21$  часов» [19],  $n_{\text{расч.}} = 1,21 \cdot 500 / (4108 \cdot 1,03) = 0,15$ . При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте  $n=1$ . Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки  $K_{\text{з}}$  следующим образом

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

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен  $K_{\text{з}} = 0,3/1 = 0,3$ , для проектного варианта коэффициент загрузки равен  $K_{\text{з}} = 0,15/1 = 0,15$ . Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.



#### 4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_{ТЗ} = 1,05$ , нормы расхода  $H_p$  и цены  $C_M$  материалов:

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

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем  $M_{\text{баз.}} = 354,00 \text{ р/кг} \cdot 1,58 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,80 \cdot 1,05 : 1000 = 412,00 \text{ руб.}$  Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет  $M_{\text{баз.}} = 78,00 \text{ р/кг} \cdot 1,0 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 : 1000 + 16 \text{ руб.} = 55,00 \text{ руб.}$

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет  $C_{\text{ч}} = 200$  рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_{\text{д}} = 1,88$ . Таким образом, для проектной и базовой технологии:

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

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{\text{шт}} = 2,42$  часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы  $Z_{\text{осн}} = 2,42 \cdot 200 \cdot 1,88 = 910$  рублей; для проектного варианта

построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{шт} = 1,21$  часов, согласно (8) основная заработная плата  $Z_{осн.} = 1,21 \cdot 200 \cdot 1,88 = 455$  рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата  $Z_{доп}$ , для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит  $K_{доп} = 0,12$ . Величина  $Z_{доп}$  пропорциональна основной заработной плате  $Z_{осн.}$ :

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{осн} = 910$  рублей, поэтому согласно (9)  $Z_{доп} = 910 \cdot 0,12 = 109$  рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{осн} = 455$  рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата  $Z_{доп} = 455 \cdot 0,12 = 55$  рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной  $Z_{осн}$  и дополнительной  $Z_{доп}$  заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП =  $910 + 109 = 1019$  рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП =  $455 + 55 = 510$  рублей.

Размер отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$  пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{сн} = 0,34$ , с учётом которого:

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

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 1019 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные

нужды  $O_{\text{сн.}} = 1019 \cdot 34 / 100 = 346$  рублей. Для проектного варианта технологии ранее получено  $\Phi ЗП = 510$  рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн.}} = 510 \cdot 34 / 100 = 173$  рублей.

Амортизационные отчисления  $A_{\text{об}}$  являются составляющими затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается  $N_a = 21,5\%$ : эффективного фонда времени  $F_э$ , стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об}}$ , которое для базового варианта составляет  $\Pi_{\text{об}} = 140000$  рублей, для проектного варианта  $\Pi_{\text{об}} = 270000$  рублей; машинного времени  $t_{\text{маш}}$ , которое для базового варианта составляет  $t_{\text{маш}} = 2,42$  часов, для проектного варианта  $t_{\text{маш}} = 1,21$  часов.

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

Для базового варианта технологии согласно (10)  $A_{\text{об}} = 140000 \cdot 21,5 \cdot 2,42 / 4108 / 100 = 18$  рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10)  $A_{\text{об}} = 270000 \cdot 21,5 \cdot 1,21 / 4108 / 100 = 16$  рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  являются затраты на электрическую энергию  $P_{ээ}$ . Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии  $\Pi_{ээ}$ , которая для рассматриваемого варианта принимается  $\Pi_{ээ} = 4,2$  руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени  $t_{\text{маш}}$  и установленной мощности оборудования  $M_{\text{уст.}}$ .

$$P_{ээ} = M_{\text{уст.}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (12)$$

Согласно (12) для базового варианта  $P_{ээ} = 2,42 \cdot 10 \cdot 4,2 / 0,7 = 145$  рублей. Согласно (12) для проектного варианта  $P_{ээ} = 1,21 \cdot 40 \cdot 4,2 / 0,85 = 239$  рублей.

Затраты на оборудование  $Z_{\text{об}}$  являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных  $A_{\text{об}}$  и  $P_{ээ}$ :

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{ээ}. \quad (13)$$

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии  $Z_{об} = 18+145 = 163$  рублей, для проектного варианта технологии  $Z_{об} = 16+239 = 255$  рублей.

Технологическая себестоимость  $C_{тех}$  является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте ФЗП = 1019 рублей, в проектном варианте ФЗП = 510 рублей), затрат на материалы (в базовом варианте  $M = 412$  рублей, в проектном варианте  $M = 55$  рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте  $O_{сс} = 346$  рублей, в проектном варианте  $O_{сс} = 173$  рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте  $Z_{об} = 163$  рублей, в проектном варианте  $Z_{об} = 255$  рублей), затрат на площади (в базовом варианте  $Z_{пл} = 135$  рублей, в проектном варианте  $Z_{пл} = 68$  рублей).

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

По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта  $C_{тех} = 412+1019+346+163+135 = 2075$  рублей, для проектного варианта себестоимость составляет  $C_{тех} = 55+510+173+255+68 = 1061$  рублей.

Расчёт «цеховой себестоимости  $C_{цех}$  ведется с учётом основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{цех} = 1,5$ :

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии  $C_{цех} = 2075+1,5 \cdot 910 = 2075+1365 = 3440$  рублей, для проектного варианта  $C_{цех} = 1061+1,5 \cdot 455 = 1061+682 = 1743$  рублей.

Расчёт заводской себестоимости  $C_{зав}$  ведется с учётом основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{зав} = 1,15$ » [19]:

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

Согласно (16)  $C_{зав} = 3440+1,15 \cdot 910 = 3440+1046 = 4486$  рублей для базовой технологи и  $C_{зав} = 1743+1,15 \cdot 455 = 1743+523 = 2266$  рублей для проектной технологии.

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 11, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 13.

Таблица 11 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы»	М	412	55
2. Фонд заработной платы	ФЗП	1019	510
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	346	173
4. Затраты на оборудование	Зоб	163	255
5. Затраты на площади	Зпл	135	68
5. Технологическая себестоимость	С <sub>тех</sub>	2075	1061
6. Цеховые расходы	Р <sub>цех</sub>	1365	682
7. Цеховая себестоимость	С <sub>цех</sub>	3440	1743
8. Заводские расходы	Р <sub>зав</sub>	1046	523
9. Заводская себестоимость» [19]	С <sub>зав</sub>	4486	2266

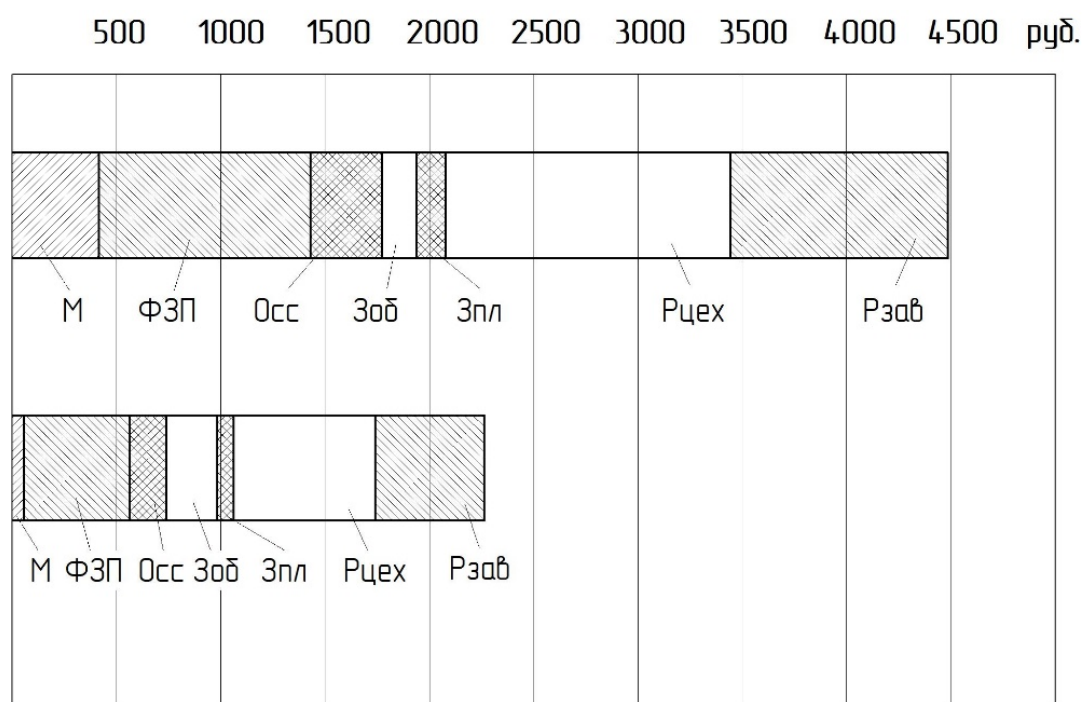


Рисунок 13 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений.

#### 4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования  $\Pi_{об.б.}$  определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается  $T_c = 3$  года, и цены нового оборудования на рынке  $\Pi_{перв.}$ , которая принимается  $\Pi_{перв.} = 140000$  рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений  $H_a = 21,5 \%$ . Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (17)$$

Согласно (17)  $\Pi_{об.б.} = 140000 - (140000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 49700$  рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,3$ , с учётом которого для остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.} = 49700$  рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z,б} = 49700 \cdot 0,3 = 14910 \text{ рублей.} \quad (18)$$

Для расчета размеров «капитальных затрат  $K_{общ.пр.}$  по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади  $K_{пл.пр.}$ , капитальных затрат на оборудование  $K_{об.пр.}$  и сопутствующих затрат  $K_{соп.}$ :

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

Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования  $\Pi_{об. пр.} = 270000$  рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз} = 1,05$  и коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,15$ . Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование  $K_{об. пр.}$ :

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

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет  $K_{об.пр} = 270000 \cdot 1,05 \cdot 0,15 = 42525$  рублей.

Сопутствующие капитальные затраты  $K_{соп}$  рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования  $P_{мон}$  и расходов на демонтаж оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии  $P_{дем}$ . Расчёты ведутся по формуле

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

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования  $K_{дем} = 0,05$ . С учётом ранее заданной цены оборудования  $Ц_{об.б} = 140000$  рублей расходы на демонтаж  $P_{дем}$  составят:

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д} = 140000 \cdot 0,05 = 7000 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования  $Ц_{об. пр.}$  с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается  $K_{мон} = 0,05$ » [19]:

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м} = 270000 \cdot 0,05 = 13500 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов  $K_{соп}$  согласно (21) составляет  $K_{соп} = 7000 + 13500 = 20500$  рублей.

Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ. пр.}$  согласно (19) составляет  $K_{общ. пр.} = 42525 + 20500 = 63025$  рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ. пр.} = 63025$  рублей и капитальных затрат по базовой технологии  $K_{общ. б.} = 14910$  рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты  $K_{доп}$ :

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб} = 63025 - 14910 = 48115 \text{ рублей}. \quad (24)$$

«Удельные капитальные вложения  $K_{уд}$  рассчитываются как отношение величины капитальных вложений  $K_{общ}$  к годовой программе  $\Pi_T$  согласно формулы

$$K_{уд} = K_{общ} / \Pi_T . \quad (25)$$

Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 14910/500 = 30$  руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 63025/500 = 126$  руб./ед» [19].

#### 4.6 Расчёт экономических показателей

«Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений.

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости  $\Delta t_{шт}$ , которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта  $t_{шт пр} = 5$  часов и штучного времени для базового варианта  $t_{шт б} = 9$  часов» [19]:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (2,42 - 1,21) \cdot 100 \% / 2,42 = 50 \% . \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда  $\Pi_T$ , рассчитываемая как

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = (100 \cdot 50) / (100 - 50) = 100 \% . \quad (27)$$

Следующим объективным показателем является «снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии  $C_{тех.б} = 2075$  рублей и себестоимости по проектной технологии  $C_{тех.пр.} = 1061$  рублей» [19]:



$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} = (2075 - 1061) \cdot 100\% / 2075 = 49\% \quad (28)$$

Для расчёта условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам  $C_{\text{зав.б.}} = 4486$  рублей и  $C_{\text{тех.пр.}} = 2266$  рублей. Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_{\Gamma} = (4486 - 2266) \cdot 500 = 1110570 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$  рассчитывается для  $K_{\text{доп}} = 48115$  рублей и  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 1110570$  рублей по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 481150 / 1110570 = 0,5 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат  $E_{\text{н}} = 0,33$ . С учётом дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}} = 48115$  рублей и условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 1110570$  рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 1110570 - 0,33 \cdot 48115 = 1094692 \text{ рублей.} \quad (31)$$

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 1,1 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 50 %, производительности труда повышается на 100 %. Технологическая себестоимость снижается на 49 %. Годовой экономический эффект оценивается в 1 миллион рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

## Заключение

При выполнении настоящей квалификационной работы решались вопросы повышения эффективности сварочных операций при ремонте цистерн железнодорожных вагонов. Актуальность проведения работ в этом направлении доказана в ходе краткого анализа состояния вопроса, представленного во введении, по результатам которого сформулирована цель работы. С применением баз знаний в сети ИНТЕРНЕТ выполнен поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических возможностей ремонтной сварки металлических конструкций. Анализ состояния вопроса позволил сформулировать задачи выпускной квалификационной работы. Решение первой задачи позволило на основании анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых способов, а также экспертной оценки обосновать выбор способа сварки, который будет использован для построения проектной технологии. При решении второй задачи выполнено расширение технологических возможностей выбранного способа ремонтной сварки на основе достижений отечественных исследователей-сварщиков и анализа мирового опыта в области повышения эффективности сварочных процессов. Решение третьей задачи позволило составить проектный технологический процесс ремонтной сварки – перечень операций, параметры режима и необходимое оборудование. В оценочных разделах проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений. Эффект составил более 1 миллиона рублей. Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе решения предлагаются к реализации на предприятиях Российской Федерации, обслуживающих железнодорожные вагоны.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Ващенко И. П. Структура и свойства малоуглеродистых и низколегированных сталей // Вестник МГТУ. 2007. № 4. С. 558–560.
2. Верёвкин А. В. Повышение эффективности сварки в CO<sub>2</sub> неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2010.
3. Вертакова Ю. В., Плотников В. А.. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности. // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
4. Волков А. С. Причины появления дефектов вблизи исправленных участков сварных швов // Сварочное производство. 1974. № 8. С. 33–34.
5. Голов Р.С., Сорокин А.Е., Мельник А.В., Рожков И.В. Основные технологические и маркетинговые тенденции развития сварочного производства // Сварочное производство. 2016. № 11. С. 46–51.
6. Горбачёв С. В. Повышение однородности структуры механических свойств сварных соединений из сталей 20 и 09Г2С в режиме сверхпластической деформации : диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. Уфа, 2005.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
9. Кныш В. В., Ковальчук В. С. Повышение ресурса металлоконструкций из низколегированных сталей высокочастотной механической проковкой после ремонтной сварки // Автоматическая сварка. 2007. № 11. С. 39–42.

10. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Искусственная формирующая линия в силовой части модулятора ИРС-1200АДМ // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 12. С. 28–30.

11. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Устройство для импульсно-дуговой сварки // Ремонт, восстановление, модернизация. 2004. № 6. С. 26–28.

12. Князьков А. Ф., Федько В. Т., Крампит Н. Ю. Искусственная формирующая линия в силовой части модулятора ИРС-1200АДМ // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 12. С. 28-30.

13. Котельников В. В. Разработка методики теплового контроля и диагностики технического состояния металлоконструкций мостовых кранов : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.11. М. : Московский гос. тех. ун-т. им. Н. Э. Баумана. 2009.

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. Крампит А. Г. Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. № 7. 2016. С. 18-23.

16. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А. Исследования влияния параметров импульсов на формирование шва при импульсном питании сварочной дуги // Автоматизация и современные технологии. 2004. № 2. С. 3-8.

17. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А. Особенности импульсного управления процессом сварки в CO<sub>2</sub> длинной дугой // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 9. С. 12-15.

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

19. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
20. Ларионов В. П. Электродуговая сварка конструкций в северном исполнении. Новосибирск: Наука, 1986. 168 с.
21. Лебедев В. А., Кузьмин С. А., Новгородский В. Г. Управление процессом механизированной сварки в углекислом газе с использованием параметров переноса электродного металла // Сварочное производство. 2002. № 5. С. 6-14.
22. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. № 11. 2014. С. 16-23.
23. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14-21.
24. Патент № 2133660 РФ. Способ импульсно дуговой сварки / Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Петриков А.В.; Оpubл. 27.07.1999 г.
25. Патент № 2185941 РФ. Устройство для сварки / А.Ф. Князьков, С.А. Князьков, А.Г. Крампит, А.В. Веревкин; Оpubл. 27.07.2002 г.
26. Перерва О. Л. Экономика инновационных процессов на промышленном предприятии // Экономическая наука современной России. 2005. № 2. С. 89–96.
27. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34-42.
28. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.
29. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г.А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А.И. Акулова, 1979. 462 с.

30. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
31. Сорокин В. Г.Э Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
32. Трофимов О.В., Ефимычев Ю.И., Трофимова Т.В. Методика выбора инновационной стратегии развития промышленного предприятия // Креативная экономика. 2010. № 5. С. 8–13.
33. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 8–11.
34. Donglin Y., Yongfu H., Rangez Z. A study on cracks on the oxygas cut surfaces of weld grooves of 14MnMoVN steel plates during cold forming // Trans. China Welding. Inst. 1982. № 4. P. 159–164.
35. Irving R. R. Can industry afford the high cost of weld repair? // Iron Age. 1980. № 3. P. 49–55.
36. Maccocaire C. Repair welding: how to set up a shop // Welding Journal. 1991. № 8. P. 54–56.
37. Recommendation on the repair of fatigue-loaded welded structures // Intern. Inst, of Welding; Doc. XIII-1632-96. 1996. 16 p.