

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 ремонтной сварки контейнеров для перевозки грузов

Обучающийся

Ю.Д. Шкап

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент О.В. Шашкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

## Аннотация

В работе предложен комплекс мероприятий, позволяющих повысить эффективность ремонтной сварки при исправлении дефектов конструкции грузовых контейнеров. Работа составлена в соответствии с требованиями методических указаний кафедры и нормативной документации вуза, включает в себя введение, аналитический раздел, исполнительский раздел, два оценочных раздела, заключение и библиографический список. Во введении выполнено обоснование актуальности выбранного направления исследования и сформулирована цель выпускной работы. При анализе исходных данных рассмотрена конструкция грузового контейнера. Возникающие повреждения, особенности сварки его материала и операции базового процесса ремонтной сварки. Составление списка задач выполнено с учетом результатов подготовки аналитического раздела. На основании выставления экспертной оценки рассматриваемым способам сварки реализация проектной технологии рекомендована с применением сварки в защитных газах, после чего предложены мероприятия по расширению технологических возможностей применительно к рассматриваемой конструкции. На основании ранее полученных знаний была составлена проектная технология ремонтной сварки. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса ремонтной сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований, проведение которых предполагается в ходе выполнения магистерской диссертации.

## Содержание

Введение .....	5
1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы. ....	6
1.1 Сведения о конструкции изделия и возникающих дефектах .....	6
1.2 Анализ стали для изготовления контейнеров .....	9
1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки .....	11
1.4 Анализ источников научно-технической информации. ....	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы ....	18
2 Построение проектной технологии ремонтной сварки. ....	19
2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии. ....	19
2.2 Расширение технологических возможностей выбранного способа сварки .....	22
2.3 Описание операций проектного технологического процесса ремонтной сварки. ....	29
3 Промышленная безопасность производственного участка. ....	33
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи .....	33
3.2 Идентификация негативных производственных факторов. ....	34
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов. ....	36
3.4 Пожарная безопасность производственного участка .....	38
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка. ....	40
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений. ....	42
4.1 Исходные данные для экономического расчёта. ....	42
4.2 Фонд времени работы оборудования. ....	44

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	45
4.4 Заводская себестоимость. ....	47
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам. ....	52
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей. ....	54
Заключение . ....	56
Список используемой литературы и используемых источников. ....	57

## Введение

Своевременна оценка состояния и оперативный ремонт контейнеров для перевозки грузов в значительной степени определяет эффективность транспортной системы и её экономические показатели. Правильно проведенный ремонт контейнера позволяет использовать его для перевозки более широкой номенклатуры грузов, что значительно улучшает оборачиваемость контейнеров и в конечном итоге снижает стоимость перевозок [14], [24], [25]. На основании анализа состояния контейнера его собственник получает информацию о состоянии контейнера, оценку которого периодически проводят на грузовых терминалах. Дальнейшие действия с поврежденным контейнером выполняются при согласовании с собственником, учетом наличия свободных контейнеров и тяжести поражения рассматриваемого контейнера. Следует отметить, что если по какой-то причине не выполнен своевременный ремонт контейнера, то такой контейнер может быть надолго заблокирован на складе поврежденных контейнеров и выпадет из оборота контейнеров, что приведет к дополнительным финансовым потерям собственника такого контейнера и рискам для конечного потребителя [22].

Проведение оперативного ремонта контейнеров с применением сварочных технологий является очень распространенным случаем. Как показывает практика мировых контейнерных перевозок, средняя стоимость ремонта каждого контейнера на грузовом терминале составляет порядка 130 долларов США [8], [17], [20], [25]. С учетом значительного количества перемещаемых через терминал контейнеров можно однозначно утверждать, представленное исследование обладает актуальностью, его цель – повышение эффективности сварочных технологий при ремонте грузовых контейнеров. Достижение поставленной цели основано на изучении мирового и отечественного опыта в области управления сваркой и применения перспективных сварочных технологий [3], [16], [18].

# 1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы

## 1.1 Сведения о конструкции изделия и возникающих дефектах

На рисунке 1 представлен универсальный крупнотоннажный контейнер, который может быть использован как для морских, так и для железнодорожных перевозок. Основными элементами такого контейнера, которые показаны на рисунке 2, являются нижняя рама с полом «»(обозначена на схеме позицией 1), дверная рама с механизмом закрытия (обозначена на схеме позицией 2), боковая стенка (обозначена на схеме позицией 3 и позицией 6), крыша (обозначена на схеме позицией 4) и торцевая стена (обозначена на схеме позицией 6)» [8].



Рисунок 1 – Пример универсального крупнотоннажного контейнера

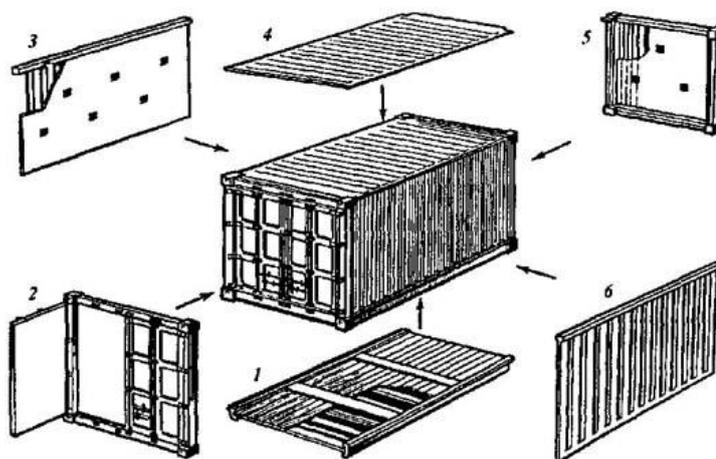


Рисунок 2 – Основные элементы крупнотоннажного универсального контейнера

В процессе эксплуатации контейнеры проходят периодический осмотр, в ходе которого происходит оценка их состояния. В обязанности поставщика транспортных услуг входит предоставление исправных контейнеров, очищенных от грязи и мусора, окончательное решение о возможности отправки груза в предоставленном контейнере принимает отправитель. В ходе выполнения погрузочных операций возможно повреждение целостности контейнера, которое должно быть своевременно обнаружено и оформлено соответствующим актом.

При выполнении текущего ремонта исправляются такие дефекты контейнеров, как прокол, вмятина, пробоина, обрыв дверной пели, повреждение углового фитинга, трещины в основном металле или трещины в сварном шве. Пример выполнения сварочных работ в ходе текущего ремонта контейнеров представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Примеры выполнения сварочных работ при ремонте контейнеров

При обслуживании контейнеров характер ремонта определяется степенью повреждения его конструкции. При небольших отверстиях в стенке контейнера выполняют их заварку дуговыми способами, в основном ручной дуговой сваркой или механизированной сваркой в защитных газах. Погнутые элементы стенки контейнера выправляют, при разрывах металла выполняют сварку. Трещины в стенке и несущей конструкции контейнера заваривают с наложением усиливающей заплатки. Пробоины также заваривают с наложением заплатки. Для вырезки заплаток применяются хранящиеся на

складе контейнеры-доноры, откуда вырезаются элементы, привариваемые к ремонтируемому контейнеру. Ремонт контейнера может проходить как без его разборки (мелкий ремонт), так и с разборкой контейнера (капитальный ремонт), которую следует проводить уже на территории специализированного цеха. В обоих случаях участок для ремонта контейнера должен быть оснащен сварочным оборудованием, балочным краном и гидравлическими домкратами, что позволяет поднимать контейнер над землей, выправлять его геометрию и выполнять сварные швы в различных, даже трудно доступных местах.

Для текущего ремонта контейнера организуется специальная крытая площадка или место в ангаре. На рисунке 4 представлен вид площадки для текущего ремонта контейнеров.



Рисунок 4 – Участок ремонта контейнеров

При среднесуточном объеме работ 10 контейнеров предусматривается условное деление площадей на два участка. На первом участке проводятся все сварочные работы, а на втором участке выполняются подготовительные, сборочные, покрасочные и другие работы. Для перемещения контейнеров и оборудования применяется кран с грузоподъемностью 5 тонн. Если выполнялся текущий ремонт контейнера, то окраске подлежит только ремонтируемая его часть. Если проводится капитальный ремонт контейнера, его следует перекрашивать полностью.

## 1.2 Анализ стали для изготовления контейнеров

Для изготовления контейнеров используется специальная атмосферостойкая сталь, в состав которой входят такие элементы, как железо (является основным элементом в стали), хром (повышает коррозионную стойкость стали и содержится в ней в количестве порядка 0,5...1,25 %), медь (повышает стойкость стали по отношению к атмосферной коррозии и содержится в стали в количестве 0,5...1 %), никель (повышает прочность стали и её коррозионную стойкость, содержится в стали в количестве 0,25...1 %), марганец (содержится в стали в количестве 1...2 % и позволяет повысить прочностные свойства стали), кремний (содержится в стали в количестве 0,1...0,4 % и повышает её прочность). Состав применяемой стали классификации А588 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали А588

C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	V	P	S
<0,19	0,8-1,25	0,3-0,65	0,4-0,65	0,25-0,4	<0,4	0,02-0,1	<0,03	<0,03

Благодаря своему составу представленная сталь успешно сопротивляется атмосферной коррозии и противостоит воздействию морской воды. На поверхности такой стали образуется защитный слой ржавчины, который, в отличие от ржавчины на обычной стали, обладает высокой плотностью и плотно прилегает к основному металлу. Такой слой сходен по структуре с патиной, которая не разрушает поверхность металла, а защищает его, придавая благородный вид. Сталь обладает повышенной по сравнению с низкоуглеродистой сталью прочностью и способна сопротивляться ударным и знакопеременным нагрузкам. При повреждении окрасочного покрытия сталь не теряет антикоррозионных свойств, поэтому контейнеры из указанной стали способны длительное время эксплуатироваться в условиях атмосферного воздействия и морской воды. Проблема стали заключается в том, что если при сварке использовать стандартные электроды для низкоуглеродистых и

низколегированных сталей, то коррозионная стойкость сварного шва становится намного ниже, чем у основного металла, поэтому сварной шов после ремонта становится концентратором дальнейших разрушений.

По сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей описываемая сталь имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при построении технологии ремонтной сварки. Во-первых, такая сталь склонна к образованию в околошовной зоне холодных трещин. Во-вторых, при сварке таких сталей необходимо считаться с опасностью возникновения горячих трещин в металле сварного шва, которая может повышаться при применении легированных сварочных материалов. В-третьих, сварной шов может по механическим и коррозионным свойствам отличаться от основного металла в худшую сторону. Для предотвращения образования трещин необходимо применять предварительный подогрев конструкции до 200...300 °С, а при сварке применять режимы с низкой погонной энергией. Это позволяет уменьшить время нахождения металла при температуре более 1000 °С. Также запрещается прерывать процесс сварки до полного заполнения разделки. Если к сварному шву не предъявляются высокие требования по прочности, то возможно применение сварочных материалов, обеспечивающих получение аустенитной структуры в сварном шве. Также предотвратить появление трещин можно при грамотно организованной термической обработке сварного шва, которая позволяет устранить остаточные напряжения и получить оптимальную структуру металла. При сварке следует отдавать предпочтение стыковым соединениям перед нахлесточными и тавровыми соединениями. Существенное влияние на качество оказывает дисциплина производства, в частности, подготовка сварочных материалов должна проходить строже, чем при сварке низкоуглеродистых сталей. Широкие возможности раскрываются при применении импульсной сварочной дуги, ударное действие которой позволяет измельчить структуру металла сварного шва и повысить стойкость против трещин.

### 1.3 Особенности базовой технологии ремонтной сварки

В процессе службы каждый контейнер периодически проходит осмотр, который выполняется на специальной эстакаде, по результатам которого проставляется штампель о годности или негодности контейнера для дальнейшей эксплуатации. Ежегодно контейнера проходят плановый ремонт. На ремонт направляются также контейнеры, признанные в результате проверки негодными.

Перед проведением ремонта контейнер полностью очищают от грязи изнутри и снаружи с применением высоконапорной струи воды, температура которой составляет  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в горячую воду добавляется моющее средство, далее остатки моющего средства удаляют при помощи чистой воды. После мойки контейнеры просушивают на калориферной установке, но может выполняться и просушка естественным путем. Далее проводят дефектовку контейнера, выявляя неисправные участки и узлы. При помощи мела выполняют разметку дефектных участков. Если на обшивке обнаружены вмятины глубиной до 25 мм без трещин и пробоин, то их не исправляют, если количество таких вмятин на стенку не превышает двух при длине каждой вмятины до 500 мм.

При ремонте пробоины выполняют правку и заварку с установкой усиливающей накладки, если это невозможно, дефектный участок вырезают с установкой накладки или заподлицо, выполняют проварку по всему периметру. При вырезании дефекта стенки контейнера его площадь не должна превышать  $0,5\text{ м}^2$ . Линия реза не должна иметь резких переходов, допускается минимальный радиус закругления 15 толщин металла обшивки. Для толщины металла 5 мм минимальный радиус закругления составляет 75 мм. При восстановлении геометрии обшивки смещение кромок для стыкового шва не должно быть больше 0,5 мм. При подготовке ремонтной накладки её профиль должен полностью соответствовать профилю ремонтируемой части. При выполнении нескольких ремонтных швов сначала следует выполнять

стыковые швы. На рисунке 5 представлены дефекты контейнера, исправляемые при помощи сварки.

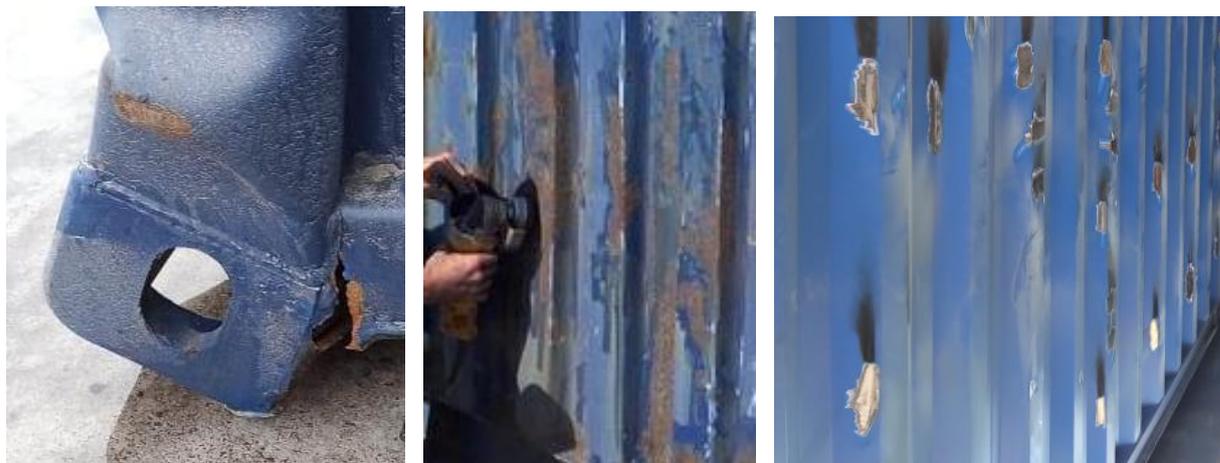


Рисунок 5 – Примеры исправляемых с использованием сварки дефектов

При исправлении разрывов и трещин уточняют границы залегания трещины и помечают кернением её концы, центр засверливания должен находиться на расстоянии 3...5 мм от видимого конца трещины. Если визуально концы трещины определить затруднительно, можно применить нагрев газовым пламенем, не допуская перегрева конструкции более 100...150 °С, также положение концов трещины может уточняться при помощи магнитопорошкового метода. После определения и уточнения положения концов трещины выполняют сквозное засверливание с применением сверлильного станка на магнитной платформе, диаметр сверла составляет 6...12 мм в зависимости от толщины исправляемого элемента и раскрытия трещины. После засверливания необходимо выполнить зенковку отверстия на глубину не менее одной трети толщины металла. Разделку трещины проводят с применением строгача. При использовании угольного электрода диаметром 10 мм применяется ток 400...250 ампер с подачей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. После применения дуговой и воздушно-плазменной резки поверхность металла должна быть очищена от брызг и окисленного слоя, который снимают на глубину не менее 1 мм при помощи механических средств, для чего применяется угловая шлифовальная машина.

После разделки «следует провести зачистку торцев и поверхности основного металла на ширину 25 мм в обе стороны. Также выполняется зачистка поверхности ремонтных конструкций на ширину 25 мм с обеих сторон» [2]. Для выполнения ремонтной сварки по базовой технологии применяется ручная дуговая сварка, для которой расходными материалами являются штучные электроды. В базовом варианте технологии применяются электроды ESAB 73.08, которые предназначены для получения сварных швов с высокими антикоррозионными свойствами и стойкостью против морской воды. В «составе металла сварного шва, выполненного таким электродом присутствуют кремний 0,4 %, марганец 1 %, никель 0,7 %, медь 0,4 %. Такой состав позволяет успешно сопротивляться коррозии, электроды применяются для сварки судостроительных сталей и атмосферостойких сталей» [2]. Перед сваркой электроды прокаливают в течение 60...90 минут при температуре 230...280 °С, после чего помещают в «резервную печь, предварительно разогретую до 80...100 °С. Все прокаленные электроды должны быть использованы в течение одной рабочей смены, в противном случае необходимо проведение повторной прокалики, количество которых не должно быть более трех. Если после трех прокалок электроды не были использованы, их следует утилизировать. При ремонтной сварке используются электроды диаметром 3 мм (для сварки корневого слоя шва и подварки корня шва) и диаметром 4 мм (для заполнения разделки и приварки ремонтных конструкций). При сварке электродами диаметром 3 мм применяют сварочный ток 70...110 ампер. При сварке электродами диаметром 4 мм применяют сварочный ток 130...160 ампер» [2]. Запрещается прерывать процесс до полного заплавления разделки. Усиление сварного шва должно быть незначительным, так как в дальнейшем оно будет снято с применением механических способов заподлицо с основным металлом. При заполнении разделки не допускается неполное заплавление, вогнутость сварного шва должна быть не более 0,5 мм. Запаление ведут в два прохода. Первый проход выполняют электродами диаметром 3 мм, второй проход выполняют

электродами диаметром 4 мм. После заплавления разделки проводят зачистку поверхности, удаляют наплывы, шлак, брызги металла на ширину 25 мм в обе стороны. Далее снимают усиление сварного шва и подварку корня шва с обратной стороны с последующей зачисткой.

Если исправление дефекта обшивки контейнера с выполнением стыковых швов невозможна, применяют заплатку, которая должна полностью повторять профиль обшивки контейнера и иметь толщину стенки ремонтируемого места, быть изготовленной из того же материала. Заплатку следует изготавливать таким образом, чтобы она перекрывала дефект не менее чем на 100 мм. Если это невозможно, то величина перекрытия по согласованию может быть уменьшена до 50 мм. Зазор при установке заплатки на ремонтируемый элемент стенки не должен превышать 1 мм, приварку заплатки выполняют по контуру, катет сварного шва составляет 0,7...0,8 от толщины привариваемой заплатки.

После того, как сварка проведена, необходимо выполнить визуальный контроль качества, в ходе которого проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Поры не должны иметь размеры более 2 мм, вогнутость сварного шва не должна превышать 0,5 мм, величина подрезов не должна превышать 2 мм. Если в ходе визуального осмотра обнаружен недопустимый дефект, то дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с последующим контролем качества.

Главным недостатком применяемой в настоящее время базовой технологии ремонтной сварки является использование ручной дуговой сварки, которая характеризуется значительным количеством вторичных дефектов, малой производительностью и тяжелыми условиями труда сварщика. Кроме того, при установке на стенку контейнера ремонтной заплатки с выполнением нахлесточных соединений существенно снижается стойкость контейнера против коррозии, ухудшается его внешний вид и сопротивление динамическим нагрузкам.

#### **1.4 Анализ источников научно-технической информации**

Для обеспечения высокого технологического уровня решений задач выпускной квалификационной работы проведен поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки атмосферостойких сталей. Для поиска была применена сеть ИНТЕРНЕТ, поиск велся в системе GOOGLE по ключевым словам. Кроме того, поиск велся в базе научных статей «Киберленинка», в которой имеется значительное количество публикаций отечественных авторов по техническим направлениям. Также поиск велся в базе диссертаций «Диссеркэт», которая содержит значительное количество текстов диссертаций и авторефератов диссертаций по техническим направлениям, которые были защищены в последние 30 лет. Также для поиска была применена система «Е-Лайбрери», которая позволяет вести квалифицированный поиск по статьям и патентам российских авторов. Таким образом, для последующего анализа было выбрано пять работ.

В первой работе [6] исследовалась возможность повышения эффективности сварки под флюсом атмосферостойких сталей с применением порошковой проволоки. Установлено, что при сварке под флюсом атмосферостойких сталей насыщение металла сварочной ванны титаном и марганцем целесообразно выполнять с использованием керамического флюса основного типа, что позволяет получать структуру металла сварного шва с игольчатым ферритом и бейнитом. При легировании металла сварного шва титаном происходит уменьшение температурного диапазона ферритного превращения.

Данная работа позволяет судить о высокой перспективности применения порошковых проволоки при сварке атмосферостойких сталей и дает представление о составе порошковой проволоки, позволяющем повысить эксплуатационные свойства сварных соединений. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа сварки.

Во второй работе [7] исследовалось влияние параметров режима при ручной дуговой сварке на характер переноса электродного металла. Установлено, что характер переноса электродного металла не зависит от диаметра применяемого электрода. Формируемые потоки в сварочной ванне и столбе сварочной дуги также не зависят от диаметра сварочного электрода. На тепловой баланс при сварке оказывает существенное влияние тип переноса электродного металла. Так, при крупнокапельном переносе возникают значительные силы поверхностного натяжения, на преодоление которых будет расходоваться энергия сварочной дуги. В тоже время при струйном переносе роль влияние сил поверхностного натяжения снижается, что повышает эффективный КПД сварки. Кроме того, струйный перенос электродного металла обеспечивает интенсивное перемешивание металла сварочной ванны и увеличение глубины провара. Значительная роль в тепловом балансе отводится соотношению интенсивности поверхностного теплового потока и глубинного теплового потока, которые формируются при встрече столба дуги с поверхностью ванны.

Данная работа расширяет возможности ручной дуговой сварки покрытыми электродами и будет использована при обосновании выбора способа сварки при построении проектной технологии ремонтной сварки.

В третьей работе [2] исследовалось влияние параметров режима на глубину проплавления при механизированной сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения. Составлена математическая модель для прогнозирования формы сварного шва и рекомендации по повышению эффективности процесса сварки.

Данная работа «демонстрирует высокий потенциал сварки в защитных газах и будет использована при обосновании выбора способа сварки для составления проектной технологии» [2].

В четвертой работе [23] установлено, что при массовой доле минеральных составляющих в шихте сварочной проволоки до 2 % на стабильность горения дуги и переноса электродного металла существенное

влияние оказывает состав применяемого при сварке защитного газа. Значительного улучшения параметров процесса удастся достигнуть при переходе от чистого углекислого газа к смеси аргон + углекислый газ в соотношении 8 к 2. При выборе состава порошковых проволок следует принимать во внимание, что наличие в шихте фторидов приводит к снижению стабильности горения дуги и переноса электродного металла, что приводит к переходу от струйного процесса к крупнокапельному. Стабилизации процесса сварки можно достигнуть при применении таких компонентов, как рутил и нелетучие фториды.

Данная работа «показывает возможность расширения технологических возможностей механизированной сварки порошковой проволокой в защитных газах и будет использована для обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии ремонтной сварки грузовых контейнеров» [23].

В пятой работе [21] «проведенные исследования позволяют судить о высокой эффективности применения импульсных методов управления горением сварочной дуги при сварке» [21]. Положительные изменения в тепловом балансе позволяют повысить производительность сварки при снижении затрат электрической энергии, что объясняется значительным уменьшением потерь на разбрызгивание и нагрев зоны термического влияния. Импульсный характер горения дуги не только позволяет повысить пространственную стабильность дуги и снизить разбрызгивание, но и улучшить выделение из сварочной ванны растворенных в ней газов, что положительно сказывается на качестве сварного соединения. Кроме того, импульсное ударное воздействие на поверхность сварочной ванны позволяет формировать мелкозернистую структуру металла сварного шва, что улучшает эксплуатационные свойства и позволяет при выполнении ремонтной сварки повысить усталостную прочность конструкции.

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

## 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Обоснована актуальность выбранного направления исследования, целью которого является расширение технологических возможностей при выполнении операций сварки в процессе ремонта грузовых контейнеров. Базовый технологический процесс построен на основе ручной дуговой сварки, этот способ характеризуется универсальностью и простотой внедрения в различных производствах, однако имеет ряд недостатков, наличие которых заставляет искать другие способы сварки для построения проектного технологического процесса. Достижение поставленной цели должно выполняться с применением оптимального комплекса средств и мероприятий, выбор стратегии достижения цели исследования в значительной степени зависит от квалификации исполнителя работ и определяется правильностью постановки исследовательских задач. При решении первой задачи предстоит провести экспертную оценку рассматриваемых способов применительно к выполнению рассматриваемых работ с указанием присущих им преимуществ и недостатков, что делает возможным обоснование выбора способа сварки, который впоследствии будет применен при построении проектной технологии. При решении второй задачи следует провести литературные исследования в области повышения эффективности проектной технологии за счёт применения современных разработок в области управления сварочными процессами, причем упор следует сделать на разработки российских исследователей, что позволит впоследствии устранить зависимость российской промышленности от поставок иностранных наукоемких комплектующих. При решении третьей задачи предстоит дать перечень операций технологического процесса с указанием требований к их выполнению, выбором оборудования и назначением оптимальных параметров режима сварки. Далее предстоит оценить безопасность предлагаемых решений [1], [5] и их эффективность [12], [13]. Далее необходимо привести рекомендации к использованию результатов выполненных работ.

## **2 Построение проектной технологии ремонтной сварки**

### **2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии**

«На основании предварительной оценки источников научной информации по вопросу ремонтной сварки металлических конструкций из атмосферостойкой стали для построения проектной технологии могут быть рекомендованы такие способы, как ручная дуговая сварка, применяемая в базовом варианте технологического процесса, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка порошковой самозащитной проволокой. Применение таких высокотехнологичных способов, как аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом и плазменная сварка» [14], в условиях ремонтного производства могут оказаться малоперспективными.

Ручная дуговая сварка в настоящее время является самым применяемым способом во многих отраслях промышленности, что объясняется высокой универсальностью способа и возможностью применять имеющееся на предприятии сварочное оборудование для широкого спектра технологических процессов. Таким образом, источники питания для ручной дуговой сварки, приобретенные ремонтным предприятием, будут всегда задействованы. Также принимать во внимание, что ручная дуговая сварка с успехом применяется как в закрытых помещениях, так и на открытой площадке, что позволяет вести ремонтную сварку вблизи места хранения контейнеров, не прибегая к их транспортировке в сварочный цех. Недостатком ручной дуговой сварки является вредность образуемых при горении сварочного электрода аэрозолей, которые приводят к профессиональным заболеваниям сварщиков и заставляют расходовать дополнительные средства на повышение безопасности труда. Вторым недостатком ручной дуговой сварки является недостаточная стабильность качества, которая существенно зависит от

квалификации работника, таким образом, предприятие становится заложником кадровой политики, что в условиях недостатка квалифицированных кадров может отрицательно сказаться на экономических показателях производства.

Существенное повышение производительности при отказе от ручной дуговой сварки возможно получить, если заменить её на механизированную сварку в защитных газах. Улучшение условий труда сварщика достигается за счёт уменьшения количества выделяемых в виде аэрозоля вредных веществ, так как для защиты сварочной ванны применяется не вещества из обмазки сварочного электрода, а относительно безвредный газ, это положительно сказывается на атмосфере цеха и состоянии сварщиков. Помимо этого следует принимать во внимание пренебрежимо малое количество образующегося при сварке шлака, который не требуется отбивать с поверхности шва, что существенно повышает производительность и устраняет трудности возникновения шлаковых включений в металле сварного шва. Применение защитного газа при сварке обеспечивает повышение вязкости расплавленного металла, это позволяет обеспечить пространственную стабильность сварочной ванны при выполнении швов в различных положениях, что особенно важно при ремонтной сварке. Также следует принимать во внимание, что при использовании сварочной проволоки не требуется прерывать процесс сварки на замену электрода, это дополнительно повышает производительность и качество сварки. Однако механизированной сварке в защитных газах свойственен ряд недостатков, наличие которых сдерживает применение этого способа в промышленности. Первым существенным недостатком является сложность изготовления легированной проволоки сплошного сечения, поэтому на рынке присутствует ограниченное количество разновидностей проволоки, при этом проволока для сварки специальных сталей, которая требует применения оригинального легирования, будет иметь намного большую стоимость. Вторым недостатком является значительное разбрызгивание, в результате которого страдает внешний вид изделия и

ухудшается его коррозионная стойкость. Третьим недостатком является излишняя вязкость металла сварочной ванны, в результате чего повышается опасность образования трещин и пор в результате недостаточной скорости выделения растворенных в расплавленном металле газов.

Перспективным следует признать применение сварки порошковой самозащитной проволокой, которая позволяет существенно повысить производительность сварки по сравнению с ручной дуговой сваркой. По сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения применение порошкового наполнителя проволоки расширяет возможности управления составом металла сварного шва. Также сварка самозащитной проволокой может быть осуществлена в более неблагоприятных условиях, чем сварка в защитных газах, которая не обеспечивает качественной защиты при порывах ветра. Порошковая проволока характеризуется повышенной мягкостью, становящейся причиной частых заломов и остановки работы подающего механизма. Компоненты сердечника проволоки повышают текучесть расплавленного металла сварочной ванны, что усложняет формирование обратного валика и повышает требования к точности сборки, это может оказаться критическим при выполнении ремонтных работ. Неравномерный нагрев проволоки из-за формирования сложной эпюры плотности тока по сечению проволоки приводит к частичному нерасплавлению шихты и её просыпанию в сварочную ванну, что повышает пористость шва.

Проведенная экспертная оценка способов сварки применительно к рассматриваемому случаю ремонтных работ делает возможным рекомендовать для построения проектной технологии механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для расширения её технологических возможностей в ходе выполнения выпускной квалификационной работы предлагается рассмотреть способы импульсного управления переносом электродного металла, разработка которых интенсивно ведется научными коллективами в Российской Федерации и зарубежом.

## **2.2 Расширение технологических возможностей выбранного способа сварки**

Значительное повышение качества соединений, выполненных с применением сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, обеспечивается при добавке в углекислый газ аргона, что позволяет частично подавить разбрызгивание металла при сварке, уменьшить пористость и улучшить внешний вид соединения, получая гладкую поверхность наплавленного металла. Уменьшение пористости в случае применения газовых смесей объясняется, скорее всего, уменьшением содержания водорода в наплавленном металле. Также применение газовых смесей позволяет уменьшить наплывы и сделать более гладкой зону перехода наплавленного металла на основной металл конструкции, что обеспечивается благодаря повышению текучести расплавленного металла. Добавка аргона в углекислый газ до 10 % не повышает значительно стоимость используемой защитной смеси, но позволяет получить описанные выше положительные эффекты.

При изготовлении современного сварочного оборудования производитель старается реализовать алгоритмы управления сварочными процессами, обеспечивающие импульсный характер переноса электродного металла [9], [10], [11]. В работе [24] проведен анализ квазистатической осесимметричной модели сварочной ванны. В основу ее построения положены предположения о том, что тепло от источника энергии передается в глубь металла благодаря его теплопроводности, граница раздела поверхности плавления и затвердевания прямая линия, которая совпадает с плоскостью, проходящей через ось электрода и максимумы глубины и ширины сварочной ванны. Установлено, что характер переноса электродного металла при ручной дуговой сварке не зависит от диаметра применяемого электрода. Формируемые потоки в варочной ванне и столбе сварочной дуги также не зависят от диаметра сварочного электрода. На тепловой баланс при сварке оказывает существенное влияние тип переноса электродного металла. Так, при

крупнокапельном переносе возникают значительные силы поверхностного натяжения, на преодоление которых будет расходоваться энергия сварочной дуги. В тоже время при струйном переносе роль влияние сил поверхностного натяжения снижается, что повышает эффективный КПД сварки. Кроме того, струйный перенос электродного металла обеспечивает интенсивное перемешивание металла сварочной ванны и увеличение глубины провара. Значительная роль в тепловом балансе отводится соотношению интенсивности поверхностного теплового потока и глубинного теплового потока, которые формируются при встрече столба дуги с поверхностью ванны.

На рисунке 6 представлены результаты определения химического состава металла сварного шва, выполненного с применением различных способов: традиционная сварка дугой со стационарным режимом в чистом углекислом газе и в смеси углекислого газа с аргоном, сварка в импульсном режиме в чистом углекислом газе и в смеси углекислого газа с аргоном. Как видно, применение импульсных режимов позволяет уменьшить выгорание легирующих элементов по сравнению с традиционной сваркой.

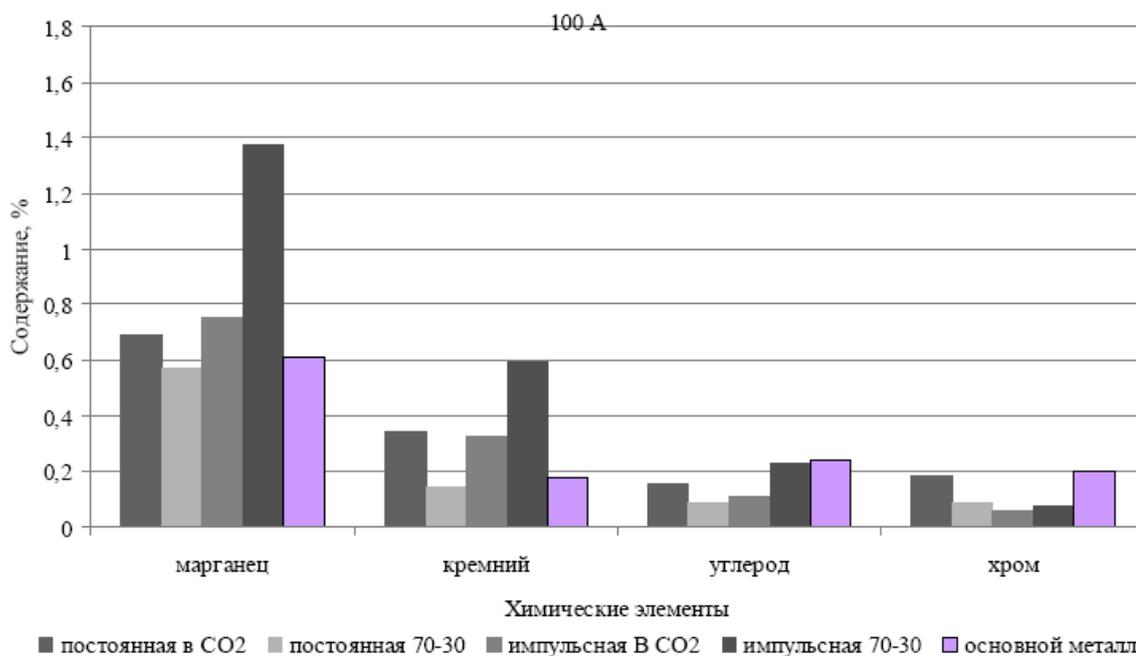


Рисунок 6 – Состав металла сварного шва при выполнении его различными способами

На рисунке 7 представлено влияние основных составляющих процесса сварки на характер переноса электродного металла, эта диаграмма предложена в работе [4] и позволяет обоснованно подходить к выбору направления модернизации сварочных процессов. На рисунке 8 представлены основные мировые производители, выпускающие оборудование с возможностью реализации импульсного характера горения сварочной дуги [15].



Рисунок 7 – Влияние основных составляющих процесса сварки на характер переноса электродного металла

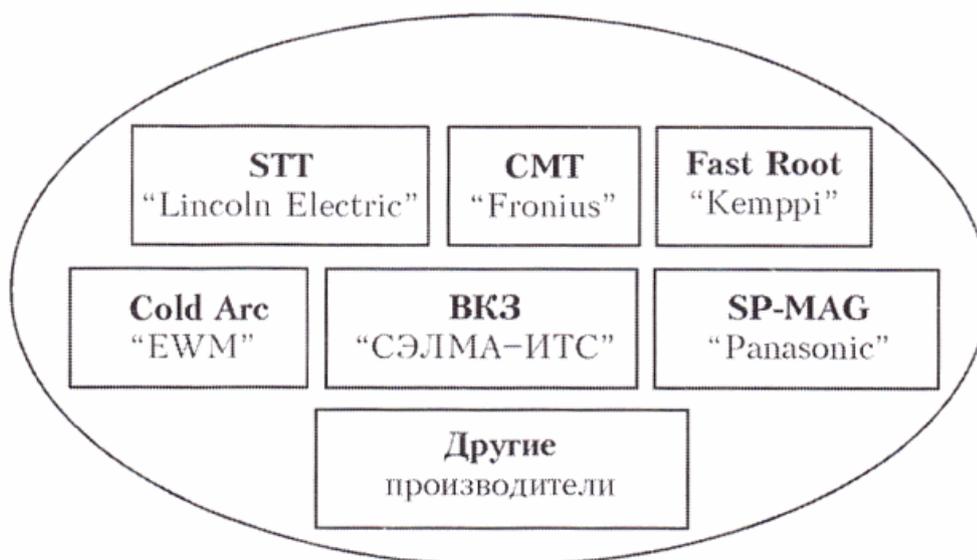


Рисунок 8 – Мировые производители оборудования с возможностью реализации импульсного характера горения сварочной дуги

На рисунке 9 представлены основные разновидности алгоритмов управления, обеспечивающих протекание сварки в импульсном режиме горения дуги и переноса электродного металла [15]. На рисунке 10 представлены различные типы переноса электродного металла в зависимости от параметров режима сварки. При этом особое внимание следует уделить импульсной дуге (ИДСПЭ), применение которой позволяет повысить эффективность управления процессом и стабилизировать качество соединений за счёт управляемого переноса электродного металла.



Рисунок 9 – Разновидности алгоритмов управления, обеспечивающих протекание сварки в импульсном режиме горения дуги и переноса электродного металла

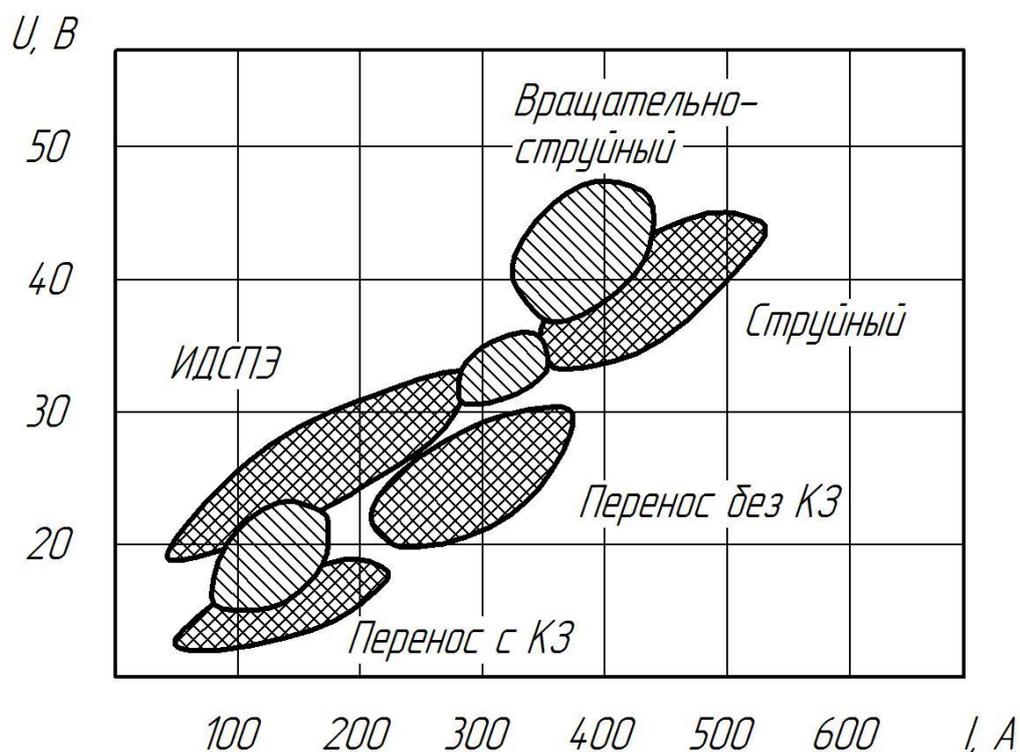


Рисунок 10 – Типы переноса электродного металла в зависимости от параметров режима сварки

На основании литературного обзора источников информации по вопросу повышения эффективности сварочных процессов за счёт реализации алгоритмов импульсного управления для построения проектного технологического процесса предлагается применить разработанный российскими исследователями-сварщиками способ [19], функциональная схема осуществления которого представлена на рисунке 11. В состав предлагаемого устройства для реализации алгоритма импульсного управления сваркой входит стандартный выпрямитель 11, подключение положительного полюса которого к сварочной проволоки осуществляется клеммами 8 и 9 через формирователь сварочных импульсов. Параллельно источнику питания 11 подключается фильтрующий конденсатор 1. В схему включены три тиристора – силовой тиристор 6, зарядный тиристор 4 и коммутирующий тиристор 9. Коммутирующий конденсатор 2 обеспечивает протекание тока паузы. Для сглаживания скачков тока применяются зарядный дроссель 3, коммутирующий дроссель 5 и силовой дроссель 7.

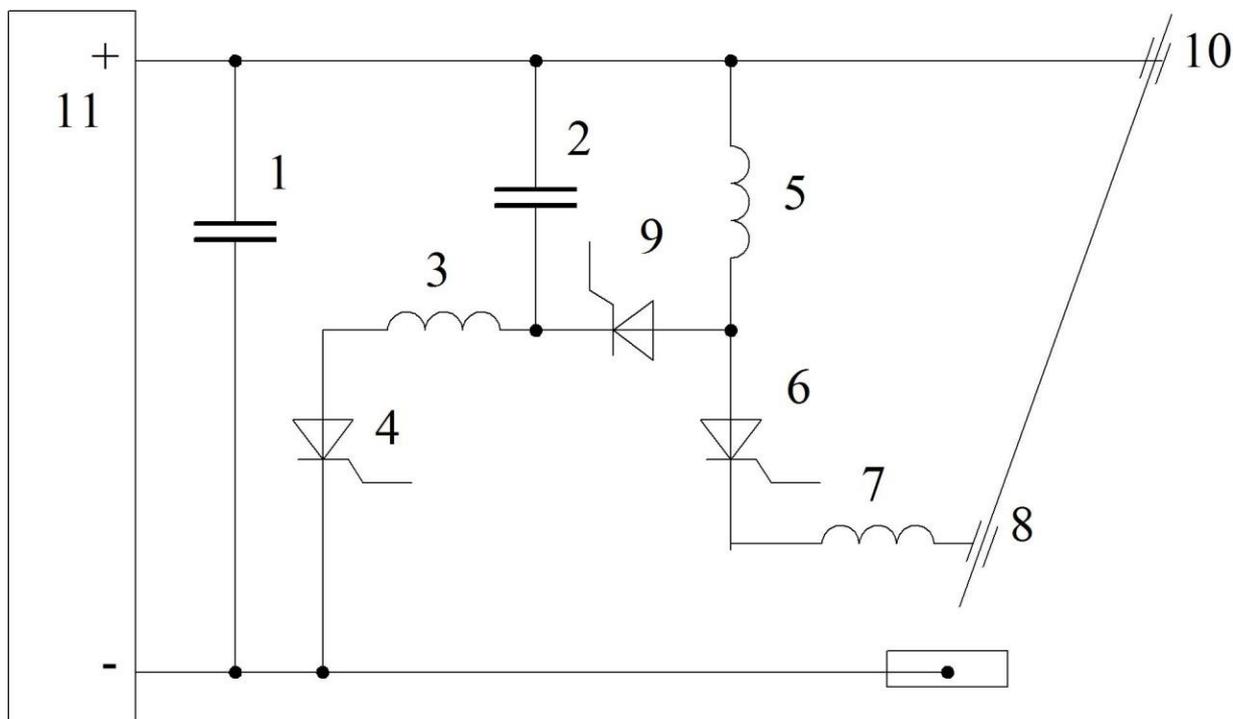


Рисунок 11 – Функциональная схема осуществления способа импульсной сварки

Подача сварочного тока на проволоку посредством двух клемм позволяет выполнять дозированный нагрев сварочной проволоки, что повышает производительность сварки и эффективность импульсного управления переносом металла. Также при таком способе питания обеспечивается уменьшение термического влияния на основной металл, что повышает эксплуатационные характеристики соединения после выполнения ремонтной сварки. На рисунке 12 представлены осциллограммы тока и напряжения, реализуемые с применением предлагаемого модернизированного источника питания. На интервале времени  $t_1-t_2$  происходит горение дежурной дуги, ток которой составляет от 15 до 40 ампер, поскольку ток дуги на этом промежутке минимален, за счёт подачи сварочной проволоки в течение этого времени длина дугового промежутка сокращается. Начало подачи сварочного импульса происходит в момент времени  $t_2$ . В момент времени  $t_3$  капля расплавленного металла отрывается от конца электрода и начинает движение по направлению к сварочной ванне. Следующая капля на конце сварочной проволоки формируется на интервале времени  $t_3-t_4$ .

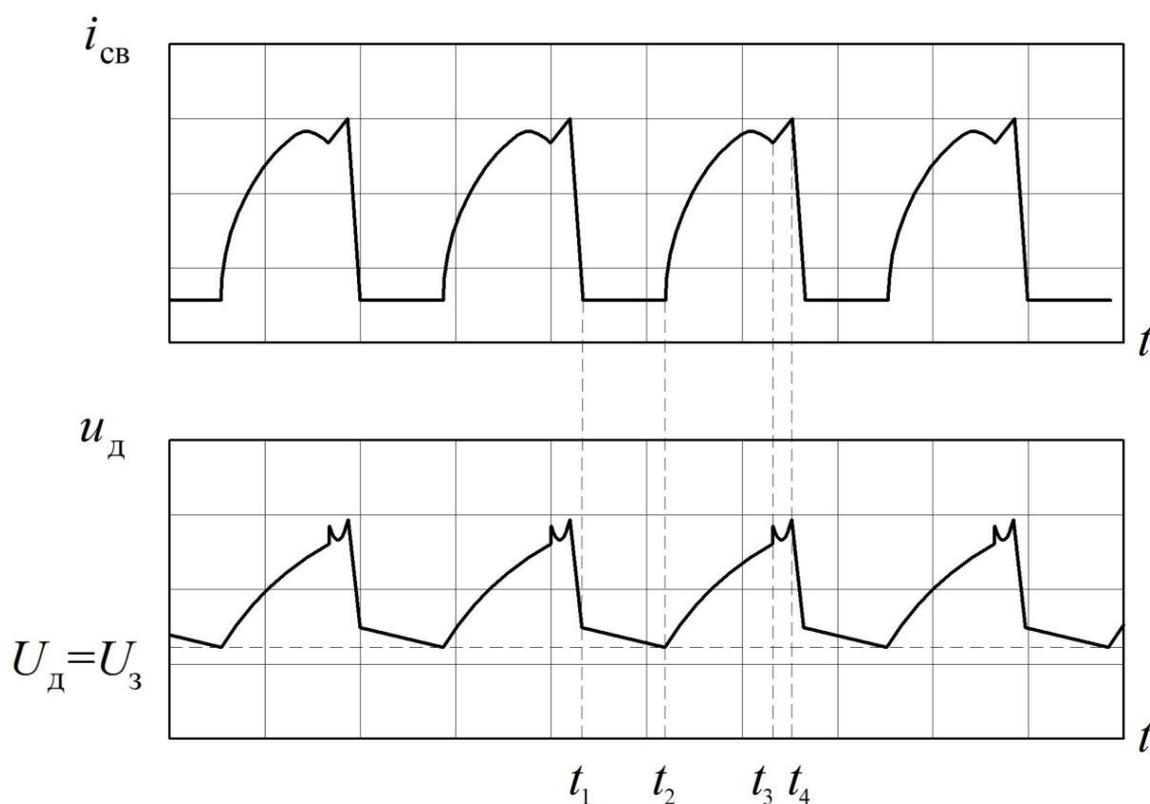


Рисунок 12 – Осциллограммы тока и напряжения, реализуемые с применением предлагаемого модернизированного источника питания

Возможности предлагаемого способа позволяют изменить тепловой баланс и повысить эффективный КПД сварки, уменьшить тепловую нагрузку на основной металл. Также за счёт импульсного воздействия на сварочную ванну улучшаются условия к выходу из неё растворенных в расплавленном металле газов, что снижает пористость в соединении. Импульсный характер горения сварочной дуги позволяет повысить её проплавливающую способность, что положительно сказывается на формировании корневого слоя шва при сварке в узкую разделку, что наблюдается при ремонтной заварке трещин. Также при импульсной сварке наблюдается измельчение структуры металла шва и «зоны термического влияния, что повышает эксплуатационные свойства соединения. Качество полученного сварного шва соразмерно с качеством, получаемым при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом, в то время, как производительность по сравнению с этим способом сварки» [15] выше на 200...400 %.

### 2.3 Описание операций проектного технологического процесса ремонтной сварки

Перед тем, как провести ремонтные работы, следует очистить контейнер от грязи изнутри и снаружи. Для этого применяется механическая мойка струёй воды температурой  $+80^{\circ}\text{C}$  с добавлением моющих средств. После мойки контейнеры просушивают на калориферной установке, но может выполняться и просушка естественным путем. Далее проводят дефектовку контейнера, выявляя неисправные участки и узлы. Уточняют границы залегания трещины и помечают кернением её концы, центр засверливания должен находиться на расстоянии 3...5 мм от видимого конца трещины. . После определения и уточнения положения концов трещины выполняют сквозное засверливание с применением сверлильного станка на магнитной платформе, диаметр сверла составляет 6...12 мм в зависимости от толщины исправляемого элемента и раскрытия трещины. Для засверливания применяется представленный на рисунке 13 станок с магнитным основанием.

Для разделки трещины предлагается применить плазменный резак РПВ-101, который запитывается от выпрямителя ВДУ-506, это оборудование представлено на рисунке 14. Ток при плазменной строжке составляет 150...170 ампер при напряжении на сжатой дуге 115...120 вольт, строжку ведут со скоростью от 0,8 до 1, 2 метров в минуту.



Рисунок 13 – Сверлильный станок на магнитной платформе



Рисунок 14 – Оборудование для плазменной подготовки кромок

После того, как трещина была разделана, следует зачистить её торцы с применением шлифовальной машинки, удаляя оплавленный металл. Разделка трещины в проектом варианте предполагает меньший угол раскрытия кромок, так как при импульсном характере горения дуги обеспечивается лучшая её проплавливающая способность и формирование корневого слоя шва. Заполнение разделки проводят с применением механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах. Питание сварочной дуги обеспечивается описанным выше формирователем импульсов. Применяется проволока Св-08Г1НМА диаметром 1,4 мм. В состав такой проволоки входит от 0,5 до 0,9 % углерода, от 1,3 до 1,8 % марганца, от 0,5 до 0,65 % молибдена, от 0,35 до 0,5 % никеля, от 0,2 до 0,4 кремния. Сила сварочного тока устанавливается из диапазоне от 200 до 250 ампер. Скорость подачи проволоки составляет от 100 до 150 мм в секунду, сварку ведут углом назад с вылетом от 13 до 20 мм. Расход защитного газа составляет от 900 до 1200 литров в час. Заполнение разделки проводят в два прохода короткой дугой. Корневой слой сваривают обратно-ступенчатым способом, при этом длина участка составляет 150 мм. Далее проводят очистку поверхности наплавленного металла и визуальный контроль. При обнаружении дефектов выполняют зашлифовку и пересварку дефектного места. При сварке применяют предлагаемый формирователь импульсов, построенный на базе стандартного выпрямителя ВД-252, который представлен на рисунке 15. Для подачи проволоки предлагается применить полуавтомат ПДГ-525. Сварочная проволока и защитная газовая смесь представлены на рисунке 16.



Рисунок 15 – Сварочный выпрямитель ВД-252 и полуавтомат ПДГ-525



Рисунок 16 – Сварочная проволока и защитная газовая смесь

Далее проводят сварку заполняющего слоя с завариванием отверстий по концам трещины. После выполнения сварки проводят визуальный контроль качества. Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с последующим контролем качества. Допускается не более двух повторных сварок на одном месте, после чего дефектный участок конструкции должен быть полностью удален с установкой ремонтной конструкции. Для выполнения визуального контроля применяют лупу с увеличением в 4...7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. Проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, непроваров и несплавлений, незаваренных кратеров и наплывов. Поры не должны иметь размеры более 2 мм, вогнутость сварного шва не должна превышать 0,5 мм, величина подрезов не должна

превышать 2 мм. При ультразвуковом контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм, цепочки пор и шлаковых включений, не допускаются несплавления.

### **Выводы по второму разделу**

Во втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы выполнены поставленные задачи в количестве трех штук. При решении первой задачи. При решении первой задачи на основании выставленной экспертной оценки при анализе преимуществ и недостатков альтернативных способов ремонтной сварки для построения проектной технологии предложено применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. При решении второй задачи повышение эффективности которой достигнуто за счёт применения современных разработок отечественных исследователей-сварщиков в области управления сварочными процессами. При решении третьей задачи составлена проектная технология ремонтной сварки, которая может быть внедрена на ряде ремонтных предприятий Российской Федерации. Далее следует выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе, посвященном обеспечению промышленной и экологической безопасности, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности [1], [5]. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии, на основании которого можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство [12], [13]. Последующее заключение должно содержать выводы и доказательство достижения поставленной цели с рекомендациями по внедрению и направлению исследований в рассматриваемой области наук.

### **3 Промышленная безопасность производственного участка**

#### **3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи**

Полученные в результате решения поставленных задач решения позволяют получить технологический эффект, выраженный в повышении производительности и качества при выполнении ремонтной сварки листовых конструкций на примере грузового контейнера. На основании экспертной оценки альтернативных способов сварки для построения проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. На основании изучения источников научно-технической информации по вопросу расширения технологических предлагается применить импульсное управление сварочной дугой и переносом электродного металла. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 2, которая позволяет получить необходимую информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что является достаточным для идентификации опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Такие операции, как подготовка поверхности труб и сварочных материалов, сборка стыка труб выполняется с привлечением слесаря-сборщика. Для выполнения операции сварки привлекается электросварщик. Для выполнения контрольных операций привлекается дефектоскопист. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или

вредные), от которых следует предложить стандартные средства и организационные мероприятия.

Таблица 2 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки при ремонте трубопровода насосной станции

Операция	Персонал	Оборудование
Зачистка трещины от грязи и краски	«слесарь-сборщик	- угловая шлифовальная машина - керно - щетка металлическая - дрель электрическая
Разделка трещины	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- сварочный выпрямитель - угловая шлифовальная машина - плазменный резак - компрессор
Заполнение разделки	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- полуавтомат сварочный - сварочный выпрямитель - формирователь импульсов - газовая аппаратура
Контроль качества	дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю» [15]	- ультразвуковой дефектоскоп - набор визуального и измерительного контроля

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

### 3.2 Идентификация негативных производственных факторов

Выполнение операций рассматриваемого технологического процесса сопровождается возникновением негативных факторов, источниками которых является применяемое на участке технологическое оборудование. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. Также на участке имеется оборудование, работающего при опасных уровнях напряжения и тока. В таблице 3 представлен перечень возникающих опасных и вредных производственных

факторов. Рассматриваемые неблагоприятные производственные факторы могут быть отнесены к вредным производственным факторам и опасным производственным факторам. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. Ко второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая.

Таблица 3 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Зачистка трещины от грязи и краски	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок</li> <li>- движущиеся части машин и механизмов</li> <li>- отсутствие или недостатков естественного освещения</li> <li>- отсутствие или недостатков искусственного освещения</li> <li>- химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии</li> </ul>
Разделка трещины	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок</li> <li>- движущиеся части машин и механизмов</li> <li>- отсутствие или недостатков естественного освещения</li> <li>- отсутствие или недостатков искусственного освещения</li> <li>- химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - повышенная температура поверхностей</li> </ul>
Заполнение разделки	<ul style="list-style-type: none"> <li>- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания</li> <li>- повышенный уровень шума</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током</li> <li>- инфракрасное излучение</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> <li>- химические вещества в аэрозольном состоянии</li> <li>- повышенная температура поверхностей</li> </ul>
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенный уровень ультразвуковых колебаний</li> <li>- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок</li> <li>- химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - повышенная температура поверхностей</li> </ul>

Представленные в таблице негативные факторы сформулированы согласно ГОСТ 12.0.003-2015 и требуют рассмотрения возможности применения для их нейтрализации технических средств и организационных мероприятий.

### 3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Применяемые стандартные средства и методики, нейтрализующие действие на персонал предприятия идентифицированных негативных производственных факторов, представлены в таблице 4. Для защиты персонала от действия этих факторов возможно применение стандартные и специально разрабатываемых средств, при этом применение специальных средств предусматривается в том случае, если за счёт стандартных инструментов требуемый уровень безопасности не обеспечивается. При выработке решений по защите персонала от негативного воздействия производственных факторов необходимо учитывать их кумулятивное действие, выраженное в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

Таблица 4 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
«отсутствие или недостаток естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия
повышенная температура поверхностей» [5]	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски

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

### 3.4 Пожарная безопасность производственного участка

«Технологические операции с применением сварки характеризуются повышенной пожарной опасностью, что объясняется специфичностью сварочной дуги, как технологического инструмента. Сварочная дуга характеризуется высокой температурой, интенсивным ультрафиолетовым и инфракрасным излучением, искрами, брызгами расплавленного металла» [5], высокой температурой поверхности свариваемых деталей. Для того, чтобы обеспечить горение дуги, применяются источники тока, подвод электрической мощности к которым также может стать причиной возгорания. Также наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 5 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 5 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок проведения сварки при ремонте грузовых контейнеров
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [5]

Если на производственном участке возник пожар, то неизбежно возникают его опасные факторы. К таким факторам относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при

её разрушении. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 6 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 6 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [5]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

При организации противопожарных мероприятий необходимо принимать во внимание приоритетность предупредительных мероприятий. Поэтому особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания на рассматриваемом производственном участке. Для этого запрещается складирование на нем мусора, могущего стать потенциальным топливом, к такому мусору относятся ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта. Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности.

### **3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка**

При построении технологических процессов необходимо выполнять требования не только по обеспечению надлежащего уровня производственной и пожарной безопасности, но и предусмотреть защиту окружающей среды от антропогенного действия, оказываемого на неё со стороны рассматриваемого производственного участка. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс ремонтной сварки грузовых контейнеров, который может представлять опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для защиты атмосферы вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы следует обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу. Таким образом, обеспечиваются требования по экологической безопасности рассматриваемого производственного участка.

## **Выводы по экологическому разделу**

При выполнении настоящего раздела следует обосновать возможность обеспечения требуемого уровня промышленной, пожарной и экологической безопасности, без которого предлагаемые в исполнительском разделе технические решения не могут быть рекомендованы в производство. По результатам анализа операций проектного технологического процесса составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Разработка специальных средств по обеспечению защиты персонала не требуется. При рассмотрении вопросов пожарной безопасности предложен перечень средств и мероприятий, позволяющих предотвратить возникновение на рассматриваемом производственном участке пожара. Установлено, что основной упор следует сделать на предотвращение возникновения ситуаций, в которых возможно возникновение пожара. Соблюдение требований современной мировой экологической повестки заставляет рассматривать производственный участок с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Таким образом, следует сделать вывод о возможности рекомендовать внедрение в производство предлагаемых решений.

## **4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений**

### **4.1. Исходные данные для экономического расчёта**

Ранее был составлен технологический процесс ремонтной сварки при ремонте грузовых вагонов. Проведено обоснование применения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для реализации проектной технологии. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа сварки. Далее сформулированы требования к выполнению операций проектного технологического процесса. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. В таблице 7 «представлены исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей. С применением этих данных предстоит рассчитать временные и экономические показатели базового и проектного вариантов технологии сварки. Поскольку в выпускной квалификационной работе рассматривается ремонтный процесс, то экономические расчёты будут проводиться исходя из работы производственного участка в одну смену» [12]. Вывод о целесообразности внедрения в производство предлагаемых технических решений следует сделать на основании экспертной оценки меняющихся экономических показателей рассматриваемых вариантов технологии.

Таблица 10 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	450 тыс.	850 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	12	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
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	$S$	м <sup>2</sup>	80	80
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м <sup>2</sup>	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» [12]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

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

## 4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования  $F_H$  и эффективный фонд времени работы оборудования  $F_3$ , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени  $B$ . Годовой фонд времени работы оборудования  $F_H$  в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

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

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [12] через коэффициент  $B$ , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается  $B=0,07$ . На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени  $F_3= 2054$  часа.

### 4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства  $\Pi_{\Gamma}$ . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени  $t_{шт}$  для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время  $t_{маш}$ , значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время  $t_{всп}$ , которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места  $t_{обсл}$ , которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых  $t_{отд}$ , которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время  $t_{пз}$ , которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [12] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы:  $t_{шт} = 4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 4,84$  часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы:  $t_{шт} = 2 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,42$  час.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования  $F_3$  и штучного времени  $t_{шт}$  как

$$\Pi_{\Gamma} = F_3 / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы  $\Pi_{\Gamma} = 2054/4,48 = 424$  дефектов за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы  $\Pi_{\Gamma} = 2054/2,42 = 848$  дефектов за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается  $\Pi_{\Gamma} = 300$  ремонтируемых дефектов за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования  $n_{\text{расч}}$  для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени  $F_3$ , годовой программы  $\Pi_{\Gamma}$  и штучного времени  $t_{\text{шт}}$  с учётом коэффициента выполнения нормы  $K_{\text{вн}}$ , значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается  $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [12]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования  $n_{\text{расч.}} = 4,84 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,7$ . Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования  $n_{\text{расч.}} = 2,42 \cdot 300 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$ . Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования  $K_3$ , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить  $K_3 = 0,7/1 = 0,7$  и  $K_3 = 0,4/1 = 0,4$  соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

#### 4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$  проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$ , затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  и затрат на площади  $Z_{\text{пл}}$ . Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены  $C_{\text{м}}$ , нормы расхода  $N_{\text{р}}$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{\text{тз}}$ , значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет  $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [12]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить  $M=354 \text{ р/кг} \cdot 1,58 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,80 \cdot 1,05 : 1000 = 412 \text{ руб.}$  Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить  $M_{\text{баз.}} = 78 \text{ р/кг} \cdot 1 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 : 1000 + 16 \text{ руб.} = 255 \text{ руб.}$

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительную заработную плату  $Z_{\text{доп}}$ , которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$ , коэффициента доплат  $K_{\text{д}}$  и коэффициента дополнительных затрат  $K_{\text{доп}}$ . Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается  $C_{\text{ч}}=300 \text{ руб.}$ ,  $K_{\text{д}}=1,88$  и  $K_{\text{доп}}=0,12$ . Расчёт величины  $Z_{\text{осн}}$ :

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину  $Z_{\text{осн}} = 4,84 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1820 \text{ руб.}$  Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину  $Z_{\text{осн.}} = 2,42 \cdot 200 \cdot 1,88 = 910 \text{ руб.}$

Расчёт величины  $Z_{\text{доп}}$  предусматривает применение следующей математической зависимости:

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину  $Z_{\text{доп}} = 1820 \cdot 0,12 = 218$  руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину  $Z_{\text{доп}} = 910 \cdot 0,12 = 109$  руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину  $\text{ФЗП} = 1820 + 218 = 2038$  руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину  $\text{ФЗП} = 910 + 109 = 1019$  руб.

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

Размер отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$  определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{\text{сн}}$ , значение которого для рассматриваемого производства из таблицы исходных значений принимается  $K_{\text{сн}} = 0,34$ . Расчёт величины  $O_{\text{сс}}$ :

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину  $O_{\text{сн}} = 2038 \cdot 0,34 = 693$  руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину  $O_{\text{сн}} = 1019 \cdot 0,34 = 346$  руб. Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$ , необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления  $A_{\text{об}}$  и затраты на электрическую энергию  $P_{\text{э}}$ . При расчете величины  $A_{\text{об}}$  применяются ранее определенные значения  $F_{\text{э}}$  и  $t_{\text{маш}}$ , а также принятые для рассматриваемого производства

норма амортизации  $N_a$  и стоимость оборудования  $C_{об}$ , значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины  $A_{об}$ :

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_y \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину  $A_{об} = 450000 \cdot 21,5 \cdot 4,84 / 2054 / 100 = 228$  руб. Применение (12) для проектного варианта даёт  $A_{об} = 850000 \cdot 21,5 \cdot 2,42 / 2054 / 100 = 215$  руб.

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

$$P_{эз} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{эз} / КПД. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину  $P_{эз} = 12 \cdot 4,84 \cdot 3,4 / 0,7 = 282$  руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину  $P_{эз} = 20 \cdot 2,42 \cdot 3,4 / 0,85 = 194$  руб.

Величина затрат на оборудование  $Z_{об}$  определяется как сумма  $A_{об}$  и  $P_{эз}$ :

$$Z_{об} = A_{об} + P_{эз}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование  $Z_{об} = 228 + 282 = 510$  руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину  $Z_{об} = 215 + 194 = 409$  руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости  $C_{тех}$  выполняется как сумма затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды  $O_{сс}$ , затрат на оборудование  $Z_{об}$  и затрат на площади  $Z_{пл}$ :

$$C_{тех} = M + ФЗП + O_{сс} + Z_{об} + Z_{пл}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину  $C_{\text{тех}} = 412+2038+693+510+183 = 3836$  руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить  $C_{\text{тех}} = 255+1019+346+409+52=2081$  руб..

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

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

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину  $C_{\text{цех}} = 3836 + 1,5 \cdot 1820 = 3836 + 2730 = 6566$  руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить  $C_{\text{цех}} = 3481 + 1,5 \cdot 910 = 3481 + 1365 = 3446$  руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ , а также коэффициент заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ , значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений  $K_{\text{зав}}=1,15$ . Расчёт величины  $C_{\text{зав}}$  [12]:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение  $C_{\text{зав}} = 6566 + 1,15 \cdot 1820 = 6566 + 2093 = 8659$  руб. Применение (17) для проектного варианта дает  $C_{\text{зав}} = 3446 + 1,15 \cdot 910 = 3446 + 1047 = 4493$  руб.

Для анализа которых на рисунке 15 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса. Калькуляция представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1 «Затраты на материалы	М	412	255
2 Фонд заработной платы	ФЗП	2038	1019
3 Отчисления на соц. нужды	Осн	693	346
4 Затраты на оборудование	Зоб	510	409
5 Затраты на площади	Зпл	183	52
6 Технологическая себестоимость	С <sub>тех</sub>	3836	2081
7 Цеховые расходы	Р <sub>цех</sub>	2730	1365
8 Цеховая себестоимость	С <sub>цех</sub>	6566	3446
9 Заводские расходы	Р <sub>зав</sub>	2093	1047
10 Заводская себестоимость» [12]	С <sub>зав</sub>	8659	4493

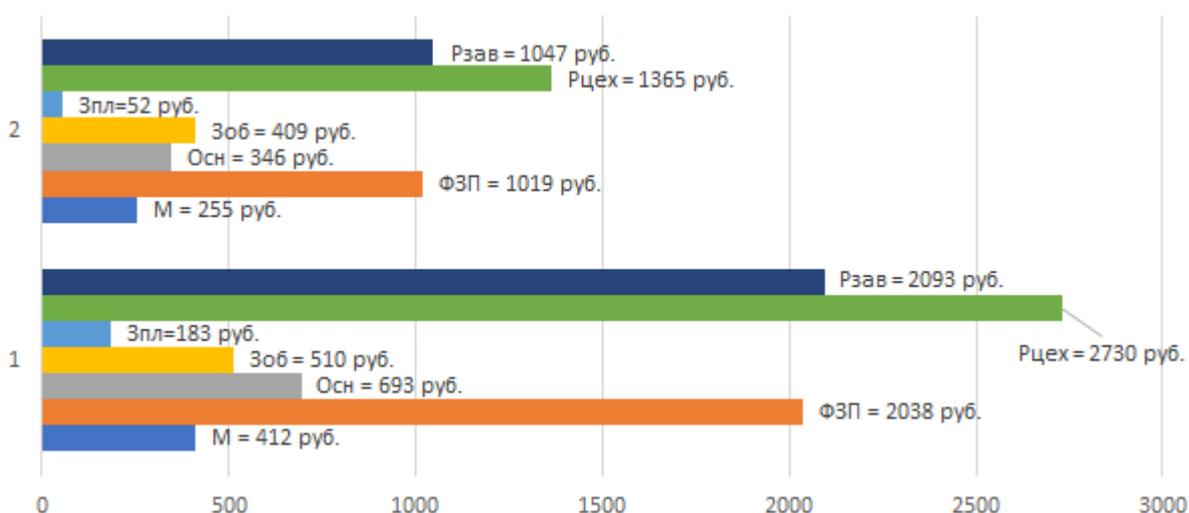


Рисунок 15 – Состав заводской себестоимости

Снижение заводской себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов. Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом.

## 4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.}$ , использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации  $T_c=3$  года и цене оборудования  $\Pi_{перв}= 450$  тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений  $H_a=21,5\%$ » [12]:

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину  $\Pi_{об.б.} = 450000 - (450000 \cdot 3 \cdot 21 / 100) = 166500$  руб.

Величина общих капитальных затрат  $K_{общ.б.}$  в базовом варианте технологии рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки  $K_z$  и остаточной стоимости  $\Pi_{об.б.}$ :

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 1 \cdot 166500 \cdot 0,7 = 116550 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса  $K_{об. пр.}$  рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту  $\Pi_{об.пр.}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_z$ » [12], расчётное значение которого составляет  $K_z=0,4$ . Из таблицы исходных данных принимается  $\Pi_{об.пр.} = 850$  тыс. рублей,  $K_{тз}=1,05$ . «Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 850000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 357000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж  $K_{дем}=0,05$  и цены оборудования  $\Pi_{об.б.}= 450$  тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об. б.} \cdot K_{д} = 450000 \cdot 0,05 = 22500 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж  $K_{\text{мон}}=0,05$  и цены оборудования  $C_{\text{об.пр.}}=400$  тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 850000 \cdot 0,05 = 42500 \text{ рублей.} \quad (22)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 22500 + 42500 = 65000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 357000 + 65000 = 422000 \text{ руб.} \quad (24)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 422000 - 116550 = 305450 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат  $K_{\text{уд}}$  рассчитывается по капитальным вложениям  $K_{\text{доп}}$  с учётом годовой программы  $\Pi_{\text{Г}}$ :

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [12] затрат составляет  $K_{\text{уд}} = 116550/300 = 388$  рублей за один исправляемый дефект. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет  $K_{\text{уд}} = 422000/300 = 1406$  рублей за один исправляемый дефект. Далее могут быть рассчитаны объективные показатели эффективности проектной технологии.

#### 4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (4,84 - 2,42) \cdot 100 \% / 4,84 = 50 \% . \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда  $\Pi_T$ :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 50 / (100 - 50) = 100 \% . \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (3836 - 2081) \cdot 100\% / 3836 = 46 \% \quad (29)$$

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

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T = (8659 - 4493) \cdot 300 = 1249800 \text{ рублей} . \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 305450 / 1249800 = 0,3 \text{ года} . \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_T$  с учетом коэффициента окупаемости затрат  $E_H=0,33$ :

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 1249800 - 0,33 \cdot 305450 = 1149000 \text{ рублей} . \quad (32)$$

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

## **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении настоящей выпускной квалификационной работы рассматривались вопросы повышения эффективности при исправлении дефектов стенки вагонов с применением сварочных технологий. На основании экспертной оценки рассматриваемых способов обосновано применение сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа сварки. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели производства. Далее с использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Таким образом, за счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 50 %, повысить производительность процесса на 100 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 42 %. При капитальных вложениях 167 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,3 года, а экономический эффект составляет 1,149 млн. рублей. Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений. Следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

## Заключение

В ходе выполнения введения обоснована актуальность выбранного направления исследования, целью которого является расширение технологических возможностей при выполнении операций сварки в процессе ремонта грузовых контейнеров. Базовый технологический процесс построен на основе ручной дуговой сварки, однако имеет ряд недостатков, наличие которых заставляет искать другие способы сварки для построения проектного технологического процесса. На основании изученных в ходе выполнения аналитического раздела исходных известных и известных решений по тематике исследования были сформулированы задачи, от полноты решения которой зависит достижение поставленной цели. При решении первой задачи выполнена экспертная оценка рассматриваемых способов сварки на предмет эффективности применения в ремонтном производстве, на основании решения которой обоснован выбор способа сварки для построения проектной технологии – механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения. При решении второй задачи предложен способ повышения эффективности способа сварки с его адаптацией под условия рассматриваемого ремонтного предприятия, что позволило расширить его технологические возможности и повысить эффективность используемого на предприятии сварочного оборудования. При решении третьей задачи составлен перечень операций технологического процесса, назначены параметры режима обработки, выбор оборудования и сформулированы требования к выполнению операций проектного технологического процесса. На основании выполнения настоящего оценочного (экологического) раздела следует сделать вывод, что предлагаемая проектная технология не нарушает установленных нормативной документацией требований по производственной, пожарной и экологической безопасности. Экономический эффект составляет 1,49 млн. рублей. На основании вышеизложенного поставленную цель можно считать достигнутой.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
2. Варуха, Е.Н. Расчёт глубины проплавления изделия при сварке в углекислом газе / Е.Н. Варуха, А.А. Морозов // Автоматическая сварка. – 2002. – № 8. – С. 20–23.
3. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
4. Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 10. С. 3–9.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИИ, 2000. 68 с.
6. Григоренко Г. М., Костин В. А. Прогнозирование температур фазовых превращений в высокопрочных низколегированных сталях // Современная электрометаллургия. № 1. 2013. С. 33-39.
7. Гулаков С. В., Носовский Б. И. К вопросу построения модели сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 2002. № 9. С. 24–28.
8. Илесалиев Д. И. Определение оптимальных значений параметров погрузочно-разгрузочного участка тарно-штучных грузов // Изв. ПГУПС. 2015. № 3. С. 55–63.
9. Карасев М. В., Вышемирский Е. М., Беспалов В. И. Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах // Автоматическая сварка. 2004. № 12. С. 38–41.
10. Карасев М. В., Копиленко Е. А., Павленко Г. В. Основные тенденции развития производства сварочного оборудования в объединении

«СЭЛМА-ИТС» и его применение в России и странах СНГ // Автоматическая сварка. 2002. № 5. С. 52–57.

11. Карасев М. В., Работницкий Д. Н., Павленко Г. В. Сравнительный анализ сварочно-технологических свойств современных выпрямителей для сварки в защитных газах // Сварка в Сибири. 2003. № 2. С. 17–22.

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

13. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

14. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Семенов А. Д. Анализ стратегий складирования поврежденных контейнеров // Вестник Государственного университета морского и речного транспорта им. Адмирала С. О. Макарова. 2021. № 1. С. 37-44.

15. Лебедев В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (Обзор) // Автоматическая сварка. 2010. № 10. С. 45–53.

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

17. Маликов О. Б., Курилов Е. Г., Илесалиев Д. И. некоторые вопросы экономической эффективности перевозки сыпучих грузов в контейнерах // Известия ПГУПС. 2016. № 4. С. 493-500.

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

19. Патент № 2429112 РФ. Устройство для электродуговой сварки / Кармпит Н. А., Крампит А. Г., Крампит М. А. Заявл. 21.12.2009. Опубл. 20.09.2011, бюл. № 26, 6 с.

20. Резер С. М. Логистика и экспедирование грузовых перевозок // М.: ВИНТИ РАН. 2002. 472 с.

21. Сидорец В. Н., Жерносеков А. М., Рымар С. В. Импульсно-дуговая сварка как основа современных технологий сварки плавящимся электродом // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 221–225.
22. Цветков В. А., Зоидов К. Х., Медкль А. А. Проблемы интеграции и инновационного развития транспортных систем России, Украины, Беларуси и Молдовы // Региональные проблемы преобразования экономики. 2011. № 7. С. 11-38.
23. Шлепаков, В.Н. Влияние состава сердечника порошковой проволоки и защитного газа на стабильность процесса дуговой сварки / В.Н. Шлепаков, А.С. Котельчук, С.М. Науменко, А.В. Билинец // Автоматическая сварка. – 2005. – № 6. – С. 18–22.
24. Hoffmann N., Stahlbock R. A decision model on the repair and maintenance of shipping containers // Journal of Shipping and Trade. 2020. № 5. P. 1–21.
25. Hjortnaes T., Wiegmans B., Negenborn R. Minimizing cost of empty container repositioning in port hinterlands, while taking repair operations into account // Journal of Transport Geography. 2017. № 58. P. 209–219.