

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 сварки алюминиевого воздуховода сушилки  
дисперсионных материалов

|              |                                                                                 |                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Обучающийся  | <u>Р.А. Ринк</u><br>(И.О. Фамилия)                                              | <u></u><br>(личная подпись) |
| Руководитель | <u>А.Г. Бочкарев</u><br>(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)                  |                             |
| Консультанты | <u>к.э.н., доцент О.М. Сярова</u><br>(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)     |                             |
|              | <u>к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов</u><br>(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) |                             |

## **Аннотация**

Представленная выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по изготовлению листовых алюминиевых конструкций с применением сварочных технологий. Анализ базовой технологии, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки специальными электродами, позволил сформулировать недостатки, устранение которых обеспечивает достижение поставленной во введении цели. В ходе решения первой задачи на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, применение которой при построении. В ходе решения второй задачи предложено использовать достижения российской науки в области управления сварочными процессами и переносом электродного металла. Модернизированный источник питания может быть построен на базе стандартного сварочного выпрямителя и позволяет существенно расширить технологические возможности механизированной сварки листовых конструкций из алюминия и алюминиевых сплавов. В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология сварки листовых конструкций из алюминия и алюминиевых сплавов на примере воздухопровода сушилки. Предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми мероприятиями. При выполнении экономического раздела проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. С учётом дополнительных капитальных вложений, которые составляют 340 тыс. рублей, ожидается годовой экономический эффект в размере 695,8 тыс. рублей.

## Содержание

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                            | 5  |
| 1 Современное состояние сварки листовых заготовок при изготовлении сушилок. ....          | 8  |
| 1.1 Описание изделия и особенностей его конструкции. ....                                 | 8  |
| 1.2 Анализ материала изделия. ....                                                        | 11 |
| 1.3 Особенности базового технологического процесса сборки и сварки. ....                  | 14 |
| 1.4 Обзор источников научно-технической информации. ....                                  | 17 |
| 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. ...                             | 19 |
| 2 Проектная технология сборки и сварки воздуховода. ....                                  | 20 |
| 2.1 Обоснование выбора способа сварки. ....                                               | 20 |
| 2.2 2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. ....  | 23 |
| 2.3 Операции проектного технологического процесса. ....                                   | 29 |
| 3 Безопасность труда и экологичность. ....                                                | 32 |
| 3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений. .... | 32 |
| 3.2 Профессиональные риски. ....                                                          | 33 |
| 3.3 Устранение профессиональных рисков. ....                                              | 35 |
| 3.4 Пожарная безопасность предприятия. ....                                               | 36 |
| 3.5 Экологическая безопасность производственного участка. ....                            | 38 |
| 4 Экономическая эффективность предлагаемых решений. ....                                  | 40 |
| 4.1 Вводные данные для экономического анализа. ....                                       | 40 |
| 4.2 Фонд времени работы оборудования. ....                                                | 42 |
| 4.3 Штучное время и годовая программа. ....                                               | 43 |
| 4.4 Расчёт заводской себестоимости ....                                                   | 45 |
| 4.5 Капитальные затраты. ....                                                             | 52 |
| 4.6 Экономические показатели эффективности. ....                                          | 56 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Заключение . . . . .                                              | 59 |
| Список используемой литературы и используемых источников. . . . . | 61 |

## Введение

Расширяющаяся область применения алюминиевых сплавов объясняется их выгодными отличиями от применяющихся ранее низкоуглеродистых сталей. Применение алюминиевых сталей в различных отраслях промышленности каждый год повышается на 5...15 %, что отмечено рядом аналитиков [24]. Первым преимуществом алюминиевых сплавов является их высокая коррозионная стойкость, которая обеспечивается защитной пленкой, формирующейся на поверхности деталей. Повышенная коррозионная стойкость позволяет улучшить внешний вид изделий, работающих в агрессивной среде и существенно увеличить длительность их эксплуатации. Вторым преимуществом является высокая обрабатываемость алюминиевых сплавов, что позволяет выполнять из них заготовки сложной формы с меньшими, чем при использовании углеродистых сталей затратами. Третьим преимуществом является низкий удельный вес алюминиевых сплавов, что существенно снижает массу металлических конструкций и имеет решающее значение при изготовлении транспортных и строительных конструкций. Четвертым преимуществом применения алюминиевых сплавов является возможность их повторного использования после утилизации отработанного изделия. Алюминиевых сплав может быть многократно переработан и использован при изготовлении новых деталей и товаров. Кроме того, малая масса деталей из алюминиевых сплавов позволяет экономить на вспомогательных материалах. На транспорте применение алюминиевых сплавов позволяет уменьшить мощность двигателя, применять гибридные технологии и обеспечить работу двигателя в оптимальных условиях, что продлевает его ресурс, снижает потребление топлива и выбросы вредных веществ. В строительной отрасли применение алюминиевых конструкций позволяет уменьшить нагрузку на несущие конструкции здания, что положительно сказывается на ресурсе зданий и позволяет экономить на строительстве. Кроме того, алюминиевые сплавы не

намагничиваются, что положительно сказывается на эксплуатации транспортных и строительных конструкций.

Однако, применение алюминиевых сплавов существенно ограничивается по причине особенностей их сварки, затруднения которой до настоящего времени не разрешены. «Первым затруднением является наличие на поверхности деталей окисной пленки, которая имеет температуру плавления существенно выше, чем температура плавления алюминия, кроме того, плотность окисной пленки больше, чем плотность расплавленного алюминия. В результате этого при сварке части окисной пленки, не растворяясь, тонут в сварочной ванне и загрязняют металл сварного шва» [4]. Вторым затруднением является необходимость применения источников с большей концентрацией энергии по сравнению с оборудованием для сварки углеродистых сталей. По этой причине имеющееся на предприятии оборудование, которое применялось ранее для сварки конструкций из сталей, для сварки алюминия не подойдет, что приводит к существенным затратам при переходе на изготовление изделий из алюминия. Третьим недостатком является резкий переход твердого алюминия в расплавленное состояние, не сопровождающийся изменением цвета, при этом расплавленный алюминий имеет высокую текучесть, что становится причиной опасности вытекания сварочной ванны и образования прожогов и кратеров. Кроме того, затрудняется сварка в отличном от нижнего положениях сварного шва.

Повышение эффективности и расширение технологических возможностей сварки алюминиевых сплавов достигнуто за счёт разработок научных коллективов Института электросварки им. Е. О. Патона, Волгоградского государственного университета и Тольяттинского государственного университета. Наиболее универсальным способом сварки при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов является аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, однако малая производительность и высокая стоимость оборудования, а также нерешенные трудности по обеспечению качества сварного шва обуславливают

применение других способов. «Первым направлением следует признать совершенствование традиционных сварки, таких, как ручная дуговая сварка покрытыми электродами и механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения. Вторым направлением следует признать внедрение перспективных способов сварки, таких, как плазменная и лазерная сварка, сварка трением с перемешиванием» [4].

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварочных операций при изготовлении алюминиевых воздухопроводов. До настоящего момента в базовой технологии применяется сварка покрытыми электродами, «которая с успехом заменила аргонодуговую сварку неплавящимся электродом, позволила упростить требования к построению технологического процесса, повысить производительность и снизить стоимость применяемого оборудования. Однако повышение требований по качеству сварных швов заставляет вести поиск решений в направлении замены способа сварки» [9] без снижения, а возможно и с повышением, производительности работ. Также следует рассмотреть возможность автоматизации процесса сварки конструкций из алюминиевых сплавов, возможность которой появляется в случае повышения стабильности процесса горения дуги и переноса электродного металла. Для этого следует рассмотреть достижения отечественных и зарубежных производителей сварочного оборудования в области расширения технологических возможностей и роботизации сварки деталей из алюминиевых сплавов. На основании вышеизложенного следует признать актуальным выбранное направление исследований и поставленную цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварки листовых конструкций из алюминиевых сплавов на примере воздухопровода сушилки. Поставленная цель будет достигаться с применением достижений и решений, предлагаемых отечественными исследователями-сварщиками, «что позволит повысить конкурентоспособность отечественного производства и независимость от иностранных поставок технологий» [5], [11], [16].

# **1 Современное состояние сварки листовых заготовок при изготовлении сушилок**

## **1.1 Описание изделия и особенностей его конструкции**

На рисунке 1 представлена схема сушильной установки, которая используется в химической промышленности для просушивания дисперсионных материалов.

В состав установки входит печи кипящего слоя, которая на принципиальной схеме обозначена позицией 1. В верхнюю камеру печи 1, которая на принципиальной схеме показана позицией 8, посредством шнекового питателя 2 подается влажный субстрат, который на выходе из питателя поступает на лопастной измельчитель 3, откуда частички сырья, приобретая значительную скорость, выбрасываются через окно 5. После прохождения стержней 6 и конусного отражателя 7 сырье равномерно распределяется «по поверхности верхней решетки, которая обозначена на принципиальной схеме позицией 9. Далее продукт просушивается, насыщается углеродом и по переливным трубам 10 поступает в нижнюю камеру, обозначенную на схеме позицией 11, в которой происходит окончательное обезвоживание и насыщение углеродом продукта на решетке 13, после чего с применением механизма выгрузки 15 готовый продукт извлекается из печи. Топочный газ с высоким содержанием угарного газа поступает в нижнюю камеру 11 печи, где посредством теплообменника 12 нагревает воздух, который поступает под верхнюю решетку 9. Топочный газ поступает из циклонной топки 17, проходит через холодильник 16 и подается в нижнюю камеру печи 11» [6].

Производительность установки по высушенному материалы составляет до 500 килограммов в час, при начальной влажности сырья 3,5 % удается получить влажность продукта 0,95 %. Сушилка позволяет работать с продуктом, имеющим размеры частиц 2...4 мм.

Температура выходящего воздуха составляет порядка 50 °С, температура продукта на выходе также составляет 50 °С. Температура воздуха, который поступает под решетку, составляет порядка 70 °С. На рисунке 2 представлена конструкция воздуховода.

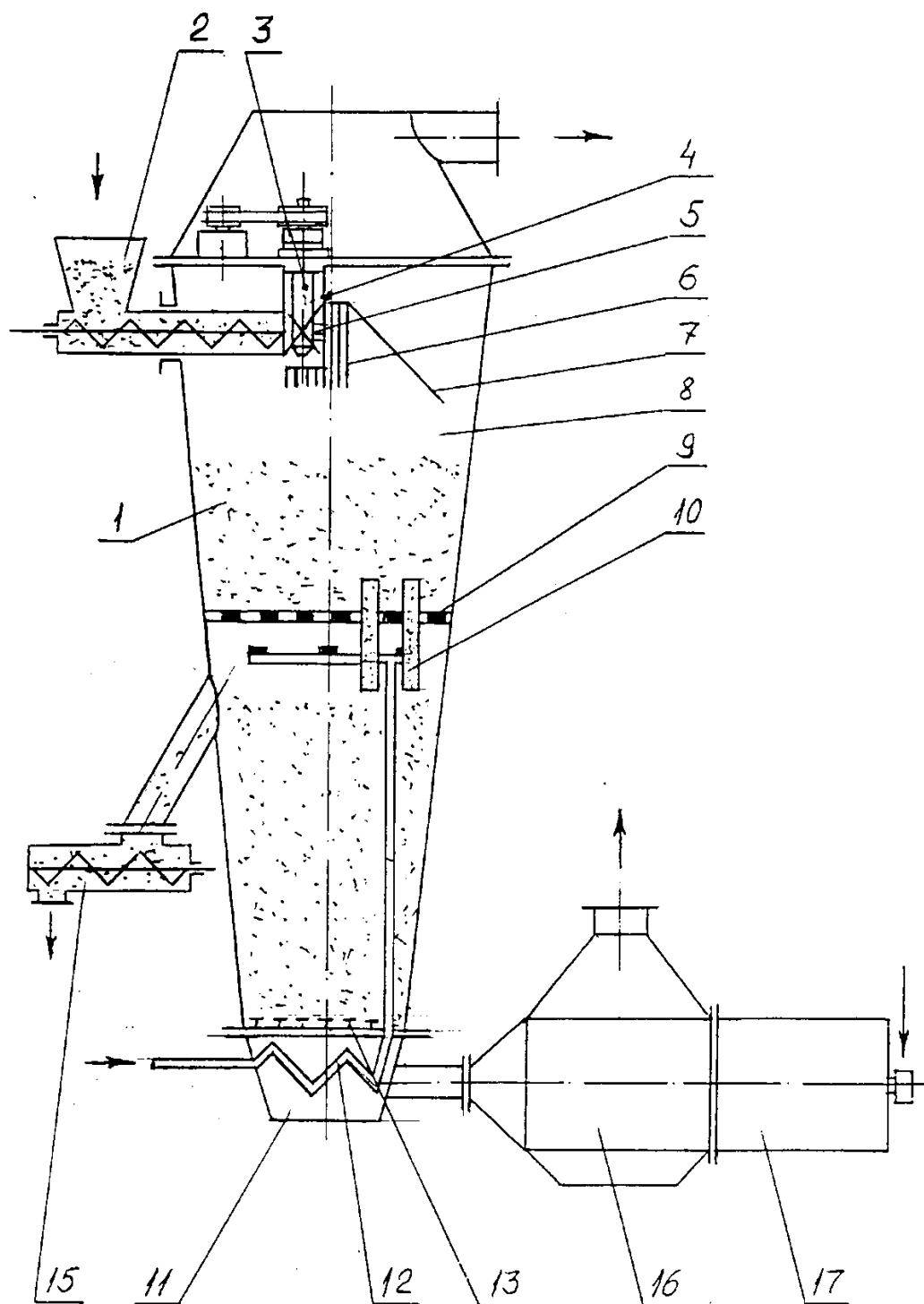
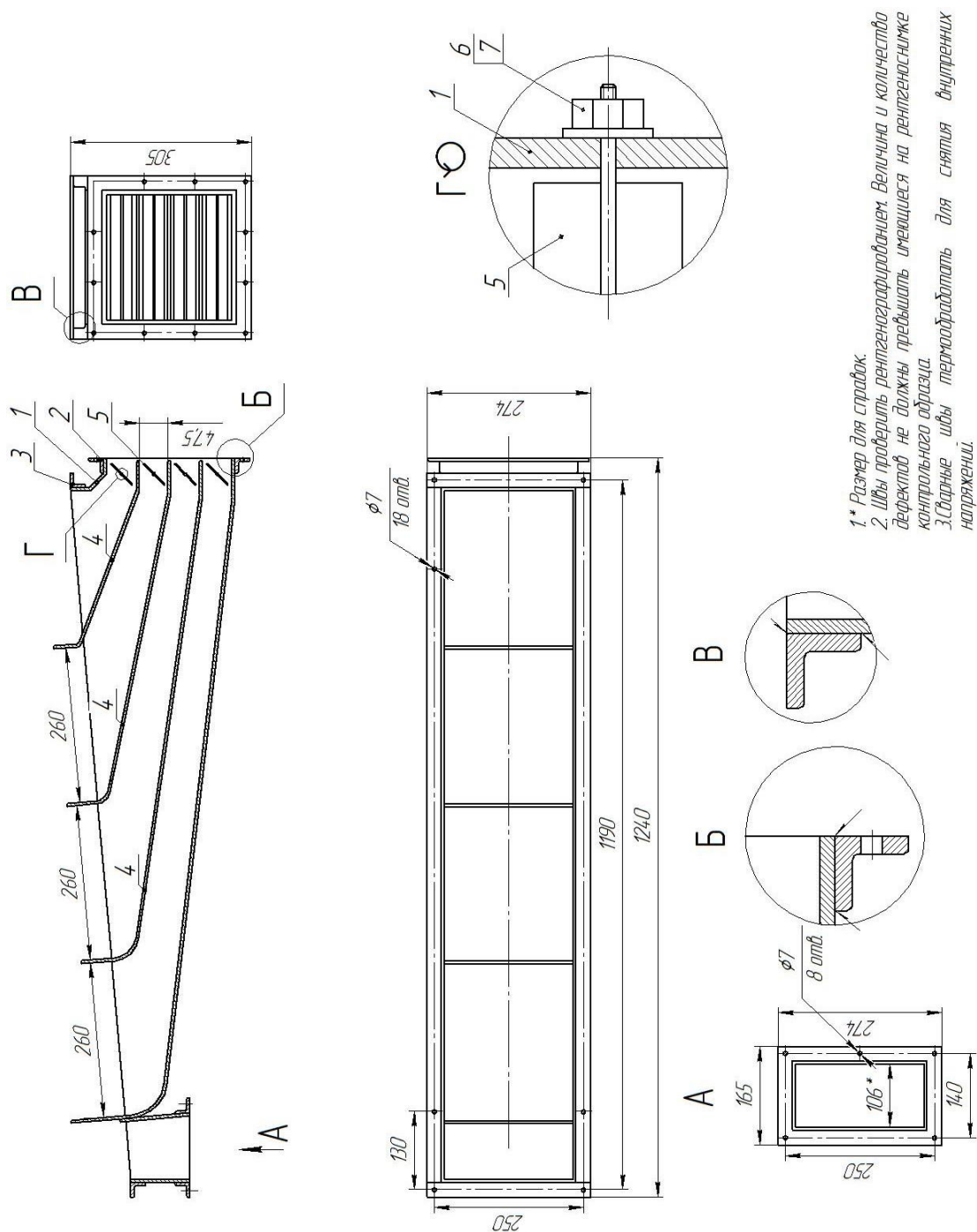


Рисунок 1 – Схема сушильной установки



1 – корпус; 2 – фланец; 3 – уголок; 4 – перегородка; 5 - заслонка

Рисунок 2 – Воздуховод сушилки

«Конструкция воздуховода обеспечивает получить равномерный поток воздуха по всему сечению сушилки, для этого он разделен при помощи перегородок на четыре независимые части. Каждая четверть воздуховода на входе имеет независимо регулируемую заслонку, поворот которой позволяет

регулировать воздушное сопротивление каждой части воздуховода» [6]. За счёт управления положением заслонок обеспечивается поддержание режима просушки сырья.

## **1.2 Анализ материала изделия**

Для производства элементов кожуха применяются листовые заготовки из алюминия марки А5, который широко применяется при «изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов, к которым не предъявляются повышенные требования по прочности. Листы из алюминия марки А5 по причине малого содержания легирующих элементов обладают меньшей стоимостью, чем аналогичные листы из алюминиевых сплавов сложной системы» [20] легирования. Кроме того, материал А5 характеризуется высокой пластичностью, коррозионной стойкостью и более хорошей свариваемостью по сравнению с другими алюминиевыми сплавами. В отожженном состоянии листы из алюминия марки А5 хорошо деформируются, режутся и позволяют изготавливать конструкции сложной формы. В нагартованном состоянии прочность и жёсткость листов значительно повышается. Предел кратковременной прочности алюминия марки А5 составляет 60 МПа, относительное удлинение составляет 20...28 %.

В алюминии марки А5 в качестве примесей может содержаться железа до 0,3 %, кремния до 0,3 %, цинка до 0,06 %, титана до 0,03 %, меди до 0,02 %. Содержание алюминия составляет не менее 99,5 % по массе.

Применение алюминиевых сплавов в различных конструкциях, изготавливаемых в Российской Федерации и в мире будет только увеличиваться [4], [9], [25]. В первую очередь необходимо отметить высокую удельную прочность алюминиевых сплавов в сочетании с малым весом, что позволяет изготавливать металлические конструкции повышенной по сравнению со сталями сложностью. Также следует отметить высокую

теплопроводность алюминиевых сплавов, которая может иметь решающее значение при изготовлении продукции для химической промышленности. Высокая коррозионная стойкость алюминиевых сплавов, хороший внешний вид и высокая обрабатываемость позволяет создавать ответственные и долговечные конструкции. Кроме того, следует отметить возможность вторичной переработки алюминиевых сплавов, что в значительной степени помогает решать задачу экологической безопасности. Значительным стимулом в «расширении применения алюминиевых сплавов в Российской Федерации служит вводимые против алюминиевых олигархов международные санкции, в результате которых продажа алюминия и его сплавов зарубеж затрудняется, и перед российским правительством возникает необходимость решения несвойственной ему задачи развития внутреннего рынка потребления алюминиевых сплавов» [9].

Применение алюминия при изготовлении металлических конструкций существенно сдерживается сложностями, характерными для выполнения сварочных операций [20], [21].

Во-первых, по сравнению «со сталями, алюминиевые сплавы имеют значительно больший коэффициент линейного расширения в сочетании с малым значением модуля упругости в нагретом состоянии, что становится причиной образования высокого уровня остаточных напряжений и деформация при сварке конструкций из алюминия и его сплавов. По сравнению со сталями остаточные деформации могут быть увеличены на 100...200 %.

Второй трудностью сварки алюминиевых сплавов является наличие на поверхности заготовок окислов, температура плавления» [20] которых составляет более двух тысяч градусов, что превышает температуру плавления чистого алюминия. Слой окисла препятствует сплавлению кромок и оказывает значительный загрязняющий эффект.

Третьей проблемой при сварке алюминиевых сплавов является высокая растворимость в расплавленном алюминии газов, что становится причиной

высокой пористости в сварном шве, которая существенно снижает эксплуатационные свойства конструкции.

Четвертой сложностью при сварке является необходимость применения более мощных и концентрированных источников нагрева по сравнению со сваркой сталей, что заставляет приобретать новое сварочное оборудование и существенно увеличивает капитальные вложения при реализации на предприятии технологии сварки алюминиевых сплавов. Необходимость повышения концентрации источников нагрева объясняется высокой теплопроводностью алюминиевых сплавов.

Также следует отметить значительную усадку алюминия при кристаллизации, которая может составлять до 7 %, что становится причиной несплошностей в сварном шве, пор, горячих трещин и остаточных деформаций.

Жидкий алюминий имеет повышенную по сравнению со сталями текучесть, а его переход в расплавленное состояние не сопровождается изменением цвета, это повышает опасность вытекания сварочной ванны и предъявляет высокие требования к квалификации сварщика. Таким образом, кроме затрат на оборудование, предприятию при внедрении сварки алюминиевых сплавов предстоят затраты» [21] на повышение квалификации сварочного персонала.

Значительное повышение качества «сварки при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов обеспечивается тщательной подготовкой поверхности свариваемых деталей» [20].

Для защиты поверхности деталей при сварке и сварочной ванны применяют атмосферу из инертных газов или специальные флюсы. Для повышения стойкости металла сварного шва против горячих трещин в него вводят некоторое количество железа, которое позволяет частично нейтрализовать влияние кремния. Кроме того, через присадочную проволоку в сварной шов могут быть введены такие элементы-модификаторы, как

титан, бор и цирконий, приводящих к измельчению структуры металла сварного шва и повышающих его эксплуатационные свойства.

Повышение качества обеспечивается применением источников энергии высокой концентрации – лазерной сварки, плазменной сварки, электронно-лучевой сварки. Также следует отметить перспективность применения ротационной сварки перемешиванием.

### **1.3 Особенности базового технологического процесса сборки и сварки**

При сварке конструкций из алюминиевых сплавов следует особо тщательно проводить подготовку поверхности заготовок перед сваркой.

Сварку деталей толщиной до 4 мм проводят без разделки кромок при использовании аргонодуговой сварки. Так как в базовой технологии применяется сварка покрытыми электродами, разделку кромок допускается не выполнять для деталей толщиной до 20 мм.

Оксидную пленку перед сваркой удаляют с применением наждачной бумаги путём зачистки заготовок на ширину до 25...30 мм в обе стороны от свариваемых кромок. Вместо наждачной бумаги может быть использована металлическая щетка, щетина которой выполнена из нержавеющей стали диаметром до 0,15 мм.

Далее проводят обезжиривание. Для этого применяется ацетон, уайт-спирит или авиационный бензин.

Сварка деталей должна быть проведена не позднее 24 часов после подготовки поверхности, в противном случае следует провести повторную подготовку поверхности.

При сварке по базовой технологии предусматривается применение предварительного подогрева с использованием восстановительного газового пламени. Температура предварительного подогрева составляет 250...300 °С и

контролируется на ширину до 30 мм от свариваемых кромок с применением термических карандашей.

Прихватку деталей ведут с применением электродов ОЗАНА-1 «диаметром 5 мм, выполнение прихваток проводят на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока составляет 120...150 А. Прихватки также, как и сварку, выполняют только после проведения предварительного подогрева» [20].

Сварку ведут с применением электродов ОЗАНА-1 диаметром 5 мм, которые представляют собой значительно усовершенствованные электроды марок ОЗА-1 и ОЗА-2, по сравнению с предшествующими электродами электроды марки ОЗАНА-1 позволяют получать сварной шов высокого качества и с хорошим внешним видом, пример сварного соединения, выполненного такими электродами, представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Сварочный шов, выполненный электродами ОЗАНА-1

При выполнении сварного шва следует воздерживаться от прекращения сварки до полного расходования электрода, так как при прерывании дуги конец электрода для сварки алюминиевых сплавов покрывается прочной коркой шлака, который не позволяет выполнить стабильного зажигания сварочной дуги.

После выполнения сварного шва следует удалить шлак с поверхности свариваемых деталей и промыть его при помощи теплой воды. Следует

полностью удалить шлак с поверхности деталей, так как его включения впоследствии станут очагами коррозии сварного соединения.

Применение «электродов ОЗАНА-1 позволяет получить прочность сварного шва с временным сопротивлением разрыву 70 МПа с высокими пластическими свойствами – угол изгиба сварного соединения составляет 180 градусов» [20]. В составе электродов ОЗАНА-1 присутствует алюминий как основа, включен кремний в количестве 0,5 % и железо в количестве 0,2 %.

Сварку ведут при помощи представленного на рисунке 4 сварочного инвертора CLOOS QINEO CLE 202.



Рисунок 4 – Сварочный инвертор CLOOS QINEO CLE 202

«После сварки проводят визуально-измерительный контроль по всей длине сварных швов. При контроле обнаруживаются характерные дефекты, которыми являются горячие и холодные трещины, раковины и несплавления, пористость и окисные пленки. Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить. Допускается не более двух ремонтных сварок» [20].

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

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварки листовых конструкций из алюминиевых сплавов. Для того, чтобы добиться повышения эффективности следует применять научно-обоснованные методы, требующие проведения изыскательских работ в двух направлениях. Первое направление предусматривает расширение технологических возможностей традиционных способов сварки и наплавки. Второе направление предусматривает поиск и расширение области применения перспективных новых и способов. Литературный поиск проводим в сети ИНТЕРНЕТ, для чего в качестве ключевых слов используем «сварка алюминиевых сплавов», «повышение качества сварки», «диссертация», «сварка листовых конструкций из алюминия». Также поиск проводим по таким базам знаний, как «Диссеркет», «Киберленинка» и «Е-Лайбрери». Значительное количество статей может быть найдено по результатам поиска системе «ПатонПабlish».

В первом источнике научно-технической информации [8] найдена полезная информация о перспективном способе сварки – сварка трехфазной дугой неплавящимся электродом, который может быть применен как для ремонта деталей из алюминиевых сплавов, так и для сварки. В работе представлен значительный библиографический список по научным разработкам в этой области, который будет использован при обосновании выбора способа сварки, обосновании актуальности выбранного направления исследования и построения проектной технологии, если будет принято решение применить сварку трехфазной дугой неплавящимся электродом.

Во втором источнике научно-технической информации [14] показана эффективность применения для изготовления «конструкций из алюминиевых сплавов механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для расширения технологичности способа предлагается применить импульсную подачу сварочной проволоки, которая позволяет повысить

стабильность горения дуги и переноса электродного металла» [14]. В работе представлен пример промышленного применения способа. Данная работа позволяет судить о «высокой эффективности механизированной сварки алюминиевых конструкций. Показанное в ней направление исследований открывает целы ряд аналогичных работ, которые будут использованы для обоснования актуальности выбранного направления исследования, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии, если будет принято решение применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения» [14].

В третьем источнике научно-технической информации [23] показана высокая эффективность плазменной сварки при изготовлении конструкций из «алюминиевых сплавов, которая может быть ещё более повышена за счёт применения сварки сжатой дугой обратной полярности. Данная работа открывает для нас целое направление исследований и библиографических ссылок, который будут использованы для обоснования актуальности темы выпускной квалификационной работы, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии» [23], если будет принято решение применить сварку сжатой дугой.

В четвертом источнике научно-технической информации [2] показана высокая эффективность плазменной сварки при изготовлении листовых конструкций из алюминиевых сплавов. Данная работа будет использована для обоснования актуальности темы выпускной квалификационной работы, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии, если будет принято решение применить сварку сжатой дугой.

В пятом источнике научно-технической информации [19] показана возможность повышения эффективности сварки аргонодуговой неплавящимся электродом за счёт подогрева присадочной проволоки, что повышает производительность процесса и качество сварного шва. Эта работа будет использована для обоснования выбора способа сварки и актуальности темы выпускной квалификационной работы.

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

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварки листовых конструкций из алюминиевых сплавов на примере воздухопроводов. Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки покрытым электродом. Несмотря на недостатки этого способа применительно к алюминиевым сплавам, решение о предпочтении ручной дуговой сварки перед другими способами принято исходя из универсальности и малых капитальных вложений в организацию производства, так как необходимое оборудование и персонал достаточной квалификации уже имелся на предприятии. Анализ исходных данных и известных решений позволяет сформулировать задачи ВКР, решение которых обеспечит достижение поставленной цели. Первой задачей является обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии, после того, как выпуск изделий был освоен на предприятии и была доказана прибыльность изготовления рассматриваемых изделий. На основании экспертной оценки альтернативных способов сварки следует выбрать способ, применение которого при реализации проектной технологии позволит получить максимальную эффективность. «Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки с использованием достижений российских исследователей. Третьей задачей является построение проектной технологии сборки и сварки изделия, которая предусматривает составление списка операций, формулирование условий и требований к их выполнению, выбор технологического оборудования и назначение параметров режима. Также следует выполнить оценочные разделы выпускной квалификационной работы, в которых будет представлено экологическое» [3], [7] и экономическое обоснование предлагаемых решений [13]. В заключении предстоит показать достижение поставленной цели и сформулировать направления дальнейших исследований.

## **2 Проектная технология сборки и сварки воздуховода**

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

«С учётом химической активности, толщины материала конструкции и протяженности сварных швов для сварки деталей из алюминиевых сплавов могут быть применены такие промышленно внедренные способы сварки, как ручная дуговая сварка покрытыми электродами, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка сжатой дугой» [20].

«При ручной дуговой сварке деталей из алюминиевых сплавов применяют штучные электроды диаметром не менее 4 мм. Сварка электродами меньшего диаметра будет затруднительна по причине высокой скорости плавления электрода. По этой причине толщина свариваемого металла обычно составляет не менее 4 мм, а катет угловых швов не менее 6 мм. Сварку ведут в нижнем положении» [20], потому что при другом пространственном положении становится затруднительным обеспечить стабильность сварочной ванны и её газовую защиту. При выполнении сварных швов особое внимание следует уделять удалению остатков шлака, который становится причиной коррозионного поражения сварного соединения. Сварку в потолочном положении с «применением ручной дуговой сварки не выполняют по причине значительной сложности с удержанием сварочной ванны. При сварке применяют сварочные генераторы или выпрямители, позволяющие обеспечить питание дуги постоянным током обратной полярности, внешняя вольтамперная характеристика источника питания должна быть падающей. Сварку ведут короткой дугой с наклоном порядка 60...90 градусов, что позволяет обеспечить визуальное наблюдение за формированием сварочной ванны. При сварке применяют предварительный подогрев до температуры, зависящей от толщины свариваемых деталей» [20], для подогрева обычно используют газовое пламя.

При сварке обычно ведут электрод без поперечных колебаний. В числе преимуществ ручной дуговой сварки можно отметить высокую универсальность, малые затраты на сварочное оборудование, которое обычно уже имеется на предприятии, высокая мобильность способа и возможность выполнения сварки при отработке выпуска пробных деталей. Недостатками ручной дуговой сварки являются значительное термическое влияние на основной металл, значительное количество дефектов, низкая производительность из-за необходимости смены электродов и тщательной очистки поверхности изделия от шлака.

Значительного повышения качества при сварке изделий из алюминиевых сплавов можно достигнуть в случае замены ручной дуговой сварки аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом. Защитный инертный газ поступает в зону сварки через сопло горелки, защищает неплавящийся электрод и поверхность сварочной ванны от взаимодействия с воздухом. Неплавящийся электрод выполнен из вольфрама и размещается в центре сварочного сопла, подачу присадочного материала обычно выполняют вручную снаружи сопла в зону горения сварочной дуги. Преимуществом аргонодуговой сварки неплавящимся электродом является высокое качество сварного соединения, при сварке не образуется шлак, поэтому нет необходимости прерывать процесс на очистку поверхности сварного шва. Зона термического влияния по сравнению с ручной дуговой сваркой значительно уменьшается, внешний вид и качество сварного шва существенно повышаются. Также следует отметить улучшение условий труда сварщика и общее повышение уровня производства по сравнению с ручной дуговой сваркой. Применение присадочного материала различного состава позволяет регулировать состав и свойства сварного шва. Однако ряд недостатков аргонодуговой сварки неплавящимся электродом ограничивает её применение в промышленности. Во-первых, следует отметить высокую стоимость оборудования по сравнению с оборудованием для ручной дуговой сварки. Во-вторых, производительность сварки значительно снижается.

Кроме того, при сварке требуется привлечение специалистов высокой квалификации, что заставляет увеличивать фонд заработной платы.

Сварка конструкций из алюминиевых сплавов сжатой дугой обычно проходит на постоянном токе обратной полярности. Плазменная сварка характеризуется высокой концентрацией нагрева и малой зоной термического влияния. При правильно организованном процессе качество сварного соединения при применении сварки сжатой дугой становится даже выше, чем при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом. По сравнению с другими способами сварки сжатая дуга позволяет значительно уменьшить зону термического влияния и коробление деталей. Сжатая дуга характеризуется высокой пространственной стабильностью, её горение не нарушается при изменении длины дуги, что позволяет вести сварку по сложной траектории. «Преимуществами сварки сжатой дугой является высокая производительность, уменьшение расхода аргона по сравнению со сваркой неплавящимся электродом, высокая пространственная стабильность дуги, уменьшение зоны термического влияния и коробления деталей, повышение качества сварки. Недостатками сварки сжатой дугой является высокая сложность и стоимость сварочного оборудования, низкая универсальность способа» [20] и необходимость в переподготовке персонала.

Сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет значительно повысить производительность сварки по сравнению со сваркой неплавящимся электродом. При этом сохраняется защита зоны сварки от окружающего воздуха за счёт применяемого для защиты инертного газа, поэтому необходимости очистки поверхности деталей, как это происходит при ручной дуговой сварке, нет. Производительность сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения по сравнению со сваркой неплавящимся электродом выше приблизительно в 2...4 раза. Применение алюминиевой проволоки, которая имеет повышенную по сравнению со стальной проволокой гибкость, вызывает опасность заломов, в результате чего процесс сварки приходится останавливать. Поэтому устройство механизма подачи

проволоки при сварке алюминиевых сплавов сложнее, чем устройство механизма подачи проволоки при сварке стальных конструкций. Пористость металла сварного шва по сравнению со сваркой неплавящимся электродом существенно выше. Также сварка характеризуется повышенным разбрызгиванием электродного металла.

Выполнена экспертная оценка рассматриваемых способов сварки с применением таких критериев, как производительность процесса, условия труда сварщика, эксплуатационные показатели детали после сварки, величина капитальных затрат при построении проектной технологии [17], [22]. На основании этих критериев для построения проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

При построении проектной технологии предстоит рассмотреть вопросы, связанные с повышением эффективности сварки и предложить решения на основе современных достижений российских и зарубежных исследователей.

## **2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения**

Расширение технологических возможностей механизированной сварки алюминиевых сплавов, как и механизированной сварки сталей, возможно за счёт управления переносом электродного металла, для осуществления которого современная схемотехника предоставляет необходимые ресурсы [10]. При этом наиболее показательными положительными эффектами от применения такого управления являются в случае сварки в пространственных положениях, отличных от нижнего, так как предлагаемое управление обеспечивает необходимую стабильность горения дуги и переноса электродного металла в отличие от традиционной сварки стационарно горящей дугой. Кроме того, управление переносом

электродного металла позволяет оптимизировать химический состав и структуру металла сварного шва, уменьшить зону термического влияния и разбрызгивание, повысить энергетические показатели и производительность сварки.

При сварке алюминиевых сплавов высокую эффективность продемонстрировали способы импульсного управления подачей сварочной проволоки, положительные эффекты от внедрения модернизированных механизмов подачи проволоки представлены в работе [14].

Современное оборудование, представленное на мировом рынке сварочной техники, демонстрирует значительный прогресс в области повышения эффективности сварки и реализует разрабатываемые многочисленными фирмами алгоритмы управления сваркой [15].

Значительные успехи в области управления сварочными процессами при изготовлении конструкций из алюминиевых сплавов демонстрирует продукция фирмы «KEMPPi» (Финляндия), реализующая алгоритмы синергетического управления [6]. В сварочном оборудовании фирмы «CLOSS» (Германия) реализован алгоритм управления, получивший условное название «сварка холодной дугой», в котором за счёт регулирования формы импульсов сварочного тока удастся снизить термическую нагрузку на основной металл, при этом за счёт оптимизации теплового баланса при сварке удастся достигнуть одновременного снижения потребления энергии и повышения производительности сварки. Компанией «Lincoln Electric» (США) продвигается на рынок сварочное оборудование, реализующее алгоритм управления, получивший название STT-процесс. При этом реализуемая функция Pulse-in-Pulse обеспечивает очистку капли электродного металла, что при сварке алюминия позволяет получать сварной шов на уровне аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. В работе [18] «представлены результаты внедрения разработанного в Украине способа переноса электродного металла короткими замыканиями, позволяющего получать качество сварного шва, аналогичное сварке неплавящимся

электродом» [20] при повышении производительности работ в 2...4 раза. На рисунке 5 представлено сравнение сварных швов, полученных с применением традиционной механизированной сварки (2) и сварки с импульсным управлением (1).

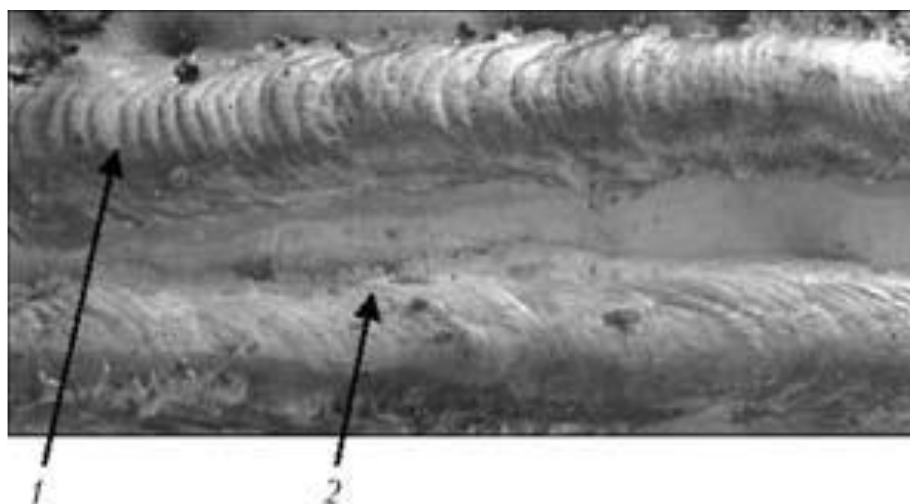
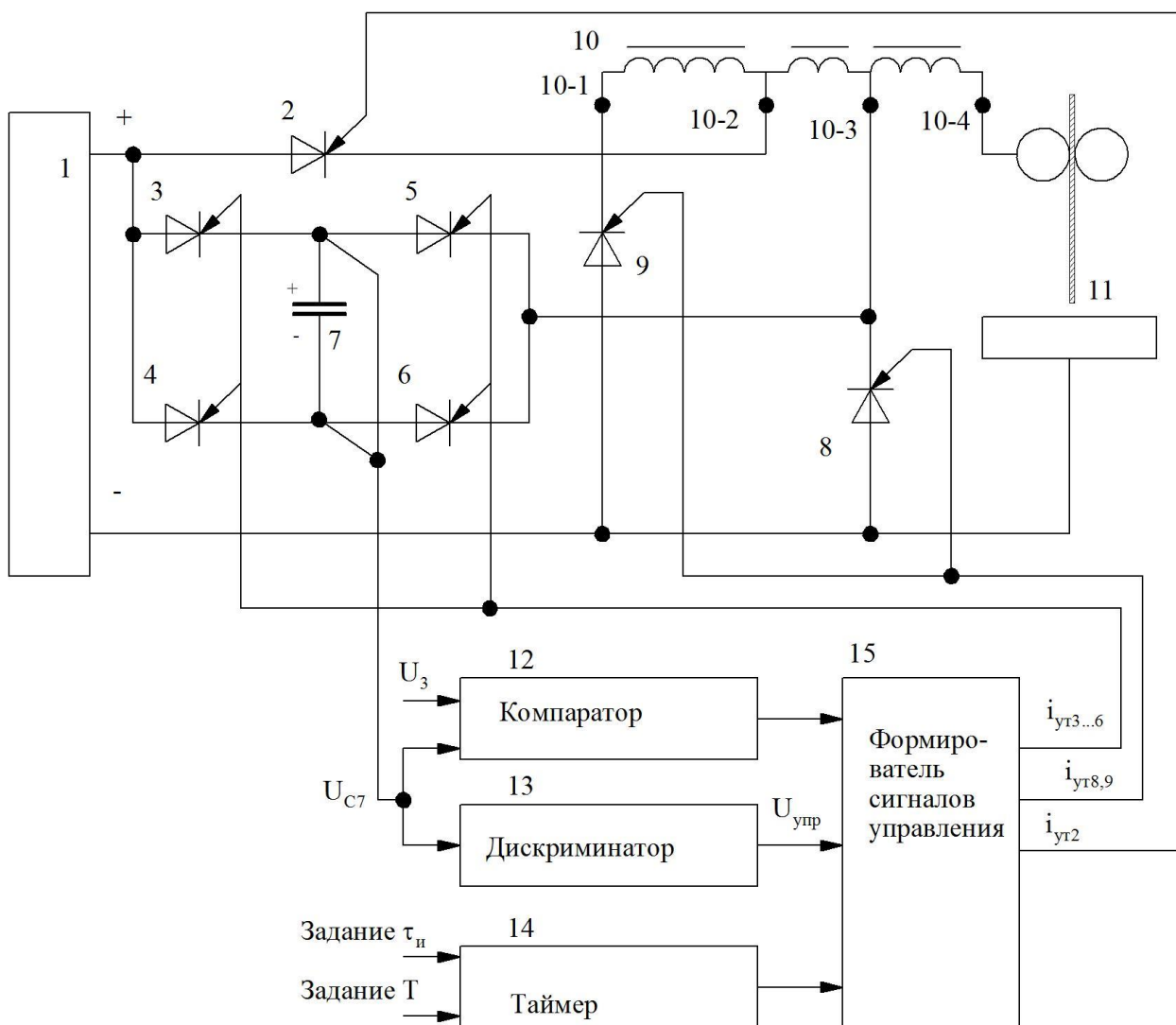


Рисунок 5 – Сравнение внешнего вида сварных швов, полученных с применением традиционной механизированной сварки (2) и сварки с импульсным управлением (1)

Расширение технологических возможностей механизированной сварки конструкций из алюминиевых сплавов предлагается получить за счёт применения разработки российских исследователей в области управления сварочными процессами [1]. На рисунке 6 представлена функциональная схема осуществления способа импульсного управления. Питание дугового промежутка 11 осуществляется от источника постоянного тока 1, который имеет жесткую внешнюю вольтамперную характеристику. Формирование сварочных импульсов обеспечивается мостом с тиристорным управлением, представленным на схеме четырьмя тиристорами 3, 4, 5 и 6, работа которых регламентируется формирователем сигналов управления 15. Повышающий импульс тока формируется за счёт индуктивного накопителя энергии 10 с дросселями 10-1, 10-2, 10-3 и 10-4, которые подключены через управляющие тиристоры 8 и 9, а также силовой тиристор 1 к источнику постоянного тока 1. Сигнал, пропорциональный напряжению импульса, снимается с

конденсатора 7 и поступает на входы компаратора 12 и дискриминатора 13. Задание параметров сварочного импульса осуществляется через таймер 14.



«1 - источник постоянного тока; 2 - силовой тиристор; 3, 4, 5 и 6 - тиристорный мост; 7 - конденсатор; 8, 9 - управляющие тиристоры; 10 - индуктивный накопитель энергии; 11 - дуговой промежуток; 12 - компаратор; 13 - дискриминатор; 14 - таймер; 15 - формирователь импульсов» [1]

Рисунок 6 – Функциональная схема источника питания

Представленная на рисунке 6 функциональная схема импульсного источника питания обеспечивает получение импульсов тока и напряжения, представленных на рисунке 7. «Импульс сварочного тока имеет характеристики  $I_a$  – амплитуда импульса тока,  $I_{п}$  – ток паузы,  $I_{и}$  – ток предимпульса. Управляющие сигналы, которые поступают от формирователя импульсов управления:  $i_{ут2}$  – импульс управления тиристором 2 ,  $i_{ут3...6}$  –

импульс управления тиристорами 3...6,  $i_{\text{ут}8,9}$  – импульс управления тиристорами 8 и 9. От дискриминатора на формирователь импульсов поступает сигнал  $U_{\text{упр}}$ . Таймер задаёт временные параметры импульса: длительность импульса  $\tau_{\text{и}}$  и период следования импульса  $T$ » [1].

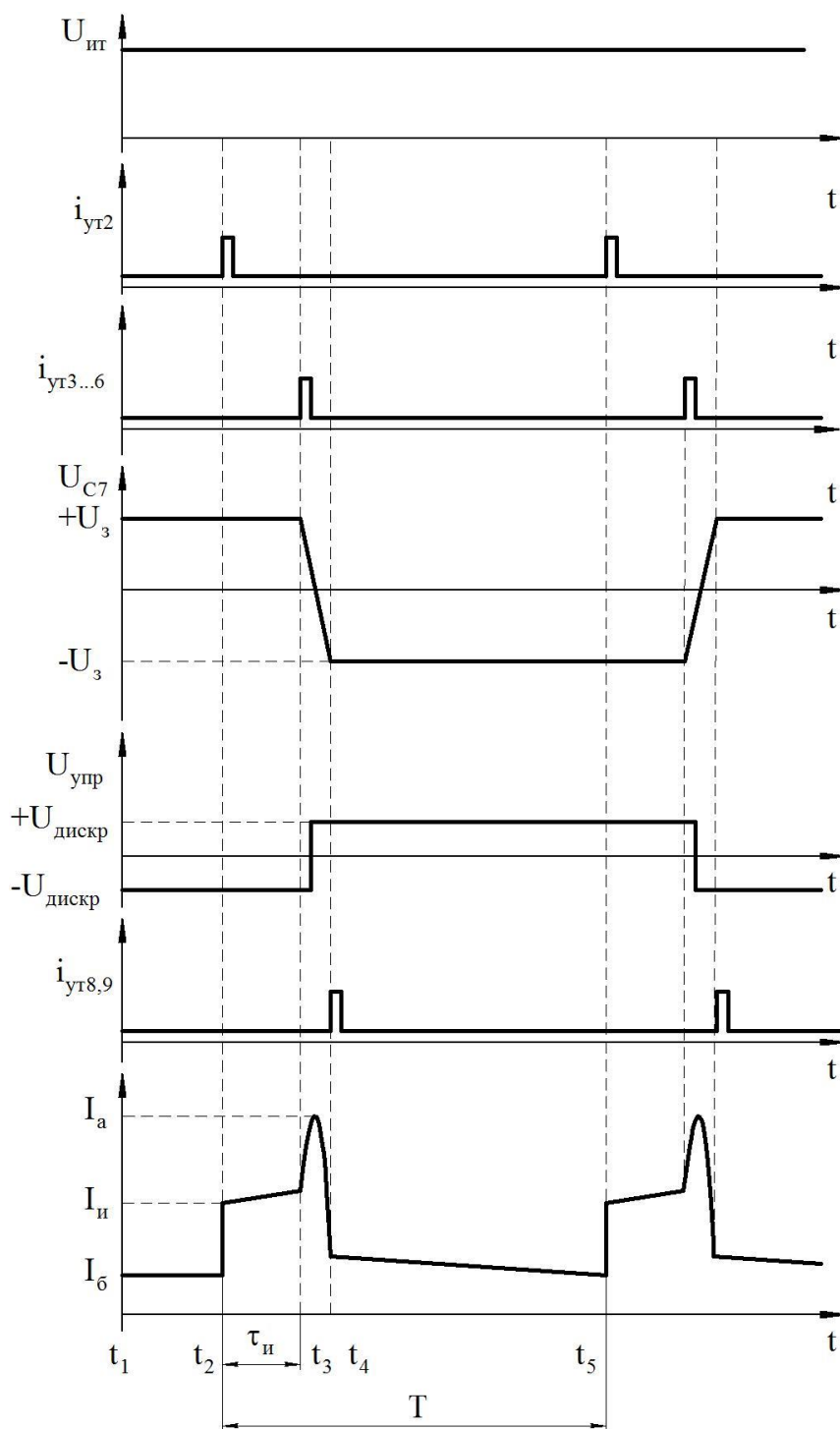


Рисунок 7 – Осциллограммы сигналов в предлагаемом источнике импульсного питания

Применение предлагаемого модернизированного источника питания позволяет расширить технологические возможности имеющегося на предприятиях в значительном количестве оборудования и достигнуть показателей сварного шва, соизмеримых с показателями при сварке неплавящимся электродом. За счёт импульсного управления обеспечивается вибрирующее воздействие на поверхность сварочной ванны, что «позволяет обеспечить интенсивное выделение из неё растворенных газов. Это решает проблему пористости металла сварного шва. Кроме того, при импульсном воздействии удастся уменьшить размеры зерен металла, что позволяет оптимизировать структуру и повысить эксплуатационные свойства сварного соединения» [15]. По сравнению со сваркой неплавящимся электродом, механизированная сварка с импульсным управлением обеспечивает повышение производительности на 100...300 % и приближается по этому показателю к «ручной дуговой сварке. При этом следует отметить отсутствие необходимости удалять шлак и брызги с поверхности деталей после сварки, что, в конечном итоге, существенно повышает производительность сварки даже по сравнению с ручной дуговой сваркой. Также при импульсном управлении снижается текучесть расплавленного металла сварочной ванны, что позволяет вести сварку в различных пространственных положениях» [15] без риска вытекания сварочной ванны. Импульсное воздействие обеспечивает очистку поверхности свариваемых деталей и электродного металла от окисных плен, что позволяет успешно решать проблему включений в сварной шов. Поверхность металла сварного шва мелкочешуйчатая, имеет хороший внешний вид и не требует проведения дальнейшей доводки. В дальнейшем предлагается организация производства, позволяющего обеспечить потребность отрасли в модернизированных источниках питания для механизированной сварки конструкций из алюминиевых сплавов с применением ранее выпущенных в значительном количестве выпрямителей сварочного тока, что позволит обеспечить промышленный суверенитет и сохранить традиции русской сварки.

## 2.3 Операции проектного технологического процесса

«Расходными материалами при механизированной сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения являются сварочная проволока и защитный газ» [20]. В качестве защитного газа предлагается применить смесь из аргона и гелия в соотношении 35...40 % аргона и 60...65 % гелия. Применение такой смеси позволяет повысить производительность и качество при выполнении ответственных конструкций из алюминиевых сплавов. В качестве сварочной проволоки предлагается применить проволоку Св-А5 по ГОСТ 7871 диаметром 1,6 мм.

Сварку предлагается вести в импульсном режиме импульсами «обратной полярности. Сила сварочного тока 120...160 А, вылет сварочной проволоки 10...15 мм, напряжение на дуге 20...22 В, расход защитного газа 8...9 литров в минуту, скорость сварки 25...20 метров в час. Параметрами импульса сварочного тока является ток импульса  $I_{и} = 300...315$  А, ток нормально горящей дуги  $I_{г} = 120...160$  А, ток паузы  $I_{п} = 20...30$  А, длительность импульса тока  $t_{и} = 2$  мс, длительность нормально горящей дуги  $t_{г} = 14...17$  мс, длительность паузы составляет  $t_{п} = 2$  мс» [20].

Для питания сварочной дуги предлагается применить представленный на рисунке 8 сварочный выпрямитель ВД-306.



Рисунок 8 – Выпрямитель ВД-306

Применение такого источника питания является оправданным, так как основные функции по управлению процессом сварки согласно предлагаемому алгоритму возлагаются на описанную выше систему импульсного управления, которая составлена на основании разработок российских ученых в области управления переносом электродного металла и предлагается к внедрению на российских предприятиях.

Подчас сварочной проволоки выполняется с применением представленного на рисунке 9 механизма ПДГ-312-5.



Рисунок 9 – Механизм подачи сварочной проволоки ПДГ 312-5

Оксидную пленку перед сваркой удаляют с применением наждачной бумаги путём зачистки заготовок на ширину до 25...30 мм в обе стороны от свариваемых кромок. Вместо наждачной бумаги может быть использована металлическая щетка, щетина которой выполнена из нержавеющей стали диаметром до 0,15 мм.

С «применением 5% раствора едкого натра, нагретого до 60...80 °С, выполняют обезжиривание поверхности деталей в течение 2 минут. После этого выполняют промывку деталей в проточной воде сначала при температуре 45 °С, потом при комнатной температуре. Далее выполняют осветление поверхностей с применением раствора азотной кислоты

концентрацией 15 % в течение 2...5 минут. После этого выполняют промывку деталей в проточной воде сначала при температуре 45 °С, потом при комнатной температуре. Далее выполняют сушку деталей теплым воздухом.

После сварки проводят визуально-измерительный контроль по всей длине сварных швов. При контроле обнаруживаются характерные дефекты, которыми являются горячие и холодные трещины, раковины и несплавления, пористость и окисные пленки. Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить. Допускается не более двух ремонтных сварок.

Для выявления внутренних дефектов проводят ультразвуковой контроль качества с применением дефектоскопа УД 2-12. Недопустимыми дефектами являются: газовая пористость, окисные пленки, трещины и прожоги, наплывы, незаваренные кратеры, непровары, подрезы и вывод кратера на основной металл» [20].

Выводы по второму разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы является исполнительским и содержит описание решений поставленных ранее задач. На основании экспертной оценки выполнено обоснование выбора способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Расширение технологических возможностей механизированной сварки конструкций из алюминиевых сплавов предлагается получить за счёт применения разработки российских исследователей в области управления сварочными процессами. Составлена проектная технология сварки, назначены параметры режима, выбрано технологическое оборудование и сформулированы требования к выполняемым операциям. Дальнейшие работы направлены на экологическое и экономическое обоснование предлагаемых решений, которые будут выполнены в оценочных разделах выпускной квалификационной работы.

### **3 Безопасность труда и экологичность**

#### **3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений**

В настоящей выпускной квалификационной работе предложены технические решения по повышению эффективности сварки листовых конструкций из алюминиевых сплавов на примере воздуховодов сушилки дисперсионных материалов. В аналитическом разделе выпускной квалификационной работы приведены особенности выполнения операция базового технологического процесса, сформулированы задачи. Второй раздел выпускной квалификационной работы содержит описание проектной технологии с применением предлагаемых технических решений. Выбрано технологическое оборудование, назначены параметры режима и требования к выполнению каждой операции. В исполнительском разделе представлены решения, обладающие технологической эффективностью, однако для обоснования их внедрения следует выполнить оценочные разделы. Данный раздел является оценочным. В ходе его выполнения предлагается выделить негативные производственные факторы, которые возникают на рассматриваемом производственном участке, влияние этих факторов на окружающую среду и персонал предприятия, составить перечень мер, позволяющих эффективно нейтрализовать идентифицированные антропогенные, опасные и вредные факторы. Кроме того, предлагается рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности производства. В таблице 1 представлены особенности укрупненного проектного технологического процесса, которые позволяют выявить производственные объекты и участников, которые могут подвергнуться действию негативных производственных факторов. Данные для заполнения таблицы выбираются исходя из составленного в предыдущем разделе проектного технологического процесса.

Таблица 1 – Особенности реализации проектного технологического процесса

| Операция                 | Персонал           | Оборудование                                                                                                         | Материалы                                                 |
|--------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| «Подготовка к сварке     | Электрогазосварщик | Щётка металлическая, ванна помывочная, компрессор, приспособление для сборки                                         | Раствор едкого натра 10%, вода техническая, воздух сжатый |
| Сварка                   | Электрогазосварщик | Приспособление для сборки, источник питания сварочной дуги, сварочная горелка, механизм подачи электродной проволоки | Ацетон, вата, аргон, присадочная проволока                |
| Контроль качества сварки | Дефектоскопист     | Контрольный стол, лупа, ультразвуковой дефектоскоп                                                                   | Масло техническое, кисть» [20]                            |

Данные таблицы 1 позволяют идентифицировать возникающие в процессе реализации проектной технологии негативные производственные факторы.

### 3.2 Профессиональные риски

Выполнение технологических операций на рассматриваемом производственном участке будет неминуемо сопровождаться возникновением негативных производственных факторов, которые могут быть классифицированы как опасные факторы или вредные факторы. В результате действия на персонал опасного фактора наблюдается повышение вероятности получить травму. В результате действия на персонал вредного производственного фактора наблюдается ухудшение самочувствия и возникновение профессиональных заболеваний. Необходимо помнить, что общее действие нескольких негативных факторов не равно их сумме, так как действующие одновременно факторы усиливают друг друга, это представляет дополнительную угрозу для персонала предприятия. В таблице 2 представлена информация о возникающих в ходе реализации проектной технологии опасных и вредных производственных факторах.

Таблица 2 – Негативные производственные факторы проектной технологии

| Операция             | Негативный фактор                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Источник фактора                                                                                                            |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Подготовка        | «наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования<br>движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования<br>повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне<br>повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека» [7] | «щётка металлическая, края изделия, приспособление для сборки, механический инструмент» [20]                                |
| 2. Сварка            | «высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов<br>повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека<br>повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне» [7]                                                                                                         | «приспособление для сборки, источник питания сварочной дуги, сварочная горелка, механизм подачи электродной проволоки» [20] |
| 3. Контроль качества | «наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования<br>движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования<br>высокий уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне» [7]                                                                                                                    | «гряя изделия, приспособление для сборки, аппаратура ультразвукового контроля» [20]                                         |

Источниками негативных производственных факторов выступает применяемое сварочное оборудование и непосредственно открыто горящая сварочная дуга. Также источником негативных факторов выступает вспомогательное оборудование, в ходе эксплуатации которого возможно получение травм. Дальнейшие работы предусматривают поиск и оценку эффективности технических решений и организационных мероприятий, направленных на нейтрализацию негативных производственных факторов. Поиск средств защиты следует вести в области известных решений и арсенала современного предприятия. В случае, если стандартными методами безопасность труда обеспечиваться не будет, возникнет необходимость в разработке специальных решений для нейтрализации опасных и вредных производственных факторов.

### 3.3 Устранение профессиональных рисков

Для проектной технологии был получен перечень негативных производственных факторов, оказывающих влияние на персонал предприятия в ходе реализации проектного технологического процесса. Для их эффективной нейтрализации должны быть предложены решения, включающие в себя перечень технических средств и организационных мероприятий. Стандартные меры, реализация которых на современном предприятии позволяет обеспечить требуемый уровень промышленной безопасности, представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Средства и мероприятия по обеспечению безопасности труда

| «Негативный фактор                                                                                       | Техническое решение                                                                | Средства защиты                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1. Наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок                            | Периодический инструктаж по технике безопасности                                   | Перчатки, спецодежда.                                                 |
| 2. Движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования                                   | Нанесение предостерегающих надписей, соответствующей окраски, установка ограждений | Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками |
| 3. Высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов                                 | Периодический инструктаж по технике безопасности                                   | Спецодежда, перчатки                                                  |
| 4. Повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека | Организация заземления электрических машин и периодического контроля изоляции.     | Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками |
| 5. Высокий уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне                                                    | Экранирование зоны сварки при помощи щитов                                         | Спецодежда, маска сварщика                                            |
| 6. Высокий уровень инфракрасной радиации                                                                 | Экранирование зоны сварки при помощи щитов                                         | Спецодежда, маска сварщика» [7]                                       |

Представленные в таблице 3 средства направлены на обеспечение требуемого уровня промышленной безопасности, делают возможным снижение травматизма и профессиональных заболеваний. Особую значимость имеет соблюдение трудовой дисциплины и порядка на рабочем

месте. Многолетняя производственная практика позволила заключить, что именно небрежное отношение к соблюдению чистоты и порядка на рабочем месте становится главной причиной травматизма, возникновения внештатных ситуаций и снижения качества выпускаемой продукции. Представленный перечень опасных и вредных производственных факторов является стандартным набором, сопровождающим реализацию технологических процессов на современном предприятии, нейтрализация которого не должна встретить значительных затруднений. Разработка специальных технических средств и методик для обеспечения безопасности труда не требуется.

### **3.4 Пожарная безопасность предприятия**

Технологический процесс с применением сварочных операций существенно повышает опасность возникновения пожара на производственном участке. Источником опасности становится сварочная дуга и устройства для термической обработки. Также следует принимать во внимание, что для питания технологического оборудования требуется подвод электрической энергии значительной мощности, нарушение в работе силовой аппаратуры предприятия также становится причиной возникновения пожаров. В таблице 4 представлена информация по идентификации пожара, возникновение которого возможно на рассматриваемом производственном участке при неблагоприятном стечении обстоятельств. Как видно из представленных данных, пожар следует отнести к классу «Е», поскольку при его возникновении на всем этапе протекания и тушения сохраняется высокая опасность поражения электрическим током. В случае пожара люди могут подвергнуться потоку раскаленного воздуха, испытать снижение концентрации кислорода, подвергнуться инфракрасному излучению, действию открытого пламени, отравляющему действию продуктов горения. Также при пожаре ухудшается видимость и возможно обрушение

конструкций, что препятствует эвакуации персонала и тушению пожара. В ходе пожара может происходить нарушение электрической изоляции, что может стать причиной травм. В таблице 5 представлен предлагаемый набор средств, направленных на обеспечение пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка.

Таблица 4 – Идентификация опасных факторов при пожаре

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

Таблица 5 – Средства тушения пожаров на производственном участке

|                                                            |                                                                                         |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| «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                                        | Ведро конусное, лом, лопата штыковая                                                    |
| Пожарные сигнализация, связь и оповещение                  | Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [7] |

Особое внимание следует уделить соблюдению трудовой дисциплины, которая позволяет значительно снизить опасность возгорания. Кроме того, с персоналом следует проводить тренинги и инструктаж, направленный на повышение ответственного отношения к трудовому процессу и отработке поведения в случае возникновения внештатных ситуаций.

### 3.5 Экологическая безопасность производственного участка

Реализация технологии сварки сопровождается антропогенным действием на окружающую среду, которое в значительной степени может быть уменьшено при условии проведения природосберегающих мероприятий, которые предусматриваются при построении процессов на современном производстве. Оборудование для сварки характеризуется негативным действием на природные составляющие, к которым относят гидросферу, литосферу и атмосферу. Происходит выброс значительного числа аэрозолей, твердых и жидких отходов, загрязняющих составляющие природы. Защита природы от антропогенного действия со стороны рассматриваемого производственного участка обеспечивается рядом мероприятий, представленных в таблице 6.

Таблица 6 – Защита от антропогенных факторов

| Наименование объекта   | Производственный участок установленным на нём технологическим оборудованием                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| действие на атмосферу  | «Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [7]                                                             |
| действие на гидросферу | «Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [7]                                                                                       |
| действие на литосферу  | «На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [7] |

Особое внимание следует уделить селективному сбору мусора, которое не требует значительных капитальных вложений, но существенно снижает негативное действие на окружающую среду. Кроме того, селективный сбор мусора повышает культуру производства, и положительно сказывается на качестве работ и условиях труда персонала. Помимо этого возможно снижение затрат предприятия из-за возможности рециклинга промышленных отходов.

## Выводы по экологическому разделу

Представленный экологический раздел содержит анализ технического объекта – участка для сборки и сварки листовых конструкций из алюминиевых сплавов. Были рассмотрены особенности функционирования производственного участка при реализации проектной технологии, составлен перечень, выполнен анализ опасных и вредных производственных факторов, действие которым может негативно сказаться на состоянии и здоровье персонала предприятия. Эффективные средства, обеспечивающие нейтрализацию негативных факторов, предложены и проанализированы с точки зрения их эффективности при применении на рассматриваемом производственном участке. Показано, что предлагаемые меры являются стандартными для современного предприятия. Разработки специальных средств защиты персонала от опасных и вредных производственных факторов помимо предложенных в настоящем разделе стандартных решений не требуется. При рассмотрении вопроса обеспечения пожарной безопасности производственного участка, проведена оценка рисков, возникающих при пожаре, предложены меры по обеспечению пожарной безопасности и тушению возникающих пожаров. В разделе проведена оценка антропогенного действия производственного участка на окружающую среду, составлен перечень мероприятий, позволяющих повысить экологичность рассматриваемого промышленного объекта, значительно уменьшить нагрузку на окружающую среду со стороны предприятия.

На основании результатов работы над экологическим разделом можно заключить, что предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми в разделе мероприятиями.

## **4 Экономическая эффективность предлагаемых решений**

### **4.1 Вводные данные для экономического анализа**

В настоящей выпускной квалификационной работе описаны мероприятия, направленные на повышение эффективности базовой технологии на примере конкретной детали. Предыдущие разделы выпускной квалификационной работы содержат анализ исходных данных и предварительный анализ известных решений, постановку задач на выполнение работ приведены в аналитическом разделе. На основании критического анализа известных решений обоснован выбор наиболее эффективного способа сварки. Также описываются решения, позволяющие расширить технологические возможности выбранного способа, приведено описание операций. Анализ возможности реализации предлагаемых решений с соблюдением современных требований по технике безопасности, проведения противопожарных мероприятий и обеспечения экологичности производственного участка выполнены в первом оценочном разделе выпускной квалификационной работы. Настоящий раздел также является оценочным и предназначен для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений на современном предприятии, для чего необходимо выполнить сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного вариантов технологии. Количественные показатели (исходные данные), которые будут использованы в ходе выполнения экономических расчётов, представлены в таблице 7. Значения коэффициентов, необходимых для расчётного определения показателей технологии, представлены в таблице 8. На основании представленных данных, показателей базовой и проектной технологии, предстоит оценить величину технологической, цеховой и заводской себестоимости в рассматриваемых вариантах, объем капитальных вложений и изменение экономических параметров с выходом на оценку годового экономического эффекта [12].

Таблица 7 – Количественные показатели для экономического анализа

| Показатель                           | Обозначение | Единицы измерения       | Значение (базовый вариант) | Значение (проектный вариант) |
|--------------------------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|
| «Стоимость оборудования              | Цоб         | руб.                    | 300 тыс.                   | 800 тыс.                     |
| Мощность оборудования                | Муст        | кВт                     | 12                         | 20                           |
| Коэффициент полезного действия       | КПД         | -                       | 0,85                       | 0,85                         |
| Площадь под оборудование             | S           | м <sup>2</sup>          | 40                         | 40                           |
| Разряд работников                    | Рр          | -                       | V                          | V                            |
| Часовая тарифная ставка              | Сч          | Р/час                   | 200                        | 200                          |
| Стоимость эксплуатации площадей      | Сэксп       | (Р/м <sup>2</sup> )/год | 2000                       | 2000                         |
| Цена производственных площадей» [12] | Цпл         | Р/м <sup>2</sup>        | 30000                      | 30000                        |

Таблица 8 – Значения коэффициентов для проведения расчётов

| Показатель                                                | Обозн.                               | Единицы измерения | Значение |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------|
| «Коэффициент доплат к основной заработной плате           | К <sub>осн</sub>                     | %                 | 12       |
| Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату | К <sub>доп</sub>                     | -                 | 1,88     |
| Коэффициент отчислений на социальные нужды                | К <sub>сн</sub>                      | %                 | 34       |
| Коэффициент выполнения нормы                              | К <sub>вн</sub>                      | -                 | 1,03     |
| Коэффициент транспортно-заготовительных расходов          | К <sub>т-з</sub>                     | %                 | 5        |
| Цена электрической энергии для предприятия                | Цэ-э                                 | Р/ кВт            | 4,7      |
| Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования      | К <sub>мон</sub><br>К <sub>дем</sub> | %                 | 3<br>5   |
| Норма амортизации площади                                 | На.пл.                               | %                 | 5        |
| Норма амортизации оборудования                            | К <sub>а</sub>                       | %                 | 21,5     |
| Коэффициент эффективности капитальных вложений            | Ен                                   | -                 | 0,33     |
| Коэффициент цеховых расходов                              | К <sub>цех</sub>                     | -                 | 1,5      |
| Коэффициент заводских расходов» [12]                      | К <sub>зав</sub>                     | -                 | 1,15     |

Основным отличием, определяющим эффективность проектной технологии по сравнению с базовым вариантом, является замена способа сварки с применением передовых достижений сварочной науки. Описываемые в исполнительском разделе решения обеспечивают повышение качества и производительности, что даже в условиях применения оборудования большей стоимости должно обеспечить получение

экономического эффекта, доказательством чего послужат последующие расчёты.

#### 4.2 Фонд времени работы оборудования

При расчётном определении основных параметров, при помощи которых может быть оценена экономическая эффективность производства, в большинстве формул применяется значение эффективного фонда времени работы оборудования  $F_э$ . Этот параметр измеряется в часах и пропорционален количеству смен  $K_{см}$  в одном рабочем дне, которое в зависимости от особенностей производства может составлять  $K_{см}=1$  или  $K_{см}=2$ . Также на величину  $F_э$  оказывает влияние принимаемое количество рабочих дней в году  $D_p$ , которое в настоящий момент принимается равным  $D_p=277$ . При расчётном определении фонда времени работы оборудования следует учитывать уменьшение продолжительности смены в предпраздничные дни, которое составляет  $T_{п}=1$  час для количества праздничных дней  $D_{п}=7$  дней. Стандартная продолжительность рабочей смены принимается равной  $T_{см}=8$  часов. С учётом представленных исходных данных рассчитывается номинальный фонд рабочего времени  $F_n$

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

Эффективный фонд времени  $F_э$  отличается от номинального  $F_n$  в меньшую сторону, что объясняется возникновением в процессе работы производственного участка внештатных ситуаций и случаев нарушения трудовой дисциплины. Это характеризуется коэффициентом потерь рабочего времени, который для рассматриваемой технологии составляет  $B = 7 \%$ . С учётом этого

$$F_э = F_n(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Таким образом, расчёты проводим с величиной  $F_3 = 2054$  часов. Эта же величина будет использована для расчётного определения экономических показателей при сопоставительном анализе рассматриваемых вариантов технологии.

#### 4.3 Штучное время и годовая программа

Для расчётного определения экономических показателей, характеризующих анализируемый технологический процесс, следует задаться штучным временем  $t_{шт}$ , которое затрачивается на изготовление или ремонт одного изделия. Для этого необходимы сведения по особенностям выполнения операций базовой технологии, которые были представлены в первом разделе выпускной квалификационной работы, и сведения по особенностям выполнения операций проектной технологии, которые были представлены во втором разделе. Главной составляющей штучного времени служит машинное время  $t_{маш}$ , значение которого определяется исходя из особенностей рассматриваемой технологии. Базовый вариант характеризуется  $t_{маш}=10$  часов, проектный вариант характеризуется  $t_{маш}=7$  часов. Также в состав штучного времени включено вспомогательное время  $t_{всп}$  в размере 10 % от  $t_{маш}$ . В случае реализации базовой технологии  $t_{всп}=1$  час, в случае реализации проектной технологии  $t_{всп}=0,7$  часа. Приблизительно 5 % от  $t_{маш}$  затрачивается на обслуживание рабочего места, что характеризуется переменной  $t_{обсл}$ . Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, принимается  $t_{обсл}=0,5$  часа. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант технологии, следует принимать  $t_{обсл}=0,35$  часа. Приблизительно 5 % от  $t_{маш}$  затрачивается на личный отдых работника, что характеризуется переменной  $t_{отд}$ . Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, следует принимать  $t_{отд}=0,5$  часа. При реализации на производственном участке проектного варианта принимают  $t_{отд}=0,35$  часа. Приблизительно 1% от  $t_{маш}$

затрачивается работником на изучение и сдачу производственного задания, что характеризуется значением подготовительно-заключительного времени  $t_{пз}$ . В зависимости от реализуемого на производственном участке варианта технологии  $t_{пз}=0,1$  часа для базового варианта и  $t_{пз}=0,07$  часа для проектного варианта.

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

На основании исходных данных последующие расчёты проводим при  $t_{шт}=12,1$  часа при базовом варианте. При проектном варианте последующие расчёты выполняем исходя из значения штучного времени  $t_{шт}=8,7$  часа.

Годовая программа  $\Pi_{г}$  определяет количество изделий, которое предстоит выпустить в течение одного календарного года и определяет значения коэффициентов загрузки оборудования, который в дальнейшем будут использованы для расчётного определения экономических показателей базового и проектного вариантов. Величина годовой программы  $\Pi_{г}$  может быть вычислена исходя из ранее определенного фонда времени работы оборудования  $F_{э}$  и штучного времени  $t_{шт}$

$$\Pi_{г} = F_{э} / t_{шт} . \quad (4)$$

Таким образом, может быть выполнено расчётное определение годовой программы  $\Pi_{г}$ , которая для базового варианта составляет  $\Pi_{г}=2054/12,1=170$  изделий. Годовая программа при реализации проектного варианта составляет  $\Pi_{г}=2054/8,7 = 242$  изделия. Для обеспечения действительной потребности производства необходимо значение годовой программы  $\Pi_{г}=100$  изделий, которое и принимаем для обоих вариантов технологического процесса.

Для задания количества применяемых на производственном участке единиц технологического оборудования необходимо определить его расчётное значение  $n_{расч}$ , для чего в качестве исходных данных служат ранее полученные значения годовой программы  $\Pi_{г}$ , эффективного фонда времени  $F_{э}$  и штучного времени  $t_{шт}$ . Также в расчётах применяется коэффициент

выполнения нормы  $K_{вн}$ , его значение выбирается из таблицы исходных данных:

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

Для базового варианта  $n_{расч.} = 12,1 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,57$ . Для проектного варианта  $n_{расч.} = 8,7 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$ . Таким образом, для обоих рассматриваемых вариантов принимается количество оборудования  $n=1$ , поэтому определим коэффициент загрузки

$$K_э = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При реализации базового варианта технологического процесса коэффициент загрузки оборудования составляет  $K_э = 0,57 / 1 = 0,57$ . При реализации проектного варианта коэффициент загрузки оборудования составляет  $K_э = 0,4 / 1 = 0,4$ .

#### **4.4 Расчёт заводской себестоимости**

Эффективность внедряемых в производство решений оценивается по изменению экономических показателей, в большинство из которых в качестве расчётного компонента входит заводская себестоимость  $C_{зав}$ , определяемая расчётным путем через технологическую себестоимость  $C_{тех}$ . Величина технологической себестоимости может быть рассчитана с учётом особенностей выполнения операций, входящих в рассматриваемые варианты технологического процесса.

Одной из составляющих технологической себестоимости является стоимость материалов  $M$ , для расчёта которой применяется упрощенная формула, учитывающая цену материала  $C_m$ , нормы расхода материалов  $N_p$ . Также для расчётов используется коэффициент транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$ , его значение выбирается из таблицы исходных данных:

$$M = \Pi_m \cdot H_p \cdot K_{T-3} . \quad (7)$$

Для принятых в настоящей работе исходных данных реализация базового технологического процесса предусматривает затраты на материалы в размере  $M=(800 \cdot 0,0252+1300 \cdot 0,414+3000 \cdot 0,00495) \cdot 1,05 = 600$  рублей. В проектном технологическом процессе рассчитываемые затраты на материалы составляют  $M_1=(800 \cdot 0,0216+1300 \cdot 0,342+3000 \cdot 0,00468) \cdot 1,05=500$  рублей.

Далее следует выполнить расчёт фонда заработной платы ФЗП, который определяется исходя из размеров основной заработной платы  $Z_{осн}$ , которая в свою очередь зависит от тарифной ставки  $C_ч$ , штучного времени  $t_{шт}$ . Также для расчётов необходим коэффициент доплат  $K_д$ , его значение выбирается из таблицы исходных данных:

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

Базовый технологический процесс предусматривает размер основной заработной платы  $Z_{осн}=300 \cdot 12,1 \cdot 1,88=6820$  рублей. Реализация проектного процесса предусматривает размер основной заработной платы составит  $Z_{осн}=300 \cdot 8,7 \cdot 1,88=4780$  рублей.

Далее необходимо задаться размером дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$ . Для расчётов понадобится значение основной заработной платы  $Z_{осн}$ . Также для расчётов необходим коэффициент дополнительных доплат  $K_{доп}$ , его значение выбирается из таблицы исходных данных:

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

Размер коэффициента дополнительных доплат принимается из таблицы исходных данных  $K_{доп}=0,12$ . Так как базовый вариант технологии предполагает основную заработную плату  $Z_{осн}=6820$  рублей, то размер дополнительной заработной платы с учётом исходных данных  $Z_{доп}=6820 \cdot 0,12=820$  рублей. Так как проектный вариант предполагает

основную заработную плату  $Z_{\text{осн}}=4780$  рублей, то размер дополнительной заработной платы с учётом исходных данных  $Z_{\text{доп}}=4780 \cdot 0,12=570$  рублей.

Для оценки размеров фонда заработной платы выполняется суммирование основной и дополнительной заработных плат. Таким образом, для базового варианта  $\Phi ЗП=6820+820=7640$  рублей, для проектного варианта  $\Phi ЗП=4780+570=5350$  рублей.

Отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  определяются исходя из значения фонда заработной платы  $\Phi ЗП$  и принимаемого из таблицы исходных данных значения коэффициента отчислений  $K_{\text{сн}}$

$$O_{\text{сн}} = \Phi ЗП \cdot K_{\text{сн}}. \quad (10)$$

Вычисления с использованием исходных данных для базовой технологии позволяют получить отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}=7640 \cdot 34/100=2600$  рублей. Расчёты с использованием исходных данных для проектной технологии позволяют получить отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}=5350 \cdot 34/100=1820$  рублей.

Ещё одной составляющей технологической себестоимости является затраты на оборудование  $Z_{\text{об}}$ . Размер этой статьи расходов определяется как сумма амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  и расходов на электрическую энергию  $P_{\text{э}}$ .

Для того, чтобы вычислить величину амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  понадобится значение стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об}}$  из таблицы исходных данных. При реализации на производственном участке базового варианта  $\Pi_{\text{об}}=300000$  рублей. При реализации на производственном участке проектного варианта  $\Pi_{\text{об}}=800000$  рублей. Также в качестве исходных данных служит машинное время  $t_{\text{маш}}$ , которое для базового и проектного варианта принимается соответственно как  $t_{\text{маш}}=12,1$  часа и  $t_{\text{маш}}=8,7$  часа. Для обоих вариантов технологии принимается ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени работы оборудования  $F_s=2054$  часа. Значение

нормы амортизации  $H_a$  принимается из таблицы исходных данных  $H_a=21,5\%$  Таким образом, амортизационные отчисления рассчитываются как

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (11)$$

и при реализации базового технологического процесса составляют с учётом исходных данных  $A_{об}=300000 \cdot 21,5 \cdot 12,1 / 2054 / 100 = 380$  рублей, при реализации проектного технологического процесса с учётом исходных данных амортизационные отчисления  $A_{об}=800000 \cdot 21,5 \cdot 8,7 / 2054 / 100 = 710$  рублей.

Ещё одной статьёй расходов, учитываемой при определении технологической и заводской себестоимости, является расходы на электрическую энергию  $P_{э}$ . Для расчётного определения понадобится цена на электрической энергии  $Ц_{эл}$ , которая из таблицы исходных данных принимается  $Ц_{эл}=4,7$  руб/кВт·ч. Установленное на производственном участке оборудование имеет КПД=0,85. Установленная мощность оборудования при реализации базового варианта технологического процесса составляет  $M_{уст}=12$  кВт, установленная мощность оборудования при реализации проектного процесса составляет  $M_{уст}=20$  кВт. Таким образом, при использовании формулы

$$P_{э} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{эл} / \text{КПД}. \quad (12)$$

для базового варианта технологического процесса получаем стоимость электрической энергии  $P_{э}=12 \cdot 12,1 \cdot 4,7 / 0,85 = 803$  рубля. При реализации проектного процесса расходы на электрическую энергию следует ожидать в размере  $P_{э}=20 \cdot 8,7 \cdot 4,7 / 0,85 = 962$  рубля. Как видно из представленных расчётов, при реализации проектной технологии ожидается повышение расходов на электрическую энергию, это может быть объяснено тем, что при реализации проектной технологии используется более мощное оборудование, нежели при реализации базовой технологии.

С учетом рассчитанных значений определяем затраты на оборудование  $Z_{об}$  при реализации рассматриваемых вариантов построения технологии

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

который при реализации базового технологического процесса принимаем значение  $Z_{об.}=380+803=1183$  рубля и при реализации проектного технологического процесса принимает значение  $Z_{об.}=710+962=1672$  рубля. Повышение затрат на оборудование при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом объясняется применением более прогрессивного сварочного оборудования. Получение экономического эффекта ожидается за счёт других статей расходов и составляющих технологической себестоимости.

С учётом исходных данных затраты на обслуживание площадей составляют при реализации базового технологического процесса и проектного технологического процесса  $Z_{пл}=800$  рублей.

На основании рассчитанных величин составляющих технологической себестоимости может быть определена сама технологическая себестоимость суммированием

$$C_{тех} = M + \PhiЗП + Осс + Z_{об} + Z_{пл}. \quad (14)$$

Реализация базовой технологии характеризуется  $C_{тех}=600+7640+2600+1183+800= 12823$  рубля. Реализация проектной технологии характеризуется технологической себестоимостью  $C_{тех}=500+5350+1820+1672+800= 10142$  рубля.

Для наглядного представления состава технологической себестоимости построены сравнительные диаграммы, представленные на рисунке 10. Структурные составляющие технологической себестоимости, расчёт которых выполнен ранее, представлены таким образом, что позволяют выполнить визуальное сравнение их величин по рассматриваемым вариантам

построения технологического процесса. Следует ожидать значительного уменьшения фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды, что должно положительно сказаться на экономических показателях производства при внедрении предлагаемых технологических решений.

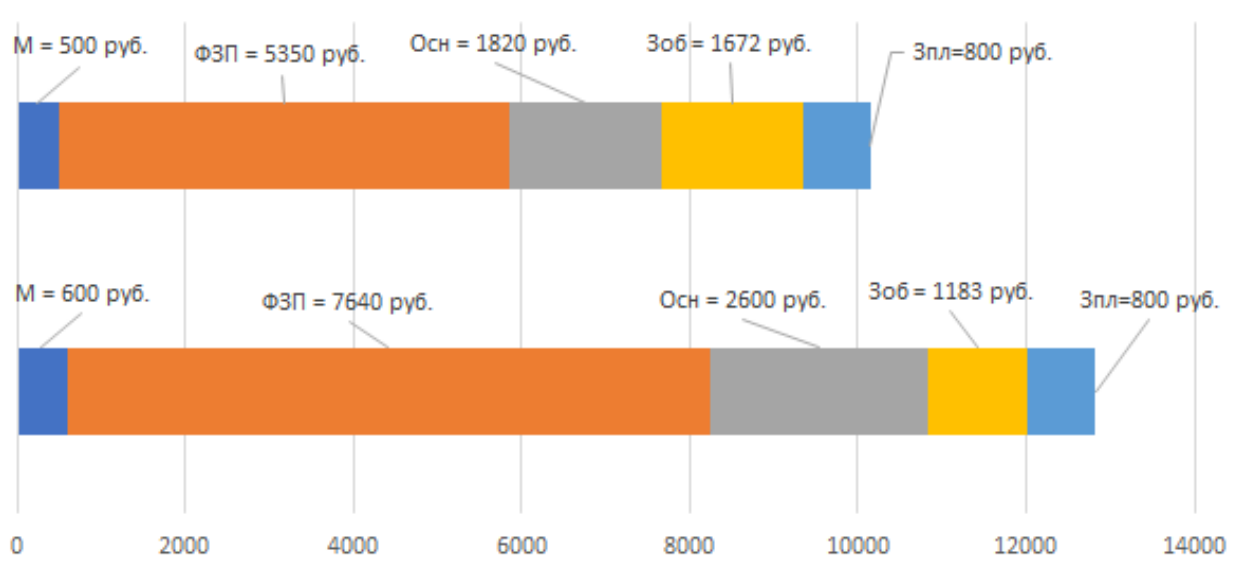


Рисунок 10 – Структура технологической себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологии

Размер цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  вычисляется исходя из ранее определенного значения технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$  с учётом цеховых расходов, величина которых, в свою очередь, рассчитывается как произведение основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ , его значение выбирается из таблицы исходных данных

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

В случае, если на производственном участке реализуется базовый вариант,  $C_{\text{цех}} = 12823 + 1,5 \cdot 6820 = 12823 + 10230 = 23053$  рубля. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант, размер цеховой себестоимости составит  $C_{\text{цех}} = 10142 + 1,5 \cdot 4780 = 10142 + 7170 = 17312$  рубля.

Размер заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  вычисляется исходя из ранее определенного значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  с учётом заводских

расходов, величина которых, в свою очередь, рассчитывается как произведение основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ , его значение выбирается из таблицы исходных данных

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

При реализации базового варианта технологического процесса размер заводской себестоимости составит  $C_{\text{зав}} = 23053 + 1,15 \cdot 6820 = 23053 + 7840 = 30893$  рубля. В случае реализации на производственном участке проектного процесса размер цеховой себестоимости составит  $C_{\text{цех}} = 17312 + 1,15 \cdot 4780 = 17312 + 5500 = 22812$  рубля. Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов технологии может быть выполнена с использованием сведенных в таблицу 9 данных по составляющим заводской себестоимости. Графическое представление состава заводской себестоимости по рассматриваемым вариантам, представленное на рисунке 11, позволяет выполнить сравнительный анализ каждой статьи расходов.

Таблица 9 – Расчёт заводской себестоимости

| Показатель                        | Условное обозначение | Калькуляция, руб. |                   |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
|                                   |                      | Базовый вариант   | Проектный вариант |
| 1. «Затраты на материалы          | М                    | 600               | 500               |
| 2. Фонд заработной платы          | ФЗП                  | 7640              | 5350              |
| 3. Отчисления на соц. нужды       | О <sub>сн</sub>      | 2600              | 1820              |
| 4. Затраты на оборудование        | З <sub>об</sub>      | 1183              | 1672              |
| 5. Затраты на площади             | З <sub>пл</sub>      | 800               | 800               |
| 6. Технологическая себестоимость  | С <sub>тех</sub>     | 12823             | 10142             |
| 7. Цеховые расходы                | Р <sub>цех</sub>     | 10230             | 7170              |
| 8. Цеховая себестоимость          | С <sub>цех</sub>     | 23053             | 17312             |
| 9. Заводские расходы              | Р <sub>зав</sub>     | 6820              | 5500              |
| 10. Заводская себестоимость» [13] | С <sub>зав</sub>     | 30893             | 22812             |

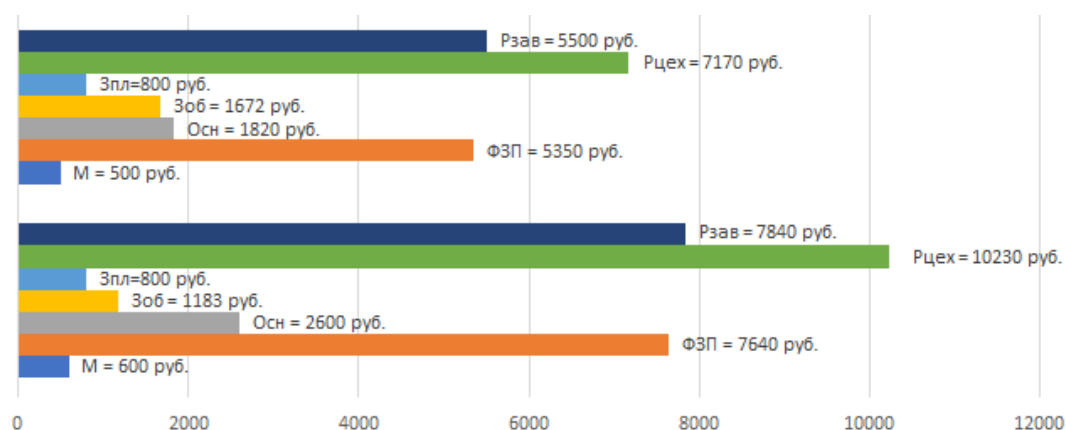


Рисунок 10 – Сравнительная диаграмма составляющих заводской себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологического процесса

Как видно из представленных данных, реализация проектной технологии позволяет уменьшить такие составляющие технологической себестоимости, как затраты на материалы, фонд заработной платы, отчисление на социальные нужды. Значение заводской себестоимости снижается также за счёт уменьшения основной заработной платы.

Как показывает численный и графический анализ, при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом наблюдается уменьшение технологической и заводской себестоимости, что позволяет предполагать получение положительного экономического эффекта при внедрении в производство предлагаемых решений. показатели экономической эффективности будут рассчитаны далее с учетом капитальных вложений.

#### 4.5 Капитальные затраты

При внедрении результатов выпускной квалификационной работы потребуется замена технологического оборудования, которое ранее эксплуатировалось на предприятии в течение срока службы  $T_{сл}=3$  лет. Цена оборудования по базовому варианту составляет  $C_{перв}=300000$  рублей. С

учётом нормы амортизации  $H_a$  стоимость оборудования по базовому варианту может быть вычислена как

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

Таким образом, остаточная стоимость оборудования, которое ранее применялось на предприятии для реализации базового технологического процесса, составляет  $\Pi_{об.б.} = 300000 - (300000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 106500$  рублей.

Ранее для рассматриваемых вариантов технологии был выполнен расчёт коэффициента загрузки оборудования  $K_z$ , который позволяет оценить капитальные затраты по базовому варианту

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 106500 \cdot 0,57 = 60705 \text{ рублей.} \quad (18)$$

В случае, если на производственном участке реализуется проектная технология, капитальные затраты на оборудование  $K_{об.пр}$  вычисляются с использованием ранее определенного коэффициента загрузки оборудования  $K_z = 0,4$ , принятого из таблицы исходных данных коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{tz} = 1,05$  и цены оборудования  $\Pi_{об.пр.} = 800000$  рублей:

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{зп.} \quad (19)$$

Получаем  $K_{об.пр} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,40 = 336000$  рублей.

При вычислении расходов  $P_{дем}$  на демонтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации базовой технологии, необходимо учесть цену оборудования  $\Pi_{об.б.}$  и коэффициента расходов на демонтаж  $K_{дем}$ , его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{дем} = \Pi_{об. б.} \cdot K_{д} = 300000 \cdot 0,05 = 15000 \text{ рублей.} \quad (20)$$

При вычислении расходов  $P_{мон}$  на монтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации проектной

технологии, необходимо учесть цену оборудования  $\Pi_{об.пр}$  и коэффициента расходов на монтаж  $K_m$ , его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{монт} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_m = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ рублей.} \quad (21)$$

С учётом полученных результатов расчета сопутствующие капитальные затраты  $K_{соп}$  составляют

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт} = 15000 + 40000 = 65000. \quad (22)$$

Капитальные затраты  $K_{общ.пр.}$  при организации производственного участка для выполнения проектной технологии могут быть рассчитаны как сумма капитальных затрат на оборудование  $K_{об.пр}$  и сопутствующих затрат  $K_{соп}$

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{соп.} = 336000 + 65000 = 401000 \text{ рублей} \quad (23)$$

Размер дополнительных капитальных затрат  $K_{доп}$  определяется как разность ранее рассчитанных капитальных затрат по рассматриваемым вариантам

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб} = 401000 - 60705 = 340295 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Исходными данными для расчёта удельных капитальных вложений  $K_{уд}$  служат дополнительные капитальные затраты  $K_{доп}$  и годовая программа  $\Pi_g$ , а самое значение  $K_{уд}$  определяется как отношение этих величин

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

Если на производственном участке реализуется базовая технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как  $K_{уд}=60705/100=607$  рублей. Если на производственном участке реализуется проектная технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как  $K_{уд} = 401000 / 1000 = 401$  рублей.

#### 4.6 Экономические показатели эффективности

Для того, чтобы оценить эффективность предлагаемых решений, реализацию которых предлагается выполнить на рассматриваемом производственном участке, следует рассчитать такие показатели, как «снижение трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ , повышение производительности труда  $\Pi_t$ , снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , условно годовую экономию  $\mathcal{E}_{уг}$ , срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{ок}$  и годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_г$ » [13].

При определении снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  в качестве исходных данных следует принять ранее определенные значения штучного времени  $t_{шт}$  в базовом и проектном вариантах. На основании проведенных ранее расчётов в качестве исходных данных принимается  $t_{шт\ б}=12,1$  часа и  $t_{шт\ пр}=8,7$  часа для реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (12,1 - 8,7) \cdot 100 \% / 12,1 = 30 \%. \quad (26)$$

При определении повышения производительности труда  $\Pi_t$ , которое достигается на рассматриваемом производственном участке в случае внедрения предлагаемых решений используется рассчитанное ранее значение снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$

$$\Pi_t = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 30 / (100 - 30) = 43 \%. \quad (27)$$

Для оценки снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$  необходимо в качестве исходных данных использовать рассчитанные ранее технологические себестоимости для случая реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии. В случае выполнения операция согласно базового варианта технологии принимается  $C_{тех.б}=12823$

рубля. В случае выполнения операций согласно проектного варианта технологии принимается  $C_{\text{тех.пр}}=10142$  рубля

$$\Delta C_{\text{тех}}=(C_{\text{тех.б.}}-C_{\text{тех.пр.}})\cdot 100\%/C_{\text{тех.б.}}=(12823-10142)\cdot 100\%/12823=21\% \quad (28)$$

Для оценки размеров условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  следует в качестве исходных данных принять ранее определенную годовую программу  $\Pi_{\Gamma}=100$ . Условно-годовая экономия получается из разности заводских себестоимостей по рассматриваемым вариантам. В случае реализации на производственном участке базовой технологии принимается  $C_{\text{зав.б}}=30993$  рубля. В случае реализации на производственном участке проектной технологии принимается  $C_{\text{зав.пр}}=22812$  рубля

$$\mathcal{E}_{\text{уг}}=(C_{\text{зав.б}}-C_{\text{зав.пр}})\cdot \Pi_{\Gamma}=(30993-22812)\cdot 100=808100 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Для расчётного определения срока окупаемости  $T_{\text{ок}}$  дополнительных капитальных вложений в качестве исходных данных следует принять ранее рассчитанные условно-годовую экономию  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  и дополнительные капитальные вложения  $K_{\text{доп}}$

$$T_{\text{ок}}=K_{\text{доп}}/\mathcal{E}_{\text{уг}}=340295/808100=0,4 \text{ года.} \quad (30)$$

В случае реализации на рассматриваемом производственном участке технологического процесса с внесенными изменениями совокупная экономическая эффективность оценивается по годовому экономическому эффекту  $\mathcal{E}_{\Gamma}$ . Для расчётного определения этой величины необходимо в качестве исходных данных принять ранее рассчитанную условно-годовую экономию  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  и ранее рассчитанную величину дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$ . Из таблицы исходных данных принимается значение нормативного коэффициента окупаемости затрат  $E_{\text{н}}$

$$\mathcal{E}_{\Gamma}=\mathcal{E}_{\text{уг}}-E_{\text{н}}\cdot K_{\text{доп}}=808100-0,33\cdot 340295=695802 \text{ рубля.} \quad (31)$$

На основании проведенных расчётов следует констатировать, что внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений позволяет получить повышение всех рассматриваемых в разделе экономических показателей, что положительно характеризует ценность предложенных решений.

Так как при реализации проектной технологии наблюдается значительное повышение производительности, то рассматриваемый производственный участок и находящееся на нем оборудование может быть использовано для выполнения аналогичных работ, что, в конечном итоге, позволит ещё больше повысить экономические показатели производства и сохранить размер фонда заработной платы без увеличения нагрузки на работников предприятия.

#### Выводы по экономическому разделу

Таким образом, для представленных в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений выполнено обоснование эффективности внедрения в современное производство. За счёт применения более прогрессивных методов ожидается снижение трудоёмкости на величину  $\Delta t_{шт} = 30\%$  и повышение производительности труда на величину  $P_T = 43\%$ . Повышение производительности труда позволяет в значительной степени уменьшить такую составляющую технологической и заводской себестоимости, как фонд заработной платы. Кроме того, повышение производительности труда позволяет уменьшить значение коэффициента загрузки оборудования, что положительно сказывается на амортизационных отчислениях. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет  $\Delta C_{тех} = 21\%$ . Снижение технологической себестоимости наблюдается несмотря на то, что проектный технологический процесс предусматривает применение более сложного и дорогостоящего оборудования. Так как наблюдается уменьшение технологической себестоимости и повышение производительности труда, происходит

уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости. В результате этого возникает условно-годовая экономия в размере  $\mathcal{E}_{\text{уг}}=808$  тысяч рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений в размере  $K_{\text{доп}} = 340$  тысяч рублей, срок окупаемости которых составляет 0,4 года. При реализации предлагаемых изменений на рассматриваемом производственном участке годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{г}} = 695,8$  тысяч рублей. Вышеизложенное позволяет судить о целесообразности внедрения на современных предприятиях Российской Федерации предлагаемых решений, так как возникает не только технологический, но и экономический эффект.

## **Заключение**

Представленная выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по изготовлению листовых алюминиевых конструкций с применением сварочных технологий. В качестве типовой детали рассматривается воздуховод сушилки. Анализ базовой технологии, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки специальными электродами, позволил сформулировать недостатки, устранение которых обеспечивает достижение поставленной во введении цели. В ходе анализа исходных данных и известных решений удалось выполнить постановку задач.

В ходе решения первой задачи на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, применение которой при построении проектной технологии обеспечит повышение эффективности предприятия. Полученный результат может быть перенесен на большинство предприятий, продолжающих при изготовлении сварных конструкций из листового алюминия использовать ручную дуговую сварку.

В ходе решения второй задачи предложено использовать достижения российской науки в области управления сварочными процессами и переносом электродного металла. Модернизированный источник питания может быть построен на базе стандартного сварочного выпрямителя и позволяет существенно расширить технологические возможности механизированной сварки листовых конструкций из алюминия и алюминиевых сплавов. Полученный результат может быть использован на целом ряде предприятий Российской Федерации, выпускающих и ремонтирующих изделия из алюминиевых сплавов с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. При этом качество сварки находится на уровне аргонодуговой сварки

неплавящимся электродом, а производительность выполнения работ превышает аргонодуговую сварку в несколько раз.

В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология сварки листовых конструкций из алюминия и алюминиевых сплавов на примере воздуховода сушилки. Обоснован выбор параметров режима, составлены требования для выполнения операций технологического процесса, выбрано оборудование.

При выполнении экологического раздела получены сведения, позволяющие заключить, что предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми в разделе мероприятиями.

При выполнении экономического раздела проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Применение на производственном участке предлагаемых решений позволяет повысить производительность труда на 43 % и снизить трудоемкость на 30 %. Так как проектный вариант обеспечивает уменьшение ряда составляющих технологической себестоимости, она уменьшается на 21 %. За счёт уменьшения основной заработной платы снижается размер цеховых и заводских расходов, что в совокупности с уменьшением технологической себестоимости приводит к условно-годовой экономии 808 тысяч рублей. Проведенные расчёты показали, что в случае, если на рассматриваемом производственном участке будут реализована проектная технология, годовой экономический эффект составит 695,8 тысяч рублей.

На основании вышеизложенного предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе решения могут быть рекомендованы для внедрения на современных предприятиях Российской Федерации.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. А. с. 1682076 СССР, МКИ В23К9/09. Источник тока для импульсной сварки / Павшук В. М., Шейко П. П. Заявл. 31.05.89; опубл. 07.10.91, Бюл. № 37, 6 с.
2. Баженов А. М., Панов А. И., Гилев И. А. Плазменная сварка алюминиевых сплавов малых толщин // Вестник ПНИНУ. 2015. № 3. С. 5-12.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Бородкина В. В., Рыжкова О. В., Улас Ю. В. Перспективы развития алюминиевого производства в России // Фундаментальные исследования. 2018. № 12. С. 72-77.
5. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
6. Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н. Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов // Автоматическая сварка. 1999. № 6. С. 26–32.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Ельцов В.В. Ремонтная сварка и наплавка изделий из сплавов магния и алюминия трехфазной дугой: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук / В.В. Ельцов. Тольятти: ТГУ. 2002.
9. Зандер Е. В., Смирнова Т. А. Формирование сырьевой независимости алюминиевой промышленности России // Региональная экономика: теория и практика. 2008. № 6. С. 2-8.
10. Крампит А. Г., Зерни Е. А., Крампит М. А. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки // Технологии и материалы. 2015. № 1. С. 4–10.

11. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.
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. Лебедев В.А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 26–30.
15. Лебедев В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла // 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. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 20014. № 40. С. 14-21.
18. Патон Б. Е., Лебедев В. А., Микитин Я. И. Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке // Сварочное производство. 2006. № 8. С. 27–32.
19. Покляцкий А. Г., Лозовская А. В., Гринюк А. А. Предотвращение образования оксидных плен в швах при сварке литийсодержащих алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 2002. № 12. С. 45–48.
20. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.

21. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

22. Фролов В.Г. Институциональные факторы развития промышленной политики // Креативная экономика. 2013. № 2. С. 89–95.

23. Щицын Ю. Д., Беленин Д. С., Неулыбин С. Д. Определение падения напряжения на анодном участке дуги при плазменной обработке металлов // Вестник ПНИНУ. 2015. № 2. С. 5-12.

24. Щицын Ю. Д., Гилев И. А., Беленин Д. С. Плазменная сварка алюминиевых сплавов при работе двухдугового плазматрона на токе обратной полярности // Вестник ПНИПУ. 2015. № 3. С. 61-70.

25. Штрейблинг О. Г. Современные проблемы и решения алюминиевой промышленности России // Эпоха науки. 2020. № 21. С. 189-192.