

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему \_\_\_\_\_ Технологический процесс изготовления валов газотурбинных  
двигателей \_\_\_\_\_

Студент

М.С. Калинин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.э.н., профессор И.В. Краснопевцева

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Цель выпускной квалификационной работы – повышение качества при сварке вала газотурбинного двигателя. Для достижения поставленной цели работы были решены следующие задачи:

- выбран способ сварки взамен применяемого;
- для выбранного способа сварки подобраны технологические режимы, сварочные материалы;
- разработан технологический процесс, основанный на предлагаемом способе сварки;
- проработана защита производственного персонала и окружающей среды от опасных и вредных факторов;
- обоснованы предложенные решения с точки зрения экономических расчетов.

Пояснительная записка содержит 53 стр., 8 рисунков, 12 таблиц.

Проанализированы условия эксплуатации изделия, особенности свариваемости материала. Проведен анализ базового технологического процесса, выявлены недостатки базовой технологии – низкая степень автоматизации. Разработан технологический процесс сварки изделия при подаче управляющих сигналов на электронный луч. Подобрано оборудование и спроектирована сборочная оснастка. Для защиты персонала участка от вредных факторов при операциях сварки предложены соответствующие технические и организационные мероприятия. Ожидаемый экономический эффект составит 769118 рублей.

## **Abstract**

The purpose of the final qualification work is to improve the quality when welding the shaft of a gas turbine engine. To achieve the set goal of the work , the following tasks were solved:

- the welding method is selected instead of the one used;
- technological modes, welding materials are selected for the selected welding method;
- a technological process based on the proposed welding method has been developed;
- protection of production personnel and the environment from dangerous and harmful factors has been worked out;
- the proposed solutions are justified from the point of view of economic calculations.

The explanatory note contains 53 pages, 8 figures, 12 tables.

The operating conditions of the product, the features of the weldability of the material are analyzed. The analysis of the basic technological process is carried out, the disadvantages of the basic technology are revealed – a low degree of automation. The technological process of welding the product when applying control signals to the electron beam has been developed. Equipment has been selected and assembly equipment has been designed to protect site personnel from harmful factors during welding operations, appropriate technical and organizational measures have been proposed. The expected economic effect will be 769,118 rubles.

## Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса сварки валов газотурбинных двигателей.....	7
1.1 Описание свариваемого вала .....	7
1.2 Анализ свойств материала конструкции .....	7
1.3 Базовый технологический процесс сварки вала .....	9
1.4 Варианты устранения недостатков сварки вала газотурбинного двигателя .....	12
1.5 Задачи работы.....	15
2 Разработка технологического процесса сварки вала газотурбинного двигателя .....	16
2.1 Анализ возможных вариантов сварки.....	16
2.2 Проектный технологический процесс сборки и сварки.....	20
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	22
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	22
3.2 Систематизация профессиональных рисков .....	23
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	25
3.4 Обеспечение пожарной безопасности на производственном..... участке.....	27
3.5 Экологическая безопасность разработанного технического..... объекта.....	29
4 Расчет экономических параметров предлагаемой технологии .....	32
4.1 Вводная информация для расчета .....	32
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования .....	34
4.3 Расчёт штучного времени .....	35
4.4 Определение заводской себестоимости применяемого и предлагаемого вариантов.....	37

4.5 Определение капитальных затрат .....	42
4.6 Показатели экономической эффективности.....	45
Заключение .....	49
Список используемых источников и литературы .....	50

## Введение

Газотурбинные двигатели нашли широкое распространение в авиации. В отличие от поршневого двигателя забор атмосферного воздуха, операция его сжатия и горение топлива разделены в пространстве и происходят одновременно.

Вал двигателя является ответственной деталью. К нему крепятся лопатки компрессора и лопатки выпускного тракта. «Валы работают при высоких оборотах, повышенных температурах, передают значительные крутящие моменты, подвержены высокочастотным колебаниям. При этом они должны иметь минимальную массу и высокую надежность в работе. Валы воспринимают значительные перепады силовых и температурных нагрузок при различных режимах эксплуатации ГТД» [5].

Поскольку к валу крепятся лопатки компрессора, и лопатки горячего тракта технологически проще изготовить вал из двух частей. В связи с этим актуальным остаётся вопрос поиска оптимального варианта соединения.

В настоящий момент при соединении двух частей вала применяется процесс электронно-лучевой сварки. Данная технология характеризуется высокой производительностью работ и высоким качеством. Однако данному технологическому процессу сопутствует такой негативный фактор, как необходимость точного наведения луча на свариваемые кромки. Дело в том, что при электронно-лучевой сварке точность сборки должна быть достаточно высокой. Поскольку электронный луч сконцентрирован на небольшой площади, даже незначительные отклонения его от оси шва могут привести к непровару. Для устранения указанного недостатка необходимо внедрить в производство современные достижения сварочных технологий в области электронно-лучевой сварки. Таким образом, цель работы – повышение качества при сварке вала газотурбинного двигателя.

# 1 Состояние вопроса сварки валов газотурбинных двигателей

## 1.1 Описание свариваемого вала

Общий вид вала газотурбинного двигателя показан на рисунке 1. Данный элемент конструкции не является самостоятельным, а соединяется с лопаточным аппаратом.

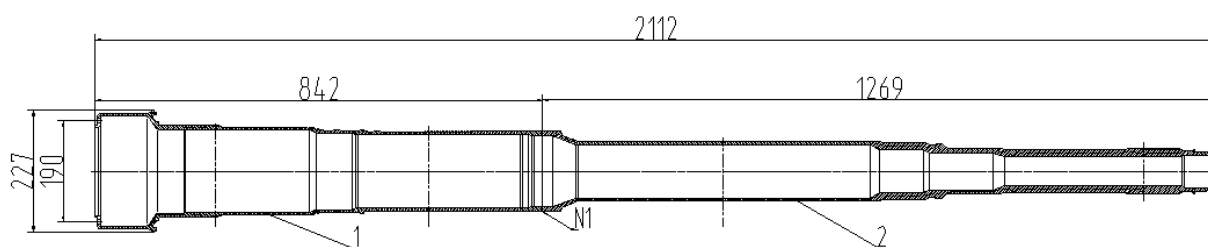


Рисунок 1 – Общий вид вала газотурбинного двигателя

Вал состоит из двух частей. Толщина в районе наложения сварочного шва для рассматриваемого вала составляет 8,8 мм. Общая длина вала составляет 2112 мм при максимальном диаметре 227 мм.

«Принципиальная особенность изготовления валов в механическом производстве отражается в определенной последовательности обработки поверхностей: вначале производится обработка отверстия, а затем выполняется наружный контур вала. Это позволяет уменьшать возможную погрешность расположения внутреннего и наружного контуров заготовки относительно друг друга» [5].

## 1.2 Анализ свойств материала конструкции

Для изготовления вала применяется легированная сталь 15X12H2MBФAB. Данная сталь относится к категории нержавеющей, жаропрочных, жаростойких. Старое обозначение данного материала ЭП517-Ш.

Химический состав материала в таблице 1. Данную сталь получают методами электрошлакового переплава. За счет этого получается минимальное количество различного рода вредных примесей.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 15X12H2MBФАБ.

Углерод	Ванадий	Вольфрам	Никель	Ниобий	Молибден	Хром	Кремний	Марганец	Не более	
									Сера	Фосфор
0,13-0,18	0,17-0,37	0,65-1,0	1,7-2,1	0,2-0,35	1,35-1,65	11,0-12,5	0,5	0,5	0,015	0,03

Оценим свариваемость материала конструкции. Определение свариваемости установлено ГОСТ 29273–92: «Металлический материал считается поддающимся сварке до установленной степени при данных процессах и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем технологическом процессе, когда свариваемые детали отвечали техническим требованиям как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют» [1].

Свариваемость данного материала можно оценить по диаграмме Шеффлера. Эквивалент хрома определяется:

$$Cr_{\text{экв}} = (Cr) + 2(Si) + 1,5(Mo) + 5(V) + 5,5(Al) + 1,75(Nb) + 1,5(Ti) + 0,75(W) \quad (1)$$

Результат расчетов:  $Cr_3 = 12 + 2 \times 0,5 + 1,5 \times 1,5 = 15,25\%$

Эквивалент никеля определяется:

$$Ni_{\text{экв}} = (Ni) + (Co) + 0,5(Mn) + 0,3(Cu) + 25(N) + 30(C) \quad (2)$$

Результат расчетов:  $Ni_{\text{экв}} = 2 + 0,5 \times 0,5 + 30 \times 0,15 = 6,5\%$



Отложив по оси X эквивалент хрома и по оси Y эквивалент никеля попадаем в область, отмеченную красной точкой, рисунок 2.

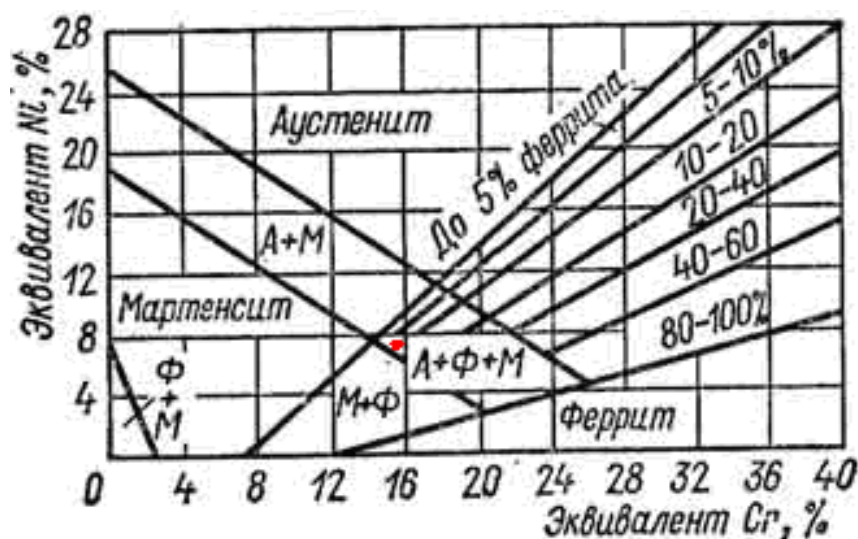


Рисунок 2 - Диаграмма Шеффлера.

В данной области есть мартенсит, можно сделать вывод что сталь 15X12H2MBФАБ относится к группе ограниченно свариваемых сталей.

### 1.3 Базовый технологический процесс сварки вала

Изготовление вала включает в себя операции горячего деформирования, механической обработки. В первой части процесса механической обработки формируется предварительный контур. Внутренняя полость вала обрабатывается на токарных станках, затем токарной обработкой формируется внешний контур. Также сюда включается операция термической обработки. Затем выполняется операция полустойковой обработки. После чего на оборудовании, которое обеспечивает высокую точность, выполняется обработка базовых поверхностей согласно требованиям чертежа. И наконец – завершающий этап – выполняется окончательная доводка поверхностей вала. Завершается данный этап окончательным контролем заготовки [2].

В базовом технологическом процессе применяется электронно-лучевая сварка вала газотурбинного двигателя. На качество получаемых сварных соединений влияют такие параметры сварных соединений как ток луча и ускоряющее напряжение. Ток фокусирующей линзы в меньшей степени влияет на качество, однако чем он больше, тем на меньшей площади концентрируется луч, тем больше концентрация энергии [10].

Ускоряющее напряжение оказывает влияние на соотношение ширины шва  $B$  и глубины проплавления  $H$  при электронно-лучевой сварке, рисунок 3.

Если у установок величина ускоряющего напряжения невелика, то отношение глубины проплавления  $H$  и ширины шва  $B$  может достигать 8:1 [9]. Если у установок величина ускоряющего напряжения достигает больших значений, их применяют при сварке больших толщин то отношение глубины проплавления и ширины шва и может достигать 25:1.

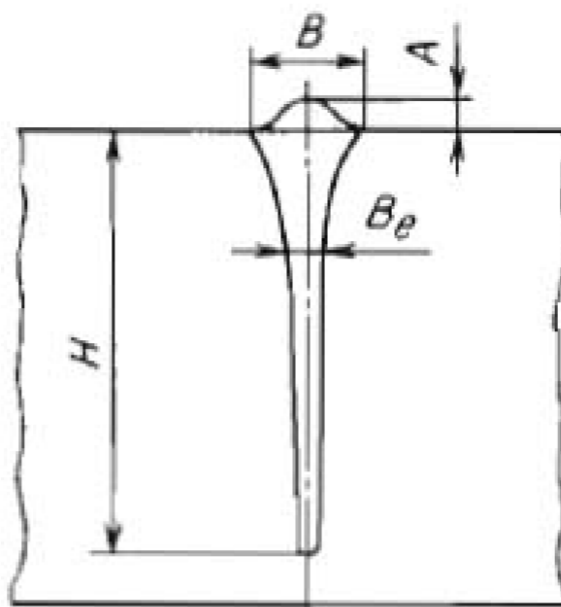


Рисунок 3 – Отношение ширины шва и глубины проплавления

При ЭЛС возможны такие дефекты в сварных соединениях как: непровары, подрезы, провисание шва и повышенное разбрызгивание [8]. Кроме того, для электронно-лучевой сварки характерными дефектами являются такие

как протяженные полости в объеме сварного шва, срединные трещины, отклонения сварного шва от стыка [7].

Важным техническим условием при ЭЛС является точная сборка деталей.

Если толщина свариваемого изделия не превышает 5 мм зазор, должен быть в пределах 0,05...0,07 мм. Если толщина свариваемого изделия составляет 20 мм зазор, должен быть в пределах 0,09...0,1 мм.

Также важным моментом для ЭЛС является подготовка кромок [6]. Здесь требуется сочетание механического метода и физико-химических методов. На первом этапе выполняется механическая подготовка, и затем физико-химическая. Причем, обработка поверхностей выполняется, в отличие от дуговой сварки, до 100 мм.

Для ЭЛС – размагничивание является ответственной операцией. Остаточная намагниченность деталей искривляет траекторию электронного луча, возможны непровары [3].

Для размагничивания следует внешним переменным магнитным полем с убывающей амплитудой воздействовать на деталь. Для данной операции могут быть применены соленоиды.

Технологический процесс сварки вала, показанного на рисунке 1 в производственных условиях ПАО «Кузнецов» реализован на установке ЭЛУ-10. Длина вакуумной камеры установки ЭЛУ-10 составляет чуть больше 4х метров, вал помещается в камеру без проблем.

Важным этапом сварки вала является подготовительный. Свариваемые поверхности обезжириваются ацетоном, затем обезжириваются спиртом, непосредственно перед загрузкой в вакуумную камеру установки ЭЛУ-10.

После загрузки обрабатываемого изделия в вакуумную камеру начинается откачка воздуха, до давления 0,1 Па откачка ведется ротационным насосом из камеры установки и корпуса пароструйного насоса [3]. По достижении указанной глубины вакуума включается нагреватель пароструйного насоса и после того как закипит рабочая жидкость в

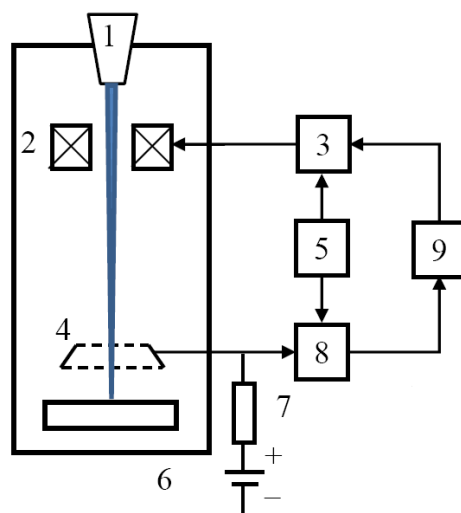
пароструйном насосе и начнется откачка до высокого вакуума, давление падает до 0,01 Па. Теперь можно включать изделие на вращение и включать электронный луч. Ускоряющее напряжение составляет 90 кВ, сила тока луча 50 мА, скорость сварки 5 мм/сек. После полного переплава начала сварного шва производится отключение электронного луча, но насосы работают еще 10 минут. Затем отключают насосы, напускают в камеру воздух и извлекают вал [4].

На операции контроля применяют, помимо визуально-измерительного способа контроля ультразвуковой, рентгенографический, капиллярный способы контроля.

#### **1.4 Варианты устранения недостатков сварки вала газотурбинного двигателя**

Важным моментом при ЭЛС является точное наведение луча на свариваемые кромки. Для этого могут быть применены вторично-эмиссионные датчики. При торможении электронного луча, вырываются вторичные электроны из металла если на их пути поставить коллектор, присоединенный к датчику, появится на датчике сигнал. Сигнал поступает в систему управления и система управления положением луча компенсирует уход электронного луча из зоны сварки. Однако для получения максимального количества вторичных электронов поверхность должна быть гладкая и расположена в пространстве перпендикулярно электронному лучу. Вал газотурбинного двигателя в полной мере соответствует указанным требованиям. По данной схеме создана установка «Прогноз», рисунок 4 [22].

Данная установка позволяет позиционировать электронный луч относительно свариваемого стыка с точностью до 0,1 мм.



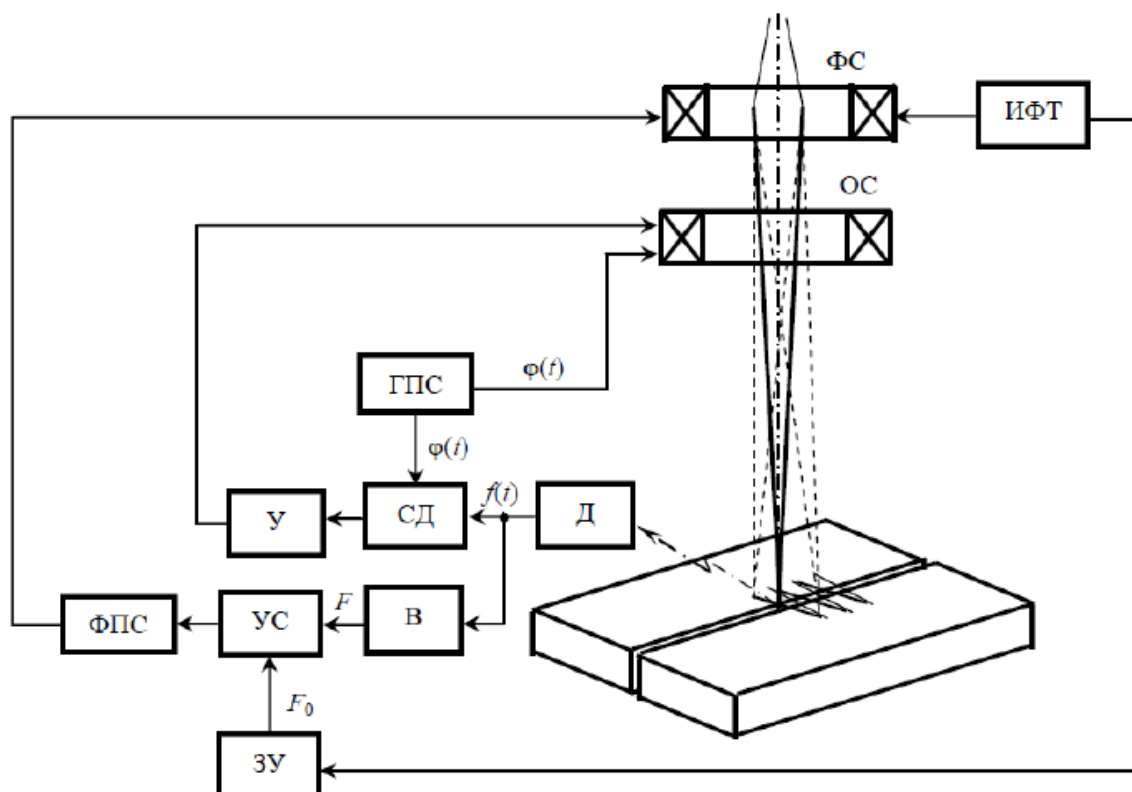
1 – электронная пушка; 2 - катушка фокусировки; 3 – усилитель тока катушки; 4 – датчик электронов; 5 – модулятор; 6 – напряжение смещения фокуса; 8 – блок фильтрации; 9 – регулирующий блок.

Рисунок 4 - Схема принципиальная системы позиционирования электронного луча

Другой вариант устройства направления луча на стык показан на рисунке 5 [21].

Механическая обработка позволяет получить более высокое качество сварных соединений валов по сравнению с термообработкой. Кромки фрезеруют при помощи специальной оснастки.

Рекомендуется подвергать сварные соединения валов таким видам обработки, которые повышают сопротивляемость усталостным разрушениям [11]. В первую очередь необходимо уменьшать уровень остаточных напряжений растяжения, бороться с трещиноподобными дефектами. В технологический процесс изготовления вала вводят операции шлифования сварного шва, проковывают сварной шов.



ФС – фокусирующая система, ОС – отклоняющая система, У – усилитель, Д – датчик, ГПС – генератор поискового сигнала, СД – синхронный детектор, ЗУ – задающее устройство.

Рисунок 5 – Схема устройства направления пучка на стык.

Поскольку образовавшиеся дефекты валов могут привести к фатальным итогам, процессам контроля сварных швов уделяют особое внимание. Как правило, для контроля качества сварных соединений валов применяют ультразвуковой, рентгенографический, магнитопорошковый [13]. Весь этот комплекс требуется, так как изделие ответственное. Понятное дело, что на специальных стендах нужно контролировать изменение размеров изделия.

Необходимо отметить тот факт, что на практике выполнение электронно-лучевой сварки в одном соединении может повторяться несколько раз. О том, как это сказывается на дальнейшей работоспособности изделия, единого

мнения нет [12].

### **1.5 Задачи работы**

В выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение качества при сварке вала газотурбинного двигателя.

Анализ базовой технологии изготовления показал, что сварные соединения, вала газотурбинного двигателя выполняются по технологии электронно-лучевой сварки. Данный способ сварки отличается высокой производительностью труда. Однако технологический процесс требует точного наведения электронного луча на стык. При несовпадении луча и стыка возможны дефекты исправление которых практически невозможно, так как длина вала сократится, что неприемлемо. Здесь возможны следующие варианты. Замена способа сварки или модернизация установки.

Таким образом, для достижения поставленной в работе цели мы должны решить следующие задачи:

- произвести анализ способов сварки для изготовления вала газотурбинного двигателя;
- выбрать оборудование обеспечивающее при сварке фокусировку луча;
- разработать технологический процесс для проектного варианта;
- проработать защиту производственного персонала и окружающей среды от опасных и вредных факторов;
- обосновать предложенные решения с точки зрения экономических расчетов.

## 2 Разработка технологического процесса сварки вала газотурбинного двигателя

### 2.1 Анализ возможных вариантов сварки

Для сварки вала требуется источник тепла с высокой степенью концентрации энергии. Высокая концентрация характерна для процесса сварки сжатой дугой [12]. Схема процесса сварки сжатой дугой прямого действия показана на рисунке 6.

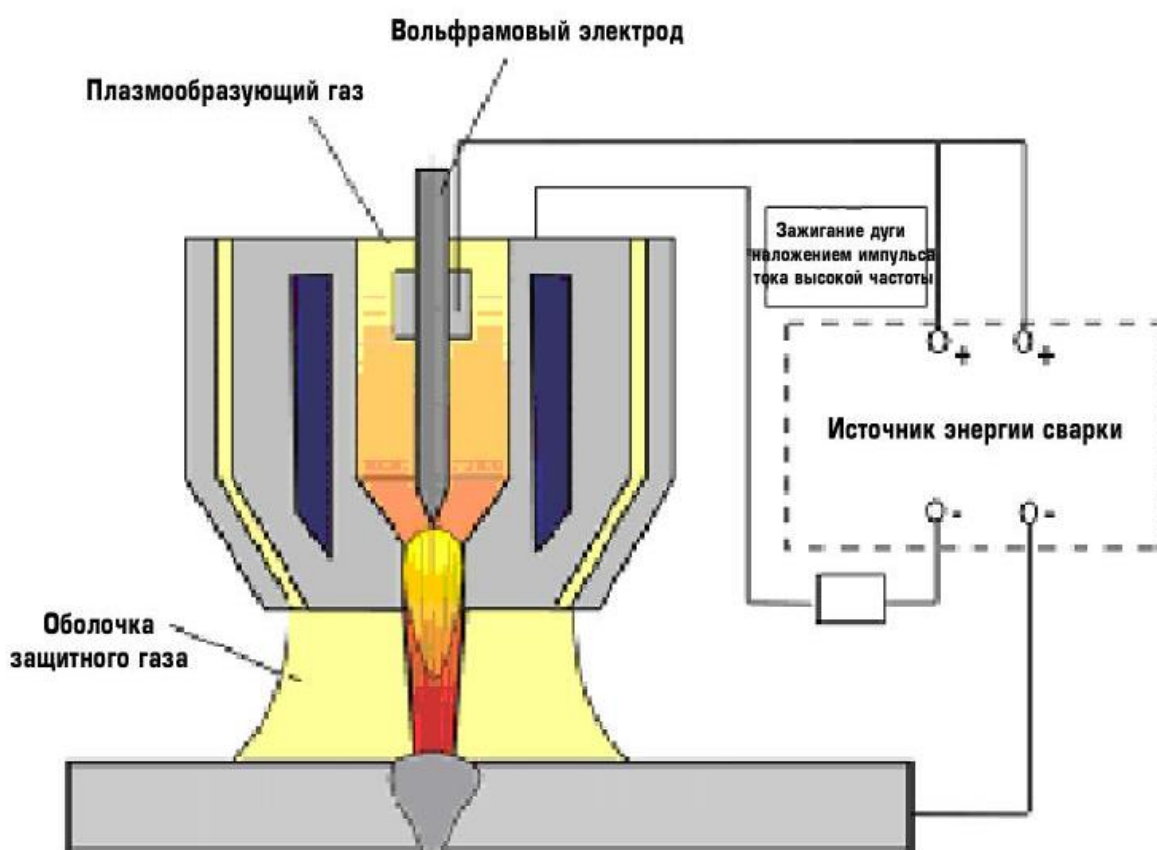


Рисунок 6 – Схема процесса сварки сжатой дугой



По сравнению с процессами дуговой сварки плазменная обеспечивает сварку больших толщин. Еще одним достоинством процесса является высокое качество сварного соединения в сочетании с высокой скоростью сварки [14].

Недостатки – дорогостоящее оборудование, сопло плазмотрона быстро выходит из строя, оптическое излучение, ионизация воздуха, испарение металла.

Еще большую концентрацию энергии обеспечивает лазерная сварка, рисунок 7. Лазерный луч в сравнении с обычным лучом света обладает такими качествами, как направленность, монохроматичность и когерентность [20].

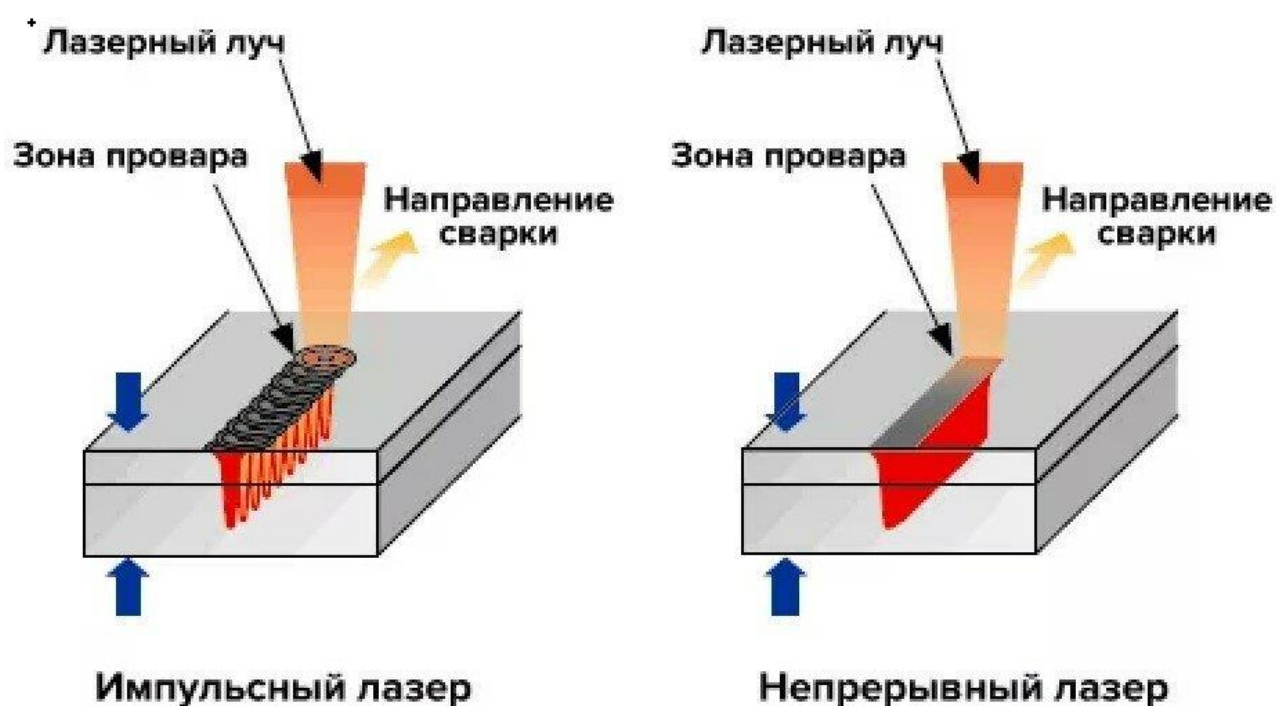


Рисунок 7 – Схема процесса лазерной сварки

С помощью оптических систем можно обеспечить концентрацию энергии лазерного луча на небольшом участке, при этом плотность энергии может достичь  $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

Сварка лазером обеспечивает высокую культуру производства, уменьшение остаточных деформаций сварного соединения, высокую прочность сварного соединения [19]. Лазерная сварки легко поддается автоматизации.

Однако стоимость лазерных установок существенно выше, чем источников питания для дуговой сварки, к тому же коэффициент полезного действия лазерных установок невелик. Отчасти это обусловлено отражением света лазера от свариваемых поверхностей [15].

Электронно-лучевая сварка, для реализации данной технологии требуется вакуумная камера, контрольное и откачное оборудование, электронная пушка, рисунок 8.

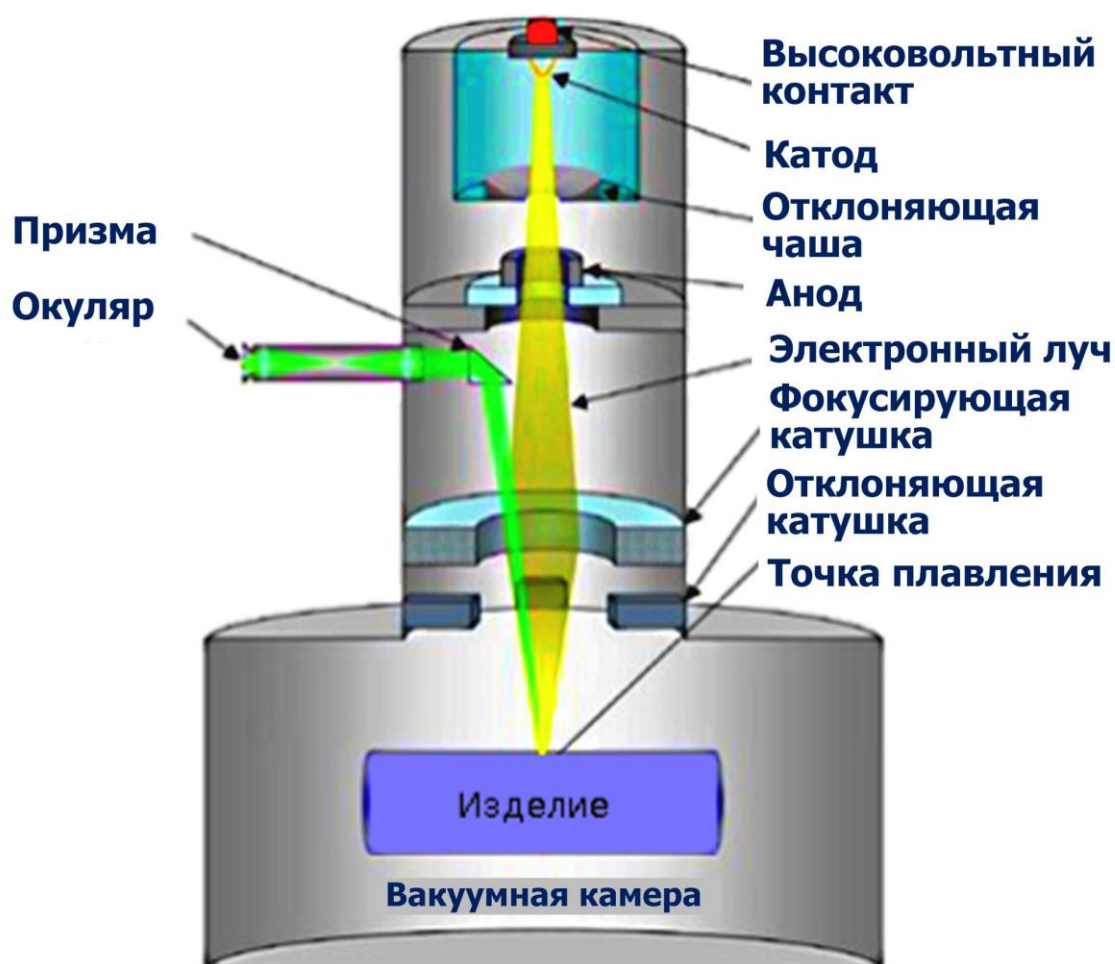


Рисунок 8 – Схема процесса электронно-лучевой сварки

Нагрев свариваемого металла осуществляется пучком быстро движущихся электронов. Попадая на поверхность свариваемого изделия электроны тормозятся, кинетическая энергия преобразуется в тепловую [16].

При электронно-лучевой сварке требования к сборке достаточно жесткие. Если толщина свариваемых пластин менее 5 мм зазор должен находиться в пределах 0,05...0,07 мм. Если толщина пластин менее 20 мм зазор не более 0,1 мм.

После загрузки изделий в вакуумную камеру воздух откачивается до давления 0,1 Па. По достижении данной глубины вакуума включается высоковакуумная откачка давление падает до 0,01 Па. Теперь можно включать электронную пушку. Вакуум необходим для электрической изоляции анода и катода в пушке, предотвращения рассеивания электронного пучка. Попутно вакуум предотвращает окисление нагретого металла и обеспечивает его дегазацию. Характерным моментом для электронно-лучевой сварки является высокое значение ускоряющего напряжения, составляет 10-100 кВ, сила тока луча десятки миллиампер. За счет фокусировки луча можно получить высокую концентрацию энергии в пятне. При этом получается т.н. кинжальное проплавление [18]

Достоинства процесса:

- локальная область нагрева;
- высокая производительность процесса сварки;
- высокое качество соединения;
- большая толщина свариваемых деталей;
- легкость автоматизации.

Недостатки процесса:

- сложное в эксплуатации и громоздкое оборудование;
- жесткие требования к сборке;
- значительное время уходит на откачку воздуха из камеры;
- сложность наведения луча на стык.

## 2.2 Проектный технологический процесс сборки и сварки

Поскольку вал реактивного двигателя причисляется к группе контроля №1 предварительно, для каждого вала выполняется проверка свойств металла заготовки. Операцииковки, механической обработки, входного контроля и сборки под сварку не изменяются, по сравнению с базовым техпроцессом. Также неизменными остаются операции подготовки кромок. Сначала выполняется механическая подготовка, затем обезжиривание ацетоном и непосредственно перед загрузкой в вакуумную камеру установки обезжиривание спиртом [18].

Также важным моментом для ЭЛС является подготовка кромок. Здесь требуется сочетание механического метода и физико-химических методов. На первом этапе выполняется механическая подготовка, и затем физико-химическая. Сначала поверхности обезжириваются ацетоном. Непосредственно перед загрузкой в вакуумную камеру поверхности обезжириваются спиртом. Причем, обработка поверхностей выполняется, в отличие от дуговой сварки, до 100 мм от сварного соединения [31].

Для ЭЛС – размагничивание является ответственной операцией. Остаточная намагниченность деталей искривляет траекторию электронного луча, возможны непровары [30].

Для размагничивания следует внешним переменным магнитным полем с убывающей амплитудой воздействовать на деталь. Для данной операции могут быть применены соленоиды.

После загрузки обрабатываемого изделия в вакуумную камеру начинается откачка воздуха, до давления 0,1 Па откачка ведется ротационным насосом из камеры установки и корпуса пароструйного насоса. По достижении указанной глубины вакуума включается нагреватель пароструйного насоса и после того как закипит рабочая жидкость в пароструйном насосе и начнется откачка до высокого вакуума, давление падает до 0,01 Па. Выполняется

включение блоков установки изображенной на рисунке 4. Включается усилитель тока катушки; модулятор; блок фильтрации и регулирующий блок. Расстояние до коллектора электронов устанавливается 40 мм. Напряжение источника смещения напряжения составляет 20 В [23].

Затем можно включать изделие на вращение и включать электронный луч. Ускоряющее напряжение составляет 90 кВ, сила тока луча 50 мА, скорость сварки 5 мм/сек. После полного переплава начала сварного шва производится отключение электронного луча. Однако насосы, в том числе высоковакуумный агрегат, продолжают работать еще 10 минут. Затем производится отключение напряжения на плитке высоковакуумного агрегата. Через 15 минут отключают ротационный насос, напускают в камеру воздух и извлекают вал [29].

На операции контроля применяют, помимо визуально-измерительного способа контроля ультразвуковой, рентгенографический, капиллярный способы контроля [28].

### **3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса**

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

Любым производственным процессам сопутствуют опасные и вредные производственные факторы. Задача раздела безопасность и экологичность бакалаврской работы опасные и вредные производственные факторы выявить и нейтрализовать [27].

Для изготовления рассматриваемого изделия применяется в настоящее время на предприятии вариант технологии сварки основанный на электронно-лучевой сварке. Предложен вариант сварки с использованием устройства для у. Он обладает следующими преимуществами. Производительность выше за счет того, что нет необходимости прерывать цикл сварки для замены израсходованного электрода. Кроме того, при сварке электрический ток идет не по всей длине присадочного стержня а по т.н. вылету. Это позволяет значительно увеличить силу сварочного тока [24].

Предлагаемая к внедрению на предприятии технология сборки и сварки состоит из таких операций как: операции, контроля заготовок и сварочных материалов, принимает участие в данной технологической операции дефектоскопист; подготовка заготовок к сварке, занимается данной технологической операцией слесарь-сборщик; соединение деталей при помощи прихваток, выполняемых посредством механизированной сварки, выполняет данные технологические манипуляции электросварщик; выполнение посредством механизированной сварных соединений, задействован при выполнении данных технологические манипуляции электросварщик; завершающая операция – контроль, задействован в ней дефектоскопист, таблица 2.

Таблица 2 - Технологический паспорт технического объекта

Наименование операции предлагаемого технологического варианта	Должность исполнителя	Оборудование необходимое для реализации предлагаемого технологического варианта	Вспомогательные материалы и вещества необходимые для предлагаемого технологического варианта
1) контроль заготовок вала ротора	Дефектоскопист	Измерительный инструмент.	Рукавицы
2) подготовка заготовок к сварке	Слесарь-сборщик	Щетка металлическая, ветошь.	Рукавицы, ацетон, спирт
3) сборка деталей вала	Электросварщик	Сварочная установка ЭЛУ-10	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ,
4) выполнение сварного соединения	Электросварщик	Сварочная установка ЭЛУ-10	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ,
5) операция проверки качества готового вала	Дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля, аппарат рентгеновский, набор капиллярного контроля	Рукавицы, вода техническая

Анализ информации в таблице 2 позволяет в дальнейшем провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии.

### 3.2 Систематизация профессиональных рисков

Рассмотрение операций технологического процесса в направлении поиска опасных и вредных факторов позволит систематизировать факторы для дальнейшего анализа, таблица 3. Травмы на производстве и профессиональные заболевания появляются по причине действия на организм работников опасных и вредных факторов [25]. Если после непродолжительного действия появляются повреждения организма, это травма. Для появления

профессионального заболевания требуется действие вредного фактора в течение продолжительного времени, месяцы, годы.

Таблица 3 – Систематизация профессиональных рисков

Наименование операции	Выявленный опасный или вредный фактор, угрожающий жизни и здоровью производственного персонала	Производственные объекты, являющиеся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1) контроль заготовок	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.</li> </ul>	- инструменты
2) подготовка заготовок к сварке	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ацетон;</li> <li>- спирт</li> </ul>
3) сборка деталей вала	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы;</li> <li>- подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- оснастка сборочная универсальная;</li> <li>- набор щупов;</li> <li>- сварочная установка ЭЛУ-10</li> </ul>
4) выполнение сварного соединения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность;</li> </ul>	- сварочная установка ЭЛУ-10



### Продолжение таблицы 3

1	2	3
5) операция проверки качества готового вала	<ul style="list-style-type: none"><li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li><li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li><li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li><li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- аппарат рентгеновский;</li><li>- набор ДМК-4.</li></ul>

В любом случае после систематизации профессиональных рисков потребуется разработка перечня мероприятий, технических и организационных, по нейтрализации воздействия рисков на человеческий организм [26].

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для уменьшения воздействия на организм работающих на производстве опасных и вредных факторов применяется комплекс организационных и технических мероприятий.

В первую очередь следует по приему на работу и периодически разяснять причины возникновения опасных и вредных факторов и методы борьбы с ними. Кроме того, различного рода плакаты, вывешенные на видных местах напоминают работникам каждый день о борьбе с опасными и вредными факторами и причинах их возникновения. Все это организационные мероприятия. К техническим мероприятиям следует отнести различного рода барьеры, устанавливаемые вокруг опасного места, предохранительные устройства, срабатывающие при пересечении работником опасного места. Также для нейтрализации могут быть применены индивидуальные средства

защиты, к которым относится специальная одежда, выполненная для нейтрализации опасного или вредного фактора, различного рода маски, перчатки, специальная обувь, средства индивидуальной защиты.

Таблица 5 – Используемые с целью снижения влияния отрицательных производственных условий средства и методики

Выявленный опасный или вредный фактор, угрожающий жизни и здоровью производственного персонала	Организационные и технические средства нейтрализующие выявленные опасные и вредные факторы.	Средства нейтрализующие опасный или вредный фактор при размещении непосредственно на работнике.
1	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.	1) на видных местах вывешиваются плакаты и информационные стенды по правилам поведения в той или иной ситуации; 2) вводные и периодические инструктажи по технике безопасности	Спецодежда, перчатки.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1) ограждения и барьеры; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек 3) установка предохранительных устройств	Спецодежда, перчатки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	1) местные вытяжные устройства; 2) устройства общеобменной вентиляции; 3) организация общецеховой системы вентиляции, обеспечивающей, в целом, удаление и поступление воздуха извне	Защитные маски
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи.	1) организация защитного заземления; 2) периодические инструктажи по технике электробезопасности; 3) измерения сопротивления изоляции проводников; 4) измерения сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда, перчатки
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности; 2) удаление производственного персонала из места действия данного опасного фактора за счет механизации и автоматизации процесса	Спецодежда, перчатки
6) инфракрасное излучение	1) экранирование опасной зоны; 2) ограждения и барьеры препятствующие проникновению персонала в опасную зону; 3) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение	1) экранирование опасной зоны; 2) ограждения и барьеры препятствующие проникновению персонала в опасную зону 3) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение	1) на видных местах вывешиваются плакаты и информационные стенды;	-

Ранее была выполнена идентификация опасных и вредных

производственных факторов, совокупное или раздельное действие которых приводит к возникновению профессиональных рисков.

Анализ этих факторов позволяет предложить для каждого из них стандартные технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить действие этих факторов или уменьшить их действие до приемлемого уровня.

### **3.4 Обеспечение пожарной безопасности на производственном участке**

При реализации проектной технологии существует риск подвергания персонала и имущества предприятия опасным факторам пожара. Для того, чтобы предложить меры защиты от пожара, следует, во-первых, разработать мероприятия против возникновения пожара, во-вторых, предусмотреть средства для устранения пожара.

По определению пожар – это неконтролируемый процесс горения. Причиной пожара может быть нарушение технологического регламента, неисправность производственного оборудования, несоблюдение сотрудниками правил пожарной безопасности. Соответственно и мероприятия по обеспечению пожарной безопасности направлены на борьбу с перечисленными причинами. Если рассматривать производственный участок изготовления рассматриваемого изделия то возможный пожар можно классифицировать как «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Для того, чтобы разработать предложения по предотвращению пожара необходимо проанализировать его опасные факторы, таблица 6. Перечень технических и организационных мероприятий, нейтрализующих причины возникновения пожара, таблица 7.

Таблица 6 – Распознавание классов и опасных условий пожара

Участок	Установленное на участке оборудование	«Классификация по виду горящего вещества» [23]	«Наименование основных опасных факторов пожара» [23]	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сборка и сварка рассматриваемого изделия	Сварочная установка ЭЛУ-10	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [23]	«Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него» [23].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [23].

Таблица 7 – Перечень мер по обеспечению пожарной безопасности

Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	Средства, применяемые в начале возгорания	Средства, применяемые в начале возгорания
Специализированные расчеты (вызываются)	Мобильные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения
Нет необходимости для применения на производственном участке	Стационарные установки системы пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения
Нет необходимости для применения на производственном участке	Средства пожарной автоматики	Средства пожарной автоматики
Пожарный кран	Пожарное оборудование	Пожарное оборудование
План эвакуации	Средства, обеспечивающие эвакуацию персонала	Средства, обеспечивающие эвакуацию персонала
Ведро конусное, лом, лопата штыковая	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)
Кнопка оповещения, телефон в помещении начальника участка	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Для обеспечения защиты участка на высоком уровне также необходимы мероприятия организационного характера, их краткий перечень отражен в таблице 8.

Таблица 8 – Организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производственного участка

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
«Участок для сборки и сварки валов газотурбинных двигателей» [23]	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [23].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [23].

Вышеперечисленные мероприятия обеспечат защиту персонала и имущества предприятия от возможного пожара.

### **3.5 Экологическая безопасность разработанного технического объекта**

Осуществление проектного технологического процесса приводит к возникновению не только опасных и вредных производственных факторов, но и значительно ухудшает экологическую обстановку из-за отрицательного воздействия на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу). В ходе выполнения настоящего раздела необходимо провести идентификацию вредных экологических факторов, которые возникают при реализации проектной технологии, таблица 9. И разработать мероприятия по уменьшению их вредного воздействия.

Таблица 9 – Систематизация факторов негативно влияющих на окружающую среду

Наименование технологического процесса	Перечень операций, технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Электронно-лучевая сварка	«контроль заготовок подготовка заготовок к сварке, сборка, операция сварки стыка, контрольные операции» [23]	Выделяемые в процессе работы ротационного насоса пары масел	«Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки» [14].	«Мусор – бытовой и производственный» [14].

Таблица 10 – Борьба с факторами негативно влияющими на окружающую среду

Наименование мер борьбы	Сварка
Борьба с факторами негативно влияющими на атмосферу.	«Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при работе насоса паров масел» [6].
Борьба с факторами негативно влияющими на гидросферу	Контроль утечек химикатов при проявлении рентгеновской пленки.
Борьба с факторами негативно влияющими на литосферу	«Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости» [6].

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы предусматривает проведение поиска и анализа опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектной технологии электронно-лучевой сварки.

В рамках решения 3 задачи бакалаврской работы выявлены факторы, оказывающее негативное влияние на производственный персонал и окружающую среду. Для успешной борьбы с выявленными факторами предложены уже применяющиеся методики, включающие в себя организационные и технические мероприятия. К числу организационных

следует отнести периодические разъяснения причины возникновения опасных и вредных факторов и методы борьбы с ними, во время проведения вводных и ежеквартальных инструктажей. Кроме того, различного рода плакаты, вывешенные на видных местах напоминают работникам каждый день о борьбе с опасными и вредными факторами и причинах их возникновения. К числу технических мероприятий следует отнести различного рода барьеры, устанавливаемые вокруг опасного места, предохранительные устройства, срабатывающие при пересечении работником опасного места.

Также для нейтрализации факторов, оказывающих негативное влияние, могут быть применены индивидуальные средства защиты, к которым относится специальная одежда, выполненная для нейтрализации опасного или вредного фактора, различного рода маски, перчатки, специальную обувь.

Также в разделе предложены мероприятия по защите рабочего персонала и предприятия от возникающих пожаров, что выполнено путём идентификации опасных факторов пожара и назначения способов устранения этих факторов. Предложены стандартные средства и мероприятия по устранению опасности возникновения пожара и тушению пожара, если он произошёл.

## **4 Расчет экономических параметров предлагаемой технологии**

### **4.1 Вводная информация для расчета**

Для решения четвертой задачи бакалаврской работы необходимо рассчитать экономические параметры разработанной технологии сварки. На основании анализа передовых достижений сварочной науки и возможных вариантов сварки рассматриваемого изделия предложен способ электронно-лучевой сварки при автоматическом наведении электронного луча на стык.

Для реализации предлагаемых технических решений на сварочном участке требуется модернизация установки ЭЛУ-10. Также в работе спроектирована специализированное оборудование для модернизации установки ЭЛУ-10. По этим позициям необходимо будет рассчитать капитальные затраты. Затраты должны быть компенсированы за счет увеличения производительности и качества. Причем, время в течение которого должны быть компенсированы капитальные затраты ограничено. В целом, по машиностроению нормативный срок окупаемости капитальных вложений принят 3 года.

Применяемый в настоящее время на предприятии вариант технологии сварки основан на электронно-лучевой сварке в установке ЭЛУ-10. Сварка по предлагаемому варианту обладает следующими преимуществами. Производительность выше за счет того, что можно увеличить скорость сварки. Кроме того, при сварке улучшается качество сварного соединения за счет исключения таких дефектов, как несплавления.

Экономические расчёты требуют таких сведений как величины коэффициентов различных принятых в промышленности, размер почасовой тарифной ставки, стоимость электрической энергии, и т.д. Все эти данные для применяемого технологического варианта и предлагаемого систематизируем в таблице 11.



Таблица 11 – Вводная информация для выполнения расчетов

Наименование показателя	Обозначение показателя в формуле	В чем измеряются финансовые показатели	Численные значения финансовых показателей	
			Применяемый вариант	Предлагаемый вариант
1	2	3	4	5
Коэффициент, позволяющий при расчетах определить заводские расходы	$K_{зав}$	-	1,15	1,15
Коэффициент, позволяющий при расчетах определить цеховые расходы	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Требуемый разряд рабочих	$P_p$	-	V	IV
Оплата рабочему за один час отработанного времени	$Cч$	Р/час	200	175
Режим сменности	$K_{см}$	-	1	1
Коэффициент, позволяющий рассчитать доплаты к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент, позволяющий рассчитать отчисления на дополнительную заработную плату	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент, позволяющий рассчитать выполнение нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Коэффициент, позволяющий рассчитать транспортно-заготовительные расходы	$K_{т-з}$	%	5	5
Цена приобретения применяемого и предлагаемого оборудования	$C_{об}$	Руб.	150000	340000
Значения мощности применяемого и предлагаемого оборудования	$M_{уст}$	кВт	5	8
Коэффициент, позволяющий рассчитать отчисления на социальные потребности	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент, позволяющий рассчитать амортизацию оборудования	$Ha$	%	21,5	21,5
Коэффициент, позволяющий рассчитать затраты на монтаж предлагаемого оборудования и демонтаж применяемого оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Стоимость электрической энергии для промышленных предприятий	$C_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Значения коэффициента полезного действия предлагаемого и применяемого оборудования	КПД	-	0,7	0,85

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5
Площадь занимаемая предлагаемым и применяемым оборудованием	$S$	$m^2$	11	11
Затраты на эксплуатацию производственных площадей для предприятия	$C_{\text{эсп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
Принятые значения цены производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	$P/m^2$	30000	30000
Коэффициент, позволяющий рассчитать норму амортизации производственных площадей под предлагаемое оборудование и применяемое оборудование	$Ha.пл.$	%	5	5
Коэффициент, позволяющий рассчитать необходимость в дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3

#### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Общее время работы оборудования и рабочих составляет годовой фонд времени. Для предлагаемого варианта технологии и применяемого на предприятии данный экономический показатель одинаков.

Для определения данного экономического показателя понадобится общее количество рабочих дней в году  $D_p = 277$  дней, продолжительность одной смены  $T_{\text{см}} = 8$  часов, общее количество дней в преддверии праздников  $D_{\text{п}} = 7$  дней, в эти дни продолжительность смены по принятому законодательству меньше на  $T_{\text{п}} = 1$  час, режим работы предприятия односменный, следовательно количество смен  $K_{\text{см}} = 1$ . По приведенной зависимости выполняем расчетное определение годового фонда времени:

$$F_{\text{н}} = (D_p \cdot T_{\text{см}} - D_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}) \cdot K_{\text{см}} . \quad (3)$$

Расчёты согласно (3) показывают значение 2209 часов:

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

Время работы оборудования необходимо уменьшить на величину обусловленную потерями рабочего времени, коэффициент  $B = 7 \%$ :

$$F_3 = F_H(1 - B/100). \quad (4)$$

Расчёты согласно (4) показывают значение 2054 часа:

$$F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время  $t_{шт}$  можно найти сложив затраты времени машинного  $t_{маш}$ ; вспомогательного  $t_{всп}$ ; времени обслуживания оборудования  $t_{обсл}$ ; времени на личный отдых  $t_{отд}$  и подготовительно-заключительное время  $t_{п-з}$ .

$$t_{шт} = t_{п-з} + t_o + t_в + t_{отд} + t_{обсл} + t_{п-з} \quad (5)$$

Для определения машинного времени расчетным способом понадобятся численные значения скорости сварки и протяженности сварного шва. Скорость сварки для применяемого варианта технологии составляет  $V_{св} = 20$  см/мин, для предлагаемого  $V_{св} = 30$  см/мин.

Длина сварных соединений для применяемого и предлагаемого варианта одинакова и составляет с учетом диаметра вала в месте выполнения сварного соединения 14,8 см, 46,4 см.

Для определения машинного времени воспользуемся зависимостью:

$$t_{\text{маш}} = \frac{\Sigma L}{V_{\text{CB}}} \quad (6)$$

Машинное время, рассчитанное для применяемого и предлагаемого варианта, составит 2,32 мин, и 1,54 мин.

$$t_{\text{штБ}} = 2,32 + 10 + 2,32 \cdot 8\% + 2,32 \cdot 5\% + 2,32 \cdot 1\% = 12,64 \text{ мин} = 0,21 \text{ час}$$

$$t_{\text{штПР}} = 1,54 + 10 + 1,54 \cdot 8\% + 1,54 \cdot 5\% + 1,54 \cdot 1\% = 11,75 \text{ мин} = 0,195 \text{ час}$$

Штучное время, рассчитанное для применяемого на предприятии и предлагаемого варианта систематизируем в таблице 12:

Таблица 12 – Штучное время, мин.

Вариант	$t_{\text{маш}}$	$t_{\text{всп}}$	$t_{\text{обсл}}$	$t_{\text{отл}}$	$t_{\text{п-з}}$	$t_{\text{шт}}$
Применяемый:	2,32	10	0,18	0,116	0,02	12,64
Предлагаемый	1,54	10	0,123	0,077	0,015	11,75

Величина вспомогательного времени 10 минут с учетом времени откачки вакуумной камеры до рабочего давления при котором можно включать электронный луч.

Согласно заданию на выпускную квалификационную работу годовая программа составляет  $P_r = 1000$  изделий в год.

Для определения нужного количества технологического оборудования  $n_{\text{расч}}$ , нам необходимо знание коэффициента выполнения нормы, для применяемого и предлагаемого варианта технологии он одинаков,  $K_{\text{вн}} = 1,03$ , и эффективного фонда работы оборудования. Расчеты выполняются согласно формуле:

$$n_{РАСЧ} = \frac{t_{шт} \cdot \Pi_{Г}}{F_{Э} \cdot K_{ВН}} \quad (7)$$

Определенное по формуле (7) нужное число оборудования составляет:

$$n_{об.расчетнб} = \frac{1000 \cdot 12,64}{1812 \cdot 60} = 0,11 \text{ шт.}$$

$$n_{об.расчетнпр} = \frac{1000 \cdot 11,75}{1812 \cdot 60} = 0,1 \text{ шт.}$$

Согласно проведенным расчётам для предлагаемого варианта требуется одна единица оборудования и для применяемого варианта также требуется одна единица оборудования. Тогда для определения коэффициента загрузки для предлагаемого варианта и применяемого нам потребуются расчеты по зависимости:

$$Kз = n_{расч}/n_{пр}. \quad (8)$$

Полученные расчетным путем по формуле (8) коэффициенты загрузки  $K_з$  для применяемого на предприятии варианта и предлагаемого варианта:

$$k_{зб} = \frac{0,11}{1} = 0,11$$

$$k_{зпр} = \frac{0,1}{1} = 0,1.$$

#### **4.4 Определение заводской себестоимости применяемого и предлагаемого вариантов**

Для выполнения сварных швов в применяемом варианте технологии и в предлагаемом вспомогательные материалы не требуются.

Для определения основной заработной платы  $Z_{осн}$  работников, нам понадобятся численные значения штучного времени  $t_{шт}$ , часовой тарифной ставки  $C_ч$  и значения коэффициента  $K_д$  доплат. Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_д. \quad (9)$$

Основная заработная плата рабочих для применяемого и предлагаемого вариантов технологии определенная согласно формулы (10) составляет:

$$ЗПЛ_{осн}^B = 0,21 \cdot 200 \cdot 1,81 = 76,02 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{осн}^{ПР} = 0,195 \cdot 175 \cdot 1,81 = 61,76 \text{ руб.}$$

Для расчета дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$  воспользуемся значениями коэффициента  $K_{доп}$  которые составляют 12 %:

$$Z_{доп} = \frac{K_{доп}}{100} \cdot Z_{осн}. \quad (10)$$

После выполнения расчетов согласно (11) по применяемому и предлагаемому вариантам дополнительная заработная плата составит:

$$ЗПЛ_{доп}^B = 76,02 \cdot 12 / 100 = 9,12 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{доп}^{ПР} = 61,76 \cdot 12 / 100 = 7,41 \text{ руб.}$$

Определить размер фонда заработной платы  $\Phi ЗП$  можно просуммировав основную заработную плату работников  $Z_{осн}$  и дополнительную  $Z_{доп}$  заработную плату работников:

$$\Phi ЗП_B = 76,02 + 9,12 = 85,14 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_{ПР} = 61,76 + 7,41 = 69,17 \text{ руб.}$$

Для расчета отчислений  $O_{CH}$  на социальные потребности, воспользуемся коэффициентом  $K_{CH}$  и расчет проведем по следующей формуле:

$$O_{CH} = \PhiЗП \cdot K_{CH} / 100. \quad (11)$$

Размер отчислений  $O_{CH}$  на социальные потребности, по применяемому и предлагаемому вариантам определенным согласно (12) составит:

$$O_{CH}^B = 85,14 \cdot 34 / 100 = 28,94 \text{ руб.}$$

$$O_{CH}^{np} = 69,17 \cdot 34 / 100 = 23,57 \text{ руб.}$$

Для определения суммарных затрат  $Z_{об}$  на оборудование, которое используется для применяемого и предлагаемого вариантов, просуммируем расходы на амортизацию  $A_{об}$  и на электрическую энергию  $P_{ээ}$ :

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (12)$$

Для определения размера амортизации  $A_{об}$  понадобится информация по цене оборудования  $C_{об}$ , по норме амортизации  $H_a$ , ранее рассчитанным значениям машинного времени  $t_{маш}$ , и эффективного фонда времени  $F_э$ , по формуле:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot t_{маш} \cdot H_a \cdot k_z}{\Phi_p \cdot 100}. \quad (14)$$

После расчетов согласно (14) значения амортизации оборудования по применяемому и по предлагаемому вариантам технологии составят:

$$A_{об.БАЗ} = \frac{150000 \cdot 0,16 \cdot 21,5}{2054 \cdot 100} = 2,61 \text{ руб.}$$

$$A_{об.ПР} = \frac{340000 \cdot 0,06 \cdot 21,5}{2054 \cdot 100} = 2,13 \text{ руб.}$$

Для определения размера затрат на электрическую энергию  $P_{э}$  по применяемому и предлагаемому вариантам воспользуемся значениями мощности оборудования  $M_{уст}$ , стоимости электрической энергии для промышленных предприятий  $Ц_{э-э}$  и рассчитанными ранее значениями машинного времени  $t_{маш}$ , также нам потребуется величина коэффициента полезного действия оборудования  $КПД$ . Расчет будем вести по формуле:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{э-э}}{КПД} \quad (15)$$

После расчетов согласно (15) значения расходов на электроэнергию по применяемому и по предлагаемому вариантам технологии составят:

$$P_{э-э \text{ баз}} = 6,8 \cdot 0,16 \cdot 3,2 / 0,7 = 4,97 \text{ руб.},$$

$$P_{э-э \text{ пр}} = 60 \cdot 0,06 \cdot 3,2 / 0,85 = 13,55 \text{ руб.}$$

Просуммировав согласно формуле (13) значения расходов на оборудование по применяемому и предлагаемому вариантам получим следующие значения:

$$Зоб_{баз.} = 2,61 + 4,97 = 7,58 \text{ руб.},$$

$$Зоб_{проектн.} = 2,13 + 13,55 = 15,68 \text{ руб.}$$

Для определения размера технологической себестоимости необходимо просуммировать все определенные ранее в разделе 4.4 затраты.

$$C_{ТЕХ} = M + ФЗП + O_{СН} + З_{ОБ} \quad (16)$$

Определенная согласно формуле (16) технологическая себестоимость для применяемого в настоящее время на производстве и предлагаемого к внедрению варианта технологии составит:

$$C_{ТЕХБаз} = 63,5 + 88,43 + 30,06 + 7,58 = 189,57 \text{ руб.},$$



$$C_{\text{ТЕХПроектн}} = 63,5 + 29,38 + 9,98 + 15,68 = 118,54 \text{ руб.},$$

Для определения размера цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  необходимо к вычисленному значению технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , приплюсовать произведение основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  на значение коэффициента  $K_{\text{цех}}$  цеховых расходов:

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

Определенная согласно формуле (17) цеховая себестоимость для применяемого в настоящее время на производстве и предлагаемого к внедрению варианта технологии составит:

$$C_{\text{ЦЕХБаз}} = 189,57 + 1,5 \cdot 78,96 = 189,57 + 118,44 = 308,01 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн}} = 118,54 + 1,5 \cdot 26,23 = 118,54 + 39,34 = 157,88 \text{ руб.}$$

Для определения размера цеховой себестоимости  $C_{\text{зав}}$  необходимо к вычисленному значению технологической себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , приплюсовать произведение основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  на значение коэффициента  $K_{\text{зав}}$  заводских расходов:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} . \quad (18)$$

Определенная согласно формуле (18) заводская себестоимость для применяемого в настоящее время на производстве и предлагаемого к внедрению варианта технологии составит:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 308,01 + 1,15 \cdot 78,96 = 308,01 + 90,80 = 398,81 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 157,88 + 1,15 \cdot 26,23 = 157,88 + 30,16 = 188,04 \text{ руб.}$$

Выполненные в разделе 4.4 работы расчеты экономических показателей для применяемого в настоящее время на производстве и предлагаемого к внедрению варианта технологии систематизированы в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов показателей себестоимости предлагаемого и применяемого вариантов

Наименование экономического показателя	Услов. обозн.	Калькуляция, руб	
		Применяемый	Предлагаемый
1. Расходы на вспомогательные материалы	<i>М</i>	63,5	63,5
2. Расходы на заработную плату	<i>ФЗП</i>	85,14	69,17
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	28,94	23,57
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	7,58	15,68
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	189,57	118,54
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	118,44	39,34
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	308,01	157,88
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	90,80	30,16
9. Заводская себестоимость	<i>Сзав</i>	398,81	188,04

#### 4.5 Определение капитальных затрат

Для определения капитальных затрат применительно к используемому в настоящее время технологическому процессу,  $K_{\text{общ. б.}}$  необходимо знать остаточную стоимость оборудования  $\Pi_{\text{об.б.}}$ , и рассчитанный согласно (6) коэффициент загрузки оборудования  $K_{з. б.}$ :

$$K_{\text{ОБЩБ}} = \Pi_{\text{ОББ}} \cdot K_{зБ} \quad (19)$$

При определении остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об.б.}}$  используемого для реализации применяемых технологических решений нам понадобится информация по рыночной стоимости оборудования  $\Pi_{\text{перв}}$ , сроку службы оборудования  $T_{\text{сл}}$  и нормы амортизации  $H_{\text{а}}$  оборудования:

$$C_{ОББАЗ} = C_{ПЕРВ} - (C_{ПЕРВ} \cdot T_{СЛ} \cdot H_A / 100) \quad (20)$$

Расчет выполненный по формуле (20) показывает, что остаточная стоимость составит 85500 рублей:

$$C_{ОБ.Баз.} = 150000 - (150000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 85500 \text{ руб.},$$

Тогда расчет выполненный по формуле (19) показывает, что с учетом коэффициента загрузки величина  $K_{общ. б.}$  составит 27350 рублей.

$$K_{ОБЩБаз.} = 1 \cdot 85500 \cdot 0,55 = 27360 \text{ руб.}$$

Для того, чтобы найти капитальные затраты по разработанному в бакалаврской работе варианту  $K_{общ. пр.}$  необходима информация о вложениях в оборудование  $K_{об. пр.}$ , вложениях в производственные площади, необходимые для установки оборудования  $K_{пл. пр.}$ , и о сопутствующих вложениях  $K_{соп.}$ : для расчета применим следующую формулу:

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{пл. пр.} + K_{соп.} \quad (21)$$

При расчетном определении капитальных вложений  $K_{общ. пр.}$  в оборудование для выполнения операций по разработанному в бакалаврской работе варианту технологии необходима информация о цене оборудования  $C_{об. пр.}$ , коэффициенту транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$  и коэффициенту загрузки оборудования  $K_{ЗП}$  по проектному варианту:

$$K_{ОБ.ПР} = C_{об.пр} \cdot K_{ТЗ} \cdot K_{ЗП} \quad (22)$$

Расчет выполненный по формуле (22) показывает, что величина капитальных вложений по предлагаемому варианту технологии 96380 рублей:

$$K_{ОБ.ПР} = 340000 \cdot 1,05 \cdot 0,27 = 96390 \text{ руб.}$$

Чтобы рассчитать сопутствующие капитальные вложения  $K_{\text{соп}}$ . Необходимо учесть расходы на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  оборудования для ручной дуговой сварки и расходов на монтаж оборудования для механизированной сварки в смеси газов  $K_{\text{монт}}$  расчеты выполняются по формуле:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}. \quad (23)$$

При определении расходов на демонтаж оборудования для ручной дуговой сварки  $K_{\text{дем}}$  и монтаж оборудования для механизированной сварки в среде газов  $K_{\text{монт}}$  необходима ранее определенная стоимость оборудования по применяемому варианту  $Ц_б$  и значения рыночной стоимости оборудования  $Ц_{\text{пр}}$  по предлагаемому варианту технологии. Также понадобится информация по значениям коэффициентам на монтаж и демонтаж оборудования  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{м}}$ , расчеты выполняются по формулам:

$$K_{\text{дем}} = Ц_{\text{об.б}} \cdot K_{\text{д}} \quad (24)$$

$$K_{\text{монт}} = Ц_{\text{об.пр}} \cdot K_{\text{м}} \quad (25)$$

Расчет выполненный по формулам (23), (24) и (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 150000 \cdot 0,05 = 7500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 340000 \cdot 0,05 = 17000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 7500 + 17000 = 24500 \text{ руб.}$$

Расчет выполненный по формуле (21) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр}} = 96390 + 24500 = 120890 \text{ руб.}$$

Для определения величины дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  нам потребуется информация по дополнительным капитальным затратам

$K_{\text{общ.пр.}}$  и  $K_{\text{общ.б.}}$  для применяемого на предприятии и разработанного в бакалаврской работе вариантов, расчеты выполняются по формуле:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} \quad (26)$$

Расчет выполненный по формуле (26) показывает, что величина дополнительных капитальных вложений составляет 93530 рублей:

$$K_{\text{доп}} = 120890 - 27360 = 93530 \text{ руб.}$$

Для определения величины удельных капитальных вложений  $K_{\text{уд}}$  воспользуемся формулой:

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}}, \quad (27)$$

где  $N_{\text{пр}}$  – годовая программа выпуска изделий согласно заданию на бакалаврскую работу.

Расчет выполненный по формуле (27) показывает размеры удельных капитальных вложений для предлагаемого  $K_{\text{удПроектн}}$  и применяемого  $K_{\text{удБаз}}$  вариантов технологии:

$$K_{\text{удБаз.}} = 27360/500 = 54,7 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 93530/500 = 187,0 \text{ руб./ед.}$$

#### **4.6 Показатели экономической эффективности**

Для определения величины снижения трудоёмкости  $\Delta t_{\text{шт}}$  при внедрении предлагаемых в бакалаврской работе технических решений воспользуемся формулой:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (28)$$

где  $t_{штБ}$  – штучное время для применяемого на предприятии варианта технологии, основанного на дуговой сварке штучными электродами,  $t_{штПР}$  – предлагаемый в бакалаврской работе для сварки рассматриваемого изделия вариант механизированной сварки в смеси газов.

Расчет выполненный по формуле (28) показывает, что величина снижения трудоемкости составляет 126%:

$$\Delta t_{шт} = \frac{13,01 - 5,2}{13,01} \cdot 100\% = 126\%$$

Для определения величины повышения производительности труда  $\Pi_T$  при внедрении предлагаемых в бакалаврской работе технических решений воспользуемся формулой:

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (29)$$

Расчет выполненный по формуле (29) показывает, что величина повышения производительности труда составляет 150%:

$$\Delta \Pi_T = \frac{100 \cdot 126}{100 - 126} = 150\%$$

Для определения величины снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{ТЕХ}$  при внедрении предлагаемых в бакалаврской работе технических решений воспользуемся формулой:

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{C_{ТЕХБ} - C_{ТЕХПР}}{C_{ТЕХБ}} \cdot 100\% = 70\% \quad (30)$$

Расчет выполненный по формуле (30) показывает, что величина снижения технологической себестоимости для варианта механизированной сварки в среде защитных газов составляет 70%::

$$\Delta C_{TECH} = \frac{189,57 - 55,04}{189,57} \cdot 100\% = 70\%$$

Для определения величины условно-годовой экономии  $Pr_{ож}$  при внедрении предлагаемых в бакалаврской работе технических решений воспользуемся формулой:

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{y.g.} = \left( C_{зав}^{б} - C_{зав}^{np} \right) \cdot N_{np}. \quad (31)$$

Расчет выполненный по формуле (31) показывает, что величина ожидаемой прибыли для варианта механизированной сварки в среде защитных газов составляет 105385 рублей:

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{y.g.} = (398,81 - 188,04) \cdot 500 = 105385 \text{ руб.}$$

Для определения срока окупаемости  $T_{ок}$  дополнительных капитальных вложений воспользуемся формулой:

$$T_{ок} = \frac{K_{общпр}}{\mathcal{E}_{y.g.}}. \quad (32)$$

Расчет выполненный по формуле (32) показывает, что дополнительные капитальные вложения окупятся в течение примерно 1 года:

$$T_{ок} = \frac{93530}{105385} \approx 1,0 \text{ год}$$

Для определения годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_г$ , при внедрении предлагаемых в бакалаврской работе технических решений воспользуемся формулой::

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп} \quad (33)$$

Расчет выполненный по формуле (33) показывает, что величина годового экономического эффекта с учетом компенсации капитальных затрат, определенных в разделе 4.4, составит 73860 рублей.:

$$\mathcal{E}_Г = 105385 - 0,33 \cdot 93530 = 73860 \text{ руб.}$$

Применяемая на предприятии технологии сборки и сварки рассматриваемого изделия основана на дуговой сварке штучными электродами. Механизированная сварка по предлагаемому варианту в газовой смеси обладает преимуществами, согласно результатов расчетов обеспечивающих повышение производительности, что было поставлено в качестве цели бакалаврской работы.

Расчеты показали, что внедрение разработанных в бакалаврской работе технических решений позволит снизить величину трудоемкости на 70 %, и, свою очередь увеличить производительность труда на 150 %. Также к положительным сторонам предлагаемых технических решений следует отнести снижение размера технологической себестоимости на 70%.

Размер условно-годовой экономии при внедрении в производство предлагаемых технических решений составит 105385 рублей.

Если предлагаемые технические решения внедрить в производство для изготовления рассматриваемого изделия будет получен экономический эффект, с учетом компенсации капитальных затрат, определенных в разделе 4.4, составит 73860 рублей. Определенные в разделе 4.4 капитальные затраты, необходимые для внедрения предлагаемых технических решений, окупятся в течение 1 года, что меньше, чем нормативный срок окупаемости.



## Заключение

В настоящем курсовом проекте поставлена цель – повышение качества при сварке вала газотурбинного двигателя.

Применяемая в настоящее время технология электронно-лучевой сварки обладает таким отрицательным показателем как необходимость точного наведения луча на стык. По результатам анализа применяемого технологического процесса сформулированы задачи работы: произвести анализ способов сварки для соединения деталей вала; выбрать оборудование для сварки; разработать технологический процесс для проектного варианта.

В рамках решения первой задачи на основании анализа источников научно-технической информации построение проектной технологии сварки предложено выполнять с использованием электронно-лучевой сварки, но применить устройство для стабилизации положения луча.

При решении второй задачи предложено применить для стабилизации луча установку «Прогноз».

При решении третьей задачи составлена проектная технология сварки вала газотурбинного двигателя, предусматривающая выполнение следующих операций: контроль свойств металла заготовки, механическую обработку, контрольные входного контроля, подготовка кромок, сборка, вакуумирование камеры, сварка, контрольные итогового контроля.

Задачи выполнены, цель достигнута.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Алешин, Н.П., Лысак В.И., Лукьянов В.Ф. Современные способы сварки: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. 59 с.
2. Алешин, Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений. М.: Машиностроение. 2006. 368 с.
3. Браверман В.Я. Устройство автоматического наведения на стык при электронно-лучевой сварке / Браверман В.Я., Богданов В.В., Платонов О.А. // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22. № 3. С. 517-525.
4. Виноградов, В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки: Учеб. для проф. учеб. заведений. М.: Высш. шк.; Изд. центр «Академия», 1997. 319 с.: ил.
5. Голицын, А.В. Организация производства. Учеб. для проф. учеб. заведений. М.: Высш. шк.; Изд. центр «Академия», 2015. 214 с.
6. Демин, Ф.И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей : [учебник] / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев под. общ. ред. проф. Ф. И. Демина. // – 2-е изд. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. 320 с.
7. Кайдалов, А.А. Основные технологические приемы сварки электронным пучком / Кайдалов А. А., Назаренко О. К. // Автоматическая сварка. - 1986. - № 4. - С. 51-58.
8. Климов, А.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150700.62 «Машиностроение» / А.С. Климов. – Тольятти: ТГУ, 2014. – 52с.
9. Козулин, М.Г. Технология изготовления сварных конструкций. Учебно-метод. пособие к курсовому проектированию. - Тольятти: ТГУ 2008.-77 с.

10. Козулин, М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций : учеб. пособие для вузов / М. Г. Козулин. - ТГУ ; гриф УМО. - Тольятти : ТГУ, 2002. - 286 с.

11. Козулин, М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций : учеб. пособие для студ. спец. 150202 "Оборудование и технология сварочного производства" / М. Г. Козулин. - Изд. 2-е, испр. и доп. ; ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2010. - 305 с.

12. Колганов Л. А. Сварочное производство. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 512 с.

13. Мамутов Е.Л. Электронно-лучевая сварка деталей большой толщины. Инженерный поиск / Е.Л. Мамутов. – М. : Машиностроение, 1992. – 232 с.

14. А.С. Зубченко Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., переработ. и доп. / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко – М.: 2014. 1216 с.

15. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста, программам магистратуры: учебно-методическое пособие. Тольятти: ТГУ, 2020. 39 с.

16. Моторин, К.В. Методическое указание по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения. / К.В. Моторин. – Тольятти: ТГУ, 2016. – 7 с.

17. Николаев Г. А. Специальные методы сварки : [учеб. пособие для вузов по спец. "Оборудование и технология сварочного производства] / Г. А. Николаев, Н. А. Ольшанский. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Москва : Машиностроение, 1975. - 230 с.

18. Плюснина Н. П. Специальные методы сварки : учеб.-метод. пособие для студ. спец. 150202 заочн. формы обучения / Н. П. Плюснина ; ТГУ ; каф. "Оборудование и технология сварочного пр-ва и пайки". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2008. - 38 с.

19. Сварка и резка материалов : учеб. пособие / М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин [и др.] ; под ред. Ю. В. Казакова. - 2-е изд., стер. ; Гриф МО. - Москва : Академия, 2002. - 394 с.

20. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 2. Технология и оборудование. Справ. изд./Под ред. В.М. Ямпольского. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 1997. - 574 с.

21. Сварка и резка в промышленном строительстве. Под ред. Малышева Б.Д. - М.: Стройиздат, 1977. 780с.

22. Трушников, Д.Н. Использование параметров вторично-эмиссионного сигнала для управления проплавлением при электронно-лучевой сварке / Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький, В.Е. Щавлев А.Л. Пискунов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. - №1. – С. 175-181.

23. Чебац, В.А. Сварочные работы: Учеб. пособие / В.А. Чебац - 3-е изд. перераб.- Ростов-на-Дону: изд. центр «Феникс», 2006. - 412 с.

24. Щекин, В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов. - Изд. 2-е, перераб / В. А. Щекин - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.

25. Carrol, M. J. Automatic joint for CNC-programmed electron beam welding / M. Carrol, D.E. Powers // Weld. J., 1985, Vol. 64, № 8, p. 34 -38.

26. Eichorn, F. Microprocessor-controlled seam tracking system for electron beam welding Текст. / F. Eichorn, B. Spies, K. Depner, P. Ritz // 3-rd Int. Colloq. Weld. Melt. Electrons and Laser Beam. Lyon, 5-9 sept., 1983, p. 385-593.

27. Furner, A.I. Electron beam welding thick section precipitation-hardening steel Текст. / A.I. Furner // Weld. J., 1981, -№ 1. p. 18 - 66.

28. Kage A.S., Delph A.G., Haley E., Nicholson C.I. Improved welding penetration of 10-kW industrial laser // AppLPhys. Lett. 1983. - V. 45, № 5. -p.412-419.

29. Offenberger A.A., Kerr K.D. Transient plasma diagnostics using simultaneous CO<sub>2</sub>-laser interferometry and absorption // J. Appl. Phys. 1972. - V. 43, №2. - P. 354-356.
30. Mallory Louise C. Deep penetration laser welding // Can. Mach Metalwork. 1988. V.83, №12.-P.14-15.
31. Muller, M. Electron beam welding a fully automatic welding process Текст. / M. Muller // Dev. Innov. Improved Weld. Prod. I-st Int. conf., Birmingham, 13-15 sept., 1983. Abington, 1984, p. 32/1 - p. 32/8.