

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение электронной инженерии

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Повышение эффективности процесса сварки тел вращения из нержавеющей сталей за счет импульсного питания сварочной дуги</b> УДК <u>621.791.75.015:621.374</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Орт Иван Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гордынец А. С.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Маланина В.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Федорчук Ю. М.	д.т.н., профессор		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Марцева Т. А.	к.филол.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гордынец А. С.	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по Основной образовательной программе подготовки магистров  
по направлению **15.04.01 «Машиностроение»**

Профиль подготовки: Машины и технологии сварочного производства

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>В соответствии с общекультурными, общепрофессиональными компетенциями</b>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P7	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P8	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P9	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Гордынец А.С.  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ81	Орт Иван Александрович

Тема работы:

<b>Повышение эффективности процесса сварки тел вращения из нержавеющей сталей за счет импульсного питания сварочной дуги</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№28-46/с от 28.01.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Настоящее техническое задание распространяется на процесс сварки тел вращения из нержавеющей сталей во всех пространственных положениях. Свариваемые детали: труба <math>\varnothing 21 \times 1,5</math> из стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 9941-81. Сварка производится в соответствии с требованиями РД 153-34.1-003-01. Сварное соединение работает при температуре от плюс 40 до минус 30°C.</p> <p>Производственные требования: максимальная производительность, минимальная ширина сварного шва, минимальное усиление сварного шва.</p> <p>Разработанный технологический процесс позволит повысить качество сварных соединений, уменьшить трудозатраты, снизить себестоимость.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p>1 Обзор литературы на предмет современного состояния процесса сварки тел вращения из нержавеющей сталей.</p>

<i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	2 Описание сварной конструкции 3 Технология сварки и выбор сварочных материалов 4 Описание экспериментальной установки 5 Подбор параметров режимов сварки и контроль качества 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7 Социальная ответственность Заключение
<b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1 Цели и задачи работы 2 Характеристика изделия 3 Особенности сварки неповоротных стыков тел вращения 4 Используемое оборудование 5 Способ сварки 6 Предлагаемые режимы сварки 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8 Социальная ответственность 9 Выводы по работе.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1-10 Основной	Гордынец Антон Сергеевич
11 Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент	Маланина Вероника Анатольевна
12 Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Литературный обзор	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	30.01.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А. С.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Орт Иван Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ81	Орту Ивану Александровичу

<b>Инженерная школа</b>	Неразрушающего контроля и безопасности	<b>Отделение</b>	Электронной инженерии
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление / специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1.Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1.Литературные источники; 2. Методические указания по разработке раздела; 3.Сборник типовых норм на сборочно-сварочные работы; 4.Налоговый кодекс РФ
2.Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3.Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1.Оценка коммерческого потенциала, перспективности технологии сварки с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.Выявление потенциальных потребителей результатов исследований 2.Анализ конкурентных технических решений 3.SWOT–анализ 4.Оценка готовности проекта к коммерциализации
2.Планирование и формирование бюджета	5.Проведение планирования и определение трудоемкости выполнения исследования 6.Формирование бюджета исследования
3.Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	7.Оценка сравнительной эффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н., доцент		24.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ВМ81	Орт Иван Александрович		24.02.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ81	Орту Ивану Александровичу

<b>Школа</b>	Неразрушающего контроля и безопасности	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Электронной инженерии
<b>Уровень образования</b>	магистр	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Повышение эффективности процесса сварки тел вращения из нержавеющей сталей за счет импульсного питания сварочной дуги.

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Технология сварки тел вращения из нержавеющей сталей
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1.1 При автоматической сварке в среде защитных газов присутствуют следующие вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Недостаточная освещенность; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ;</li> <li>- Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;</li> <li>- Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</li> <li>- Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</li> <li>- Наличие токсикантов, сварочные аэрозоли; ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <p>Подвижные части производственного оборудования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях; заготовок, инструментов;</li> <li>- Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;</li> <li>- УФ- и ИК-радиация;</li> <li>- Взрыв баллонов с сжатым газом.</li> <li>- Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R<sub>заземления</sub>, СКЗ, СИЗ;</li> <li>- Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и</li> </ul>
---	---

	ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Воздушная среда производственных помещений загрязняется сварочным дымом, в состав которого в основном входят аэрозоли металлов и их окислов (железа, марганца, хрома, вольфрама, алюминия, титана, цинка, меди, никеля и др.), газообразных фтористых соединений и многих других элементов. Кроме аэрозолей в состав дыма могут входить вредные газы: окиси углерода, азота и озона.</p> <p>Так же на рабочем месте возникают отходы (металлическая стружка, абразивная пыль, куски металла), что потребовало разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов и минимизации их воздействия.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>При проведении сварочных работ в условиях г. Томска наиболее возможными ЧС являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-пандемия COVID-19;</li> <li>-террористические акты</li> <li>- разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>
<p><b>4. Перечень нормативно-технической документации, использованной в разделе «СО».</b></p>	<p>ГОСТы, СанПиНы, СНИПы</p> <p>Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	26.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н., профессор		26.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Орт Иван Александрович		26.02.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 Машиностроение  
 Профиль «Машины и технологии сварочного производства»  
 Уровень образования магистр Отделение электронной инженерии  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:  
 магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2020	Литературный обзор	25
25.02.2020	Материалы, оборудование и методы исследования	5
29.03.2020	Экспериментальная часть	35
15.04.2020	Анализ полученных результатов	5
20.04.2020	Выводы	5
22.04.2020	Финансовый менеджмент	10
06.05.2020	Социальная ответственность	10
13.05.2020	Иностранный язык	5
24.05.2020	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гордынец А. С.	к.т.н, доцент		30.01.2020

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	к.т.н., доцент		30.01.2020

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 124 с., 15 рис., 22 табл., 39 источников, 12 листов демонстрационного материала (слайдов).

Ключевые слова: тела вращения, метод автоопрессовки, импульсное питание.

Объектом исследования является: процесс сварки тел вращения из нержавеющей сталей.

Цель работы заключается в повышении эффективности процесса сварки тел вращения из нержавеющей сталей.

В процессе исследования были подобран способ сварки, дано обоснование эффективности внедряемого способа, с помощью экспериментальной установки подобраны программируемые параметры режимов сварки, проведен экономический анализ предлагаемой технологии, анализ вредных и опасных факторов на производстве.

В результате исследования была повышена эффективность технологии сварки тел вращения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: простой в реализации технологический процесс, имеющий высокую стабильность и низкую себестоимость.

Данная технология успешно внедряется на предприятии ООО «Завод ПСА ЭлеСи».

Область применения: результаты работы могут быть применены на предприятиях химической, нефтяной, пищевой, топливно-энергетическом отрасли.

Значимость работы: внедрение данной технологии позволит уменьшить количество брака при сварке тел вращения из нержавеющей сталей, снизить себестоимость и требования к квалификации сварщиков, повысит производительность.

## Оглавление

Введение.....	16
1 Литературный обзор .....	19
1.1 Особенности сварки неповоротных стыков .....	19
1.2 Обоснование выбора способа сварки.....	23
2 Описание конструкции .....	31
2.1 Материал сварной конструкции .....	31
2.2 Технологическая свариваемость стали 12X18H10T.....	32
3 Технология сварки и выбор сварочных материалов .....	35
3.1 Метод автоопрессовки.....	35
3.2 Подготовка сварного соединения к сварке.....	36
3.3 Выбор сварочных материалов .....	38
4 Описание экспериментальной установки.....	41
4.1 Сварочная головка.....	42
4.2 Система импульсного питания сварочной дуги .....	44
4.3 Блок управления ДС САУ4.33 .....	45
4.4 Описание центрирующего устройства.....	46
5 Разработка программных режимов сварки и контроль качества .....	49
5.1 Разработка программных режимов сварки.....	49
5.2 Контроль качества.....	52
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	56
6.1 Предпроектный анализ .....	56
6.2 Инициация проекта .....	63
6.3 Планирование управления проектом .....	66
6.4 Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования.....	77
7. Социальная ответственность .....	79

7.1 Описание рабочего места .....	79
7.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	80
7.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	92
7.4 Охрана окружающей среды .....	102
7.5 Защита в ЧС .....	103
7.6 Перечень нормативно-технической документации, использованной в разделе.....	105
Заключение.....	107
Список использованных источников .....	108
Приложение А. 1 Literature review	

## **Нормативные ссылки**

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

СТП ТПУ 2.5.01–2014 Положение о выпускных квалификационных работах бакалавра, специалиста и магистра в Томском политехническом университете.

ГОСТ 7.32–2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ Р 1.5–2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Процессы сварки металлов. Термины и определения.

## Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Автоматическая дуговая сварка:** механизированная дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача плавящегося электрода или присадочного металла и относительное перемещение дуги и изделия осуществляются механизмами без непосредственного участия человека, в том числе и по заданной программе

**Сварочный шов:** участок сварки, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации.

**Сварочная ванна:** часть наплавленного металла шва, находящаяся при наплавке плавлением в жидком состоянии.

**Свариваемость** - это свойство металла или сочетания металлов образовывать при применении установленной технологии наплавки соединения, отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией или эксплуатацией изделия.

**Статический режим (состояние установившегося равновесия):** при котором  $I_d$  и  $u_d$  в течении длительного времени остаются неизменными. Зависимость между током и напряжением дуги в этом состоянии называется статической вольтамперной характеристикой дуги, а зависимость между током и напряжением источника питания - временной ВАХ источника питания.

**Динамический режим (состояние неустановившегося равновесия):** при возбуждении дуги или возмущениях зависимость между  $U_d$  и  $I_d$  называется динамической характеристикой дуги, а зависимость между током и напряжением источника динамической характеристикой источника.

## Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

Аргон газообразный; **Ar**;

Газ углекислый; **CO<sub>2</sub>**;

Зона термического влияния (**ЗТВ**);

Импульсный усилитель (**ИУ**);

Длительность паузы **T<sub>п</sub>, с**;

Длительность импульса **T<sub>и</sub>, с**;

Ток дуги **I<sub>д</sub>, А**;

Напряжение дуги **U<sub>д</sub>, В**;

Напряжение заданное **U<sub>з</sub>, В**;

Ток импульса **I<sub>и</sub>, А**;

Напряжение импульса **U<sub>и</sub>, В**;

Скорость сварки **U<sub>св</sub>, см/с**;

Вес сварочной ванны **G**;

Давление дуги **P<sub>д.д</sub>**;

Сила поверхностного натяжения **P**;

Площадь проплавления **F<sub>пр</sub>, см<sup>2</sup>**;

Теплосодержание металла в сварочной ванне **h<sub>п</sub>, Дж/г**;

## **Введение**

Обеспечение стабильно высокого качества сварных соединений тел вращения с толщиной стенки до трех миллиметров из нержавеющей сталей является одной из важных проблем, с которой сталкиваются современные предприятия. Такие соединения применяются для большого числа изделий в промышленности: стыки тонкостенных труб и чехлов теплообменников, кольцевые стыки трубопроводов для пищевых продуктов и продуктов нефтехимического производства и др.

В 70-х — 80-х годах 20-го века были разработаны теоретические основы автоматизации сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов, на основании которых ведущими предприятиями страны создана широкая гамма оборудования [1]. Но приемлемая эффективность была достигнута лишь при производстве однотипных крупносерийных изделий, для которых были подобраны адекватные математические модели и созданы оптимальные аналоговые регуляторы. Однако сложности оперативного изменения параметров данных регуляторов и низкое быстродействие вычислительной техники не позволяло в полной мере управлять качеством. Стоит также учитывать, что такие методы сварки в большей степени применялись при сварке в нижнем положении, в отсутствие постоянного изменения в пространстве положения сварочной ванны, а также характера движения в ней расплавленного металла.

В последнем десятилетии прошлого века, благодаря бурному развитию микропроцессорной техники стали доступны новые семейства микроконтроллеров и полупроводниковых приборов, а также быстродействующих вычислительных систем. Современная элементная база, применяемая в сварочном оборудовании, позволила на новом уровне в цифровом виде решить задачи управления качеством сварочного процесса, создать и внедрить микропроцессорные системы контроля, разработать новые законы управления.

Предприятие ООО «Завод ПСА ЭлеСи» занимается изготовлением и поставкой различного технологического оборудования: пунктов контроля и управления, дизельных электростанций, змеевиков охлаждения для предприятий газовой, нефтяной и химической отраслей. И проблема повышения качества сварки тел вращения из нержавеющей сталей на данном предприятии является одной из самых актуальных.

Создание и внедрение устройств, позволяющих реализовать наиболее современную технологию процесса сварки, является важным вопросом для развития предприятия ООО «Завод ПСА ЭлеСи». Это устройства, которые смогут автоматически управлять процессом плавления металла и в тоже время контролировать формирование сварочной ванны, и, следовательно, сварного шва.

Цель данной работы заключается в поиске возможных способов повышения эффективности, применяемого на предприятии, процесса сварки тел вращения из нержавеющей сталей за счет импульсного питания сварочной дуги.

Задачами выпускной квалификационной работы в связи с указанной целью являются:

- Анализ возможных способов сварки, которые снизят трудоемкость и себестоимость, повысят качество работ;
- Подбор сварочных материалов;
- Подбор оптимальных параметров режимов для выполнения сварки;
- Разработка нового технологического процесса при использовании оптимального оборудования и новой технологии;
- Исследование экономической целесообразности предлагаемой технологии.

Объектом исследования является: процесс сварки тел вращения из нержавеющей сталей.

Предметом исследования является повышение эффективности технологии сварки тел вращения из нержавеющей сталей.

Научная новизна работы заключается в применении для сварки нержавеющей сталей методом автоопрессовки режима прямоугольного импульса с пологими передними фронтами.

Предложенный в данной работе процесс сварки тел вращения из нержавеющей сталей методом автоопрессовки с программированием режима и шагоимпульсным питанием сварочной дуги является экономичным способом сварки неповоротных стыков, а также обеспечивает высокое качество сварного соединения и стабильность процесса сварки.

Разработанная технология в данный момент внедряется на предприятии ООО «Завод ПСА ЭлеСи» г. Томск.

## 1 Литературный обзор

### 1.1 Особенности сварки неповоротных стыков

На сварочную ванну действует комплекс сил [2]. Эти воздействия определяются разными параметрами, такими как: способы и режимы сварки, применяемые сварочные материалы и так далее. При сварке в постоянном пространственном положении, сварочная ванна благодаря подобранным режимам сварки находится в устойчивом равновесии, под воздействием направленных на нее сил. При непрерывности изменений положения сварочной ванны в пространстве, чтобы металл сварочной ванны не вытекал, и обеспечивалось постоянство сечения шва и его качество, необходима корректировка сил, действующих на ванну.

В целях изучения основных закономерностей формирования шва во время сварки в разных пространственных положениях разберем подробно каждую из действующих сил и их комплексное воздействие на сварочную ванну.

*Механическое воздействие дуги на ванну* рассматривается как совокупность нескольких сил. Газокинетическая сила в основном определяется характеристиками плазменной струи от электрода к ванне и оказывает на ванну воздействие, подобное давлению струи на преграду [3].

*Электромагнитная сила*, определяется взаимодействием с током ванны и магнитным полем дуги, и направлена по нормали к поверхности изделия в сторону изделия [4].

*Сила реактивного действия газов и паров* имеет взаимосвязь с выбросом газов и испарением металла с поверхности ванны по причине протекающих в ванне процессов.

*Поверхностное натяжение.* Свободная поверхностная энергия существенное свойство жидких и твердых тел, проявляющая свое существование в стремлении жидкостей принять форму с минимальной

поверхностью. Такое стремление поверхности жидкости к сокращению детерминировано силами межмолекулярного взаимодействия [5].

*Масса сварочной ванны* обусловлена мощностью источника, условиями передачи тепловой энергии к свариваемому материалу от источника, скоростью плавления, теплоотводом, и температурой присадочного материала. В основном на текучесть сварочной ванны влияет ее вес [6]. Это влияние проявляется в меньшей степени во время сварки в нижнем положении, сказываясь главным образом на форме усиления шва. Во время сварки в иных положениях при увеличении веса сварочной ванны неизбежным является наступление момента, когда действующие на сварочную ванну силы перестают удерживать ее в уравновешенном состоянии, и расплавленный металл может вытечь из сварочной ванны, образуя натеки под воздействием силы тяжести.

Комплекс сил действующих на сварочную ванну в разных пространственных положениях схематично изображен на Рисунке 1.

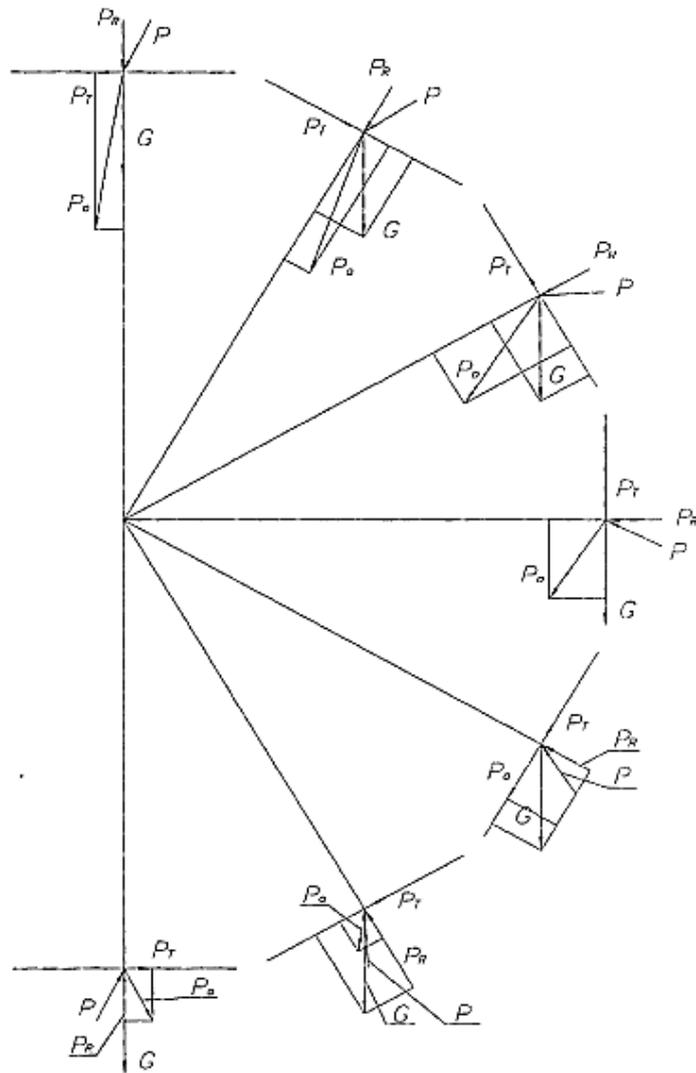


Рисунок 1 – Комплекс сил в разных пространственных положениях

$P_0$  – равнодействующая сила;  $G$  – вес сварочной ванны;  $P$  – сила поверхностного натяжения;  $P_T$ ,  $P_R$  – соответственно тангенциальная и нормальная составляющие [7].

Качество формирования шва определяется формой и величиной проплавления с обратной стороны сварного шва. Положение в пространстве сварочной ванны определяет ее критическую массу, при которой металл не вытекает (Рисунок 2).

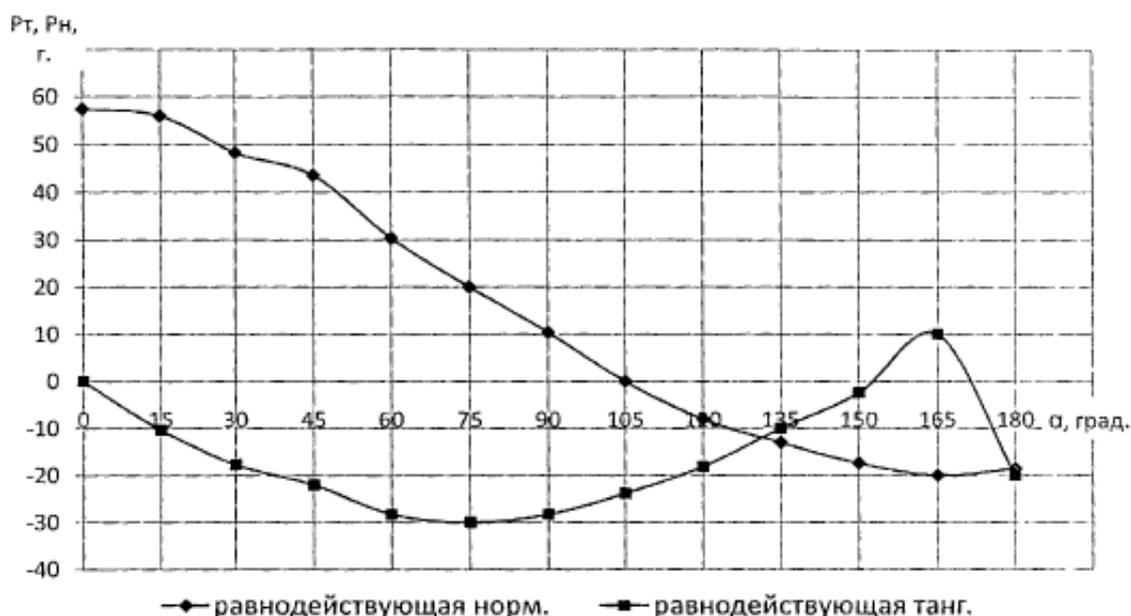


Рисунок 2. Зависимость от положения в пространстве критической массы сварочной ванны [7].

Из графика видно, что сварочная ванна стремится вытечь при  $\alpha = 15-30^\circ$  когда появляется тангенциальная составляющая. При  $\alpha = 120-130^\circ$  появляется нормальная составляющая, которая стремится оторвать сварочную ванну. Нормальной тангенциальная составляющая равна при  $\alpha = 140-150^\circ$ , и при  $\alpha = 180^\circ$  она уменьшается до нуля, нормальная составляющая наоборот увеличивается до максимального значения.

Из-за зависимости критической массы от положения ванны в пространстве режим сварки неповоротного стыка необходимо постоянно корректировать. При неизменном режиме сварки неизбежно будет происходить изменение величины проплава.

Теплофизические свойства аустенитных сталей и склонность к образованию в шве и околошовной зоне горячих трещин обуславливают ряд общих особенностей их сварки [8].

Так, для большинства высоколегированных сталей характерны низкий коэффициент теплопроводности и высокий коэффициент линейного расширения, что при одинаковой погонной энергии и прочих равных условиях (метода сварки, геометрии кромок, жесткости соединения и др.) детерминирует

расширение зоны проплавления и областей, нагретых до различных температур, а также увеличивает суммарную пластическую деформацию металла шва и околошовной зоны [8]. Из-за этого увеличивается коробление изделий. Поэтому для высоколегированных сталей целесообразно использовать такие способы и режимы сварки, которые характеризуются максимальной концентрацией тепловой энергии, либо уменьшать ток по сравнению с током при сварке углеродистой стали.

Также металлу сварных швов присущи ячеисто-дендритные формы кристаллизации, из-за чего образуются крупные столбчатые кристаллы, а и междендритные участки насыщаются примесями, образующими легкоплавкие фазы. Наиболее отчетливо столбчатая структура выражена в аустенитных швах. При использовании методов, благоприятствующих измельчению кристаллов и устранению столбчатой структуры, повышается стойкость швов против образования горячих трещин.

Помимо этого, сварка трубопроводов диаметром до 3-25 мм усложняет задачу качественного формирования шва из-за ускоренного теплонасыщения свариваемого соединения.

## **1.2 Обоснование выбора способа сварки**

Для сварки тел вращения диаметром до 40 мм рекомендуется использование сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа аргона.

Достоинствами данного способа сварки являются:

- Простота процесса и техники сварки;
- Отсутствие разбрызгивания наплавленного металла и выгорания легирующих элементов при соответствующей газовой защите;
- Возможность визуального наблюдения за формированием шва и горением дуги из-за отсутствия шлака на поверхности сварочной ванны;

– Отсутствие трудоемких операций по удалению шлака и брызг расплавленного металла;

– Возможность выполнения сварки в различных пространственных положениях;

– Большой спектр свариваемых материалов (возможна сварка практически всех металлов).

Решение задач удержания жидкого металла сварочной ванны, формирования шва с заданной геометрией, а также нарушения стабильности горения сварочной дуги это необходимые требования для получения качественного сварного соединения при сварке тонкостенных труб в неповоротном положении.

Многие исследователи предлагают свои варианты управления формированием сварного шва [9]. Все они могут быть разделены на внутренние и внешние. Внутренние базируются на сужении зоны проводимости вследствие развития восстановительно-окислительных реакций в зоне сварки посредством изменения окислительного потенциала защитной среды. Сжатие свободно горящей дуги обеспечивается за счет подачи углекислого газа, кислорода, азота, галоидных соединений в защитную среду (аргон).

Так, при внедрении  $CO_2$  становятся возможными увеличение тепловых характеристик дуги, эффективный КПД вследствие сжатия плазмы столба дуги [9]. Но, поскольку смесь  $Ar+CO_2$  является окислительной, это негативно сказывается на стойкости вольфрамового электрода. При нарушениях исходной геометрии рабочего участка вольфрамовых электродов изменяются тепловое и силовое воздействия на свариваемый металл, снижается пространственная устойчивость дуги. Также из-за нарушения геометрии рабочего участка зачастую появляются вольфрамовые включения в сварных швах, и разрушается поверхность электродов.

К внутренним методам можно отнести и применение галоидных соединений – активирующих флюсов [9]. Использование активирующих

флюсов по сравнению с описанными выше внутренними методами имеет свои недостатки, например, дополнительные затраты на изготовление, нанесение и удаление. Помимо этого, некоторые компоненты флюсов несут опасность для организма сварщика и должны применяться с осторожностью.

К общими недостаткам всех внутренних методов можно отнести следующие: они не дают возможности управлять вкладываемой в процессе сварки тепловой мощностью; сложны в применении (нанесение и удаление флюсов, изготовление смесей газов, дорогостоящее и габаритное оборудование и т.д.), вследствие чего проблема повышения производительности сварки неповоротных стыков тел вращения не решается.

Основывающиеся на управлении формированием сварочного шва путем изменения физических параметров дуги и воздействия на ванну, внешние методы могут быть поделены на следующие технологические приемы и способы:

- Применение оптимальных режимов и различных техник сварочного процесса;
- Способы управления сварочной ванной с помощью принудительного формирования;
- Воздействие на формирование сварного шва применением магнитного поля;
- Воздействие на процесс сварки посредством применения способов с программным изменением параметров режимов;
- Управление сварочной ванной с помощью комбинации различных способов.

### **1.2.1 Применение оптимальных режимов и различных техник сварочного процесса.**

На производительность процесса, форму и размеры швов оказывают влияние различные параметры режима сварки, в результате многочисленных исследований эти параметры могут быть разделены следующим образом:

введение дополнительного присадочного материала; манипуляции электродом и изменение объема сварочной ванны.

*Введение дополнительного присадочного материала.* Данный способ управления имеет серьезный недостаток в виде увеличенных геометрических размеров сварного шва. Так же при сварке тонкостенных труб увеличивается вероятность образования с обратной стороны сварного шва наплывов [10].

*Манипуляция электродом.* Одним из способов управления сварочной ванной являются колебания электродом. С их помощью уменьшают возможность стекания металла при наклонном положении сварочной ванны и опасность возникновения прожогов, а также облегчают сварку последующих слоев вследствие уменьшения выпуклости сварного шва со стороны дуги. Колебательные движения электрода позволяют эффективно регулировать температуру сварочной ванны [11]. Ограничительным фактором является то, что поперечные колебания возможно использовать только на свариваемых деталях большой толщины. Поперечные колебания электрода позволяют удерживать ванну в потолочном и вертикальном положении, так же они позволяют изменять соответствие ее ширины и длины [12].

*Изменение объема сварочной ванны.* Решающее значение при свободном формировании соединения имеет масса сварочной ванны. Возможность обеспечения нормального процесса формирования шва зависит от выбора режима, обеспечивающего отсутствие превышения критического значения массы ванны [13]. При этом исключается возникновение прожогов, натеков и прочих дефектов.

*Метод автоопрессовки.* В его основу положена деформация металла в перпендикулярном от оси трубы направлении, благодаря которой отмечается усиление. Технология заключается в следующем: первым проходом производится полный провар корня шва (корневой проход), при втором и последующих проходах, выполняемых с неполным проплавлением, обеспечиваются заданные размеры шва.

### **1.2.2. Способы управления сварочной ванной с помощью принудительного формирования.**

Устройства для формирования сварочной ванны, имеющие различную конфигурацию, применяются, главным образом, при электрошлаковой сварке или под флюсом.

*Формирующее давление.* Способ формирующего давления осуществляется с помощью съемных камер устанавливаемых изнутри или снаружи сварного соединения. В камере создается давление, под действием разности которого, происходит противодействие силе тяжести. Формирующее давление в свою очередь обеспечивает получение одинаково заданного проплавления вне зависимости от положения сварочной ванны в пространстве [14].

*Формирующие устройства.* Применением различных формирующих устройств расположенных на обратной стороне сварного соединения обеспечивает заданный профиль сварного шва. К таким устройствам относятся специальные формирующие медные подкладки или слои флюса [9].

Сварка с принудительным формированием не получила широкого распространения вследствие неустойчивости процесса сварки из-за смещения кромок, отклонений размеров труб от геометрических форм, а также вследствие необходимости постоянного корректирования, которое производит сварщик.

### **1.2.3. Воздействие на формирование сварного шва применением магнитного поля.**

*Электромагнитное перемешивание.* Сварные соединения, выполненные с помощью данного метода, имеют характерные особенности. Так согласно анализу проводимых исследований, такие сварные соединения имеют

дисперсную структуру и минимальную химическую неоднородность при режимах перемешивания сварочной ванны [15].

*Наложение поперечного магнитного поля.* Способность получать мелкокристаллитную структуру и изменять процесс кристаллизации достигается так же с помощью наведения во время сварочного процесса поперечного магнитного поля. В условиях производства доказано, что при сохранении устойчивого горения дуги магнитная система способствует управлению формой и величиной обратного валика [16].

*Сварочная дуга, управляемая внешним магнитным полем.* Применение дуги, вращаемой магнитных полем, является эффективным способом при сварке стыковых швов замкнутого контура. Этот способ способствует увеличению скорости сварки, уменьшению зоны перегрева и повышению пластичности металла, обеспечивает формирование качественного шва, а также дает возможность управлять его микроструктурой.

#### **1.2.4. Воздействие на процесс сварки посредством применения способов с программным изменением параметров режимов.**

*Сварка модулированным током.* Данный способ заключается в том, что требуемые размеры шва с помощью дуговой сварки модулированным током достигаются при постоянных токах импульса и паузы, только при помощи регулирования их времени протекания. На практике это обеспечивает упрощение и ускорение процесса настройки, регулирования параметров режимов сварки, а также упрощение техники [17].

*Сварка импульсной дугой.* При данном способе формирования обеспечиваются условия, которые препятствуют деформации фронта затвердевания посредством периодического охлаждения ванны. Это повышает устойчивость и интенсивность дуги, изменяет гидродинамические процессы в сварочной ванне и условия ее затвердевания. Повышение давления дуги при

этом способе улучшает формирование соединения, измельчает его микроструктуру и делает валик мелкочешуйчатым [18].

По причине предъявления высоких требований к сварке труб, для получения высококачественных сварных соединений целесообразно применять шагоимпульсный режим работы автомата.

Данный режим наиболее универсален, но менее производителен, чем, к примеру, импульсный. Шагоимпульсный режим обеспечивает возможность получения более качественных сварных соединений, необходимых на особо ответственных объектах. При использовании этого режима возрастает качество шва и снижается процент брака, вследствие того, что во время сварки образуется относительно небольшая зона термического влияния и уменьшается коробление металла. Диаграмма работы в шагоимпульсном режиме указана на Рисунке 3.

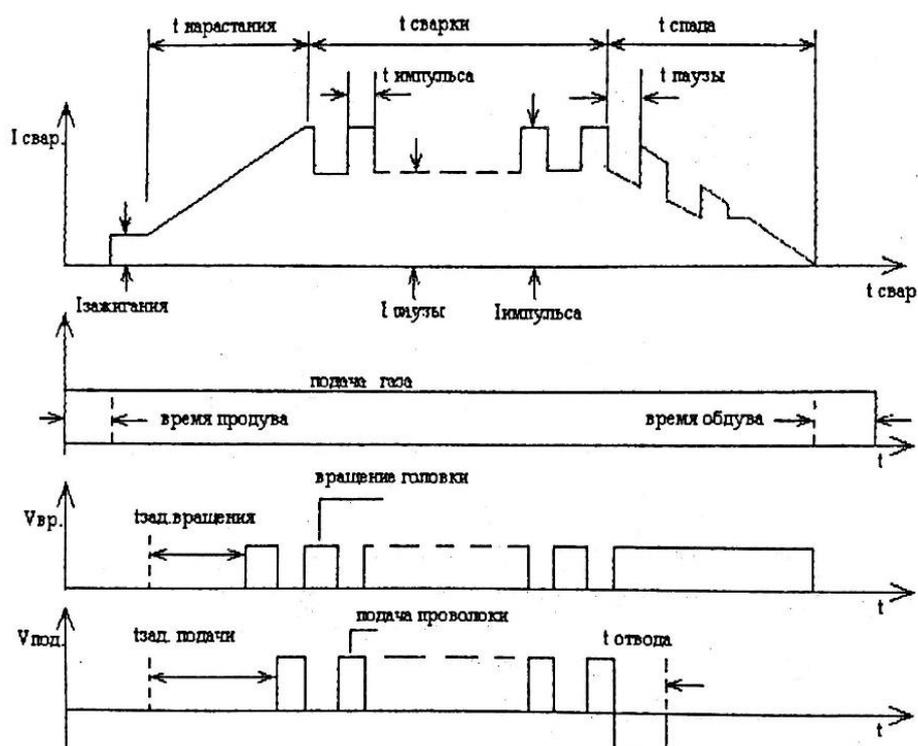


Рисунок 3 – Диаграмма работы в шагоимпульсном режиме [19]

### **1.2.5 Управление сварочной ванной с помощью комбинации различных способов.**

Применение комбинирования различных способов сварки для определения оптимальных. К примеру, возможно применение поперечных движений электрода и импульсного теплового потока, когда при минимальной мощности дуга удерживается на середине шва, а при максимальной мощности дуга перемещается на его края [20].

**Заключение по разделу 1:** Проведя анализ основных проблем сварки тел вращения из нержавеющей сталей определено, что наиболее подходящей является сварка методом автоопрессовки с программированием режимов сварки. Причем для высокого качества шва необходимо производить сварку с шагоимпульсным питанием сварочной дуги.

## 2 Описание конструкции

1. Свариваемые детали: труба  $\varnothing 21 \times 1,5$  из стали 12X18H10T по ГОСТ 9941-81;
2. Сварка производится в соответствии с требованиями РД 153-34.1-003-01.
3. Сварное соединение работает при температуре от плюс 40 до минус 30 °С.
4. Производственные требования: максимальная производительность, минимальная ширина сварного шва, минимальное усиление сварного шва.

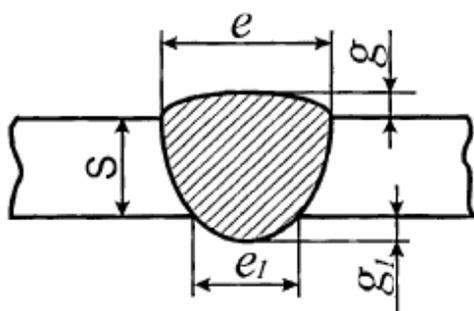


Рисунок 4 - Геометрия сварного шва.  $g, g_1$  – усиление шва;  $e, e_1$  – ширина шва;  $S$  – толщина свариваемого изделия.

### 2.1 Материал сварной конструкции

Сталь 12X18H10T (аналог 08X18Г8Н2Т, 10X14Г14Н4Т, 12X17Г9АН4, 08X17Т, 15X25Т, 12X18Н9Т). Обозначение по стандарту ASTM: 321 AISI, 321H AISI.

Сталь 12X18H10T относится к конструкционным криогенным сталям аустенитного класса. Широко используется при производстве сварных аппаратов и сосудов, которые работают в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей и других деталях, работающих под давлением при температуре от минус 196 до плюс 600 °С, а при наличии агрессивных сред до плюс 350 °С. [21]

Химический состав и механические свойства представлены в таблицах 1 и 2, соответственно.

Таблица 1 – Химический состав стали 12X18H10T, в % [21]

Ti	Ni	Cr	C	Si	Cu	Mn	P	S
0,6–0,8	9–11	17-19	Не более					
			0,12	0,8	0,3	2	0,035	0,02

Таблица 2 – Механические свойства стали 12X18H10T при T = 20°C [21]

Температура плавления, $t_n$	1758 К
Удельная теплоемкость, $c$	0,6 Дж/гК
Плотность, $\gamma$	7,9 г/см <sup>3</sup>
Объемная теплоемкость, $c_v$	4,73 Дж/гК
Скрытая теплота плавления, $L$	250 Дж/г

## 2.2 Технологическая свариваемость стали 12X18H10T

Количественным ориентировочным показателем свариваемости стали является эквивалентное содержание углерода [22]:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5}; \quad (1)$$

$$C_{\text{экв}} = 0,12 + \frac{2}{6} + \frac{9 + 0,3}{15} + \frac{17}{5} = 0,2.$$

$0,2 \leq C_{\text{экв}} < 0,2$  – свариваемость стали хорошая. Предварительный подогрев не требуется.

Проверяем сталь на склонность к образованию горячих трещин [22]:

$$\frac{Cr_s}{Ni_s} = \frac{Cr + Mo + 1,5Si + 2(Al + Ti)Nb + W + 0,5Ta}{Ni + 0,5Mn + 30C + 12B + Co}, \quad (2)$$

$$\frac{Cr_3}{Ni_3} = \frac{19 + 1,5 \cdot 0,8 + 2}{11 + 1 + 30 \cdot 0,12} = 0,56.$$

$0,56 < 1$  – сталь стойкая к образованию горячих трещин.

Стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся [22]. Из приведенных выше расчетов видно, что сталь 12Х18Н10Т относится к первой группе. Сталь данной группы, хорошо сваривается без образования закалочных структур и трещин, в широком диапазоне режимов сварки и толщин металла.

Механические свойства металла шва и сварного соединения зависят от их структуры, которая определяется химическим составом, режимами сварки и скоростью охлаждения сварного шва.

Большое содержание хрома (от 17 до 19%) создает на поверхности металлов тонкую пленку окислов, которая придает стали хорошие антикоррозионные свойства.

В класс аустенитов сталь переводит никель (с содержанием от 9 до 11%). Это повышает по сравнению с ферритными сталями, коррозионную стойкость к агрессивным средам, в том числе серной кислоте, а также придает стали хорошую прокаливаемость в горячем и холодном состоянии.

Следует учитывать наличие в сплаве и других, не основных, легирующих элементов, таких как марганец, кремний и титан, придающих стали ферритные свойства.

Марганец способствует получению мелкозернистой структуры, вызывая замедление скорости роста зерна. Добавление в состав титана, как сильного карбидообразующего элемента, позволяет устранить склонность стали к межкристаллитной коррозии. Он образует тугоплавкий карбид, вступая в реакцию с углеродом, что тем самым исключает уменьшение концентрации в сплаве хрома путем образования его карбидов. Добавления кремния увеличивает прочность металла и предел текучести вследствие повышения плотности стали и ее дегазации, но при этом немного снижает ее пластичность.

При использовании в криогенной технике необходимо контролировать содержание фосфора, данный показатель не должен превышать 0,035%, так как большая концентрация этой примеси вызывает сильную первичную неоднородность химического состава при кристаллизации, что приводит к снижению пластических характеристик при низких температурах.

**Вывод по разделу 2:** Приведено описание свариваемой конструкции, определены технические требования к сварному соединению, произведен анализ химического состава материала и расчет его свариваемости.

Сталь марки 12Х18Н10Т хорошо сваривается без образования закалочных структур и трещин.

### **3 Технология сварки и выбор сварочных материалов**

#### **3.1 Метод автоопрессовки**

Метод автоопрессовки с успехом применяют для сварки труб с увеличенным коэффициентом расширения. Вопреки существующему мнению о вредном влиянии повторных нагревов при многопроходной сварке методом автоопрессовки наблюдается повышение прочности, соответствующей составу основного металла соединений, по сравнению со швами, сваренными с подачей присадочного материала [23]. Сварка стыков с помощью этого метода применяется для труб, имеющих диаметр от 20 до 57 мм и толщиной стенок от 2 до 3,5 мм. По сравнению с обычно используемым методом аргонодуговой сварки стыков труб из аустенитных сталей неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки метод сварки «автоопрессовкой» имеет следующие технико-экономические преимущества:

- Сокращение трудоемкости сварки;
- Исключение лишних расходов на сварочные материалы, так как сварка производится без присадки и соответственно сокращается расход защитного газа и электроэнергии;
- Облегчается выполнение сварки в условиях повышенной затемненности и труднодоступных условиях;
- Повышается стабильность качества сварных соединений.

Равномерность проплавления корня шва и его усиления достигается первым проходом в результате стабильной скорости сварки. Последующие (опрессовочные) проходы, выполняются дугой меньшей мощности, повторно прогревая металл сварного шва, а также ЗТВ. При этом в зоне нагрева до температур пластичного и упругопластичного состояния металл под действием внутренних сжимающих напряжений подвергается местной пластической деформации. Усиление шва формируется, таким образом, без введения в сварочную ванну присадочного материала и без приложения внешних

сжимающих усилий. Химический состав металла шва соединений, полученных за один, два, три и четыре прохода без присадочного материала, практически не отличается от состава основного металла [23].

Сварку корневого прохода в непрерывном и импульсном режиме на трубах диаметром менее 30 мм следует выполнять с программированием режима по ток или скорости сварки. При сварке стыков труб диаметром от 5 до 20 мм с толщиной стенки до 1,0 мм рекомендуется осуществлять непрерывный осевой поджим соединения с усилием от 2 до 10 кг.

### **3.2 Подготовка сварного соединения к сварке**

Подготовка кромок под автоматическую сварку неповоротных стыков тел вращения в следствии нечувствительности системы к изменениям свариваемых поверхностей, является ключевым моментом в получении повторяющихся высококачественных сварных соединений.

Для сварки труб с толщиной стенки до 2 мм методом автоопрессовки возможно не применять разделку кромок. При этом выполняется небольшая фаска снаружи - для визуального контроля в процессе сварки за стыком, и в корневой части для обеспечения выявления непровара при рентгенографическом контроле [24].

Проверка неповоротных стыков труб поверхностей нагрева на сходство с чертежами и требованиями научно-технической документации должна производиться во время подготовки под сварку при этом отклонение между плоскостью реза и угольника должно быть не выше  $l + 0,5$  мм.

Схема проверки перпендикулярности торцов труб представлена на Рисунке 5.

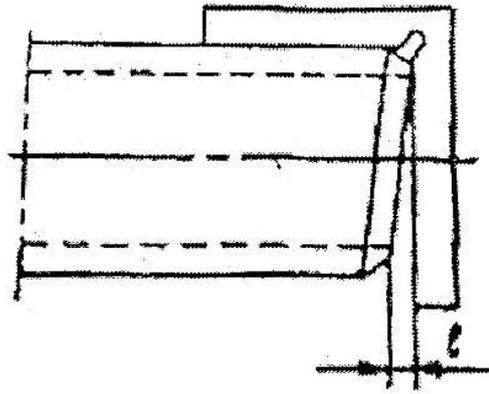


Рисунок 5 – Проверка перпендикулярности торцов труб [24]

Также необходимо проверить:

- Форма, размеры, качество подготовки кромок должны соответствовать описанным в документации требованиям (проверка размеров кромок регламентированными шаблонами и оформление фасок под сварку);
- Качество зачистки поверхности концов труб (внутренней и наружной);
- Выполнение правильности переходов между сечениями.

Перед сборкой свариваемые торцы труб необходимо зачистить механическим путем на ширину не менее 20 мм от окалины, заусенцев, масла, краски, грязи и обезжирить.

Имеющиеся на кромках собираемых труб неровности и местные уступы, которые препятствуют их соединению, должны быть убраны, используя абразивный круг или же напильник в согласии с требованиями, представленными на чертежах, при этом не допускается острых углов и резких переходов.

Используя трубрезный станок, обработка кромок неповоротных стыков труб производится механическим способом (при помощи фрезы или резцом).

Фаски на трубах под сварку стыков снимаются, используя переносной станок и только механическим способом.

Сборку деталей под сварку следует производить с применением специальных приспособлений (стендов, струбцин, скоб, центраторов и т.д.), обеспечивающих их правильное взаимное расположение при сварке или на прихватках.

### 3.3 Выбор сварочных материалов

#### 3.3.1 Защитный газ

При сварке неплавящимся электродом наиболее широко применяются инертные газы: аргон, гелий и их смеси.

Аргон – инертный газ. Он тяжелее воздуха, вследствие чего вытесняя кислород из зоны сварки, обеспечивает хорошую газовую защиту сварочной ванны. Аргон газообразный чистый поставляется двух сортов: высшего и первого [25].

Гелий подобно аргону химически инертен. В отличие от аргона гелий легче воздуха, что усложняет защиту сварочной ванны и требует большего расхода в процессе сварки. По сравнению с аргонem гелий обеспечивает более интенсивный нагрев зоны сварки.

Сравнительные свойства инертных газов приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Сравнительные свойства инертных газов

Аргон	Гелий
<ul style="list-style-type: none"><li>– Повышение стойкости неплавящегося электрода;</li><li>– Повышение пространственной устойчивости дуги</li><li>– Меньшее проплавление, вследствие этого, уменьшение вероятности прожогов;</li><li>– Стоимость.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Меньшее давление на сварочную ванну, способствующее снижению образования неровностей сварного шва;</li><li>- Лучшее формирование шва.</li></ul>

Для получения эффекта глубоко проплавления при первом проходе может применяться аргоно-гелиевая (25% аргона, 75% гелия) или аргоно-водородная смесь (4-6% аргона).

#### 3.3.2 Вольфрамовый электрод

Выбор электродов для аргонодуговой сварки произведем по ГОСТ 23949-80. Данный стандарт распространяется на электроды из чистого вольфрама и вольфрама с активирующими присадками (двуокиси тория, окисей

лантана и иттрия), предназначенные для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов (аргон, гелий), а также для плазменных процессов резки, наплавки и напыления.

Основные марки вольфрамовых электродов:

ЭВЧ – электрод вольфрамовый чистый, диаметром 0,5...10,0 мм, не маркируется.

ЭВЛ – электрод вольфрамовый с добавками оксида лантана  $LaO$  1,1...1,4 %, диаметром 1,0...10,0 мм, цвет маркировки – черный.

ЭВИ – 1 – электрод вольфрамовый с добавками оксида иттрия  $Y_2O_3$  1,5...2,3 %, диаметром 2,0...10,0 мм, цвет маркировки – синий.

ЭВИ – 2 – электрод вольфрамовый с добавками оксида иттрия  $Y_2O_3$  2...3 % и 0,01 % тантала, диаметром 2,0...4,0 мм, цвет маркировки – фиолетовый.

ЭВИ – 3 – электрод вольфрамовый с добавками оксида иттрия  $Y_2O_3$  2,5...3,5 % и 0,01 % тантала, диаметром 5,0...10,0 мм, цвет маркировки – зеленый.

ЭВТ – 15 – электрод вольфрамовый с добавками диоксида тория  $Th_2O$  1,5...2,0 %, диаметром 2,0...10,0 мм, цвет маркировки – красный.

Состояние рабочей поверхности вольфрамовых электродов, при сварке на малых токах, существенно влияет на стабильность горения дуги. При нарушениях исходной геометрии рабочего участка вольфрамовых электродов происходит изменение теплового и силового воздействия на свариваемый металл, снижение пространственной устойчивости дуги. Также нарушение геометрии рабочего участка зачастую является причиной вольфрамовых включений в сварных швах и сопровождается разрушением поверхности электродов [26].

Эрозия, образование так называемой «короны» и наростов все это вызывает нарушение исходной формы рабочего участка. Высокая чувствительность процесса сварки тонколистовых материалов к изменениям

условий в зоне сварки, негативному влиянию изменений формы рабочего участка электродов заметно влияет на качество формирования швов и это тем более значимо, что проявляется часто впервые же минуты горения дуги [26]. На Рисунке 5 изображена зависимость времени разрушения неплавящегося электрода от его конструкции, марки и диаметра.

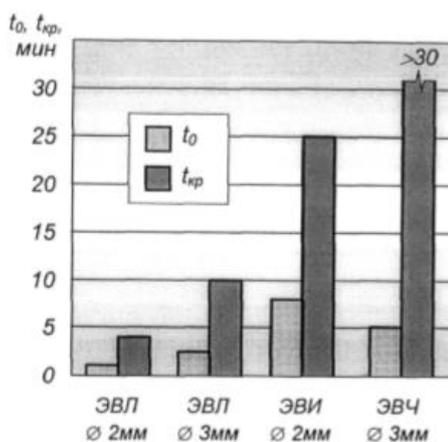


Рисунок 5 - Зависимость величин  $t_0$  и  $t_{кр}$  от конструкции, марки и диаметра неплавящегося электрода ( $I_d = 20A$ ) [26].

**Вывод по разделу 3:** Подобрана целесообразная разделка кромок, определено оптимальное количество проходов. Так определено производить сварной шов в три прохода, без разделки кромок, но с небольшой фаской с внутренней и наружной стороны сварного соединения.

По заданным параметрам выбран вольфрамовый электрод марки ЭВЛ диаметром 1,6 мм, а в качестве защитного газа: аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-79

#### 4 Описание экспериментальной установки

В данной работе использовалась схема установки, представленная на Рисунке 6.

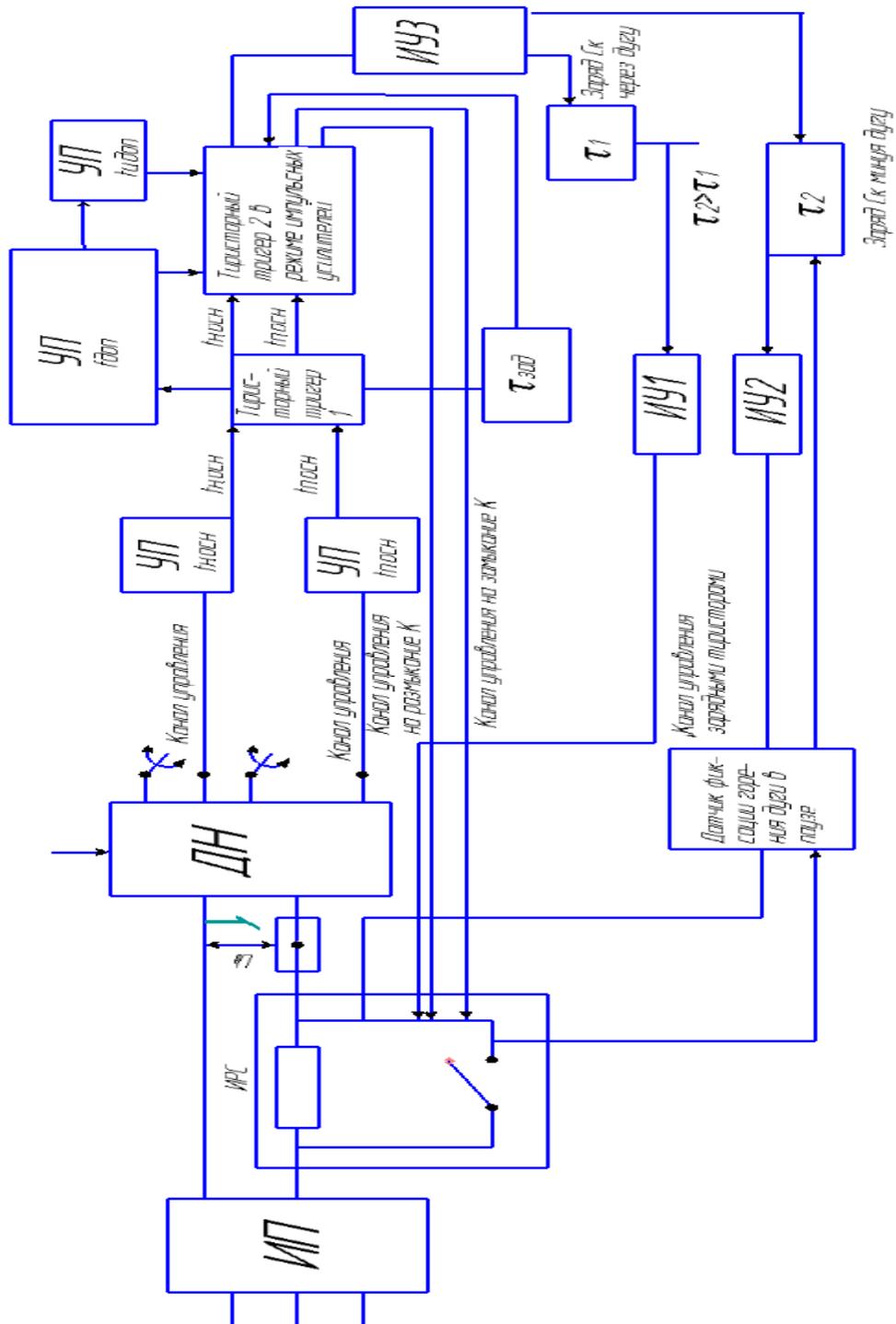


Рисунок 6 – Функциональная схема установки

Функциональная схема содержит основные блоки и узлы для формирования импульсного сварочного тока: ИП – источник питания постоянного тока с внешней крутопадающей вольтамперной характеристикой; ИРС – импульсно-регулируемое сопротивление, состоящее из тиристорного ключа К и сопротивления R6; ДН – датчик напряжения для сравнения напряжения на дуге промежутке  $U_d$  с заданным напряжением  $U_z$ ; тиристорный триггер 1; УП - управляющего блока; тиристорного триггер 2 в режиме импульсных усилителей;  $t_3$  – время задержки на включение зарядного тиристора;  $t_2$  – время задержки на включение зарядного тиристора, минуя дугу; Д – датчик фиксации горения дуги в паузе.

#### **4.1 Сварочная головка**

Для данной работы используется модернизированная сварочная головка ОКА 18 - 45 ИД.

Предназначены для сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов неповоротных стыков труб диаметром от 18 до 45 мм. Позволяет повысить производительность труда при проведении сварочных работ, добиться высокого качества сварных соединений при проведении сварки в любых пространственных положениях, даже при относительно невысокой квалификации персонала [27].

Функциональные возможности:

- Несложный и быстрый монтаж на свариваемых деталях;
- Высокое качество и скорость сварочного процесса;
- Механизм подачи присадочного материала.

Технические характеристики:

Диапазон диаметров свариваемых трубопроводов: От 18 до 45 мм включительно;

Скорость сварки: от 0,1 до 6,2 мм/с;

Скорость подачи присадочной проволоки: от 5 до 40 мм/с;

Диаметр присадочного материала: от 0,8 до 1,0 мм;  
 Диаметр электрода: от 2 до 3 мм;  
 Максимальный расход защитного газа: не более – 30 л/мин;  
 Максимальный сварочный ток: 200 А;  
 Охлаждение горелки: Тип – водяное;  
 Номинальный режим работы: ПН (при  $t_{окр.ср.}=40^{\circ}\text{C}$ ) 100%;  
 Давление воды: До 0,3 Мпа;  
 Габаритные размеры головки: 315×155×220 мм;  
 Масса головки: не более 5,8 кг;  
 Установленный срок службы головки: не менее 5 лет.

#### 4.1.1 Устройство и работа головки

Общий вид головки приведен на рисунке 12.

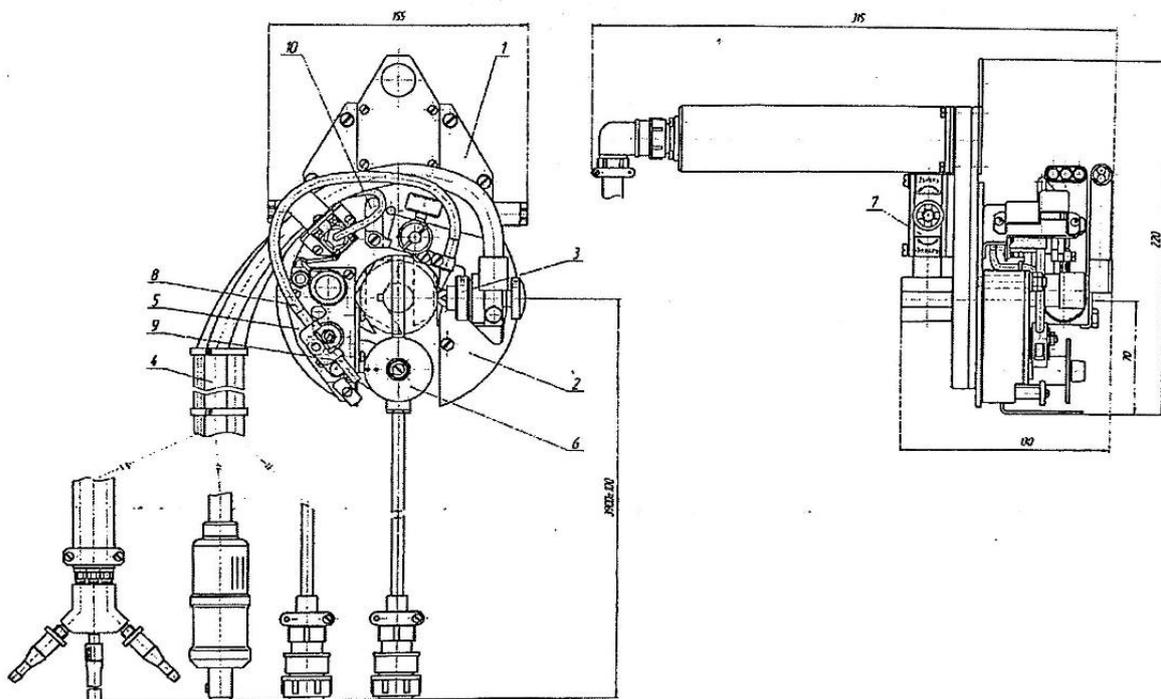


Рисунок 12 – Головка сварочная ОКА 18-45 ИД

Головка состоит из: вращателя (1); планшайбы (2); горелки (3); кабеля (4); механизма подачи проволоки (5); блока катушки (6); фиксатора (7); тракта (8); канала (9); упора (10).

Вращатель предназначен для поворота планшайбы и состоит из привода, в который входят электродвигатель постоянного тока ДПР-52-Н2-02, импульсного датчика ТТ-383 и четырехступенчатого планетарного редуктора, расположенных в ручке вращателя, цилиндрических зубчатых колес, расположенных в корпусе и закрытых крышкой.

На планшайбе расположены горелка с упором и механизм подачи проволоки с закрепленным на ней блоком катушки. Горелка предназначена для фиксации неплавящегося электрода, подачи защитного газа в зону сварки и подачи сварочного тока на электрод.

Горелка представляет собой корпус со встроенным штуцером для присоединения кабеля токогазоподвода и трубок с охлаждающей жидкостью [26].

Недостатком данной головки является большое количество предварительных, вспомогательных операций при сварке. А именно: центровка труб при помощи центраторов и настройка сварочной головки на стык. Прихватки также требуют дополнительного времени и создают опасность возникновения дефектов, а настройка сварочной головки на стык значительно утомляет зрение [1].

Для повышения эффективности работы данной головки разработано центрирующее устройство, позволяющее осуществлять центрирование труб и установку автомата на стык без постановки прихваток.

#### **4.2 Система импульсного питания сварочной дуги**

Источник питания ДС 200А.33А, позволяет осуществлять сварку в непрерывном, импульсном и шагоимпульсном режиме. ДС 200А.33А – аппарат инверторного типа для сварки неплавящимся электродом в защитных газах (ПО) предназначенный для использования с системами автоматической сварки ДС САУ4.33, а также для ручной сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа (TIG) [28].

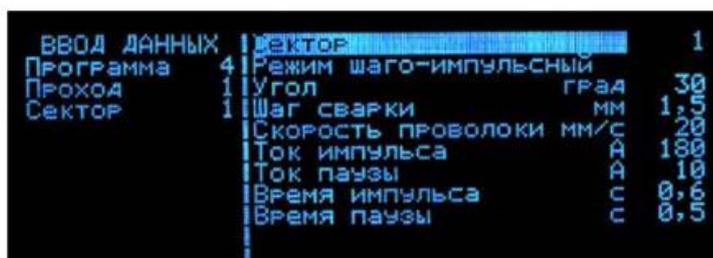
ДС 200А.33А не сложен в управлении и позволяет задавать все параметры сварки в цифровом виде.

Для хорошей фокусировки сварочной дуги используется режим модуляции, благодаря которому, увеличивается точность управления размерами сварочного пятна и направлением перемещения. Данный режим также стабилизирует конус дуги и уменьшает блуждание, позволяя упростить сварку угловых стыков.

Источник питания ДС 200А.33А. выступает в качестве выпрямителя для установки амплитуды импульсов сварочного тока.

### 4.3 Блок управления ДС САУ4.33

ДС САУ4.33 - микропроцессорный блок управления для установок автоматической сварки [28].



ВВОД ДАННЫХ	1	СЕКТОР		1
Программа	4	Режим шаго-импульсный		
Проход	1	Угол	ГРАД	30
Сектор	1	Шаг сварки	ММ	1,5
		Скорость проволоки	ММ/С	20
		Ток импульса	А	180
		Ток паузы	А	10
		Время импульса	С	0,6
		Время паузы	С	0,5

Рисунок 7 – Экран управления ДС САУ4.33

В блоке управления поддерживается разбивка зоны сварки на сектора и проходы, с индивидуальными значениями тока и напряжения сварки, скорости сварки, скорости подачи проволоки в каждом проходе и секторе. Все параметры сварки задаются оператором с клавиатуры и записываются в память.

ДС САУ4.33 поддерживает работу в различных режимах.

Непрерывный режим предпочтительно использовать при сварке в горизонтальном положении. Его особенность заключается в неизменном уровне сварочного тока на протяжении всего процесса сварки.

При импульсном режиме с помощью управлением временем и величиной тока импульса регулируется проплавление сварочной ванны, и препятствование ее провисанию. И вследствие этого количество вводимого в изделие тепла и контролируется процесс формирования шва.

Шагоимпульсный режим в целом не отличается от импульсного режима, но является более универсальным и позволяет получать отличное качество соединений. Особенностью работы в этом режиме является то, что при неподвижном состоянии горелки сварка производится во время импульса, а перемещение горелки происходит во время паузы тока без подачи присадки.

#### **4.4 Описание центрирующего устройства**

Особенностью центратора является то, что на нем имеются специальные штифты и соединительный болт, при помощи которого перед центровкой труб крепится шаблон, который позволяет, фиксировано устанавливая сварной стык относительно центратора без зазора в стенке или с необходимым зазором.

После установки центратора шаблон снимается. Затем на эти же штифты устанавливается автомат и закрепляется винтом.

Также комбинация позволяет быстро и без дополнительной настройки устанавливать вольфрамовый электрод сварной головки симметрично относительно разделки, что существенно снижает вспомогательное время.

Центрирующее устройство состоит из несущей трубы, к которой приварены зажимные устройства, состоящие из неподвижных пластин, внутри которых расположены зажимные губки, закрепленные с помощью болтов. Также имеются подвижные пластины шарнирно соединенные с неподвижными, между которыми болтами закреплены губки. Рычаг, при помощи которого производится прижатие детали подвижными губками между неподвижными. К внутренней неподвижной пластине одного из зажимных устройств крепятся колонки для установки сварочного автомата через переходную пластинку.

Состав центратора:

- Неподвижная пластина;
- Подвижные пластины;
- Рычаг;
- Губки;
- Колонки;
- Устройство упора;
- Переходная пластина;

Неподвижные пластины крепятся к несущей трубе с помощью сварки. Подвижные пластины крепятся шарнирно к подвижным пластинам. С помощью рычага происходит прижатие детали подвижными губками между неподвижными. Губки крепятся к подвижным и неподвижным пластинам болтами, при помощи которых можно произвести быструю замену губок для деталей нужного размера. Сменные губки представлены на рисунке 8.

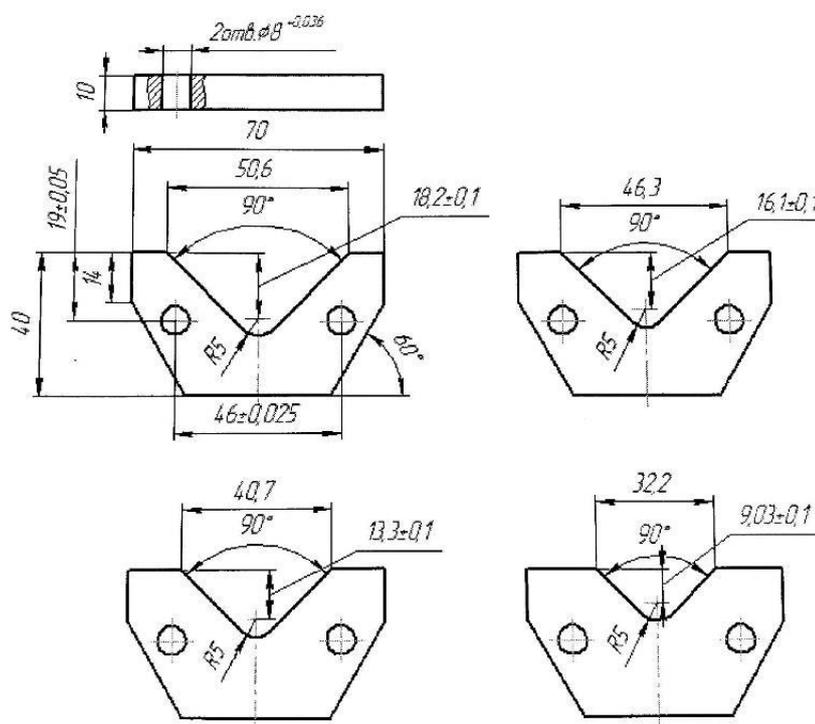


Рисунок 8 – Губки сменные

Колонки крепятся к одному из зажимных устройств к внутренней неподвижной пластине. Устройство упора предназначено для установки зазора

труб в определенном месте, чтобы точно установить электрод на стык. Упор состоит из двух пластин и двух стержней. Одна пластина имеет отверстия для посадки на колонки и закрепления винтом, вторая пластина, имеющая толщину необходимого зазора между трубами соединенными с первыми пластинами двумя стержнями. Переходная пластина крепится к автомату и имеет отверстие для установки на колонки и закрепляется винтом, при этом электрод устанавливается точно, симметрично на зазор.

**Выводы по разделу 4:** Разработана функциональная схема установки на базе импульсно-регулируемого сопротивления. Для сварки используется модернизированная головка ОКА-18-45 ИД, отличающаяся наличием центриатора и возможностью установки шаблона для точного выставления сварного стыка относительно центриатора.

## 5 Разработка программных режимов сварки и контроль качества

### 5.1 Разработка программных режимов сварки



Рисунок 9 – Шагоимпульсный режим работы

Шагоимпульсный режим работы отличается чередованием импульсов сварочного тока разной величины с каждым шагом головки.

Особенностью данной выпускной квалификационной работы является применение режима прямоугольного импульса с пологими передними фронтами. Это обуславливается тем, что при высоких скоростях нарастания сварочного тока (вследствие инерционности процессов в сварочной дуге) напряжение на дуге оказывается большим, чем при горении дуги на установившемся режиме.

Столб дуги при быстром нарастании тока не успевает расшириться до диаметра, соответствующего току, также не успевают увеличиться и активные пятна на электродах. Особенно это явление проявляется при сварке малоамперной дугой, когда время запаздывания пятен резко увеличивается.

Таким образом, при быстром нарастании тока, вследствие запаздывания процессов расширения дуги и ее активных пятен, тепловложение в основной металл осуществляется на ограниченной площади поверхности, что повышает проплавливающие свойства дуги, но при этом динамическое сопротивление дуги резко возрастает, вследствие чего возрастает напряжение на ней. Все это при сварке нержавеющей стали приводит к быстрому расплавлению и выплескиванию металла из сварочной ванны.

Настройкой времени и величины тока импульса подбирается проплавление сварочной ванны и исключается ее провисание и/или выплескивания металла. Регулировка времени и величины тока позволяет поддерживать горение дуги, при частично кристаллизирующейся ванне. Уверенный поджиг дуги устанавливается подбором оптимального тока зажигания. Таким образом, контролируется весь процесс формирования сварочного шва и регулируется тепловложение в изделие.

Согласно рекомендациям [27] сварка стыка производится в три прохода. Так как после третьего и четвертого проходов структура металла шва более мелкодисперсная, чем после первого прохода. Но при этом наименьшее значение прочности получается после первого и четвертого проходов, а неметаллические включения в швах и в зоне сплавления наблюдаются значительно реже после второго и последующих проходов.

При этом каждый проход разделен на пять секторов:

1 сектор –  $0^{\circ}$  -  $30^{\circ}$ , 2 сектор –  $30^{\circ}$  -  $80^{\circ}$ , 3 сектор –  $80^{\circ}$  -  $100^{\circ}$ , 4 сектор –  $100^{\circ}$  -  $140^{\circ}$ , 5 сектор –  $140^{\circ}$  -  $10^{\circ}$ .

Диаметр проволоки – 0,8 мм.

Во время корневого прохода, а также в начале каждого последующего прохода необходимо обеспечить прогрев и сквозное проплавление металла неподвижной дугой, а при окончании сварки прохода, для избегания формирования кратера, плавное гашение дуги. При этом время подогрева и гашения зависит от толщины металла.

Температура сварного соединения перед сваркой каждого последующего прохода не должна превышать  $100^{\circ}\text{C}$ .

ВВОД ДАННЫХ	Проход	1		
Программа	1	Секторов	5	
Проход	1	Время продува	с	3
		Ток зажигания	А	30
		Время нарастания	с	0,3
		Задержка вращения	с	1,5
		Задержка проволоки	с	-
		Время спада	с	6
		Время отвода пров.	с	0,1
		Время обдува	с	5

Рисунок 10 – Окно «Проход первый «Корневой»»

ВВОД ДАННЫХ	Сектор	1	2	3	4	5		
Программа	1	Угол	30	80	100	140	10	
Проход	1	Шаг сварки	мм	1	1	1	1	
		Скорость сварки	мм/с	7	7	7	6	6
		Скорость проволоки	мм/с	-	-	-	-	-
		Ток импульса	А	164	138	136	158	158
		Ток паузы	А	10	10	10	10	10
		Время импульса	с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
		Время паузы	с	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8

Рисунок 11 – Параметры режима сварки для первого прохода

ВВОД ДАННЫХ	Проход	2		
Программа	1	Секторов	5	
Проход	2	Время продува	с	3
		Ток зажигания	А	40
		Время нарастания	с	0,2
		Задержка вращения	с	1,5
		Задержка проволоки	с	-
		Время спада	с	6
		Время отвода пров.	с	0,1
		Время обдува	с	5

Рисунок 12 – Окно «Проход 2-ой и последующие»

ВВОД ДАННЫХ	Сектор	1	2	3	4	5		
Программа	1	Угол	30	80	100	140	10	
Проход	1	Шаг сварки	мм	1	1	1	1	
		Скорость сварки	мм/с	6	6	6	5	5
		Скорость проволоки	мм/с	-	-	-	-	-
		Ток импульса	А	137	124	128	133	133
		Ток паузы	А	10	10	10	10	10
		Время импульса	с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
		Время паузы	с	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8

Рисунок 13 – Параметры режима сварки для 2-гопрохода и последующих»

## 5.2 Контроль качества

Основные трудности при сварке тел вращения из нержавеющей сталей обусловлены большим количеством легирующих элементов и разнообразием условий эксплуатации. Общей особенностью данных сталей является склонность к образованию в сварном соединении горячих межкристаллитных трещин. Образование горячих трещин связано с формированием при сварке крупнозернистой макроструктуры [29].

Следовательно, сварка тел вращения из нержавеющей сталей должна производиться под особым контролем, это обуславливается тем, что различные дефекты сварного шва могут привести к серьезным последствиям в процессе эксплуатации.

Существуют различные способы контроля качества сварных соединений тел вращения: визуальный и измерительный контроль (ВИК), капиллярные, течеискания, магнитные, радиационные, ультразвуковые.

Контроль качества швов в первую очередь начинают с визуального и измерительного контроля. Его проводят с целью обнаружения таких дефектов как: трещины, поверхностные поры, свищи, прожоги. В тех случаях, когда необходимо выполнить многослойный шов, визуальный и измерительный контроль проводят по окончании каждого прохода.

К данному виду контроля прибегают практически всегда после выполнения сварочных работ, так как с его помощью возможно быстро и без особого труда обнаружить так называемые первичные наружные дефекты невооруженным глазом или с использованием визуально-оптических приборов [30]. Все завершённые сварные швы должны подвергаться визуальному контролю. Особенно тщательно стоит уделять внимание соединениям, которые работают под высоким давлением, такие как, например, трубы поверхностей нагрева.

Перед осуществлением визуального контроля полученный шов должен быть очищен от шлака, разбрызгивания металла и других загрязнений на длине 20 мм в каждую из сторон от сварного соединения.

ВИК может осуществляться, используя лупу с 4–7-кратным увеличением для тех мест, где необходимо точно убедиться в обнаруженных дефектах, если же не требуется особого качества, то шов может быть проконтролирован невооруженным глазом.

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются: трещины всех видов и направлений; непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва; наплывы (натеки) и брызги металла; незаваренные кратеры; свищи; прожоги; скопления включений [29].

Исходя из того, что к сварке труб предъявляется высокая ответственность, сварные швы необходимо также проверять на наличие внутренних дефектов. Для труб диаметром менее 20 мм предпочтительней использование радиографического контроля.

Радиографическим контролем выявляют в сварных соединениях следующие внутренние дефекты: трещины, непровары, поры, металлические и неметаллические включения, а также недоступные для внешнего осмотра наружные дефекты - утяжины, превышение проплава и т.п.

Радиографический контроль следует проводить после устранения обнаруженных при внешнем осмотре сварного соединения наружных дефектов, зачистки его от неровностей, шлака, брызг металла, окалины и других загрязнений, изображения которых на снимках могут помешать расшифровке снимка [30].

После зачистки сварного соединения и устранения наружных дефектов должна быть произведена разметка сварного соединения на участки и маркировка (нумерация) участков.

Одним из важных вопросов в практической радиографии является чувствительность метода. Чувствительность характеризует выявляемость дефектов. Она определяется минимальным дефектом, выявляемом по радиограмме (снимку). Для оценки чувствительности радиографического контроля по ГОСТ 7512-82 применяются проволочные, канавочные или пластинчатые эталоны чувствительности.

Трубы диаметром менее 25 мм контролируют методом просвечивания через две стенки. При контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий через две стенки с расшифровкой только прилегающего к пленке участка сварного соединения, допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты.

Просмотр и расшифровка снимков должны производиться после их полного высыхания в затемненном помещении с применением специальных осветителей - негатоскопов.

Снимок, допущенный к расшифровке сварного соединения, должен удовлетворять требованиям: снимок не должен иметь пятен, полос, загрязнений и повреждений эмульсионного слоя, затрудняющих их расшифровку, на снимке должны быть видны изображения контролируемого участка шва, околошовной зоны, канавочных и пластинчатых эталонов чувствительность, плотность снимка должна быть не менее 1,5 и не более 3,0 единиц оптической плотности [30].

Результаты расшифровки снимков, чувствительность контроля, наличие дефектов должны быть записаны в заключении и журнале регистрации результатов контроля.

## **Вывод по разделу 5:**

5.1 Разработаны программы шагоимпульсного режима для трехфазной орбитальной сварки методом автоопрессовки труб из нержавеющей сталей за три прохода.

5.2 Разработана методика контроля сварного соединения, методом визуально-измерительного контроля и рентгенографическим методом.

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **6.1 Предпроектный анализ**

Сварка тел вращения из нержавеющей сталей массово применяется в нефтехимической, пищевой промышленности. Но все еще вызывает определенные трудности при ее реализации. На фоне активного развития электроники и компьютерных систем управления появляются новые решения и новые технологии для облегчения и улучшения качества этого процесса.

Данная работа посвящена изучению повышения эффективности процесса сварки тел вращения, из нержавеющей сталей методом автоопрессовки с импульсным питанием сварочной дуги.

Целью экономической части выпускной квалификационной работы является анализ процесса с экономической точки зрения.

В данном разделе производится учет всех технико-экономических факторов на каждой стадии проекта, оценивается эффективность разработки, анализируются возможные способы исполнения процесса сварки, а также рассчитывается эффективность производства по одному из способов.

#### **6.1.1 Потенциальные потребители результатов проекта**

Результаты проекта могут быть применены на объектах нефтехимической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности:

Для перекачивания пластовой воды и механических примесей;

Для перегонки пожарной или питьевой воды;

Для перекачивания жидких пищевых, агрессивных химических продуктов, минеральных удобрений;

### 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

С помощью анализа конкурентных технических решений, проведем оценку сравнительной эффективности научной разработки и определим направления для ее будущего повышения.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Основными конкурентами технологии процесса сварки тел вращения методом опрессовки за счет импульсного питания сварочной дуги являются аргонодуговая сварка неплавящимся электродом – Бк1 и автоматическая сварка плавящимся электродом – Бк2. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в Таблице 6, подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Основными критериями оценки материалов будут являться: удобство в эксплуатации, затраты на производство, а также простота и скорость изготовления.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [31]:

$$K = \sum V_i \times B_i, \quad (3)$$

где:  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Оценочная карта представлена в Таблице 6.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Удобство в применении	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
2 Универсальность	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
3 Затраты на производство	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
4 Эффективность применения	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
5 Скорость сварки	0,15	4	3	4	0,6	0,4	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Конкурентоспособность	0,1	3	5	3	0,3	0,5	0,3
2 Уровень проникновения на	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
3 Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
4 Квалифицированные кадры	0,05	5	3	4	0,3	0,2	0,2
Итого	1	36	35	33	4,1	3,9	3,7
<p><i>Примечание:</i>  <i>B<sub>ф</sub></i> – оценка профессиональных рисков при проведении работ;  <i>B<sub>к1</sub></i> – прогнозная оценка профессиональных рисков;  <i>B<sub>к2</sub></i> – оценка ретроспективных профессиональных рисков.</p>							

Опираясь на полученные данные, можно сказать, что предложенная технология, рассмотренная в данной работе, эффективнее, чем методы, применяемые конкурентами.

### 6.1.3 SWOT–анализ

SWOT–Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно–исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Целью SWOT–анализа является определение всех сильных и слабых сторон научной разработки, которые рассматриваются как внутренние факторы, а также изучение внешних факторов, каковыми являются рыночные возможности и угрозы, для получения четкого представления основных направлений развития предприятия. На основе такого исследования организация должна максимально использовать свои сильные стороны, попытаться преодолеть слабости, воспользоваться благоприятными возможностями и защититься от потенциальных угроз.

– Сильные стороны проекта. Сварка тел вращения из нержавеющей сталей методом автоопрессовки с шагоимпульсным питанием сварочной дуги в отличие от других способов, позволяет лучше контролировать процесс сварки, снижает количество брака, не требует высокой квалификации исполнителя. При этом затраты на оборудование ниже, чем у оборудования аналогичных зарубежных производителей.

– Слабые стороны проекта. На данный момент, проект находится на стадии научных исследований. Одним из существенных минусов является нехватка денежных средств для исследований и приобретения необходимого оборудования. В настоящее время сложно составить конкуренцию на рынке, в связи с огромным влиянием иностранных конкурентов на рынке и отсутствием достаточного финансирования и нужного оборудования для исследования, т.к. иностранные конкуренты используют более широкий и модернизированный спектр оборудования для исследований.

– Возможности. Данная технология вполне может удовлетворить спрос международного и российского рынков при достаточном финансировании. В настоящее время разработка материалов в сфере сварки нержавеющей сталей являются значимыми и актуальными, что может повысить спрос на данный товар.

– Угрозы. Главной угрозой данного проекта является заполнение международного и российского рынков товарами конкурирующих сторон. Опираясь на это, финансирование нашего проекта может быть уменьшено, что в свою очередь значительно повлияет на процесс развития и импорт замещения российского рынка отечественной подобной продукцией. Так же одной из угроз являются вывод из строя технического оборудования, которое существенно будет влиять на процесс исследования.

Согласно выводам составлена итоговая матрица SWOT–анализа, которая приводится в магистерской диссертации (Таблица 7).

Таблица 7 – SWOT–анализ:

	<b>Сильные стороны проекта</b>	<b>Слабые стороны проекта</b>
	<p>С1. Более низкая стоимость по сравнению с другими технологиями;</p> <p>С2. Экологичность технологии;</p> <p>С3. Не требует высокой квалификации;</p> <p>С4. Получение сварного шва в соответствие с заявленным свойствам.</p>	<p>Сл1. Стадия развития в России;</p> <p>Сл2. Отсутствие достаточной финансовой поддержки;</p> <p>Сл3. Использование устаревшей техники для исследования;</p> <p>Сл4. Отсутствие интереса со стороны потенциальных потребителей</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Стабильно возрастающая потребность российского и мирового производства в снижении затрат и повышении качества сварки;</p> <p>В2. Выгодное сочетание свойств стабильность/стоимость/универсальность;</p>	<p>Используя полученные достижения в области исследования можно создать конкурентоспособную российскую продукцию на мировом рынке.</p>	<p>Научно–исследовательская база ТПУ может быть использована при отсутствии необходимого оборудования и недостатке финансирования.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Появление других научных разработок с улучшенными свойствами и характеристиками;</p> <p>У2. Отсутствие интереса руководства к данному исследованию ввиду высокой стоимости оборудования для исследования.</p>	<p>Проведение дополнительных исследований позволит улучшить качество и механические свойства сварного соединения</p>	<p>Развитие использования других видов сварки (лазерной, плазменной и др.).</p>

Результаты SWOT–анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно–исследовательского проекта.

### 6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (5)$$

где:  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации представлена в Таблице 8.

Таблица 8 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности проекта	Уровень имеющихся знаний
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	5
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2

Таблица 8 - Продолжение

№ п/п	Наименование	Степень проработанности проекта	Уровень имеющихся знаний
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
ИТОГО БАЛЛОВ		60	57

Таким образом, разработка считается перспективной, а знания разработчика выше среднего. Возможно привлечение в работу эксперта по проведению процедуры оценки уровня профессиональных компетенций сотрудников, осуществляющих контрольно-надзорные мероприятия.

## 6.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [31].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [31].

Устав научного проекта магистерской работы имеет структуру, представленную ниже [31].

1) Цели и результат проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 9.

Таблица 9 - Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Машиностроение	Модернизация и как следствие, уменьшение себестоимости, действующей на предприятии технологии сварки тел вращения из нержавеющей сталей.
Пищевая промышленность	

В Таблице 10 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 10 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Цель данной работы заключается, в поиске возможных способов улучшений действующих на предприятии технологий сварки тел вращения из нержавеющей сталей за счет импульсного питания сварочной дуги, что позволит повысить качество, увеличить объем выпуска, снизить себестоимость и накладные расходы на единицу продукции.
Ожидаемые результаты проекта:	Повышение эффективности сварки тел вращения.
Требования к результату проекта:	Выполнение поставленных задач Научное объяснение результатов проекта Заключение о результатах рекомендательного оборудования

2) Организационная структура проекта. Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (Таблица 11).

Таблица 11 - Рабочая группа проекта

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>
1	Киселев А.С. доцент ОЭИ, к.т.н.	Руководитель	Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта
2	Орт И.А. студент кафедры ОЭИ	Исполнитель	Выполнение теоретической части

3) Ограничения и допущения проекта. Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 12 - Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1. Источник финансирования	Компания ООО «Завод ПСА «ЭлеСи»
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	12.03.2020.
3.2.2. Дата завершения проекта	02.06.2020.
3.3. Прочие ограничения и допущения	Ограничения по использованию сварочного аппарата, самоизоляция в условиях пандемии COVID-19

В рамках процессов инициации были определены изначальные цели и предполагаемые результаты проекта. Зафиксированы изначальные финансовые ресурсы. Определены внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

### 6.3 Планирование управления проектом

#### 6.3.1 План проекта

При создании нового технологического процесса предприятию необходимо правильно планировать сроки выполнения отдельных этапов работ, учитывать расходы на материалы, зарплату. А также оценивать наиболее правильный вариант разработки процесса.

В первую очередь определяется полный перечень проводимых работ, а также продолжительность на каждом этапе. В результате планирования формируется график реализации проекта. Для построения работ необходимо соотнести соответствующие работы каждому исполнителю.

Таблица 13 - Распределение этапов работы

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления разработки	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	

Таблица 13 - Распределение этапов работы (Продолжение)

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение оборудования	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Заключение	Научный руководитель, студент

### 6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ по проекту и разработка графика

Чтобы составить ленточный график проведения проектных работ (на основе диаграммы Ганта), сначала следует составить таблицу временных показателей проведения проектной работы.

Трудоемкость выполнения проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула [31]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5}, \quad (6)$$

где:  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по формуле [31]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (7)$$

где:  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей (студент или руководитель).

Для удобства построения такого графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [31]:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{кал}, \quad (8)$$

где:  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [31]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (9)$$

где:  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному календарю на 2020 год:

– количество календарных дней – 366;

– количество рабочих дней – 247;

– количество выходных и праздничных дней – 118.

Далее определим коэффициент календарности:  $k_{\text{кал}} = \frac{366}{247-118} = 2.83$ .

Таким образом, получаем таблицу временных показателей проведения работы (Таблица 14).

Таблица 14 – Временные показатели проведения проекта

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни	$t_{\text{max}}$ , чел-дни	$t_{\text{ожл}}$ , чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	2	4	2,8	Руководитель	2,8	4
Выдача задания на тему	1	3	1,8	Руководитель	1,8	3
Постановка задачи	1	2	2,2	Руководитель	2,2	3
Определение стадий, этапов и сроков разработки	2	5	3,2	Руководитель, Студент	1,6	2
Поиск и изучение материалов по теме	15	30	21	Студент	21	31
Анализ существующего опыта	5	8	6,2	Студент	6,2	9

Таблица 14 – Временные показатели проведения проекта (Продолжение)

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	2	4	2,8	Руководитель	2,8	4
Согласование полученных данных с руководителем	1	3	1,8	Руководитель, Студент	0,9	1
Разработка системы	20	30	21	Студент	21	36
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	2,4	Студент	2,4	4
Работа над выводом	1	2	1,4	Студент	1,4	2
Составление пояснительной записки	3	7	4,6	Студент	4,6	7

Таким образом, общая длительность работ в календарных днях (руководителя – 10 дн., студента – 97 дн., совместной работы – 3 дн.) равна 110 дн.

На основании таблицы 14 строим календарный план-график, который отражает длительность исполнения работ в рамках проектной деятельности (таблица 15).

Таблица 15 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	T <sub>ki</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4											
2	Выдача задания на тему	Руководитель	3											
3	Постановка задачи	Руководитель	3											
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки	Руководитель, Студент	2		 									
5	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	31											
6	Анализ существующего опыта	Студент	9											
7	Подбор нормативных документов	Студент	8											
8	Согласование полученных данных с руководителем	Руководитель, Студент	1											
9	Разработка системы	Студент	36											
10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	4											
12	Работа над выводом	Студент	2											
13	Составление пояснительной записки	Студент	7											

 – студент;  – руководитель.

### 6.3.3 Бюджет проекта. Затраты на материалы и эксперименты

Затраты на проведение проекта приведены в таблицах 16 – 17. Большие затраты потребовались для проведения испытаний на установке для автоматической сварки.

Таблица 16 – Затраты на сырье и материалы

Наименование	Затраты, руб.	Примечание
Материалы	2500	В качестве материалов труба ø20x2 12X18Н10Т
Установка автоматической сварки	2045	Приведена стоимость использо- вания установки в течение одного рабочего дня.
Газ аргон	1460	
Вольфрамовый электрод	300	
Транспортно-заготовительные расходы (5%)	315	
Итого	64425	

В процессе производства основные фонды амортизируются, постепенно перенося свою стоимость на произведенный товар, а начисление амортизации – ежемесячно проводимый процесс покрытия износа, непременно возникающего при этом. Этот показатель не является фиксированным значением. Норма амортизации измеряется в процентах и устанавливается в зависимости от принятой в компании методики начисления амортизации. Так при линейном способе, отчисления производятся равными долями на протяжении полного срока эксплуатации объекта.

1. Установка для автоматической аргодуговой сварки:  $\frac{625000}{8 \times 12} \times 1 = 6510,4$  руб.;

2. ДС САУ4.33 :  $\frac{368700}{10 \times 12} \times 0,6 = 1843,5$  руб.;

3. Микроскоп Микромед МЕТ:  $\frac{140743}{8 \times 12} \times 0,1 = 146,7$  руб. ,

В результате планирования был сформирован график реализации проекта, учтены расходы на материалы, зарплату. А также оценен наиболее правильный вариант разработки процесса.

### 6.3.4 Расчет фонда заработной платы

Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом [31].

Для технолога (дипломника) месячный оклад составляет  $Z_{от}=15769$  руб/мес, для руководителя -  $Z_{оп} = 33162$  руб/мес.

Заработная плата рассчитывается по формуле [14]:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (10)$$

где:  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле [14]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (11)$$

где:  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневную заработную плату можно рассчитать по формуле [31]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{T}, \quad (12)$$

где:  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$T$  – количество рабочих дней в месяце. Принимаем 6- дневную рабочую систему, значит  $T=26$  дней.

Месячный должностной оклад работника [31]:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (13)$$

где:  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Теперь рассчитываем месячную заработную плату работников проекта:

$$Z_{\text{мт}} = 15769 \cdot 1,3 = 20499,7 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{мп}} = 33162 \cdot 1,3 = 43110,6 \text{ руб.}$$

Определяем среднедневную заработную плату:

$$Z_{\text{дн.т}} = 8573,5 / 26 = 788,5 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн.п}} = 43110,6 / 26 = 1658,1 \text{ руб.}$$

Основную заработную плату определим с допущением, что на данный проект его работники затратили 100 полных рабочих дней (8 часов в день):

$$Z_{\text{осн.т}} = 788,5 \cdot 100 = 78850 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн.п}} = 1658,1 \cdot 100 = 165810 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [31]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (14)$$

где:  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Принимаем коэффициент дополнительно зарплаты равным 0,1 и получаем:

$$З_{\text{доп.т}} = 0,1 \cdot 78850 = 7885 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{доп.п}} = 0,1 \cdot 165810 = 16581 \text{ руб.}$$

Итак, определяем полную зарплату работников:

$$С_{\text{зпт}} = 78850 + 7885 = 86735 \text{ руб.};$$

$$С_{\text{зпп}} = 165810 + 16581 = 182391 \text{ руб.}$$

Также необходимо рассчитать отчисления во внебюджетные фонды (социальные нужды) по формуле [31]:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Принимаем  $k_{\text{внеб}}=0.302$ .

$$C_{\text{внеб.т}} = 0.302 \cdot 86735 = 26194 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{внеб.п}} = 0.302 \cdot 182391 = 55082,1 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле [31]:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (16)$$

где:  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов. Принимаем  $k_{\text{накл}}=0.8$ .

$$C_{\text{накл.}} = 0.8 \cdot 269126 = 215300,8 \text{ руб.};$$

Результаты расчета фонда заработной платы представлены в Таблице 17.

Таблица 17 - Фонд заработной платы

Исполнитель	Число исполнителей	Трудоёмкость выполнения работы Т <sub>исп.</sub>	Заработная плата по тарифной ставке руб./мес.	Среднедневная заработная плата, руб	Основная заработная плата исполнителя ЗП <sub>осн.</sub> руб.	Месячный должностной оклад, руб
Дипломник	1	100	15769	788,5	78850	20499,7
Руководитель	1	100	33162	1658,1	165810	43110,6
Итого:	2	200	48931	2446,6	244660	63610,3

Таким образом, на основании полученных данных по отдельным статьям затрат составим калькуляцию плановой себестоимости (Таблица 18).

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты	64425	п. 1
Затраты по основной заработной плате исполнителей	244660	п. 2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	24466	п. 2
Отчисления во внебюджетные фонды	81276,1	п. 3
Накладные расходы	215300,8	п. 4
Амортизационные расходы основных средств	8500,6	п. 1
Итого	638628,5	

Из Таблицы 18 видно, что для реализации проекта необходимо, что бы бюджет составлял 638628,5 руб.

## **6.4 Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования**

### **6.4.1 Оценка сравнительной эффективности проекта**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. В нашем проекте мы можем рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [31]:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (17)$$

где:  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже. В текущем исследовании применялась автоматизированная сварка методом автоопрессовки в среде защитного газа аргона. В качестве аналогов рассмотрим ручную дуговую сварку неплавящимся электродом (аналог 1) и автоматическую сварку плавящимся электродом (аналог 2).

Таблица 19 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сложность постановки эксперимента	0,4	3	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	2
3. Энергосбережение	0,15	5	2	1
4. Безопасность	0,15	5	4	2
5. Стоимость эксперимента	0,2	4	2	4
Итого	1	22	15	13

По формуле 17 и данным таблицы 19 рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности.

$$I_m^p = 0,4 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4;$$

$$I_m^{a1} = 0,4 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 2 = 2,9;$$

$$I_m^{a2} = 0,4 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2 + 0,15 \cdot 1 + 0,15 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 = 3,05.$$

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация проекта в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

**Вывод по разделу:** Проведен экономический анализ технологии повышения эффективности процесса сварки тел вращения из нержавеющей сталей за счет импульсного питания сварочной дуги методом автоопрессовки. Определено, что основной сегмент компаний, заинтересованных в данном исследовании это крупные предприятия пищевой и нефтехимической отрасли. Сделан расчет бюджета научного исследования, в который вошли расходы на материалы и оборудование, а также заработные платы участников проекта. Итоговый бюджет проекта составляет 638628,5 руб.

## **7 Социальная ответственность**

### **7.1 Описание рабочего места**

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрена установка автоматической сварки неплавящимся электродом в среде газа аргона, которая является промышленным оборудованием.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. В данное время одна из наиболее вероятных ЧС это распространение на предприятии случаев заболевания вирусной инфекции. А в связи с беспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

## **7.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

Работу по сборке и сварке на установке автоматической сварки, можно разделить на два этапа. Первый этап – подготовка к сборке. Этот этап проводится с помощью слесарных инструментов и оборудования. Второй этап: сборка и сварка тела вращения. При работе используется сварочная установка, слесарный инструмент. При данных работах могут быть следующие вредные факторы: а) недостаточная освещенность; б) отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении; в) превышение уровней шума и вибрации; г) повышенный уровень электромагнитного излучения; д) поступление в зону дыхания сварочных аэрозолей;

### **7.2.1 Освещенность**

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Естественное и искусственное освещение в производственных помещениях регламентируется нормами СП 52.13330.2011 в зависимости от характера зрительной работы, системы и вида освещения, фона, контраста объекта с фоном.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Искусственное освещение нормируется количественными (минимальной освещенностью) и качественными показателями (показателями ослепленности, коэффициентом пульсации освещенности).

Во всех производственных помещениях, в которых постоянно пребывает человек, должно быть предусмотрено естественное освещение, создаваемое светом неба. Коэффициент естественной освещенности (КЕО), для таких помещений, должен быть не менее 0,8% [26].

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 6$  м, ширина  $B = 6$  м, высота = 4 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1,0$  м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B; \quad (18)$$

где:  $A$  – длина, м;  $B$  – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения бетонных стен с окнами  $\rho_c = 50\%$ , грязного бетонного потолка  $\rho_{Пб} = 50\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений со средним выделением пыли равен  $K_3 = 1,8$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛБ -40, световой поток которой равен  $\Phi_{ЛД} = 2800$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ПВЛ-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной

решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda=1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (19)$$

где:  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ПВЛ:  $h_n = 3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c; \quad (20)$$

$$h = 4 - 1 - 0,5 = 2,5 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h \quad (21)$$

$$L = 1,1 \cdot 2,5 = 2,8 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L}; \quad (22)$$

$$Nb = \frac{6}{2,8} = 2,2 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L}; \quad (23)$$

$$Na = \frac{6}{2,8} = 2,2 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb; \quad (24)$$

$$N = 3 \cdot 3 = 9$$

Для схематического изображения размещения светильников необходимо рассчитать расстояние вдоль стен и от торца помещения:

$$L = Na \cdot L_1 + 2/3 \cdot L_1 + N \cdot L_{лам}; \quad (25)$$

Соответственно расстояние до ламп от стены (А) длиной 6 метров обозначаем  $L_1$ , а для расстояния от стены (В) длиной 6 метров  $L_2$ .

Согласно «Практикум БЖД 2009» равномерность освещения обеспечивается расстоянием от крайних светильников до стенок =  $L/3$ .

Составим уравнение с одной неизвестной

$$6000 = L_1 + 2/3 \cdot L_1 + 3 \cdot 266;$$

$$6000 = 3 \cdot L_2 + 2/3 \cdot L_2 + 3 \cdot 1230;$$

Отсюда:

$$6000 - 3 \cdot 266 = L_1 \cdot (1 + 2/3);$$

$$6000 - 3 \cdot 1230 = L_2 \cdot (3 + 2/3);$$

Следственно получаем уравнения:

$$L_1 = \frac{6000 - 3 \cdot 266}{1 + \frac{2}{3}} = 3060; \text{ мм} - \text{расстояние вдоль помещения};$$

$$L_2 = \frac{6000 - 3 \cdot 1230}{3 + \frac{2}{3}} = 1359 \text{ мм мм}; - \text{расстояние от торцов помещения.}$$

Расстояние от торцов –  $l$ :

$$l_1 = 3060 / 3 = 1020 \text{ мм};$$

$$l_2 = 1359 / 3 = 453 \text{ мм.}$$

Размещаем светильники в 3 ряда по 3 светильника. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

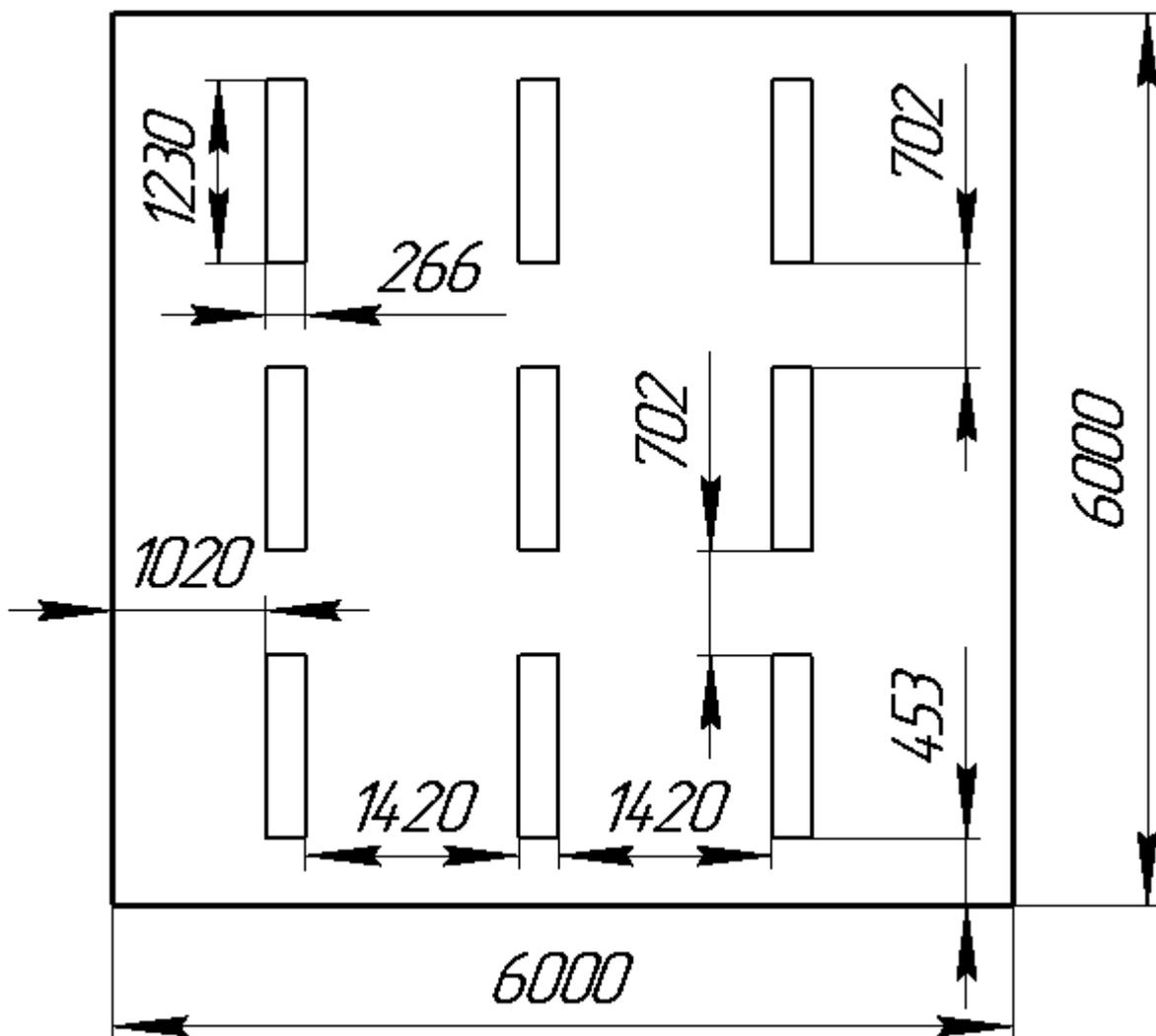


Рисунок 14 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)}; \quad (25)$$

$$i = \frac{6 \cdot 6}{2,5 \cdot (6 + 6)} = 1,2$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ПВЛ с люминесцентными лампами при  $\rho_{\text{П}} = 50\%$ ,  $\rho_{\text{С}} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,2$  равен  $\eta = 0,3$ .

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{л} = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / N \cdot \eta = (200 \cdot 36 \cdot 1,8 \cdot 1,1) / 18 \cdot 0,30 = 2640 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{лД} - \Phi_{лП}}{\Phi_{лД}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{лД} - \Phi_{лП}}{\Phi_{лД}} \cdot 100\% = \frac{2800 - 2640}{2800} \cdot 100\% = 5,7\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 18 \cdot 40 = 720 \text{ Вт.}$$

### 7.2.2 Микроклимат

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ( $\varphi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\varphi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

В сварочных цехах на стационарных рабочих постах, а также, где это возможно, на нестационарных постах следует устанавливать местные отсосы.

В металлических шкафах для хранения баллонов с газом должна быть предусмотрена естественная вентиляция через верхние и нижние части помещений или шкафов.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Слесарно-сварочные работы, относятся к категории Пб. Оптимальные, допустимые значения микроклимата, скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, приведена в Таблице 20.

Таблица 20 - Оптимальные и допустимые значения микроклимата для категории работ Пб [26]

Процессы	Влажность, %	Температура, Цельсия	Скорость, м/с
Оптимальные:			
Холодный	60-40	17-19	не более 0,2
Теплый	60-40	19-21	не более 0,2
Допустимые			
Холодный	15-75	15-22	не более 0,5
Теплый	15-75	16-27	не более 0,5

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования и металлов, воздухопроводов.

### **7.2.3 Производственный шум**

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. Допускается эквивалентный уровень шума на рабочих местах от 80 до 85 дБА при условии подтверждения приемлемого риска здоровью работающих по результатам проведения оценки профессионального риска здоровью работающих, а также выполнения комплекса мероприятий, направленных на минимизацию рисков здоровью работающих [25]. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 65 дБА при работе на установке, и кратковременные повышения до 85 дБА при работе с ручным шлифовальным инструментом и на заточных станках.

Средства и методы коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на: акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические.

Акустические средства защиты от шума в зависимости от принципа действия подразделяются на: средства звукоизоляции; средства

звукопоглощения; средства виброизоляции; средства демпфирования; глушители шума.

Организационно-технические методы защиты от шума включают в себя: применение малошумных технологических процессов (изменение технологии производства, способа обработки и транспортирования материала и др.); оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля; применение малошумных машин, изменение конструктивных элементов машин, их сборочных единиц; совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин; использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

При работе в слесарно-сварочном цехе средствами индивидуальной защиты от шума являются ушные вкладыши и наушники. Эффективность индивидуальных средств защиты зависит от используемых материалов, конструкции, силы прижатия, правильности ношения. Ушные вкладыши вставляют в слуховой канал уха. Их изготавливают из легкого каучука, эластичных пластмасс, резины, эбонита и ультратонкого волокна. Они позволяют снизить уровень звукового давления на 10...15 дБ. В условиях повышенного шума рекомендуется применять наушники, которые обеспечивают более надежную защиту органов слуха [25].

#### **7.2.4 Электромагнитное излучение**

Электромагнитные излучения, воздействуя на организм человека в дозах, превышающих допустимые, могут явиться причиной профессиональных заболеваний. В результате возможны изменения нервной, иммунной, сердечно-сосудистой, половой и других систем организма человека. В процессе длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли. При систематическом облучении наблюдаются стойкие

нервно-психические заболевания, изменение кровяного давления, замедление пульса, трофические заболевания (выпадение волос, ломкость ногтей). При этом наблюдается вялость, снижение точности рабочих движений, возникновение болей в сердце. При анализе преобразований электрической энергии при сварке существует три источника электромагнитных полей, способных оказать биологическое воздействие на сварщика:

- процессы в источнике питания электрической дуги сварочным током;
- процессы в сварочной цепи, включая электрическую дугу;
- процессы в устройствах для возбуждения или поддержания устойчивости сварочной дуги (осцилляторах и генераторах импульсов).

Магнитное поле как частный случай электромагнитного поля возникает при дуговой сварке и зависит от её режимов, определяющих характер переноса металла через дуговой промежуток, и от типа источника питания. Оно воздействует на жизненно важные органы сварщика, выполняющего работы в непосредственной близости от сварочного аппарата. СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливаются предельно допустимые уровни (ПДУ) магнитных полей. Так, при 8-часовой работе ПДУ напряженности ЭП с частотой 50 Гц на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м, а ПДУ периодического магнитного поля составляет 8 кА/м.

Таблица 21 - ПДК электромагнитного излучения

<b>Электромагнитное излучение</b>	<b>Время контакта (часов)</b>
При напряженности эл.маг. поля 10 мкРВт/см <sup>2</sup>	8
При напряженности эл.маг. поля 10-100 мкРВт/см <sup>2</sup>	не более 2 часов
При напряженности эл.маг. поля 100-1000 мкРВт/см <sup>2</sup>	не более 20 минут
Для населения	1 мкРВт/см <sup>2</sup>

Средства защиты от воздействия ЭП частотой 50 Гц: стационарные экранирующие устройства; экранирующие комплекты; обязательное заземление всех изолированных от земли крупногабаритных объектов, включая машины и механизмы и др.

Защита работающих на сварочных установках от воздействия ЭП частотой 50 Гц обеспечивается применением конструкций, снижающих уровни ЭП путем использования компенсирующего действия разноименных фаз токоведущих частей и экранирующего влияния высоких стоек под оборудование, выполнением шин с минимальным количеством расщепленных проводов в фазе и минимально возможным их провесом и другими мероприятиями.

Средства защиты работающих от воздействия МП частотой 50 Гц могут быть выполнены в виде пассивных или активных экранов.

### **7.2.5 Вредные вещества**

Во время проведения сварочных работ в воздух рабочей зоны выделяется множество вредных веществ. Количество вредных веществ, локализуемых местными отсосами, составляет для вытяжных шкафов не более 90%, а для местных отсосов других видов не более 75%. Оставшиеся количество вредных веществ (10-20%) должно разбавляться до ПДК с помощью общеобменной вентиляции.

Значения ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ приведены в таблице 22.

Таблица 22 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ, которые выделяются в воздухе при сварке металлов [27]

Название	Вещество ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Твердая составляющая сварочного аэрозоля		
Марганец (при его содержании в сварочном аэрозоле до 20%)	0,2	2
Железа оксид	6,0	3
Кремний диоксид	1,0	4
Хром (III) оксид	1,0	3
Хром (VI) оксид	0,01	3
Газовая составляющая сварочного аэрозоля		
Азот диоксид	2,0	3
Марганец оксид	0,3	2
Озон	0,1	1
Углерода оксид	20,0	2,3
Фтористый водород	0,5/1,0	1

Очистка воздуха от аэрозолей осуществляется с помощью специального оборудования различных конструкций в зависимости от размеров частиц пыли: грубая очистка (10 ... 50 мкм), среднее (более 1 мкм) и тонкие (менее 1 мкм). Для улавливания сварочных аэрозолей в системах вентиляции и фильтровентиляционных агрегатах применяются электростатические, тканевые, бумажные и комбинированные фильтры [27].

В кабине предусматривают местную вентиляцию, воздухообмен которой на каждого рабочего должен составлять 40 м<sup>3</sup>/ч [31].

Расположение вентиляционного отсоса должно быть предусмотрено так, чтобы выделяемые при сварке газы сразу им всасывались, минуя попадание в дыхательные пути сварщика.

Для отсоса газов и пыли от сварочной дуги располагать вытяжной зонтик над приспособлением для сварки защитной гильзы ротора недопустимо. При такой организации рабочего места поток поднимающихся газов и пыли частично проходит через зону дыхания сварщика. Рекомендуется применение гибкого рукава системы вентиляции.

### **7.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

#### **7.3.1 Механическое воздействие**

При проведении слесарно-сварочных работ возникают следующие опасные производственные факторы: опасность от подвижных частей производственного оборудования, острые кромки, заусенцы на поверхности деталей, инструментов, выступающие части оборудования и деталей.

Безопасность на рабочем месте при проведении слесарных работ регламентируется ПОТ Р М-006-97 «Межотраслевые правила по охране труда при холодной обработке металлов».

Размещение основного и вспомогательного оборудования, расстояния между оборудованием и стенами здания должны соответствовать действующим нормам технологического проектирования (ОНТП), строительным нормам и правилам, утвержденным в установленном порядке, и быть не менее 0,6 м.

Планировка рабочего места должна обеспечивать свободный проход, доступ к пультам и органам управления оборудованием, удобство и безопасность действий при выполнении трудовых операций и отвечать требованиям ГОСТ 12.3.002 и ГОСТ 22269 к организации рабочего места.

На рабочих местах должны быть предусмотрены площадки, на которых располагают стеллажи, тару, столы и другие устройства для размещения оснастки, материалов, заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей и отходов производства.

Рабочие места должны находиться вне линии движения грузов, переносимых грузоподъемными средствами.

Движущиеся части оборудования, например, расположенные вне корпуса станков и представляющие опасность травмирования, должны иметь оградительные устройства, отвечающие требованиям ГОСТ 12.2.062 (сплошные, с жалюзи, с отверстиями), обладающие достаточной прочностью и оснащенные, при необходимости, устройствами (рукоятками, фиксаторами, скобами и т.п.) для удобного и безопасного их открывания или снятия, перемещения и установки.

Автоматы, работа на которых с открытой зоной обработки представляет опасность травмирования, должны иметь блокировку, при которой включение автоматического цикла работы возможно только при закрытом защитном устройстве

### **7.3.2 Повышенная температура поверхностей оборудования и материалов**

Контакт с горячей (свыше 45°C) поверхностью может вызвать ожоги незащищенных участков тела. Также образующиеся при дуговой сварке расплавленный металл имеет температуру до 1800°C, и в случае попадания на кожу искр, брызг раскаленного металла возможны тяжелые ожоги. Для предотвращения ожогов при сварке, попадания искр и капель расплавленного металла, ожогов об нагретые поверхности необходимо применять специальную одежду: специальный костюм сварщика или брезентовый костюм, имеющий соответствующую маркировку «Тр»; рукавицы брезентовые или кожаные типа

«Е» с защитными свойствами «Тр»; кожаные ботинки с маркировкой «Тр»; защитные очки, маску.

Основными методами коллективной и индивидуальной защиты являются: обеспечение недоступности нагретых поверхностей, теплоизоляция рабочих поверхностей источников излучения теплоты, экранирование источников или рабочих мест.

Средства защиты от термического воздействия должны обеспечивать тепловую облучённость на рабочих местах не более  $0,35 \text{ кВт/м}^2$ , температуру поверхности оборудования не более  $35^\circ\text{C}$  при температуре внутри источника теплоты до  $100^\circ\text{C}$  и  $45^\circ\text{C}$  при температуре внутри источника теплоты более  $100^\circ\text{C}$ .

Теплоизоляция горячих поверхностей (оборудования, сосудов, трубопроводов и т. д.) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает общее выделение теплоты, в том числе ее лучистую часть, излучаемую в инфракрасном диапазоне ЭМИ. Для теплоизоляции применяют материалы с низкой теплопроводностью.

Теплозащитные экраны применяют для экранирования источников лучистой теплоты, защиты рабочего места и снижения температуры поверхностей предметов и оборудования, окружающих рабочее место. Теплозащитные экраны поглощают и отражают лучистую энергию. Различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны. По конструктивному выполнению экраны подразделяются на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные.

Непосредственный контакт работника с нагретыми поверхностями предотвращается средствами механизации обращения с тепловыми процессами (дистанционное управление) и автоматизации, позволяющей вообще убрать человека из опасной зоны.

### **7.3.3 Ультрафиолетовое и инфракрасное излучение**

Горение сварочной дуги сопровождается излучением ослепительно ярких световых лучей и невидимых глазом УФ и ИК лучей. Спектр излучения включает участок ИК волн (3430-760 нм), видимый участок (760-400 нм) и УФ участок (400-180 нм).

Видимые световые лучи ослепляют, так как яркость их превышает физиологически переносимую дозу. Короткие ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию. Инфракрасные лучи обладают главным образом тепловым эффектом, их интенсивность зависит от мощности дуги. При современных способах сварки тепловая радиация на рабочем месте может составлять 0,5-6 кал/см<sup>2</sup>\*мин. Источниками тепловой радиация являются дуга и в меньшей степени нагретый металл.

Для коллективной защиты от источников излучения используются стационарные и передвижные ширмы из негорючего материала (типа брезент, асбестовое полотно).

Для индивидуальной защиты сварщиков от излучения используются сварочные маски. Конструкция масок должна соответствовать ГОСТ 12.4.035-78 и ТУ 3441-003-07515055-97. Система стандартов безопасности труда. Щитки защитные лицевые для электросварщиков

### **7.3.4 Взрывопожароопасность**

При неправильной эксплуатации баллоны под давлением могут представлять опасность, как для работников предприятий, так и для третьих лиц и окружающей среды. Правила обращения с сосудами работающими по давлению регламентируются Федеральными нормами и правилами (ФНП) в области промышленной безопасности от 25.03.2014 (приказ № 116) «Правила

промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением».

В работе сварочной установки используется газ аргон, поставляемый в сжатом состоянии в металлических баллонах объемом 40 литров. Аргон не имеет цвета и запаха. Не оказывает опасного воздействия на окружающую среду. Газообразный аргон тяжелее воздуха и может накапливаться в слабо проветриваемых помещениях у пола. При этом снижается содержание кислорода в воздухе, что вызывает кислородную недостаточность и удушье.

Типичные нарушения в организациях при эксплуатации баллонов (сосудов) под давлением:

- Неправильное хранение баллонов внутри помещения;
- Отсутствие инструкции по охране труда при эксплуатации сосудов под давлением;
- Отсутствие лица, ответственного за безопасную эксплуатацию сосудов под давлением;
- Отсутствие должностной и производственной инструкции лица, ответственного за безопасную эксплуатацию сосудов под давлением;
- Не назначено ответственное должностное лицо за осуществление производственного контроля за безопасной эксплуатацией оборудования под давлением;
- Отсутствие должностной и производственной инструкции лица, ответственного за осуществление производственного контроля;
- Не проводятся обучение и инструктажи лиц, допускаемых к эксплуатации сосудов под давлением;
- Отсутствие производственной инструкции для персонала по безопасной эксплуатации баллонов (сосудов) под давлением.

Обучение и итоговую аттестацию рабочих с присвоением квалификации должны проводить в образовательных организациях, а также на курсах, специально создаваемых эксплуатирующими организациями в соответствии с

требованиями законодательства Российской Федерации в области образования. Порядок проверки знаний по безопасным методам выполнения работ и допуска к самостоятельной работе определяется распорядительными документами эксплуатирующей организации.

Периодическую проверку знаний персонала (рабочих), обслуживающего оборудование под давлением, должны проводить один раз в 12 месяцев.

Устанавливать баллоны следует на расстоянии не менее 5 м от очагов с открытым огнем и 0,5 м от источников тепла.

### **7.3.5 Электроопасность**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

Сварочные цеха относятся к помещению с повышенной опасностью поражения электрическим током. Они характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

Все оборудование сварочных цехов и участков должно соответствовать «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ), а также ГОСТ 12.1.007.0 - 75

«Система стандартов безопасности труда. Оборудование электротехническое. Общие требования безопасности» и ГОСТ 12.2.007.8 - 75 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование электросварочное и для плазменной обработки. Требования безопасности» Эксплуатация оборудования должна соответствовать «Межотраслевым правилам труда при эксплуатации электрооборудования». Кроме того, следует выполнять указания по эксплуатации и безопасному обслуживанию электросварочных установок, имеющих в инструкциях заводов изготовителей.

Безопасные номиналы  $I=0,1$  А,  $U = (12-36)$  V,  $R_{\text{заземления}} = 4$  Ома.

Во избежание поражения электрическим током необходимо, чтобы изоляция, подводящих линий силовых кабелей сварочной установки была неповрежденной, выдерживала необходимое испытательное напряжение и подвергалась периодическим проверкам. Изоляция проводов должна быть защищена от повреждений применение электросварочных проводов с поврежденной оплеткой и изоляцией запрещается. При повреждении оплетки провода его следует заключать в резиновый шланг [28].

Корпус источника питания и корпус сварочной установки необходимо заземлять. Для присоединения заземляющего провода на электросварочном оборудовании должен быть предусмотрен болт диаметром  $5\div 8$  мм, расположенный в доступном месте с надписью “Земля” (или условным обозначением “Земля”). Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляемых аппаратов запрещается [28].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: защитные оболочки; защитные ограждения (временные или стационарные); безопасное расположение токоведущих частей; изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная); изоляция рабочего места; малое напряжение; защитное отключение; предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы: защитное заземление; зануление; выравнивание потенциала; защитное отключение; изоляция нетоковедущих частей; контроль изоляции; компенсация токов замыкания на землю;

В качестве индивидуальных средств защиты кроме вышеизложенного применяют прорезиненные перчатки, обувь на изолирующей подошве, диэлектрические коврики/помосты, инструмент с диэлектрическими рукоятками.

### **7.3.6 Пожароопасность**

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории  $A_{н}$ ,  $B_{н}$ ,  $B_{н}$ ,  $G_{н}$  и  $D_{н}$ .

Согласно НПБ 105-03 сварочные цеха относятся к категории Г - негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) раскалённые поверхности металла при сварке, излучение сварочной дуги, искры и брызги расплавленного, нагретые поверхности оборудования;

б) неосторожное обращение с огнем (курение, оставление сварочной установки без контроля во время работы, легковоспламеняющиеся материалы в зоне сварки и так далее).

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию.

Сварочные помещения должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2 или ОУБ-3. Углекислотные огнетушители предназначены для тушения горючих жидкостей (В), горючих газов (С), а также очагов пожаров в электроустановках (Е), находящихся под напряжением 10000В. Углекислотные огнетушители не применяются для тушения: твердых горючих веществ (А); веществ, горение которых может происходить без доступа кислорода (Д), (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий); электроустановок напряжением выше 10 000 В.

На стене рядом с местом расположения огнетушителя должна находиться таблица с номерами телефонов экстренного вызова местной и

городской пожарной команды. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Так же на слесарно-сварочном посту необходимо наличие ящика с песком и асбестовое полотно.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (Рисунок 18).

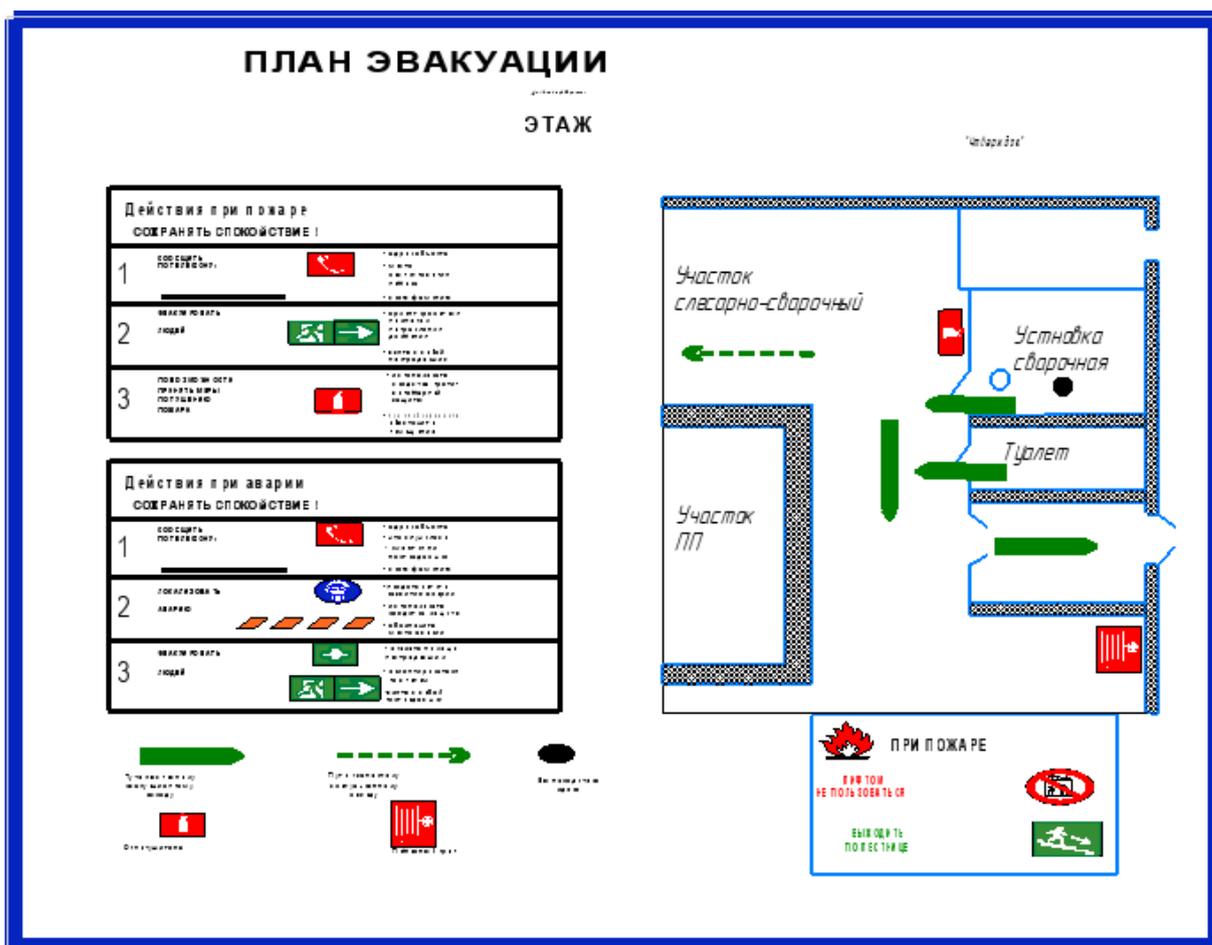


Рисунок 15 - Пути эвакуации.

## 7.4 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Одним из наиболее совершенных видов очистки газов от взвешенных в них частиц пыли являются электрофилтры. Их принцип основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего заряда, передачи заряда ионов частицам примесей и осаждении последних на осадительных и коронирующих электродах, с которых они затем удаляются механически. Также широкое применение для очистки газов от частиц пыли получили сухие пылеуловители – циклоны [29].

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от газов и паров применяют адсорберы. Адсорбция представляет собой процесс поглощения газов или паров поверхностью твердых веществ – адсорбентов.

Адсорбенты, используемые в процессах очистки отходящих газов, должны удовлетворять следующим требованиям:

- Иметь большую адсорбционную способность при поглощении компонентов при небольших концентрациях их в газовых смесях;
- Обладать высокой селективностью; иметь высокую механическую прочность;
- Обладать способностью к регенерации;
- Иметь низкую стоимость.

В качестве адсорбентов наибольшее распространение нашли такие материалы, как активные угли, силикагели, алюмогели и цеолиты.

Проектируемые и внедряемые в сварочное производство машины, оборудование, технологии не должны в процессе эксплуатации вызывать вредные экологические последствия. При разработке и внедрении

технологических процессов предпочтение должно отдаваться безотходным и малоотходным технологиям.

Так же на рабочем месте возникают отходы (металлическая стружка, абразивная пыль, куски металла), что потребовало разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов и минимизации их воздействия.

На сварочных участках установлены контейнеры. В них сваливают весь мусор, что накапливается за рабочий день. Существуют два вида контейнеров: для бытовых отходов, и для металлического лома. По мере заполнения контейнеров, их вынимают при помощи автопогрузчика, и вывозят металлические отходы на дальнейшую переработку.

Для повышения эффективности утилизации необходимо разделить контейнеры с бытовыми отходами на пластиковые, бумажные и прочие, а отходы с металлическим ломом на контейнеры для стружки, цветных и черных металлов. Так же установить отдельный закрытый контейнер для промасленных отходов: ветоши, перчаток.

## **7.5 Защита в ЧС**

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть пандемия вируса COVID-19 и диверсия.

В настоящее время мир столкнулся с пандемией вируса COVID19 – вирусное заболевание, влияющее на дыхательную систему человека. Данная проблема коснулась и г. Томска. Вирус может передаваться воздушно-капельным путем (кашель и чихание), а так же контактным путём (через прикосновения: через поручни в метро, дверные ручки и другие поверхности).

Основные симптомы: высокая температура; затрудненное дыхание; чихание, кашель и заложенность носа; боли в мышцах и в груди; головная боль и слабость; возможна тошнота, рвота и диарея.

Меры профилактики:

1. Разработать график выхода персонала на рабочее место малыми группами в целях исключения скопления людей в местах входа;

2. Не допускать к работе персонал с признаками респираторного заболевания (входная термометрия);

3. Дезинфекция воздуха (рециркуляторы воздуха, УФ-облучатели бактерицидные), регулярное проветривание помещений;

2. Регулярная обработка поверхностей антисептиком;

3. Соблюдение мер гигиены: частое мытье рук мылом или протирка их индивидуальным кожным антисептиком;

4. Отказаться от зарубежных командировок, исключить или уменьшить поездки сотрудников в другие страны.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

## **7.6 Перечень нормативно-технической документации, использованной в разделе**

1. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
2. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
5. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
6. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление;
7. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования;
8. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности;
9. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов;
10. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы;
11. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;
12. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах;
13. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.

Лица, поступающие на работу, связанную с электросваркой, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры в соответствии с СП 1009-73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов»

Согласно «Списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день», утвержденного постановлением Госкомтруда СССР и Президиума ВЦСПС от 25 октября 1974 г. № 298/П-22 (с изменениями на 29 мая 1991 года). Электросварщикам при работе в помещении полагается дополнительный отпуск продолжительностью не менее 12 дней.

В помещении где проводятся слесарно-сварочные работы должна находиться аптечка первой медицинской помощи [31].

Оно должно оборудоваться системой отопления в зимний период и охлаждения воздуха в летний период. Помещение должно иметь естественное и искусственное освещение, приточно-вытяжную вентиляцию.

Поверхность напольного покрытия в помещениях, где производятся сварочные работы должна быть ровной, без выбоин, не должна быть скользкой, обладать антистатическими свойствами. Материал пола на сварочном участке должен быть огнестойким (бетон, кирпич, цемент). При окрашивании стен применяют краску светло-серого цвета (желтый крон, титановые/цинковые белила), способную поглощать ультрафиолетовые лучи. В кабине предусматривают местную вентиляцию, воздухообмен которой на каждого рабочего должен составлять  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  [31].

Проход между сварочным аппаратом и между установкой для автоматической сварки должен быть не менее 1,5 м; Расстояние между стационарным сварочным аппаратом и стеной или колонной должно составлять не менее 0,5 м, а расстояние между стеной или колонной и сварочным автоматом - не менее 1 м [31].

## **Заключение**

В представленной работе был исследован процесс сварки тел вращения из нержавеющей сталей. За счет разбивки полного прохода на четыре сектора, возможно, контролировать сварочную ванну задав представленные режимы, что позволит увеличить производительность и уменьшить возможность появления дефектов в сварном соединении.

В ходе работы была произведена подборка разделки кромок, выбраны сварочные материалы, обоснован используемый способ сварки и разработаны ее режимы. Выбранная форма разделки труб позволяет при минимальных затратах на подготовку кромок труб три прохода качественно заварить сварной стык.

Выявлено, что во избежание быстрого расплавления и выплескивания металла из сварочной ванны при сварке нержавеющей сталей, вследствие особенностей тепловложения, необходимо применить режим прямоугольного импульса с пологими передними фронтами.

Разработанные режимы стабилизируют процесс сварки, давая возможность получения равномерного шва независимо от пространственного положения сварочной ванны.

С точки зрения ресурсоэффективности можно сказать, что при применении описанного в работе способа сварки мы получаем экономию сварочного материала по отношению к имеющимся на сегодняшний день аналогам, благодаря сварке методом автоопрессовки.

Производительность шагоимпульсного режима несколько уступает импульсному, но при этом мы получаем более качественное сварное соединение.

## Список использованных источников

1. Гладков Э. А., Бродягин В. Н., Перковский Р. А. Автоматизация сварочных процессов : учебник для вузов / Гладков Э. А., Бродягин В. Н., Перковский Р. А. - 2-е изд., испр. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. - 421 с. : ил. - Библиогр.: с. 417-418.
2. Полосков С. И., Ищенко Ю. С, Букаров В. А. Анализ факторов, определяющих формирование сварочной ванны при орбитальной сварке неповоротных стыков труб // Сварочное производство.-2003.-№2. - С. 11-19.
3. Гладков Э. А., Гуслистов И. А., Сас А. В. Динамические процессы в сварочной ванне при вариации действующих сил // Сварочное производство.-1974.-№4. С. 5-6.
4. Степанов В. В., Селянников В. Н., Вольман И. Ш., Загоруйко Б. Г. Электродинамические силы в ванне при сварке тонких пластин // Сварочное производство.-1979.-№5.- С. 5-6.
5. Пацкевич И.Р., Деев Г.Ф. Поверхностные явления в сварочных процессах. — М., «Металлургия», 1974. - 120 с.
6. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. - М., «Машиностроение», 1973. — 448 с.
7. Князьков А.Ф., Веревкин А.В., Князьков С.А. Автоматизация сварки неповоротных стыков при строительстве магистральных трубопроводов. // Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии на рубеже веков» Пенза 2000 г. 4.2. — С. 168-170.
8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя; В 3 т. Т. 3. - 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой. - М.: Машиностроение, 2001. - 864 с.: ил.
9. Крампит А.Г., Крампит Н.Ю. Технологические приемы и способы управления формированием сварного шва // Технология металлов – 2008.-№11. С. 38-43

10. Дмитрик В.В., Шевченко В.В. К эффективности использования расплава ванны // Автоматическая сварка. – 2001. - ;4. – С. 25-27
11. Лебедев Б.Ф., Пашин А.Н., Дудко С.М. Технология механизированной сварки в СО<sub>2</sub> горизонтальных швов проволокой сплошного сечения // Автоматическая сварка. – 1984. - №4. – С.57-59.
12. Зинченко А.В. Мастер-класс по механизированной сварке в защитных газах многослойных вертикальных швов // Сварщик-профессионал. – 2004.-№3. – С.22.
13. Петров А.В. Перенос металла в дуге и проплавление основного металла при сварке в среде защитных газов / Автоматическая сварка. – 1957. - №4 – С. 26-33.
14. Ищенко Ю.С., Гречишкин А.А. Об оценке веса сварочной ванны и геометрических размеров зоны проплавления // Автоматическая сварка. – 1972. - №11. – С. 30-31.
15. Черныш В.П., Пахаренко В.А. Формирование структуры металла шва при сварке с электромагнитным перемешиванием // Автоматическая сварка. – 1979. - ;5. – С. 23-25
16. Рабчук А.М. Формирование сварного шва магнитным полем // Сварщик-профессионал. – 2005. - №5. – С. 9-10
17. Дудко Д.А., Зацерковный С.А., Сидорук В.С. и др. Влияние параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током на форму шва // Автоматическая сварка. – 1987. - №6. – С. 19-22
18. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение. 1974. – 240 с.
19. Барабаш З.Н., Губенко В.А., Шоно С.А. Некоторые технологические особенности сварки в углекислом газе в узку разделку // Сварочное производство. 1973. №9 С. 19-21
20. Крампит А.Г., Крампит Н.Ю. Способ сварки с комбинированным управлением / Ремонт, восстановление и модернизация. – 2014. - №1. – С. 44-47

21. Марочник сталей и сплавов. 2 – е изд., доп. и испр. /А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с: ил.
22. Макаров Э.Л. Сварка и свариваемые материалы. Т.1. Свариваемость материалов. – М.: Металлургия, 1991. - 527с.
23. Е.Г. Терновой, А.Р. Буланцев, Т.Г. Соломийчук, В.Ф. Шулым Ремонт трубопроводов орбитальной сваркой ТИГ внутри обитаемых космических объектов // Автоматическая сварка. – 2010. №4. С. 14-18
24. ПНАЭ Г-7-009-89 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка, основные положения. – М. НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. –16 с.
25. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия. Издание официальное. – М., «Стандартинформ», 2016. - 52с.
26. Лапин И.Е. Повышение технологических свойств дуги при сварке неплавящимся электродом в инертных газах. Волгоград.: ВГТУ, 2004. - 373с.
27. Галкин В.А., Алимов С.В., Петровский М.А. Технологическая инструкция по автоматической аргодуговой сварке неплавящимся электродом сварочным комплексом «ОКА» неповоротных кольцевых стыков труб. – М., НПП «Технотрон», 2012, - 37с.
28. Комплекс автоматической аргодуговой сварки труб ОКА [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: [http://xn--e1aqadalkdy.xn--p1ai/ru/product/kompleks\\_oka/](http://xn--e1aqadalkdy.xn--p1ai/ru/product/kompleks_oka/) (дата обращения: 16.06.2020);
29. Деев Г.Ф. Пацкевич И.Р. Дефекты сварных швов. – Киев: Наукова думка, 1984. - 208с.
30. Троицкий В.А. Неразрушающий контроль сварных соединений / В.А. Троицкий, М.И. Валевиц. – М.: Машиностроение, 1988. – 112с.
31. Видяев И.Г. Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. -36с.

32. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. -10с.
33. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М.: Норматика, 2017. -68с.
34. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Моркнига, 2018. -20с.
35. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. -46с.
36. ГОСТ 12.2.007.8-75. Система стандартов безопасности труда. Оборудование электросварочное и для плазменной обработки. Требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. -8с.
37. Матвиенко В. Н. Основы экологии. Экология сварочного производства: учеб. пособие для студ. – Мариуполь: Изд-во Поволжского государственного технологического университета, 2004. -101 с.
38. Михайлов Л. А. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов /В. П. Соломин, А. Л. Михайлов, А. В. Старостенко и др. – СПб.: Питер. 2012 - 302с.
39. Правила по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ. Серия 03. Выпуск 82. – М.: ЗАО Научно-технический

## Приложение I

(справочное)

### 1 Literature review

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Орт И. А.		

#### Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гордынец А.С.	к.т.н., доцент		

#### Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Марцева Т. А.	к. филол. н.		

## **1 Literature review**

### **1.1 Features of fixed joints welding**

A complex of forces acts on the weld pool: the force of the arc, the weight of the weld pool, surface tension forces [2]. These forces are determined by different parameters, such as: welding methods, welding modes, welding materials and so on. When welding in a fixed spatial position, there are no difficulties with the formation of a seam, since the welding mode is selected so that under the influence of the forces directed at it, the weld pool is in equilibrium, this ensures maximum productivity. With a continuous change in the position of the weld pool in space, accompanying the welding of the fixed joint, in order to retain the molten metal of the weld pool, it is necessary to make adjustments to the welding mode, this in turn entails a change in the cross section of the weld, and then filling out the groove requires unwanted overlapping of additional corrective sutures. As a result, in a variety of spatial positions, so that the weld pool metal does not leak out, and the weld cross section is constant, an adjustment of the forces acting on the bath is necessary.

In order to study the basic laws of seam formation during welding in various spatial conditions let's look into the mechanical effect of the arc on the bath. The gas-kinetic force is mainly due to the influence of the plasma jet and the impact on it [3].

The electromagnetic force acting in the bath is determined by the interaction of the magnetic field of the arc with the current in the bath, and is directed along the normal to the surface of the product towards the product [4].

The reactive power of vapors and gases has a relationship with the evaporation of metal from the surface of the bath and the release of gases due to metallurgical processes occurring in the bath.

Surface tension. An essential property of liquid and solid bodies is the presence of free surface energy, which manifests its existence in the tendency of liquids to take shape with a minimum surface. Such a tendency of the liquid surface to contract is determined by the forces of intermolecular interaction [5].

The mass of the weld pool is determined by the power of the source, the conditions for the transfer of heat from the source to the metal being welded, the heat sink, the melting rate and the temperature of the electrode metal. Basically, the fluidity of the weld pool is affected by its weight. This influence of the weight of the molten metal of the weld pool is manifested to a lesser extent during welding in the lower position, mainly affecting the shape of the weld reinforcement.

During welding in other positions with an increase in the weight of the weld pool, the inevitable moment is when the forces acting on the weld pool cease to hold it in a balanced state, and molten metal can leak out of the weld pool, forming numbness under the influence of gravity.

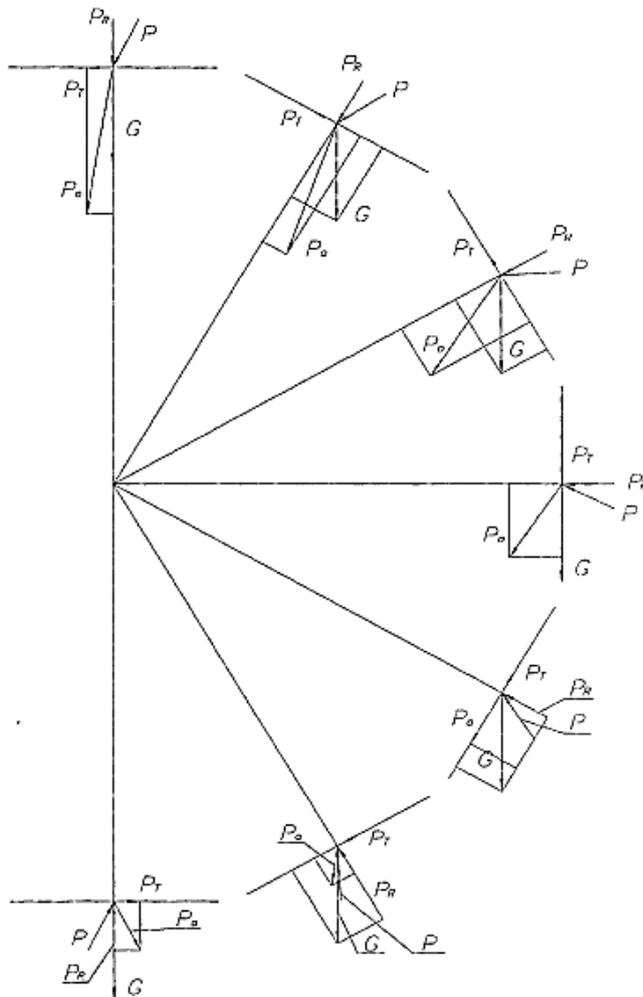


Figure 1 - The complex of forces in different spatial positions [7].

$P_0$  - is the resultant force;  $G$  - is the weight of the weld pool;  $P$  - is the surface tension force;  $P_T$ ,  $P_R$  are the tangential and normal components, respectively.

The criterion for the quality of the formation of the seam is the shape and size of the melt from the back of the seam. The critical mass of the weld pool, at which the metal does not drain, is determined by its position in space Figure 2.

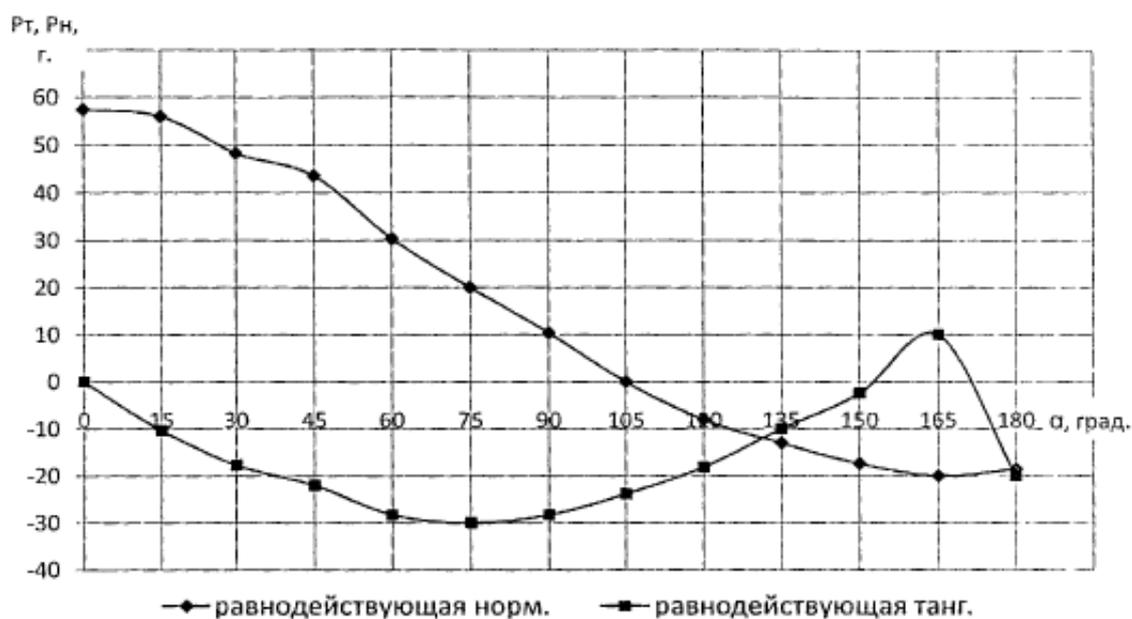


Figure 2 - The dependence of the critical mass G of the bath on the position in space [7].

The graph shows that at  $\alpha = 15-30^\circ\text{C}$  a tangential component appears, due to which the weld pool tends to leak. At  $\alpha = 120-130^\circ\text{C}$ , a normal component appears, which tends to tear off the weld pool. At  $\alpha = 140-150^\circ\text{C}$ , the tangential component is equal to the normal, and at  $\alpha = 180^\circ\text{C}$  it decreases to zero, and the normal component, on the contrary, increases to the maximum value.

Due to the dependence of the critical mass on the position of the bath in space, the welding mode of the fixed joint should be changed when changing the angle of the bath. With a constant welding mode, a change in the size of the melt will inevitably occur.

The thermophysical properties of austenitic steels and the tendency to form hot cracks in the weld and heat-affected zone cause a number of common features of their welding [8].

So, most high alloy steels are characterized by a low coefficient of thermal conductivity and a high coefficient of linear expansion, which, with the same linear

energy and other conditions being the same (welding method, edge geometry, joint stiffness, etc.) determines the expansion of the penetration zone and regions heated to different temperatures, as well as an increase in the total plastic deformation of the weld metal and the heat-affected zone [8]. Because of this, warpage of products increases. Therefore, for high alloy steels, it is advisable to use such methods and modes of welding, which are characterized by a maximum concentration of thermal energy, or to reduce the current compared with the current when welding carbon steel.

Also, cell-dendritic crystallization forms are inherent in the weld metal, due to which large columnar crystals are formed, and the interdendritic sections are saturated with impurities that form low-melting phases. The most distinctly columnar structure is expressed in austenitic joints. When using methods conducive to grinding crystals and eliminating the columnar structure, the resistance of the joints against the formation of hot cracks is increased.

In addition, welding of pipelines with a diameter of up to 3-25 mm complicates the task of high-quality weld formation due to the accelerated heat saturation of the welded joint.

## **1.2 Justification of the choice of welding method**

For welding bodies of revolution up to 40 mm in diameter, it is recommended to use non-consumable electrode welding in an argon shielding gas (AD).

The advantages of this welding method are:

- Simplicity of the process and welding technique;
- Lack of spraying of the weld metal and burnout of alloying elements with appropriate gas protection;
- The possibility of visual observation of the formation of the seam and the burning of the arc due to the absence of slag on the surface of the weld pool;
- Lack of laborious operations to remove slag and molten metal spatter;
- The ability to perform welding in any spatial position;

- A wide range of materials to be welded (almost all metals can be welded).

In order to obtain a high-quality welded joint during argon-arc welding of thin-walled pipes in a non-rotary position, it is necessary to solve the problem of retaining the molten metal of the weld pool, forming a weld with a given geometry, and also deal with the violation of the stability of the combustion of the welding arc.

Many researchers offer their own weld formation control options [9]. All of them can be divided into internal and external. The internal ones are based on the narrowing of the conduction band due to the development of redox reactions in the weld zone by changing the oxidative potential of the protective environment. Compression of a freely burning arc is ensured by supplying carbon dioxide, oxygen, nitrogen, halide compounds into a protective environment (argon).

So, with the introduction of CO<sub>2</sub>, it becomes possible to increase the thermal characteristics of the arc, effective efficiency due to compression of the plasma column of the arc [9]. But, since the Ar + CO<sub>2</sub> mixture is oxidative, this negatively affects the resistance of the tungsten electrode. In case of violations of the initial geometry of the working section of the tungsten electrodes, the thermal and power effects on the metal being welded change, the spatial stability of the arc decreases. Also, due to a violation of the geometry of the working area, tungsten inclusions often appear in the welds and the surface of the electrodes is destroyed.

The use of halide compounds - activating fluxes can also be attributed to internal methods [9]. The use of activating fluxes in comparison with the internal methods described above has its drawbacks, for example, the additional costs of manufacturing, applying and removing. In addition, some components of fluxes are dangerous for the welder's body and should be used with caution.

The common disadvantages of all internal methods include the following: they do not make it possible to control the thermal power invested in the welding process; difficult to use (application and removal of fluxes, production of gas mixtures, expensive and overall equipment, etc.), as a result of which the problem of increasing the productivity of welding fixed joints of bodies of revolution is not solved.

Based on the control of the formation of the weld by acting on the weld pool and changing the physical parameters of the arc, external methods can be divided into the following technological methods and approaches:

- Management of the formation of the seam due to the technique and welding mode;
- Management of the formation of the seam due to forced formation;
- Control of the formation of the seam due to the imposition of a magnetic field;
- Control of the formation of the seam through the use of methods with software changing the welding parameters;
- Controlling the formation of a seam by combining welding methods.

### **1.2.1 Management of the formation of the seam due to the technique and welding mode.**

Various parameters of the welding mode affect the performance of the process, the shape and dimensions of the welds, as a result of numerous studies, these parameters can be divided as follows: the introduction of additional filler material; electrode manipulation and change in the volume of the weld pool.

The introduction of additional filler material. Ensuring increased efficiency of heat utilization of the molten bath due to the selection of the optimal parameters of the welding mode and additional filler material has a serious drawback in the form of increased geometric dimensions of the weld. Also, when welding thin-walled pipes, the likelihood of sagging from the back of the weld increases [10].

Electrode manipulation. Fluctuations reduce the risk of burn-throughs and the possibility of metal dripping off when the weld pool is inclined, and also reduce the convexity of the seam from the arc side, which makes welding of subsequent layers easier. Heating and cooling of the bath metal is effectively regulated by means of oscillatory movements of the electrode [11]. The use of transverse vibrations is possible with a significant thickness of the metal. Transverse vibrations of the

electrode allow you to hold the bath in the ceiling and vertical position, they also allow you to change the ratio of the width and length of the bath. So, during welding without fluctuations, the length of the bath exceeds the width by more than 2 times, which causes significant sagging of the bath [12].

By adjusting the angle of the torch, preserving the “window” and holding the bath from draining, the weld pool and the seam formation process are controlled. With a gap of more than 4 mm, when there are difficulties with holding the weld pool and the formation of the reverse roller, it is necessary to reduce the welding current, increase the angle of inclination of the torch and move along the boundary of the weld pool to apply transverse vibrations with a "crescent". Welding of the root is carried out by transverse vibrations of the "crescent" with an arc delay at the edges. It is also possible to use longitudinal vibrations [13].

Change the volume of the weld pool. With the free formation of the seam, the mass of the bath is of decisive importance [13]. When choosing a mode in which the mass of the bath does not exceed a critical value, it is possible to ensure the normal process of formation of the seam, in which the occurrence of burns, sagging and other defects are eliminated.

Autopressing method. It is based on the deformation of the metal in the direction perpendicular to the axis of the pipe, due to which reinforcement is noted. The technology is as follows: the first pass is a complete penetration of the root of the seam (root pass), with the second and subsequent passes, performed with incomplete penetration, the specified dimensions of the seam are provided.

### **1.2.2 Management of the formation of the seam due to forced formation.**

Various forming devices are mainly used for submerged arc welding or electroslag welding [14]; using forming pressure, it is possible to effectively control the melt during pipe welding [9].

Formative pressure. The method of forming pressure consists in the fact that a removable chamber is installed outside or inside the joint, in which pressure is

created, under the action of the pressure difference outside and inside the welded joint, there is a counteraction to gravity, which in turn ensures the same specified size of the melt, regardless of spatial position of the weld pool. This method relates to methods of forcing the formation of a seam [9].

Forming devices. Forming devices make it possible to weld at high-performance modes of high power, unattainable when welding on weight. The specified weld profile is most simply ensured by the use of various forming devices applied to the back of the weld. Such devices include special forming copper linings or flux layers.

Forced welding is not widespread due to the instability of the welding process due to the displacement of the edges, due to the ovality of the pipes and their other deviations from the geometric shapes, and also due to the constant control of the correctors, which are performed by the welder who observes the process through a narrow gap.

As an example, welding in shielding gases with forced formation using cooled sliders can be considered [14].

### **1.2.3 Management of the formation of the seam due to the application of a magnetic field**

The electromagnetic energy introduced into the metal causes a wide range of complex processes at all levels in it. The results of studying the influence of the magnetic field during the welding process show that it is possible to control the bath when applying a transverse magnetic field, electromagnetic stirring, and when exposed to an arc. These methods can affect both the behavior of the metal and its residual mechanical properties.

Electromagnetic stirring. Welded joints performing using electromagnetic stirring have characteristic features. They inhere in reducing the chemical heterogeneity and significant refinement of their structure, and how, as a result, their quality increases. The studies and their analysis show that such welded joints have a more dispersed structure and minimal chemical inhomogeneity under the conditions of mixing of the

weld pool, providing maximum instantaneous crystallization rates over the entire interfacial surface.

The imposition of a transverse magnetic field. Guiding the transverse magnetic field during the welding process makes it possible to change the crystallization process and contributes to obtaining a fine crystalline structure. The transverse magnetic field introduced into the weld pool by a four-pole magnetic system is three-dimensional, which provides a different weld effect depending on the location of the bath in a magnetic field [15]. To obtain a weld with minimal sagging, researchers have been working for several years on the use of magnetic fields to control the process of forming the weld pool. The results of the operation test in production conditions prove that the four-pole magnetic system helps to control the shape and size of the reverse roller while maintaining stable arc burning. When welding with a four-pole magnetic system, the penetrating ability of the arc increases due to deformation of the arc by the transverse magnetic fields surrounding it [16].

Arc controlled by a magnetic field. By applying an external magnetic field, it is possible to control the arc. This method helps to increase the welding speed, reduce the overheating zone and increase the ductility of the metal, provides a blasting process and the formation of a high-quality seam, and also makes it possible to control the microstructure using electromagnetic stirring of the weld pool. The use of an arc rotated by a magnetic field is effective in welding butt joints of a closed loop [16].

#### **1.2.4 Management of the formation of the seam due to the application of methods with software changing the welding parameters**

This method can include mechanized methods of welding at frequencies up to 25 Hz with a pulsating arc, manual arc welding with modulated current, mechanized methods of pulse-arc welding at frequencies of more than 25 Hz, welding with pulsed electrode wire feed.

Modulated current welding. The required weld dimensions using manual arc welding with modulated current can be achieved at constant pause and pulse currents, only by adjusting the pause and current pulse. In practice, this provides a simplification and acceleration of the process of setting parameters of welding modes, minimizing the number of adjustments to the power source, as well as simplifying the welding technique.

Pulse arc welding. Some control options for weld formation are available for pulsed-arc welding, in which, by periodically cooling the bath, conditions are provided that prevent deformation of the solidification front. The imposition of pulses makes it possible to significantly increase the intensity and stability of the arc discharge, to change the hydrodynamic processes in the weld pool and the conditions for its solidification. A pulsed increase in arc pressure helps to improve the formation of the seam, makes the weld bead finely scaled, grinds its microstructure.

Due to the high requirements for pipe welding, in order to obtain high-quality welded joints, it is advisable to use a step-pulse mode of operation of the machine.

This mode is the most universal, but less productive than, for example, pulse. The step-pulse mode provides the opportunity to obtain better welded joints required at especially critical facilities. When using this mode, the quality of the seam increases and the percentage of rejects decreases, due to the fact that during welding a relatively small zone of thermal influence is formed and warpage of the metal is reduced. The operation diagram in the step-by-step mode is shown in Figure 3.

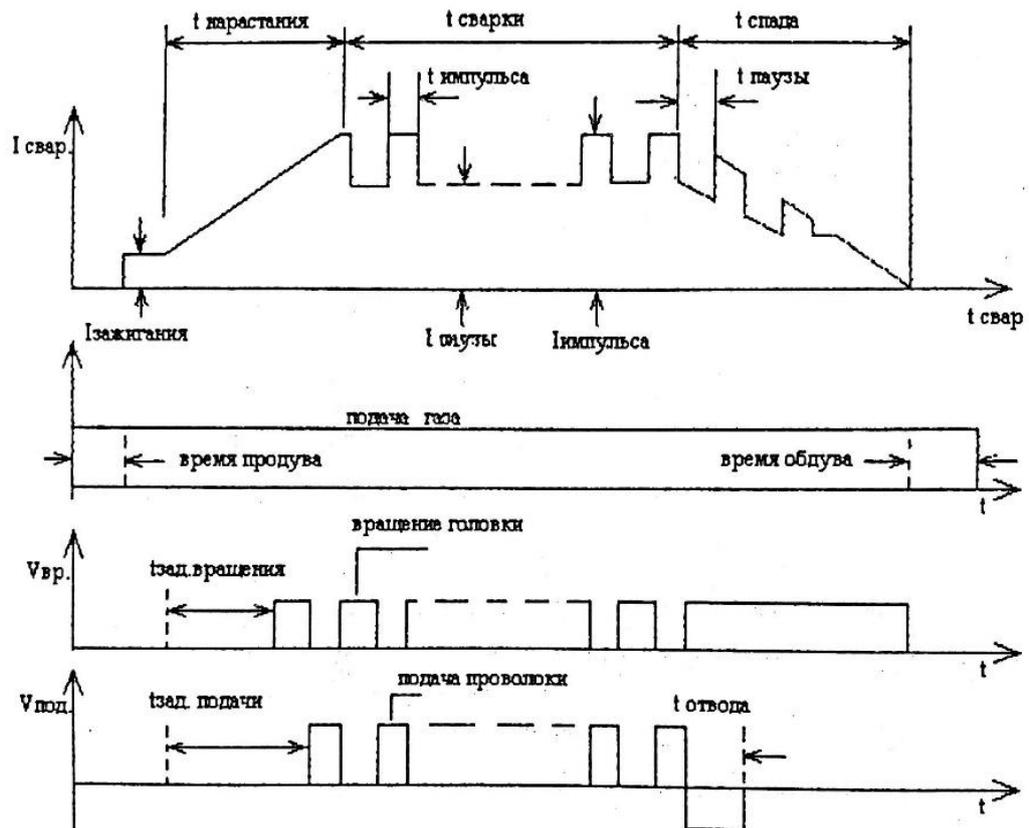


Figure 3 - Diagram of operation in step-by-step mode [19]

Weld shape control by combining welding methods. It is allowed to combine various welding methods to determine the optimum. For example, it is possible to use a pulsating heat flow with electrode oscillations, when at moments at maximum power the arc is directed to the edges, and at minimum - to the middle of the seam.

#### CONCLUSION:

1. When welding fixed joints of pipelines with a constant change in the spatial position of the weld pool, there is a change in the resulting surface tension, weight of the weld pool, the force of the arc, its direction, as well as its components - normal and tangential. In order to ensure the necessary weld shape, control of these forces is required, and under changing conditions, dynamic stabilization of the weld pool is ensured.

2. During the welding process, an active influence on the resulting force is carried out only by changing the magnitude of the arc pressure and / or the direction of the arc pressure, changing the angle of the electrode.

3. An effective and reliable method of welding bodies of revolution from stainless steels is the automatic pressing method in a programmed mode with step-pulse feeding of the welding arc.