

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

Школа: Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)  
 Направление подготовки: 15.04.01 «Машиностроение»  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение электронной инженерии

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка установки для сварки дугой горячей в динамическом режиме

УДК 621.791.754.03

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шалгинов Батырбек Эдуардович		

Руководитель ВКР


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

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук. Ю.М.	д.т.н, профессор		17.06.2020

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Т.А	к.ф.н.,		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2020г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код	Результат обучения
<b>Универсальные компетенции</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 и 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 документации, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, 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 (ИШНКБ)  
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
Профиль «Машины и технологии сварочного производства»  
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП ОЭИ ИШНКБ

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Гордынец А.С.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1BM81	Шалгинову Батырбеку Эдуардовичу

Тема работы:

Разработка установки для сварки дугой горячей в динамическом режиме	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <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>Объектом исследования является установка для сварки дугой, горячей в динамическом режиме</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <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></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ современного состояния разработки установок для сварки в динамическом режиме.</li> <li>2. Разработка импульсной системы для питания дуги, горящей в динамическом режиме.</li> <li>3. Исследование электромагнитных процессов в импульсном устройстве.</li> <li>4. Реализация системы для питания дуги, горящей в динамическом режиме.</li> <li>5. Экспериментальная часть.</li> <li>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>7. Социальная ответственность.</li> <li>8. Заключение</li> </ol>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Титульный лист (название работы), цель, задачи.</p> <p>Схема сварки неплавящимся электродом.</p> <p>Материалы, оборудование и методы исследования.</p> <p>Функциональная схема импульсной системы.</p> <p>Силовая часть.</p> <p>Диаграммы токов и напряжений.</p> <p>Экономическая часть, и социальная ответственность.</p>
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Основная часть магистерской диссертации	Князьков Анатолий Федорович
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Маланина Вероника Анатольевна
«Социальная ответственность»	Федорчук. Юрий Митрофанович
Часть магистерской диссертации на английском языке	Марцева Татьяна Александровна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

1. Анализ современного состояния разработки установок для сварки в динамическом режиме.
---

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец Антон Сергеевич	к.т.н,		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шалгинов Батырбек Эдуардович		

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 (ИШНКБ)  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
 Уровень образования магистратура  
 Профиль «Машины и технологии сварочного производства»  
 Отделение электронной инженерии  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

**Магистерская диссертация**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.02.2020	Материалы, оборудование и методы исследования	25
6.03.2020	Разработка импульсной системы для питания дуги, горящей в динамическом режиме.	5
6.04.2020	Экспериментальная часть	35
27.04.2020	Выводы	10
11.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
18.05.2020	Социальная ответственность	10
30.05.2020	Часть магистерской диссертации на английском языке	5

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец Антон Сергеевич	к.т.н,		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец Антон Сергеевич	к.т.н,		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ81	Шалгинов Батырбек Эдуардович

<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. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Литературные источники; Методические указания по разработке раздела; нормативно-правовые документы; Налоговый кодекс РФ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности технологии сварки с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциальных потребителей результатов исследований SWOT–анализ Определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. <i>Планирование и формирование бюджета</i>	Планирование этапов работы и определение трудоемкости выполнения исследования и календарного графика Формирование бюджета исследования
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>
---

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

**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		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ВМ81	Шалгинов Батырбек Эдуардович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ВМ81	Шалгинову Батырбеку Эдуардовичу

<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

**Тема дипломной работы: «Разработка устройства для сварки дугой горячей в динамическом режиме»**

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Лаборатория находится в 16-ом уч. корпусе, в кабинете номер 112 оборудована холодной и горячей водой, сливом, вентиляцией, вытяжным шкафом, письменным столом, оргтехникой
--	--

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>К числу вредных факторов на рабочем месте следует отнести наличие электромагнитных полей на рабочем месте, наличие шума. периодическое несоответствие освещенности рабочего места (при этом требуется провести расчет освещения на рабочем месте с рисунком (размеры в системе СИ)), присутствие не оптимальных метеоусловий на рабочем месте,</p> <p>К числу опасных факторов следует отнести наличие электроисточников, оборудования с повышенной температурой поверхности, присутствие механического оборудования, горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности.</p> <p>Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указаны ПДУ, ПДД, допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений перечислены средства коллективной и индивидуальной защиты; приведены классы электроопасности помещений, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления, и категории пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> </ul>	<p>Наличие отходов (металлическая стружка, абразивная пыль, черновики бумаги,</p>



<ul style="list-style-type: none"> <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>	отработанные картриджи принтера,) потребовали разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов. Также требует разработки их утилизации.
<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>	Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия - разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
<p><b>4. Перечень нормативно-технической документации, использованной в разделе «СО».</b></p>	Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.20 г.
--	-------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.02.20 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шалгинов Б.Э.		26.02.20 г.

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 119 страниц, 19 рисунка, 21 таблицы, 29 формулы, 28 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: динамический режим, импульсная система питания, импульсное устройство, искусственная формирующая линия, сварка неплавящимся электродом.

Объектом исследования является процесс сварки неплавящимся электродом дугой, горящей в динамическом режиме.

Цель работы – анализ и разработка установки для сварки дугой, горящей в динамическом режиме на базе сварки неплавящимся электродом в аргоне.

В процессе исследования проводили разработку установки для сварки дугой, горящей в динамическом режиме, фиксацию экспериментальных данных через осциллограммы тока и напряжения.

В результате проведенного исследования было создано действующее экспериментальная установка для сварки дугой, горящей в динамическом режиме.

Достоверность всех результатов и выводов подтверждена сравнением с экспериментальными данными, которые были получены через осциллографирование разработанной установки.

Область применения разработки: данный способ сварки может применяться в разных отраслях: нефтяной, газовой, электрической промышленности.

Экономическая эффективность: сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация устройства для сварки в динамическом режиме является более эффективным вариантом с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2019 и графическом редакторе Компас 3D V18

## **Abstract**

Final qualifying work 119 pages, 19 figures, 21 table, 29 sources used, 28 sheets of demonstration material (slides), 1 supplement.

Keywords: dynamic mode, pulse power system, pulse device, artificial forming line, welding with a non-melting electrode.

The object of research is the process of welding with a non-melting electrode by an arc burning in a dynamic mode.

The purpose of this work is to analyze and develop an installation for welding with an arc burning in dynamic mode based on welding with a non-melting electrode in argon.

In the course of the research, we developed an installation for welding with an arc burning in dynamic mode, and recorded experimental data through current and voltage waveforms.

As a result of the research, a working experimental installation for welding with an arc burning in dynamic mode was created.

Scope of the development: this welding method can be used in various industries: oil, gas, electric industry.

Economic efficiency: comparing the values of integrated performance indicators, we can conclude that the implementation of a device for welding in dynamic mode is a more effective option from the point of view of financial and resource efficiency.

## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Импульсное питание – подача импульсов тока с высокой величиной и частотой.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

– ГОСТ 2.708 – 81 – ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

– ГОСТ 2.730 – 73 – ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.

Приборы полупроводниковые.

– ГОСТ 2.728–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.

Резисторы, конденсаторы.

В настоящей работе использованы следующие сокращения.

– Тл – единица измерения индукции магнитного поля.

– I<sub>св</sub> – сварочный ток.

– I<sub>и</sub> – ток импульса.

– I<sub>п</sub> – ток паузы.

– U<sub>д</sub> – напряжение на дуге.

– V<sub>св</sub> – скорость сварки.

– Гц – единица частоты периодических колебаний.

– С<sub>я</sub> – ячейка конденсатора.

– L<sub>я</sub> – ячейка дросселя.

– R – резисторы.

– VS - тиристоры.

– VD – диоды.

– Tr – импульсные трансформаторы.

– T – тиристорный триггер.

– W – вторичные обмотки.

- М- трехфазный асинхронный короткозамкнутый двигатель.
- S – пакетный выключатель
- ФЭ – формирующий элемент.
- БНД – быстро насыщающийся дроссель.
- ИФЛ – искусственная формирующая линия.
- БП – блок питания.
- ЗУГ – задающий управляющий генератор частоты.
- ОПТ – однопереходной транзистор.

## Содержание

Введение.....	17
1 Анализ современного состояния разработки установок для сварки в динамическом режиме .....	20
1.1 Описание процесса сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов .....	21
1.2 Строение дуги.....	23
1.2.1 Статические характеристики дуги .....	26
1.2.2 Динамические характеристики.....	28
2 Разработка импульсной системы для питания дуги, горящей в динамическом режиме .....	31
2.1 Требования к системе импульсного питания .....	33
2.2 Элементная база .....	35
2.3 Функциональная схема.....	37
2.4 Импульсное устройство.....	38
2.5 Функциональная схема электрической схемы управления для импульсного устройства .....	39
3. Исследование электромагнитных процессов в импульсном устройстве ..	42
3.1 Использование программы MatLab для исследования процессов в сварке.. .....	43
3.2 Построение схемы в программе MatLab.....	44
3.3 Анализ результатов исследования процессов в MatLab .....	46
4. Реализация системы для питания дуги, горящей в динамическом режиме.. .....	49
4.1 Расчёт и выбор элементов силовой части .....	49
4.2 Силовая часть .....	50
4.3 Общая схема управления .....	51
4.4 Импульсное устройство.....	52
4.5 Схема управления импульсным устройством.....	52
5. Экспериментальная часть.....	57
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения	62

6.1	Предпроектный анализ .....	62
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	62
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений .....	63
6.1.3	SWOT – анализ .....	64
6.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....	66
6.3	Планирование научно-исследовательских работ .....	67
6.3.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	67
6.3.2.	Определение трудоемкости выполнения работ .....	67
6.3.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	68
6.3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	72
6.3.5	Расчет материальных затрат НТИ .....	72
6.3.6	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	73
6.3.7	Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	73
6.3.8	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	75
6.3.9	Накладные расходы.....	76
6.3.10	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	76
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	77
7.	Социальная ответственность .....	80
7.1	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	81
7.1.1	Электромагнитные поля в производственных помещениях.....	81
7.2	Производственный шум .....	84
7.3	Освещенность рабочей зоны.....	85
7.4	Микроклимат в помещении .....	89
7.5	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	91
7.5.1	Факторы электрической природы .....	91
7.5.2	Факторы пожарной и взрывной природы .....	97

7.6 Охрана окружающей среды .....	99
7.7 Защита в ЧС .....	100
Заключение .....	103
Список литературы .....	104
Приложение А .....	107



## **Введение**

**АКТУАЛЬНОСТЬ.** Увеличение эффективности и повышение качества изготавливаемых металлических изделий - актуальная задача сегодня. Один из путей ее решения – разработка и внедрение оборудования, отвечающего мировым стандартам (автоматизированные и роботизированные системы, гибкость управления и настройки).

Сварка занимает важное положение среди технологических способов получения неразъемного соединения конструкций разного назначения. Перспективным направлением считается развитие автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся электродом корневого слоя многослойного шва и изделий малых толщин. Этот способ дает возможность получать с наименьшими затратами в цеховых или монтажных условиях неразъемные сварные соединения, схожие с основным металлом по химическому составу, механическим и эксплуатационным свойствам. По мобильности и экономичности является конкурентноспособным электроннолучевым и лазерным способам сварки.

Невзирая на превосходства процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне производительность оставляет желать лучшего. В связи с этим существует тенденция проведения мер по повышению эффективности этого процесса. Известны методы повышения эффективности внутренние и внешние, которые в какой-то степени улучшают процесс и повышают его производительность, но имеются существенные трудности в их практическом применении. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы считается сжатие дуги, за счет перевода ее в динамический режим горения. Данный перевод осуществляется за счет протекания через дуговой промежуток кратковременных мощных импульсов тока, большого амплитудного значения.

Исследованиями по изучению динамического режима горения дуги в свое время занимались Пентегов И.В., Славин Г.А., Лебедев В.К. и т.д. В их работах показано влияние динамического режима на геометрические размеры шва,

структуру, обоснована длительность импульсов, представлены математические зависимости. Однако не освещены вопросы технической реализации процесса сварки и не составлены технологические рекомендации.

В соответствии с этим в работе проведен анализ современного состояния вопроса сварки дугой, горящей в динамическом режиме. Разработана установка, позволяющая повысить эффективность сварки неплавящимся электродом в аргоне.

**ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ** – установка для сварки дугой, горящей в динамическом режиме.

**ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ** – разработка установки для сварки дугой, горящей в динамическом режиме.

**ЦЕЛЮ РАБОТЫ** является анализ и разработка установки для сварки дугой горящей в динамическом режиме на базе сварки неплавящимся электродом в аргоне.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа выполнена на 119 страницах, содержит 19 рисунков, 21 таблицу.

**ВО ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность проблемы повышения эффективности сварки неплавящимся электродом за счет перевода ее в динамический режим горения. Кратко представлены методы исследования и оборудование. Сформулированы научная новизна, практическая ценность работы.

**В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ** «Анализ современного состояния разработки для сварки в динамическом режиме»

Рассмотрен процесс сварки в динамическом режиме. Установлены параметры динамического режима. Сформулированы цели и задачи исследования.

**ВТОРАЯ ГЛАВА** диссертационной работы посвящена разработке требований для создания импульсной системы питания сварочной дуги в динамическом режиме. На основе сформулированных требований к

оборудованию осуществлен выбор системы импульсного питания сварочной дуги. Показано что наиболее подходящим вариантом системы импульсного питания сварочной дуги, является система с формированием импульсов с использованием искусственной формирующей линии.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена исследованию электромагнитных процессов сварки дугой, горящей в динамическом режиме. Построена принципиальная электрическая схема устройства. Проведен анализ результатов исследования в построенной электрической схеме.

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА посвящена реализации системы для питания дуги динамического режима. Разработке схемных решений.

ПЯТАЯ ГЛАВА содержит в себе методику и результаты эксперимента. Были сняты осциллограммы динамических характеристик. Подтверждена эффективность работы установки.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА – разработана установка для сварки дугой, горящей в динамическом режиме на базе искусственной формирующей линии.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ - создана действующая экспериментальная установка для получения сварочной дуги, горящей в динамическом режиме.

## **1 Анализ современного состояния разработки установок для сварки в динамическом режиме**

Первый источник питания был изобретён в начале девятнадцатого века великим учёным Алессандро Вольтом. Это был источник постоянного тока, представляющий из себя две металлические пластины, погруженные в соляной раствор.

С 1947 года, года изобретения транзистора, в схемах питания начали активно заменяться радиолампы на крупные полупроводниковые приборы, а уже с 1962 года на малые интегральные схемы. Это позволило значительно уменьшить габариты источников питания, повысить качество выходного напряжения, значительно упростить регулировку необходимых параметров. При этом, блоки питания оставались большими, сказывался вес и размеры силового трансформатора.

С сороковых годов XX века, параллельно с трансформаторными, развивалась ещё одна ветка источников питания – импульсные. Но первые предпосылки перспективы импульсных схем питания появились только в семидесятых годах, с появлением транзисторов большой мощности. На данный момент, импульсные источники питания заняли надёжное место в радиоэлектронике, при малых габаритах они обеспечивают большую выходную мощность, легко поддаются регулировке, дешевы в производстве.

Известно, что работы по применению систем импульсного питания для дуговой сварки относятся к концу 50-го и началу 60-го годов. Прежде всего большим плюсом импульсного питания сварочной дуги для сварщиков является высокая стабильности процесса дуговой сварки, особенно для материалов с маленькой толщиной. Исследование характеристик систем импульсного питания для дуги на основе вольфрамового электрода, по сравнению с дугой постоянного тока показали, что благодаря наличию в дуговом промежутке остаточной плазмы нарушение стабильности горения дуги не наблюдается. Подача в сварочную цепь импульсов тока, используемого вместе с постоянным током, вызывает

перемешивание жидкого металла и изменяет структуру металла шва в благоприятную сторону при сварке неплавящимся электродом.

На сегодняшний день перспективным направлением для повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом является использование дуги, горящей в динамическом режиме. Но в научно-технической литературе недостаточно информации о данном способе сварки, поэтому активными исследованиями в разработке этой технологии занимаются на кафедре Сварочного производства ТПУ.

### **1.1 Описание процесса сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов**

При сварке неплавящимся электродом в защитном газе в зону дуги, горящей между неплавящимся электродом и изделием, через сопло подаётся защитный газ, защищающий неплавящийся электрод, и расплавленный основной металл от воздействия активных газов атмосферы, как показано на рисунке 1. Теплотой дуги расплавляются кромки свариваемого изделия. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, образует сварной шов.

При сварке неплавящимся электродом в защитном газе в зону дуги, горящей между неплавящимся электродом и изделием, через сопло подаётся защитный газ, защищающий неплавящийся электрод, и расплавленный основной металл от воздействия активных газов атмосферы, как показано на рисунке 1. Теплотой дуги расплавляются кромки свариваемого изделия. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, образует сварной шов.

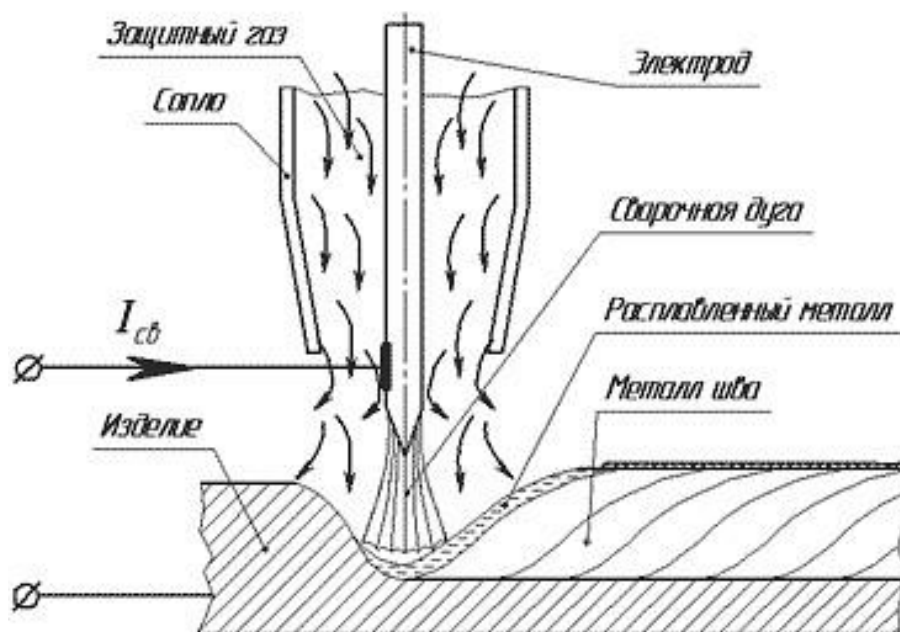


Рисунок 1 – Схема сварки неплавящимся электродом

Неплавящийся электрод производят из графита, вольфрама, меди, меди со вставкой из тугоплавкого металла - вольфрама, циркония, гафния.

Защитный газ должен быть инертен к металлу электрода и к свариваемому металлу. Поток инертного газа окружает зону сварки, защищая расплавленный и нагретый до высокой температуры металл, электрод и присадочный пруток (если последний применяется) от воздействия кислорода и азота воздуха, предупреждая окисление и азотирование металла. Кроме того, непрерывный поток инертного газа суживает зону распространения тепла вблизи шва. В качестве защитного газа при сварке вольфрамовым электродом применяют аргон, гелий, смесь аргона и гелия; для сварки меди медным электродом или медным электродом со вставкой из гафния (циркония) можно применить азот. Для рационального расходования дорогостоящих инертных газов (Ar, He) при сварке сталей создают комбинированную защиту [1].

Влияние инертного газа создает особые условия для протекания электрофизических процессов в электрической дуге, способствуя увеличению устойчивости дуги. На электрофизические свойства дуги влияет также материал электрода. Дуга между неплавящимся электродом и изделием характеризуется

выпрямляющим действием, интенсивность которого зависит от материала и размеров изделия.

Сварку можно выполнять с присадкой и без. В случае применения присадочного металла, последний можно вводить предварительно (до сварки) или в процессе сварки, подобно тому, как это делают при кислородно-ацетиленовой сварке путем расплавления присадочной проволоки нужного состава.

При большой толщине для обеспечения проплавления основного металла и получения требуемых геометрических параметров сварного шва, сварку ведут по зазору или с разделкой кромок с добавлением присадочного металла [1].

## 1.2 Строение дуги

Сварочной дугой называют мощный, длительно существующий электрический разряд между находящимися под напряжением электродами в смеси газов и паров. Дуга характеризуется высокой температурой и большой плотностью тока. Сварочная дуга характеризуется высокой температурой газов и большой плотностью тока в зоне разряда [2].

Возникновение дуги осуществляется двумя способами показаны на рисунке 2 [3]:

- а коротким замыканием электродов либо электрода на свариваемое изделие, а затем их разведением. После короткого замыкания двух твердых тел проходящий через имеющиеся на поверхности электродов микровыступы электрический ток вызывает быстрый нагрев и испарение контактных мостиков, в результате чего металл разогревается до температуры кипения и после нарушения металлического контакта в межэлектродном промежутке появляются электрически заряженные частицы;
- б путем электрического пробоя воздушного промежутка с помощью высокочастотного электрического разряда. Для этого в сварочную цепь параллельно основному источнику питания подключают источник

высокочастотного переменного тока высокого напряжения (осциллятор). Осциллятор обеспечивает бесконтактное зажигание. Его используют при сварке дугой малой мощности, аргонодуговой сварке на малых токах, при сварке в защитных газах тонколистового металла, при пониженном напряжении холостого хода источника тока.

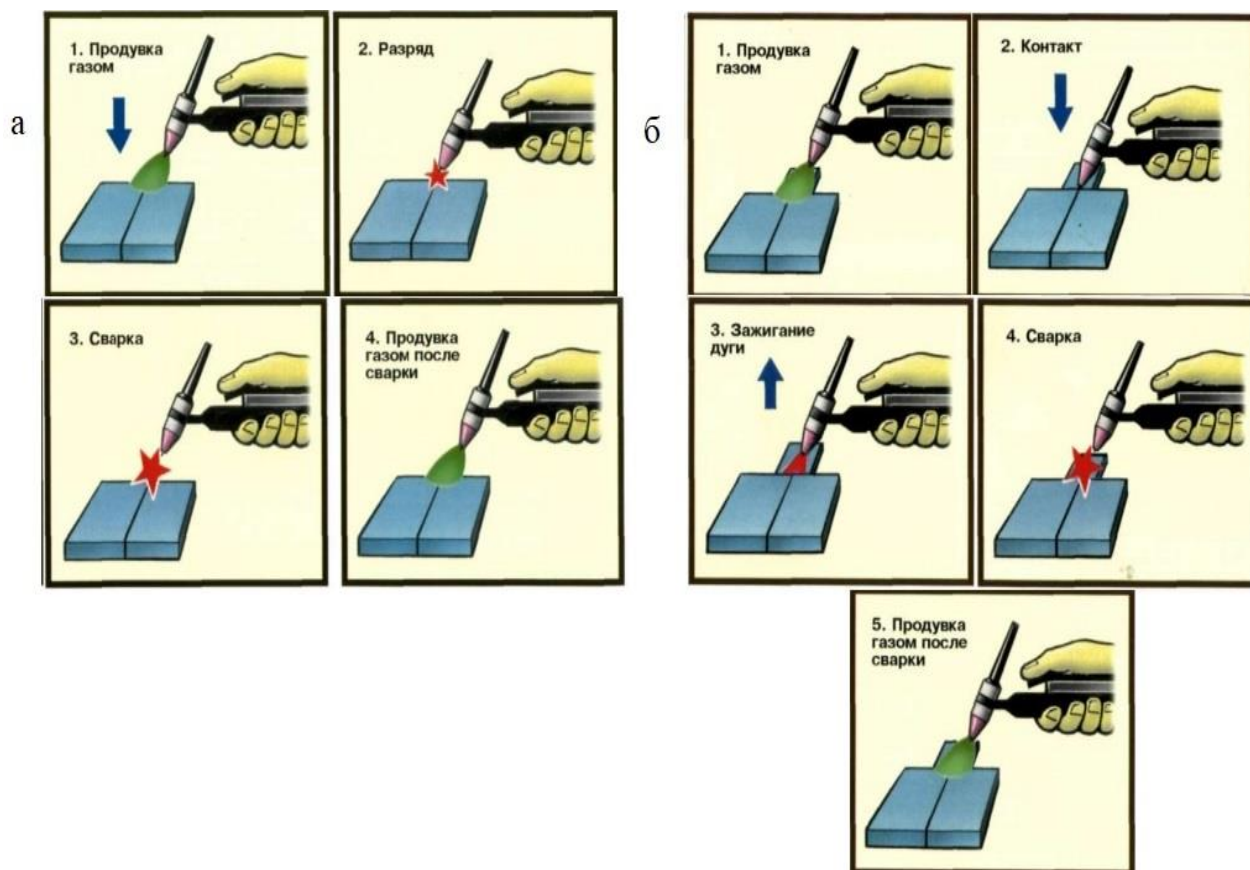


Рисунок 2 - Способы зажигания дуги.

Электрическая дуга представляет собой определенный объем цилиндрической или конической формы. Она материальна и состоит из конкретных носителей энергии, которую они передают в зону сварки посредством лучистой энергии (излучение) и конвективной теплоотдачи. Носителями энергии в дуге являются ионы (положительные и отрицательные частицы), электроны (масса электрона  $9,03 \cdot 10^{-31}$  г, заряд -  $1,59 \cdot 10^{-19}$  Кл), молекулы и атомы газов.



При применении постоянного тока (источником питания для сварки являются сварочные генераторы и выпрямители) различают сварку на прямой и обратной полярности. В первом случае электрод подключается к отрицательному полюсу и называется катодом, во втором случае - к положительному и служит анодом.

При сварке на переменном токе каждый из электродов является попеременно то анодом, то катодом.

Промежуток между электродами называют областью дугового разряда или дуговым промежутком. Длину дугового промежутка называют длиной дуги. Если длина дуги составляет 2-3 мм, то это короткая дуга; если 3-5 мм - средняя; если 5 мм и более - длинная дуга. От длины дуги зависит устойчивость ее горения [2].

Дуговой промежуток обычно разделяют на три характерные области (рисунок 3):

- катодную область 3, примыкающую к катоду 2;
- анодную область 5, примыкающую к аноду 1;
- промежуток между катодной и анодной областями - столб дуги 4.

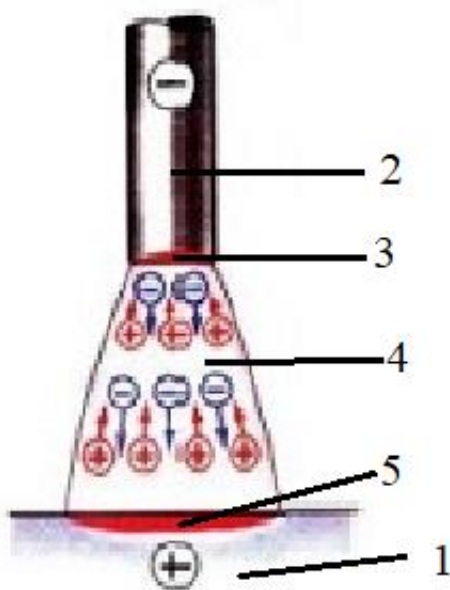


Рисунок 3 - Строение электрической дуги.

### 1.2.1 Статические характеристики дуги

Сварочная дуга как потребитель энергии и источник питания дуги (сварочный трансформатор, генератор или выпрямитель) образует взаимно связанную энергетическую систему.

Различают два режима работы этой системы: 1) статический, когда величины напряжения и тока в системе в течение достаточно длительного времени не изменяются; 2) переходной (динамический), когда величины напряжения и тока в системе непрерывно изменяются. Однако во всех случаях режим горения сварочной дуги определяется током ( $I_D$ ), напряжением ( $U_D$ ), величиной промежутка между электродами (так называемым дуговым промежутком) и связью между ними.

В дуговом промежутке ( $l_D$ ) (рис. 4, а) различают три области: анодную 1, катодную 2 и столб дуги 3. Падение напряжения в анодной и катодной областях постоянно для данных условий сварки. Падение напряжения в единице длины столба дуги — также величина постоянная. Поэтому зависимость напряжения дуги от ее длины имеет линейный характер (рис. 4, б).

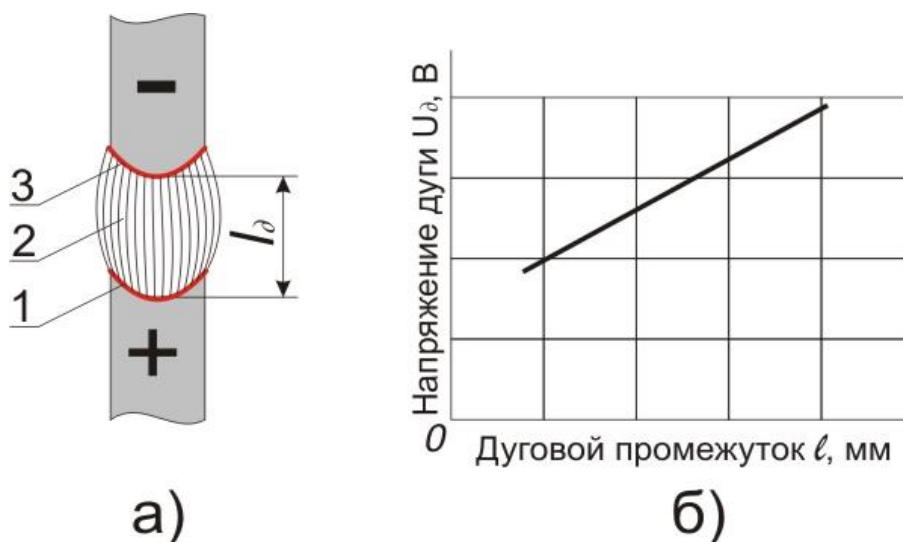


Рисунок 4 - Сварочная дуга, горящая между неплавящимися электродами: а — схема дуги, б — зависимость напряжения дуги ( $U_D$ ) от величины дугового промежутка ( $l_D$ ): 1 — анодная область, 2 — столб дуги, 3 — катодная область.

Устойчивость сварочной дуги определяется соотношением между током и напряжением. Графическое изображение этой зависимости (рисунок 5) при постоянной длине дуги называется статической вольт-амперной характеристикой дуги.

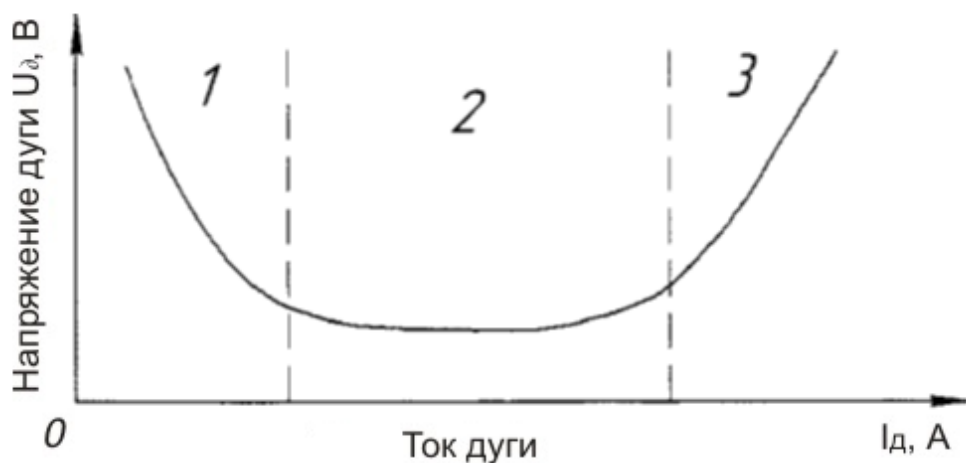


Рисунок 5 – Общий вид вольт-амперной характеристики сварочной дуги.

Можно выделить три области:

1 – область малых режимов (0,5 -10) А, где форма характеристики падающая.

2 – область средних режимов с умеренными плотностями тока (сварка электродами с покрытием, неплавящимся электродом в аргоне и др.). В этой области напряжение  $U_d = E_d$ ;  $E_d$ - пассивная против – Э.Д.С. сварочной дуги.

3 – область сварки при высоких плотностях тока. В этой области напряжение дугового промежутка может быть предоставлено в виде:

$$U_d = E_d + I_d R_d \quad (1)$$

где  $R_d$ - динамическое сопротивление сварочной дуги.

При реализации сварочного процесса можно выделить два основных момента процесса:

- а. возбуждение дуги.
- б. стабильное горение дуги, при котором образуется сварной шов.

С точки зрения режима работы также выделяются два этапа:

а. состояние установившегося равновесия, когда  $I_d$  и  $U_d$  в течении длительного времени остаются неизменными. Зависимость между током и напряжением дуги в этом состоянии называется статистической вольтамперной характеристикой дуги, а зависимость между током и напряжением источника питания временной ВАХ источника питания.

б. состояние неустановившегося равновесия или иначе - динамический режим (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, которые значительно отличаются от статической.

### 1.2.2 Динамические характеристики

Узнав о статичных и динамических характеристиках, мы можем сформулировать требования к нужному для нас режиму, который должен удовлетворять поставленной задаче по повышению эффективности сварки, дугой, горящей в динамическом режиме.

Динамической характеристикой источника питания является время, необходимое для восстановления напряжения от нулевого значения в момент короткого замыкания, которое не должно быть более 0,05 секунд [4], до рабочего напряжения. При этом и скорость нарастания силы тока короткого замыкания также должна быть оптимальной.

При умеренных плотностях тока, в частности при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом, напряжение дуги мало зависит от тока т.е.:

$$\frac{dU_d}{dI} = p_d \approx 0 \quad (2)$$

Поэтому часть разрабатываемой системы, питающей дежурную дугу, должна иметь крутопадающую характеристику.

$$\frac{dU_d}{dI} = p_d < 0 \quad (3)$$

Это обеспечивает не только устойчивость режима горения дуги, но и ее эластичность и естественное ограничение тока короткого замыкания.

Кроме того, при крутопадающей внешней характеристике источника питания отклонения сварочного тока при изменениях длины дуги будет незначительным, что благоприятно сказывается на постоянстве теплового режима и формировании шва.

На основании предварительного анализа параметров импульсного режима дуги, горящей в динамическом режиме, по литературным данным [6] можно определить ориентировочно их следующие величины:

- ток импульса должен находиться в диапазоне от 120 до 400А.
- частота следования импульсов от нескольких сотен герц до десятков килогерц.
- длительность импульса не должна превышать 500 мкс.
- форма импульса должна быть близка к прямоугольной.
- ток дежурной дуги составляет порядка 12-15А.
- характеристика источника дежурного тока крутопадающая.

## **Заключение**

Анализ состояния современных установок для сварки в динамических характеристиках показал что исследование и разработка в новых устройств для сварки для данного способа сварки являются перспективной задачей повышения эффективности сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов.

На основании этого можно сформулировать цель настоящей работы в следующем виде: разработка системы питания для сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой горящей в динамическом режиме.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать функциональную схему системы импульсного питания;
- разработать принципиальную электрическую схему системы импульсного питания;
- разработать методику расчета основных элементов силовой части;

- разработать методику проведения эксперимента.

## **2 Разработка импульсной системы для питания дуги, горящей в динамическом режиме**

С сороковых годов XX века, параллельно с трансформаторными, развивалась ещё одна ветка источников питания – импульсные. Но первые предпосылки перспективы импульсных схем питания появились только в семидесятых годах, с появлением транзисторов большой мощности. На данный момент, импульсные источники питания заняли надёжное место в радиоэлектронике, при малых габаритах они обеспечивают большую выходную мощность, легко поддаются регулировке, дешёвы в производстве.

Работы по применению импульсных систем питания для дуговой сварки относятся к концу 50-х и началу 60-х годов. Прежде всего преимуществом импульсного питания сварочной дуги для сварщиков является высокая стабильности процесса дуговой сварки, особенно тонколистовых материалов. Исследование характеристик систем импульсного питания для дуги на основе вольфрамового электрода, по сравнению с дугой постоянного тока показали, что благодаря наличию в дуговом промежутке остаточной плазмы нарушение стабильности горения дуги не наблюдается. Подача в сварочную цепь импульсов тока, накладываемых на постоянный ток, вызывает перемешивание жидкого металла и изменяет структуру металла шва в благоприятную сторону при сварке неплавящимся электродом.

Питание дуги импульсно-модулированным током осуществляется с помощью приставки к источнику постоянного тока. Принципиальная силовая электрическая схема приставки, выполнена на базе тиристорного мультивибратора представленная на рисунке 6.

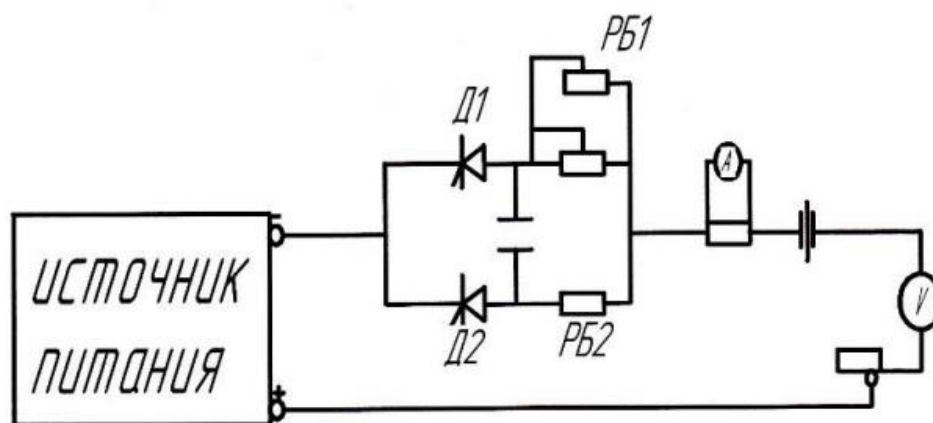


Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема приставки

Сварочный ток от серийного источника питания с жесткой характеристикой через два параллельно включенных тиристора Д1 и Д2 подается к электроду. В цепь тиристора Д1 последовательно включен балластный реостат РБ1, который определяет величину базового тока, а в цепь тиристора Д2 – параллельно два балластных реостата РБ2, которые определяют величину тока в импульсе. При этом тиристор Д1 работает в течение времени, равным  $\tau_n$ , а тиристор Д2  $t_{\text{имп}}$  (импульса).

Управление тиристорами, а, следовательно, и регулировка времени импульса и паузы осуществляет блок управления приставки. Этот же блок отключает во время импульса сварочного тока схему автоматического поддержания напряжения дуги применяемого сварочного аппарата. При этом за время импульса напряжение дуги возрастает, и глубина проплавления увеличивается. Осциллограмма режима сварки с помощью разработанной приставки представлена на рисунке 7. Блок управления приставкой обеспечивает два режима работы механизма перемещения сварочной головки – непрерывный и шаговый. В последнем случае сварочная головка перемещается только во время паузы. Выбор необходимого режима перемещения осуществляется переключением тумблера.



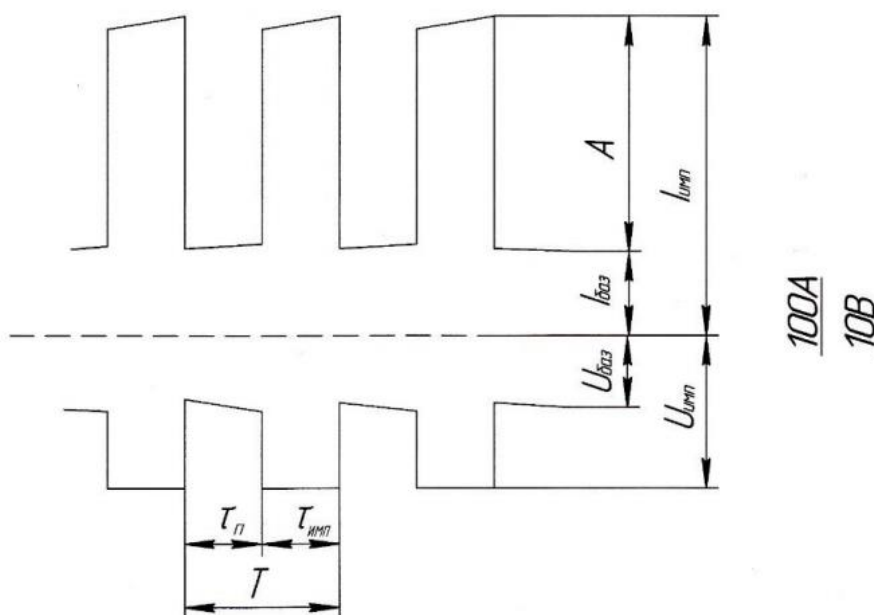


Рисунок 7 – Типичная осциллограмма сварки

Сварка модулированным током приводит к возрастанию полного теплового КПД сварки с 19 до 25%.

Импульсный источник питания — это инверторная система, в которой входное переменное напряжение выпрямляется, а потом полученное постоянное напряжение преобразуется в импульсы высокой частоты и установленной скважности [7].

## 2.1 Требования к системе импульсного питания

На основе теоретических и экспериментальных данных в том числе и проведенных в настоящей работе, требования к техническим средствам, реализующим процесс горения сварочной дуги с неплавящимся электродом в аргоне в динамическом режиме для разработки, конструирования и последующего анализа можно представить в следующем виде:

- амплитуда импульсов, которая кроме технологических требований будет ограничиваться допустимой нагрузкой на электрод и возможностями коммутирующих приборов по величине тока и

скорости его нарастания. (С технологической стороны имеет значение, максимально требуемое давление дуги для формирования технологического отверстия и динамики процессов в столбе дуги, а так же постоянной времени столба);

- - длительность импульсов ограничивается величиной в несколько сотен микросекунд (до 450 мкс) [6]. Данный предел по длительности импульса позволит получить динамически горящую дугу, за счет отставания процессов эмиссии за изменением параметров дуги. По технологическим характеристикам малая длительность импульса позволит получить ширину шва соизмеримую с диаметром электрода;
- частота следования импульсов будет регламентироваться как допустимой нагрузкой на электрод, не позволяющей нарушения рабочей поверхности, так и пропускной способностью коммутирующих элементов. Помимо этого, предел регулирования зависит от технологических свойств самой дуги;
- форма импульса тока находится в зависимости от постоянной времени столба дуги, которая показывает время запаздывания процессов протекающих в столбе относительно его размеров. С технологической стороны форма импульса влияет на условия защиты зоны сварного шва. Крутой передний фронт импульса обеспечивает быстрое нарастание тока, а более пологий срез импульса (задний фронт) позволяет исключить эффект «захлопывания» столба;
- введение дежурного тока, между импульсами, необходимо для непрерывности горения дуги и пространственной устойчивости. Дежурный ток позволяет держать дуговой промежуток в ионизированном состоянии, в результате чего возбуждение дуги происходит с торца электрода и происходит поддержание

постоянства параметров сварки. С технологической стороны дежурная дуга позволяет получать сварной шов, отвечающий требованиям, без видимых дефектов и полученных при качественной защите;

- возможность плавно управлять частотой следования импульсов;
- возможность управления длительностью импульсов – ступенчато.

Высокие динамические свойства источника питания обеспечивают спокойный перенос электродного металла в сварочную ванну, малое разбрызгивание металла, хорошее формирование сварного шва, высокое качество сварки.

## **2.2 Элементная база**

Основываясь на ориентировочные величины динамического режима по длительности и амплитуде импульсов, произведен выбор из разработанных систем импульсного питания сварочной дуги. В качестве накопителей энергии электрической сети и перевода ее в импульсную систему питания могут быть рассмотрены: конденсаторы; химические элементы; маховые массы; магнитные элементы; коаксиальные кабели и формирующие линии.

При разряде конденсатора накопленная энергия варьирует частоту следования разрядных импульсов от долей герц до нескольких сотен и даже тысяч герц [9, 10]. Однако в любом случае при выборе конденсаторов должны быть учтены особенности их работы при импульсных нагрузках. Учет особенностей должен производиться по следующим показателям: способен ли конденсатор данного типа обеспечить формирование или передачу импульса, не является ли такой режим разрушающим для конденсатора. Допустимая импульсная нагрузка, на конденсаторе определяется исходя из следующих параметров импульсного режима: значений положительных и отрицательных пиков напряжения и тока, размаха переменного напряжения на конденсаторе,

длительности нарастания и спада напряжения, периода и частоты следования импульсов, наличия постоянной составляющей [10].

Катушка индуктивности или дроссель также являются накопителями энергии, только здесь, в отличие от конденсатора, энергия электрического тока преобразуется в энергию магнитного поля. При замыкании электрической цепи напряжение на катушке изменится, достигнув своего максимума, и далее плавно спадает до нуля. Ток в этот период плавно изменяется по тому же закону, но от нуля до максимума. [11] Использовать магнитные элементы в качестве накопителя энергии при сварке предложено в работе [12].

В работе [8] в качестве накопителя энергии и устройства для формирования импульсов предложено использовать однородную искусственную линию (ИФЛ), выполненную в виде формирующего элемента (рисунок 8). Такая линия состоит из некоторого числа идентичных  $n$ -ячеек. В свою очередь, каждая ячейка состоит из последовательно включенных конденсатора ( $C_{я}$ ) и дросселя ( $L_{я}$ ). Дроссель последней ячейки выполнен в виде быстронасыщающегося дросселя – БНД, разряд которого позволяет получать импульсы прямоугольной формы, с крутыми фронтами. Достижение полного разряда линии осуществляется при прохождении разрядной волной двойной длины линии и отражении ее от замкнутого конца.

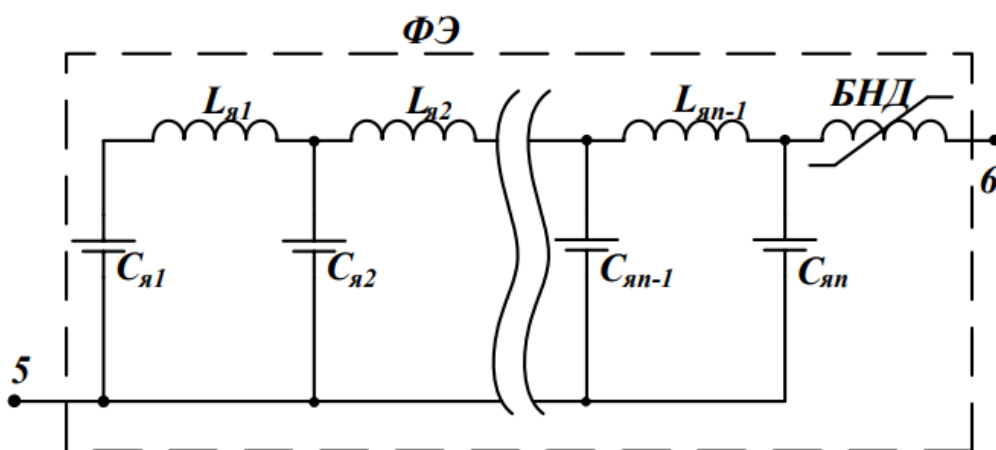


Рисунок 8. Формирующий элемент.

Благодаря сочетанию параметров предлагаемого устройства: формирующей линии и быстро насыщающимся дросселем, включенного в качестве дросселя последней ячейки формирующей линии, форма импульса приобретает колоколообразную форму со срезанной плоской вершиной, что обеспечивает оптимальную форму импульса, минимальный ввод энергии, повышение стабильности переноса электродного металла и повышение качества сварного соединения.

### 2.3 Функциональная схема

Для проведения исследования процесса сварки дугой, горячей в динамическом режиме разработана экспериментальная установка, функциональная схема которой представлена ниже на рисунке 9.

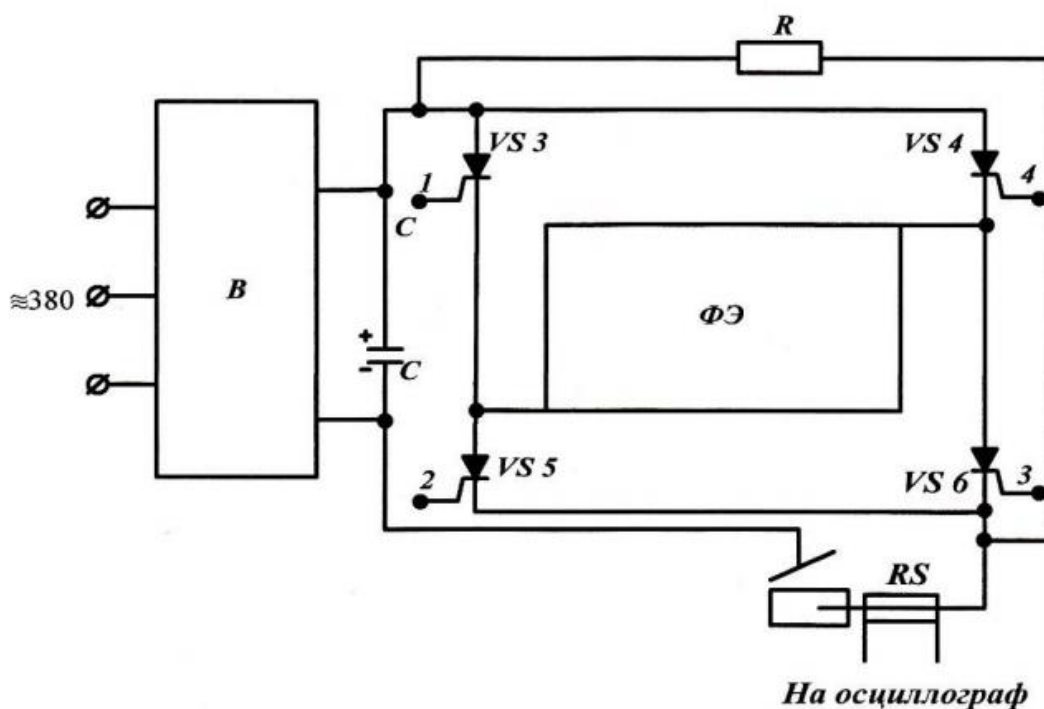


Рисунок 9 – Функциональная схема установки

Устройство состоит из трехфазного выпрямителя В, обладающего жесткой внешней характеристикой и регулируемым напряжением холостого

хода. Для уменьшения внутреннего сопротивления к выходным клеммам В, подключена батарея конденсаторов большой емкости С. Импульсная часть устройства выполнена в виде мостового преобразователя, выполненного на тиристорах VS1 – VS4, в одну диагональ которого включен формирующий элемент ФЭ с ненулевыми начальными условиями. Другая диагональ включена последовательно в сварочную цепь.

Включение ФЭ в диагональ тиристорного моста и наличие батареи конденсаторов С, позволяет при поочередном открытии пар тиристоров VS1, VS3 и VS2, VS4 перезаряжать ФЭ на противоположную полярность через дуговой промежуток, без предварительного заряда от источника питания.

Для обеспечения непрерывности горения дуги на интервале между импульсами импульсная часть зашунтирована резистором – R, обеспечивающим протекание дежурного тока через дуговой промежуток в диапазоне 8 – 12 А.

## **2.4 Импульсное устройство**

Импульсное устройство, представленное на рисунке 10 состоит из формирующего элемента Ф, в виде искусственной формирующей линии, состоящей из n Lя - Ся ячеек, каждая из которых состоит из последовательно включенных конденсатора Ся и дросселя Lя, причем свободные выводы обкладок конденсаторов соединены вместе, а точки соединения конденсатора и дросселя предыдущих ячеек соединены со свободными выводами дросселя последующих ячеек, а в качестве последнего дросселя использован быстронасыщающийся дроссель БНД, индуктивность которого, в насыщенном состоянии, равна индуктивности дросселей ячеек и однофазной мостовой схемы, выполненной на тиристорах VS3 – VS6.

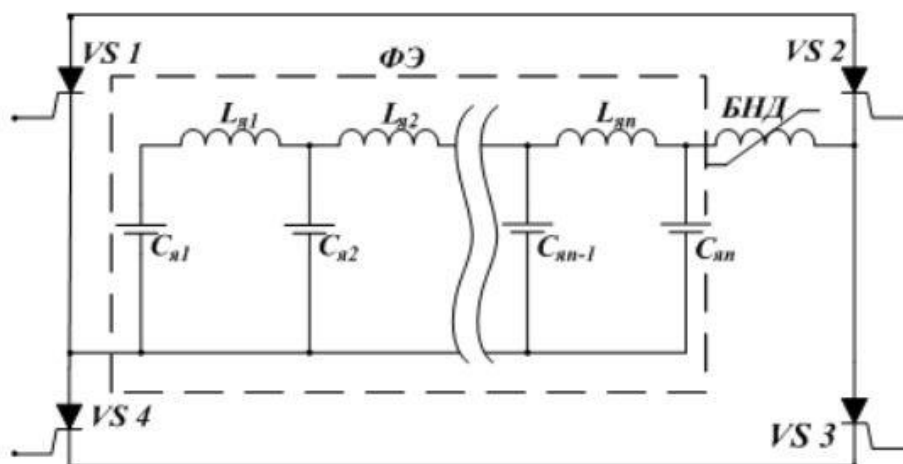


Рисунок 10 – Схема импульсного устройства

В диагональ мостовой схемы между точками соединения анодов с катодами тиристоров включена искусственная формирующая линия - к одной точке общей точкой соединения обкладок конденсаторов, а к другой оставшимся свободным выводам быстронасыщающегося дросселя. Другая диагональ тиристорного моста включена последовательно в сварочную цепь. Благодаря включению искусственной формирующей линии в диагональ тиристорного моста и наличию батареи конденсаторов, подключенной к выходным клеммам выпрямителя, при поочередном включении пар тиристоров, находящихся в противоположных плечах Т моста VS3, VS6 и VS4, VS5, будет происходить перезаряд искусственной формирующей линии на противоположную полярность через дуговой промежуток, без предварительного её заряда от источника питания минуя дуговой промежуток.

## 2.5 Функциональная схема электрической схемы управления для импульсного устройства

Управление тиристорами VS3 – VS6 мостовой схемы импульсного устройства осуществляется схемой управления, функциональная схема которого представлена на рисунке 11.

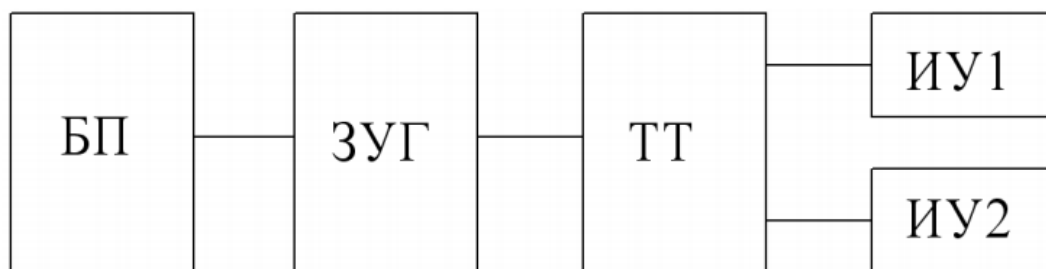


Рисунок 11 - Функциональная схема электрической схемы управления импульсным устройством

Питание схемы управления осуществляется от блока питания БП, состоящего из понижающего трансформатора Тр4, первичная обмотка которого подключается тумблером Т2 через предохранитель FU5 к напряжению 220 В. Напряжение вторичной обмотки выпрямляется выпрямителем на диодах VD28 - VD31. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитроном VD15 с падением части напряжения на балластном сопротивлении R1 и сглаживается конденсаторным фильтром. От этого напряжения питается схема управления. Частота работы установки задаётся задающим управляющим генератором частоты (ЗУГ), частоту которого можно изменять от нескольких герц до десятков килогерц при соответствующем снижении длительности импульсов.

### **Заключение**

Предлагаемое устройство обеспечивает устойчивое горение дуги в динамическом режиме, что в свою очередь позволяет улучшить качество сварного соединения и энергетические показатели работы за счет следующих преимуществ по сравнению с известными:

- сварка ведется дугой, горячей в динамическом режиме, что обеспечивает локальный ввод тепла в изделие;
- широки регулировочные возможности по частоте следования импульсов;



- исключение возможности протекания сквозного тока через дуговой промежуток;

- исключается остаточное намагничивание сердечника быстронасыщающегося дросселя, так как ток импульсов, через его обмотки, поочередно протекает в противоположных направлениях.

### **3. Исследование электромагнитных процессов в импульсном устройстве**

В работе [5, 8] в качестве накопителя энергии и устройства для формирования импульсов предложено использовать однородную искусственную линию, выполненную в виде формирующего элемента. Такая линия состоит из некоторого числа идентичных  $n$ -ячеек. Разряд формирующего элемента позволяет получать импульсы прямоугольной формы, с крутыми фронтами. Достижение полного разряда линии осуществляется при прохождении прямой волны и разряде линии до половины напряжения заряда и окончательный разряд во время обратной волны.

Для создания импульсов тока, обеспечивающих режим динамического горения сварочной дуги наиболее интересна, однородная искусственная формирующая линия. Линия состоит из  $n$  ячеек с одинаковыми значениями индуктивностей дросселей и емкостей конденсаторов. При анализе процессов в такой линии обычно учитывают сопротивления дросселей, пренебрегая потерями в конденсаторах.

В такой системе осуществляется заряд конденсаторов через зарядный дроссель и зарядный тиристор, а разряд на дуговой промежуток осуществляется через разрядный тиристор.

При разряде такой предварительно заряженной линии на дуговой промежуток ток импульса приобретает форму импульса, близкую к колоколообразную с плоской вершиной, причем длительность среза импульса в несколько раз больше длительность фронта импульса, благодаря чему не нарушается ламинарное истечение защитного газа. При этом исключается этап предварительного заряда формирующего элемента, что обеспечивает возможность получения максимально возможной частоты при установленной длительности импульса и улучшение энергетических показателей устройства, а также повышения качества сварного соединения.

### **3.1 Использование программы MatLab для исследования процессов в сварке**

В настоящее время большое распространение получили сварочные и родственные процессы и технологии, в которых используется сварочная и плазменная дуга

Для создания и испытания новых малогабаритных и эффективных источников питания, имеющих повышенные динамические характеристики, требуются исследования динамических свойств этих источников при работе на нелинейную нагрузку – электрическую дугу. В этой связи представляется важным разработка модели дуги для использования при решении различных прикладных задач.

Очевидно, что для достижения поставленной цели необходимо решить несколько самостоятельных задач. Первая задача – это выбор наиболее приемлемой математической модели для описания процессов в сварочной дуге. Вторая задача – построение функционального преобразователя, позволяющего решить уравнение математической модели динамической дуги. И, наконец, третья задача состоит в получении функциональной зависимости для напряжения на дуге от тока.

Для решения этих задач всё чаще начали использовать программу MatLab, в которой в настоящее время предложено большое количество моделей динамической дуги. Такие как модели Касси, Майра, Заруди, Шельгазе, Siemens - Habedank, Kema, Schavemaker, Schwarz (Avdonin), математическая модель динамической дуги (ММДД), разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона, и многие другие [13].

Несомненное достоинство MATLAB / Simulink состоит в возможности построения моделей сложных электротехнических систем на основе методов имитационного и функционального моделирования. За счет такого подхода, в отличие от известных пакетов схемотехнического моделирования типа OrCAD, PSpice, DesignLab, Workbench и т.д., модель упрощается, экономится память,

повышается скорость расчета и работоспособность персонального компьютера (ПК). Важно отметить, что MATLAB Simulink / Arc Model Blockset базируется на методе пространства состояний, ставшим основной формой интерпретации поведения динамических систем, и имеет функцию многократно меняющегося шага. При малой размерности задач динамики их решение имеет наглядное геометрическое отображение в пределах декартового пространства.

Пакет программы MATLAB / Simulink имеет о наиболее подходящий современный подход к математическому моделированию электрической дуги и реализация математического описания с минимумом сложности.

Грамотное использование пакета MatLab / Simulink значительно увеличивает достоверность полученных результатов и позволяет исследовать работу электротехнических устройств практически любого функционального назначения.

### **3.2 Построение схемы в программе MatLab**

Разработка современного сварочного оборудования и анализ его свойств, невозможны без экспериментального исследования. Применение компьютерной техники позволяет часть натуральных экспериментов заменить компьютерным моделированием.

Использование программы MatLab / Simulink позволяет проводить численные исследования динамически нелинейных систем, не решая в явном виде дифференциальные уравнения.

Для предлагаемого способа сварки в программе MatLab / Simulink была разработана модель импульсного устройства (рисунок 12) входящего в состав экспериментального образца.

Питание тиристоров модели осуществляется от двух генераторов PG и PG1 с задержкой по времени относительно друг друга равной 250 мкс. Задержка в подаче сигналов связана с моделированием импульсного режима. Частота следования сигналов, выходящих с генератора, составляет 4 кГц.

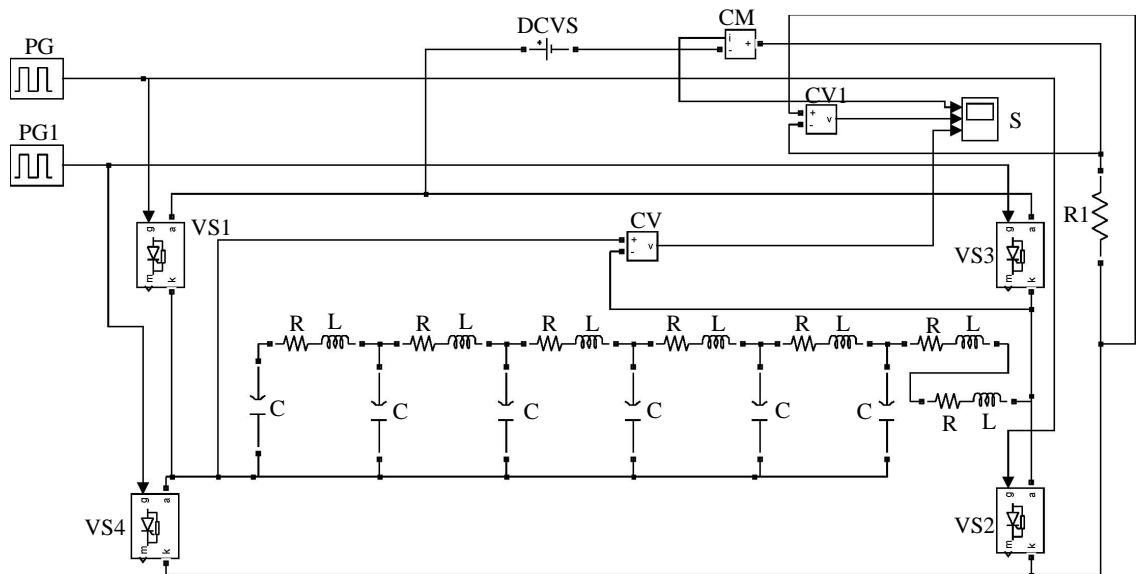


Рисунок 12 – Модель импульсного устройства в приложении Simulink.

Выходной сигнал с PG поступает на первую пару тиристоров VS1-VS2, с PG1 на вторую пару тиристоров VS3-VS4. В диагональ тиристорного моста подключена формирующая линия, состоящая из шести ячеек, последовательно включенных конденсатора C и дросселя L. Емкость конденсатора задаем равной 10 мкФ, а дросселя 2,5 мкГн.

Для учета потерь, возникающих в контуре каждой из ячеек, вводим сопротивление R величиной 0,02 Ом. В последней ячейке вместо быстронасыщающегося дросселя устанавливаем простой дроссель, из-за отсутствия его в библиотеке приложения Simulink. Снятие временных диаграмм работы блока производится на графическом аналоге осциллографа Scope – S. Получение временной осциллограммы по току возможно при протекании сигнала, сформированного формирующим элементом, через преобразователь CM, а напряжения – CV. Нагрузку импульсного устройства учитываем, введя сопротивление R2.

$$R2 = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (4)$$

Где R2- величина которого равна волновому сопротивлению

Питание блока осуществляется от источника переменного тока DCVS.

### 3.3 Анализ результатов исследования процессов в MatLab

Используя построенную модель, можно изучить процесс формирования импульсов тока и напряжения и дать рекомендации по массогабаритным значениям каждой из ячеек.

При снятие временных диаграмм (рисунок 13) получили импульсы, удовлетворяющие условию динамического режима.

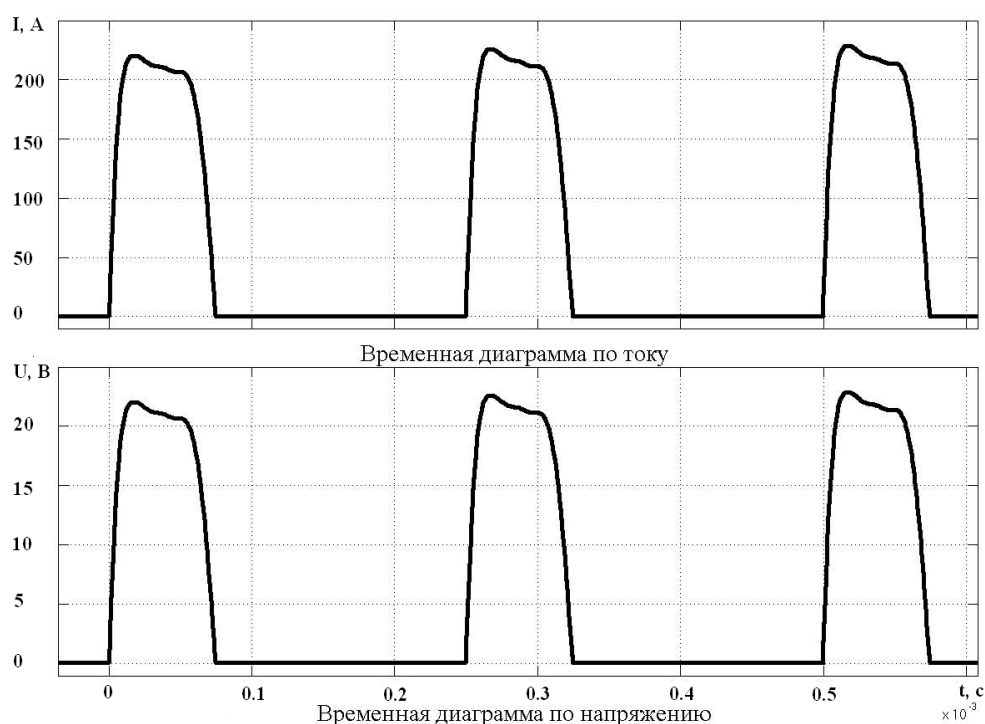


Рисунок 13 – Временные диаграммы тока и напряжения.

Для того чтобы увидеть формирование импульса и разряд-перезаряд ячеек подключаем преобразователь CV параллельно цепи, к каждой ячейке.

Формирование импульса напряжения происходит всеми ячейками формирующей линии, что видно из рисунка 14

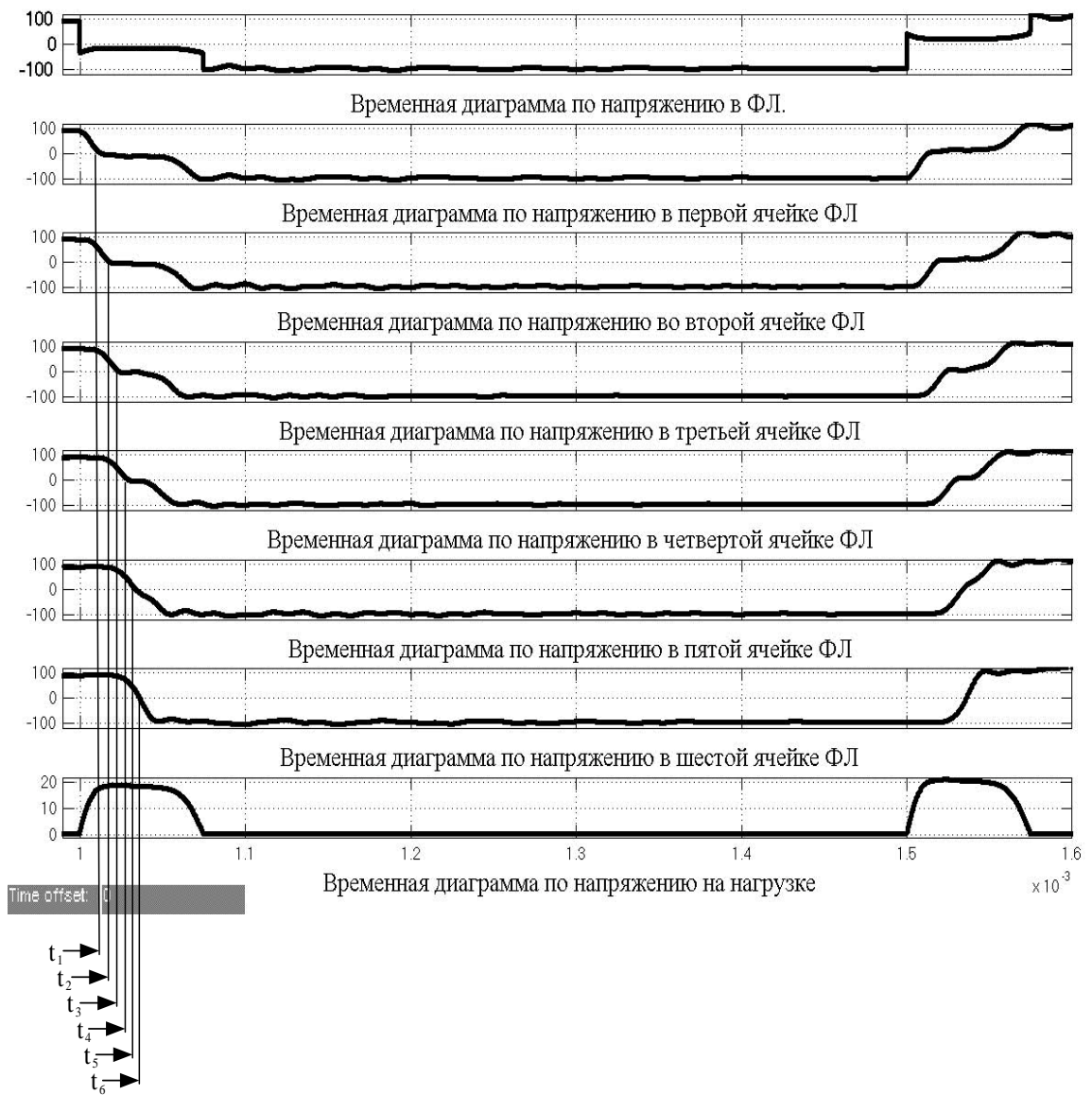


Рисунок 14 – Временные диаграммы каждой ячейки по напряжению.

Разряд первой ячейки формирует передний фронт импульса напряжения. Для исключения выброса напряжения при включении первой ячейки вводим дополнительный простой дроссель в шестой ячейке. Полный разряд ячейки до нуля происходит в момент времени  $t_1$ . Разряд второй ячейки начинается со сдвигом во времени относительно первой ячейки и заканчивается в момент времени  $t_2$ . Далее происходит поочередный разряд всех последующих ячеек со сдвигом относительно предыдущей ячейки. В момент времени  $t_3$  – разряжается третья ячейка,  $t_4$  – четвертая ячейка,  $t_5$  – пятая ячейка. Шестая ячейка,

разрядившись до нуля в момент времени  $t_6$ , начинает перезаряд на обратную полярность. В момент разряда конденсатора шестой ячейки заканчивается прямая волна процессов формирующего элемента и начинается обратная - заряда конденсаторов. Перезаряд пятой ячейки начинается со сдвигом во времени на величину  $t$ . Далее происходит перезаряд оставшихся ячеек со сдвигом во времени на величину  $t$ , относительно предыдущей. Постепенный перезаряд всех ячеек способствует пологому формированию среза импульса, что подтверждается и литературными данными [5]. Изучив процесс формирования импульса применяемого формирующего элемента, можно сделать вывод, что наиболее нагруженной в процессе разряд-перезаряда является дроссель первой ячейки, которая пропускает ток всех ячеек. Менее нагружена последняя ячейка, работающая на пропускание собственного заряда. Величина сдвига разряда и заряда каждой из ячеек является постоянной величиной, т.к. одинаковы параметры ячеек

Изучение электромагнитных процессов при формировании импульса напряжения с использованием разработанной формирующей линии показало, что она выгодно отличается от известных линии разработанных ранее [5, 8, 14], хотя в ней также пробегает две волны прямая и обратная. В отличие от подобных линий, работающих по циклу заряд от источника питания и разряд на нагрузку, в разработанной установке во время прямой волны конденсаторы ячеек разряжаются до нуля, а во время обратной волны перезаряжаются на противоположную полярность.

Такой процесс обеспечивает:

- - возможность работы со значительно большей частотой импульсов сварочного тока, по сравнению с известными устройствами;
- - возможность получения амплитуды импульсов сварочного тока с двойной амплитудой по сравнению с известными устройствами при одном и том же напряжении заряда конденсаторов



#### 4. Реализация системы для питания дуги, горящей в динамическом режиме

После проведенных исследований в MatLab разработанной функциональной схемы (рисунок 9) можно приступить к реализации экспериментальной установки.

Реализованная схема экспериментальной установки изображена на рисунке 15.

##### 4.1 Расчёт и выбор элементов силовой части

Сварочная дуга в аргоне неплавящимся электродом имеет статистическую вольтамперную падающую характеристику, переходящую в области больших токов в жесткую, независимую от тока

$$U_{д} = U_{а} + U_{к} + \beta \cdot l_{ст} \quad (5)$$

где  $U_{а}$  - анодное падение напряжения;  $U_{к}$  - катодное падение напряжения;  $\beta$  – градиент напряжения столба;  $l_{ст}$  – длина дуги (столба).

По литературным данным можно предположить, что столб сварочной дуги имеет две постоянные времени: электрическую, оцениваемую величиной  $10^{-4} \dots 10^{-5}$  сек и тепловую, которая определяет динамику расширения (или уменьшения) сечения столба при быстрых изменениях сварочного тока.

Поэтому чтобы процессы ионизации дугового газа отставали от изменения тока электрическая постоянная времени сварочной цепи (источника питания) должна быть меньше как минимум в несколько раз по отношению к электрической постоянной дуги, а длительность импульсов питающих сварочную дугу не превышать 400...500 мкс.

Для формирования кратковременных импульсов тока рассматриваются однородная искусственная линия (ОИЛ), работающая в двухтактном режиме – заряд от источника и разряд на нагрузку [5].

Разряд осуществляется в два этапа. Вначале пробегает прямая волна. При этом конденсаторы всех ячеек разряжаются до половины напряжения. Затем пробегает обратная волна и если ОИЛ нагружена на эквивалентное сопротивление  $p_c = \sqrt{\frac{L_{я}}{C_{я}}}$ , то все конденсаторы разрезаются до нуля.

Амплитуда импульсов определяется половинным напряжением конденсаторов ячеек:

$$I_{им} = \frac{U_c - U_d}{2p_c}, \quad (6)$$

Применение такой линии целесообразно и в сварочных цепях для реализации задач.

Фронт импульса, генерируемого линией (ОИЛ) определяется параметрами первой ячейки. В таком случае параметры ячеек ОИЛ должны определяться с учетом электрической постоянной времени дуги, учитывая, что длительность фронта составляет  $\frac{\pi}{2}$

Из [12] величина емкости конденсатора ячейки определяется как

$$C_{я} = \frac{2}{\pi \cdot p_c \cdot 10^5} = \frac{4I}{\pi \cdot (U_c - U_d) 10^5} \quad (7)$$

Для питания сварочной дуги в динамическом режиме, когда частота следования генерируемых импульсов может достигать нескольких килогерц наиболее целесообразно применение модернизированной схемы ОИЛ.

## 4.2 Силовая часть

Силовая часть включает в себя понижающий трехфазный трансформатор Тр1 с четырьмя комплектами вторичных обмоток W2 и W3, W4, W5, соединённых в звезду; два силовых выпрямителя; трехфазный асинхронный короткозамкнутый двигатель М - привод вентилятора; два выпрямителя, собранных по трехфазной мостовой схеме; выпрямитель на вентилях VD9...VD14 через блокирующий диод VD1. регулируемый резистор RI4 и

дрессель L питает дежурную дугу прямой полярности. Этот выпрямитель питается от трёхфазной обмотки W2. Выпрямитель на вентилях VD3...VD8 через импульсное устройство питает дугу импульсами тока. Параллельно выпрямителю подключена батарея конденсаторов C1. Вентиль VD2 блокирует частично разряд конденсатора через выпрямитель за счет обратных токов.

Выпрямленное напряжение может иметь три различных значения, в зависимости от того, какой комплект вторичных обмоток (W3, W4 или W5) подключен к выпрямителю

Охлаждение выпрямительных мостов осуществляется вентилятором, который при настройке схемы можно отключать пакетным выключателем S.

### **4.3 Общая схема управления**

Общая схема управления включает в себя понижающий трансформатор Tr2, первичная обмотка которого подключается к фазному напряжению 220 В тумблером T1 через предохранитель FU4. Одной из вторичных обмоток трансформатора запитывается обмотка магнитного пускателя K. Для включения трансформатора следует нажать кнопку пуск (SB1), при этом при срабатывании контактора замыкаются три контакта в цепях первичной обмотки силового трансформатора Tr1 и контакт K, шунтирующий пусковую кнопку. Для выключения трансформатора нажать кнопку стоп (SB2). Лампа накаливания Н показывает наличие напряжения на вторичной обмотке трансформатора. От вторичной обмотки трансформатора Tr2 через мостовую схему выпрямления, выполненную на диодах VD32...VD35, запитываются обмотки магнитных пускателей K1, K2, K3, которые включаются пусковыми кнопками соответственно SB3, SB4, SB5, а выключаются кнопкой стоп (SB6). Приём благодаря включению нормально закрытых контактов каждого магнитного пускателя в цепи питания обмоток двух других контакторов исключается одновременное включение более одного контактора. Благодаря этому, к

выпрямителю на диодах VD3...VD8 может быть подключено только одна из вторичных обмоток силового трансформатора Тр1.

#### **4.4 Импульсное устройство**

Устройство работает следующим образом. При подаче управляющих импульсов на тиристоры VS3 и VS6 находящихся в противоположных плечах тиристорного моста конденсаторы Ся имеют заряд с минусом на нижних обкладках и с плюсом на верхних обкладках. Конденсатор С1 всегда заряжен от выпрямителя с плюсом на верхней обкладке. При открытии тиристоров VS3 и VS6 под действием суммарного напряжения источника питания и напряжения заряженных конденсаторов Ся происходит перезаряд искусственной формирующей линии по цепи: плюс выпрямителя - тиристор VS3 - искусственная формирующая линия - быстронасыщающийся дроссель БНД - тиристор VS6 - изделие - дуговой промежуток (между изделием и электродом) - электрод - минус выпрямителя. В конце процесса перезаряда полярность конденсаторов С сменится на противоположную - плюс на нижних обкладках, минус на верхних обкладках. При открытии пары тиристоров VS4 и VS5 процесс перезаряда искусственной формирующей линии происходит аналогично. При очередном открытии пар тиристоров VS3 и VS6, VS4 и VS5 через дуговой промежуток будет протекать импульс тока перезаряда искусственной формирующей линии, что исключает необходимость предварительного её заряда от источника питания.

#### **4.5 Схема управления импульсным устройством**

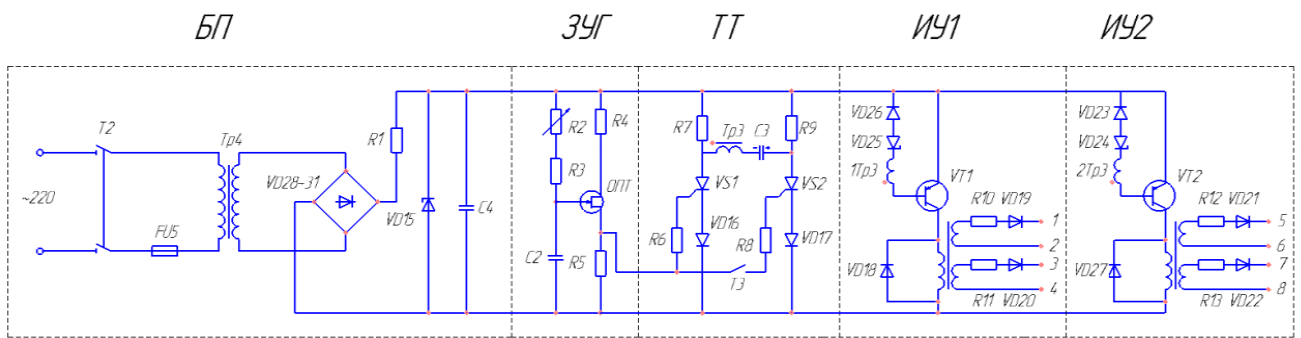


Рисунок 16 – Схема управления импульсным устройством

Управляющий генератор выполнен на однопереходном транзисторе ОПТ, базой которого через сопротивления  $R4$  и  $R5$  подключены к питающему сопротивлению, а эмиттер подключен к конденсатору  $C2$  время задающей цепи, выполненной на упомянутом конденсаторе  $C2$  и сопротивлениях  $R2$ ,  $R3$ . Генератор является релаксационным генератором. При заряде конденсатора  $C2$  по экспоненциальному закону через сопротивления  $R2$  и  $R3$  от источника питания до пробивного напряжения перехода эмиттер – база 2 – ОПТ происходит мгновенный разряд конденсатора на сопротивление  $R5$ . Изменяя величину сопротивления  $R2$  можно в широких пределах изменять частоту генерации. Последовательность импульсов  $R5$  поступает на два входа тиристорного триггера, который осуществляет деление частоты на два. С двух выходов триггера далее передаются две последовательности импульсов с частотой, уменьшенной в два раза и смещённых относительно друг друга на пол периода. Тиристорный триггер выполнен на тиристорах  $VS5$ ,  $VS6$ , в катодные цепи которого включены соответственно диоды  $VD16$ ,  $VD17$ , защищающие тиристоры от обратных напряжений. В анодные цепи тиристоров включены сопротивления  $R7$  и  $R9$ . Между анодами тиристоров  $VS5$  и  $VS6$  включена цепочка из последовательно соединённых конденсатора  $C3$  и первичной обмотки импульсного трансформатора  $Tr3$ . Вторичные обмотки  $1Tr3$  и  $2Tr3$  импульсного трансформатора являются выходами тиристорного триггера, которые выдают импульсы при смене состояния триггера. Входами триггера являются управляющие электроды тиристоров  $VS5$  и  $VS6$ , на которые через

сопротивления R6 и R8 одновременно поступает последовательность импульсов с сопротивления R5 генератора частоты. По типу тиристорный триггер является Т – триггером, у которого, при каждом поступлении импульса на оба входа одновременно, изменяется состояние, и первичная обмотка трансформатора Тр3 поочередно генерирует разнополярные импульсы во вторичных обмотках 1Тр3 и 2Тр3. Эти обмотки включены: 1Тр3 через диоды VD25, VD26 в базовую цепь транзистора VT1; 2Тр3 через диоды VD23, VD24 в базовую цепь транзистора VT2, таким образом, что каждый из этих транзисторов открывается импульсами одной полярности сдвинутых относительно друг друга на пол периода. На транзисторах VT1 и VT2 выполнены импульсные усилители. В коллекторные цепи транзисторов включены импульсные трансформаторы Тр5 и Тр6, первичные обмотки которых зашунтированы в обратном направлении диодами VD18 и VD27 для снятия перенапряжения. При поочередном срабатывании импульсных усилителей с их вторичных обмоток снимаются импульсы напряжений, которые поочередно открывают попарно тиристоры импульсного устройства VS1, VS3 – VS2, VS4. В результате этого при открытии указанных пар тиристоров через дуговой промежуток проходят импульсы сварочного тока. Тумблер Т3 служит для включения и выключения импульсов импульсного устройства.

### **Заключение**

Созданная установка обеспечивает питание дуги импульсами длительность которых не превышает 80 мкс, с формой импульсов близкой к трапецеидальной. При этом срез импульса превышает фронт импульса по длительности в 4 раза, что предотвращает схлопывание столба дуги.

Установка имеет широкие регулировочные возможности по частоте следования импульсов (за счет исключения этапа предварительного заряда конденсаторов формирующей линии) в диапазоне от 600 до 5000Гц;

Для подвода высокочастотной энергии от источника к сварочной дуге используется коаксиальный кабель;

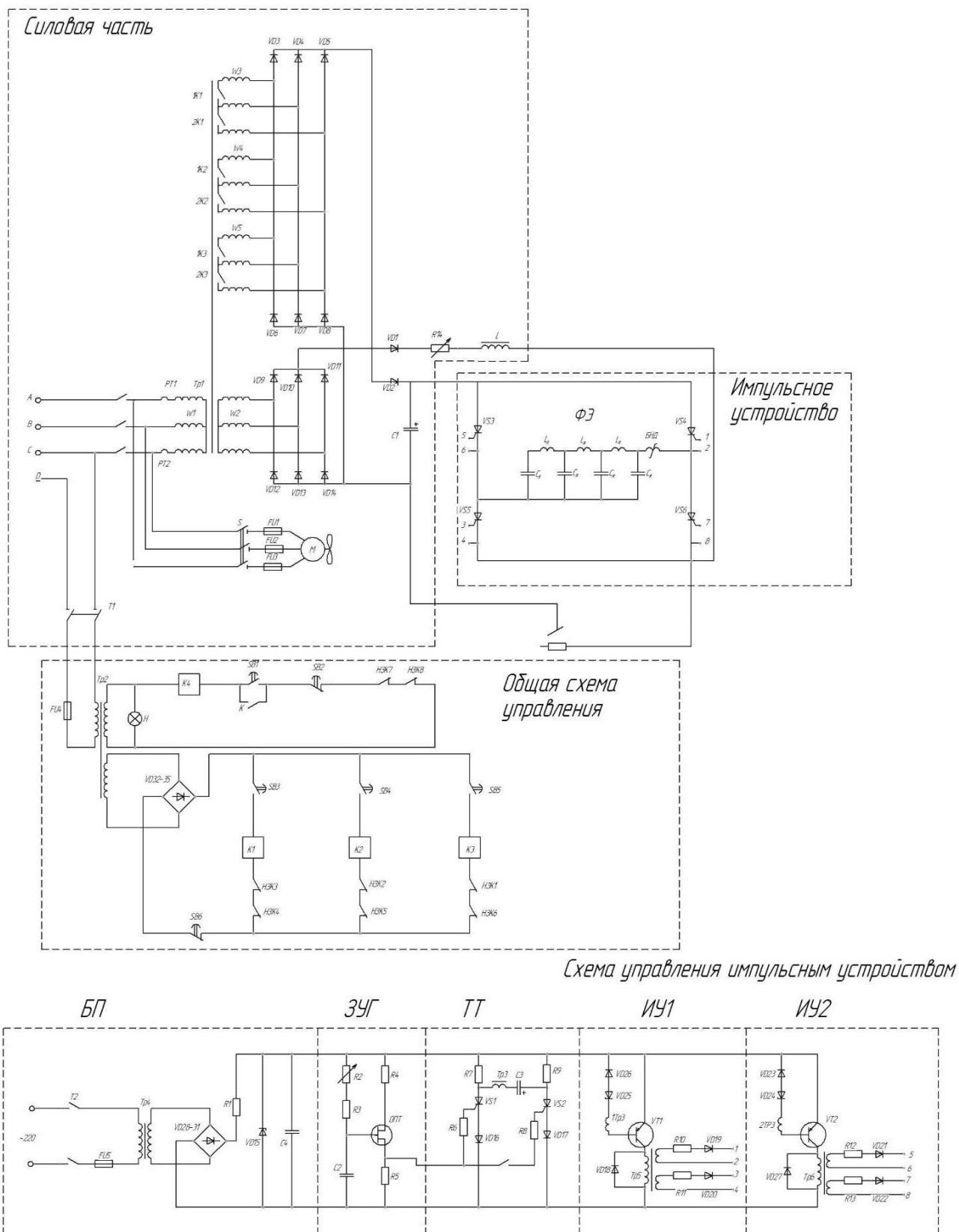


Рисунок 15 – Принципиальная электрическая схема установки



## 5. Экспериментальная часть

Физические процессы, протекающие в дуге, питаемой мощными импульсами тока, изучены мало. Более доступные экспериментальному исследованию вольт - амперные характеристики электрической импульсной дуги изучены при сварке в аргоне [15].

Изучение динамических характеристик дуги при импульсно-дуговой сварке необходимо для определения свойств импульсной дуги как нагрузки и позволяет получить необходимые исходные данные для расчета и конструирования источников питания, а также для технологических целей [14].

Вследствие больших скоростей изменения напряжения и тока при импульсно-дуговой сварке динамические характеристики могут быть определены только при использовании регистрирующих приборов с малой инерционностью, например, с помощью электронного осциллографа [14].

На рисунке 17 представлена принципиальная схема проведения записи и измерения напряжения и тока дуги, горящей в динамическом режиме. Для регистрации напряжения и тока дуги используем осциллограф универсальный запоминающий С8 - 13.

На рисунке 18 представлена принципиальная схема проведения записи динамической вольт - амперной характеристики дуги, горящей в динамическом режиме.

Для регистрации динамической вольт - амперной характеристики дуги используем электронный осциллограф С1 – 19Б с двумя блоками управления БПУ - 1. В данном случае осциллограф имеет два блока усиления, что позволяет снимать ток и напряжение одновременно и получать динамическую характеристику на экране осциллографа (петлю гистерезиса). По оси ординат - напряжение, по оси абсцисс - ток. Петля гистерезиса определяется амплитудой и скоростью нарастания, накладываемого на дугу возмущения. Чем больше скорости изменения тока, тем больше динамические характеристики отличаются от статической.

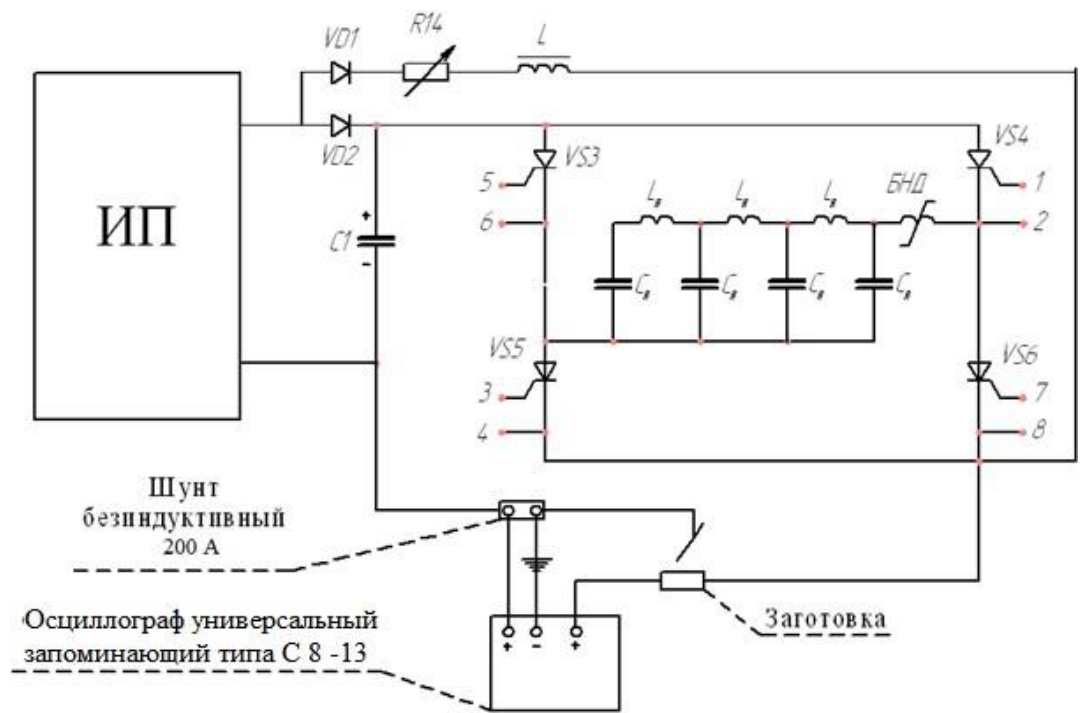


Рисунок 17 – Принципиальная схема проведения записи и измерения напряжения и тока дуги, горящей в динамическом режиме

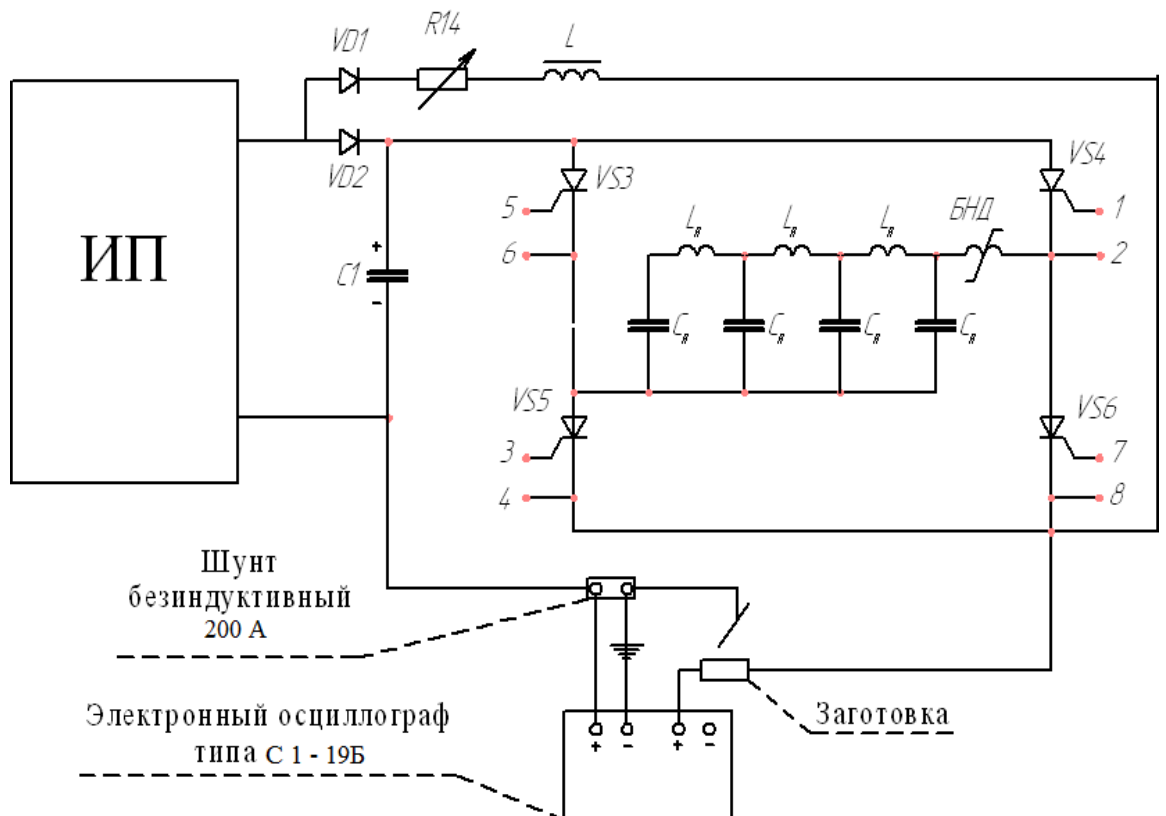


Рисунок 18 – Принципиальная схема проведения записи динамической вольт – амперной характеристики дуги, горящей в динамическом режиме

Цель эксперимента:

- - получить реальные зависимости тока и напряжения от времени;
- - получить динамическую характеристику.

Оборудование, приспособления, инструмент:

- - экспериментальная установка для питания динамической дуги;
- - сварочный автомат АДСВ-5;
- - осциллограф универсальный запоминающий С1 - 70;
- - электронный осциллограф С1 – 19Б;
- - шунт безиндуктивный 150 А.

Параметры режима сварки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры режима сварки

$I_{и}, А$	$I_{д,д}, А$	$U_{и}, В$	$U_{д,д}, В$	$l_{д}, мм$	$f, кГц$
350	15	32	6	1,2	0,6 – 3,2

Ход эксперимента:

Опыт 1. Получить реальные зависимости тока и напряжения от времени:

- подключить осциллограф С1 - 70, как показано на рисунке 14;
- включить выпрямитель, питающий цепь дежурной дуги и выпрямитель питающий импульсное устройство; - включить подачу аргона;
- зажечь дежурную дугу угольным электродом;
- включить автомат АДСВ - 5 с постоянной скоростью движения сварочной головки;
- включить импульсное устройство;
- на осциллографе С1 - 70 зарегистрировать осциллограммы тока и напряжения (рисунок 19).

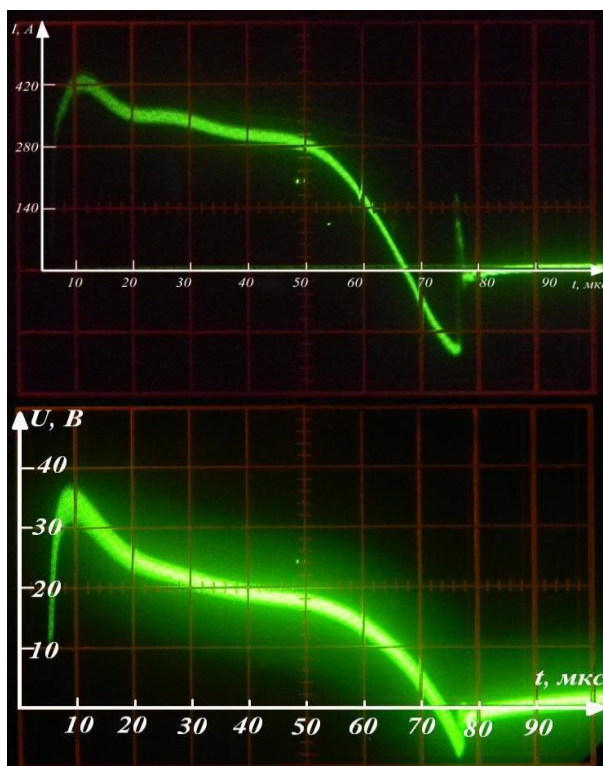


Рисунок 19 – Типичные осциллограммы тока и напряжения

Опыт 2. Получить динамическую вольт – амперную характеристику:

- подключить осциллограф С1 - 19Б, как показано на рисунке 18;
- включить выпрямитель, питающий цепь дежурной дуги и выпрямитель, питающий импульсное устройство;
- включить подачу аргона; - зажечь дежурную дугу угольным электродом;
- включить автомат АДСВ - 5 с постоянной скоростью движения сварочной головки;
- включить импульсное устройство; - на осциллографе С1 – 19Б зарегистрировать динамическую вольт - амперную характеристику дуги.

В ходе эксперимента были получены зависимости тока и напряжения дуги от времени, и динамическая вольт – амперная характеристика дуги. На представленных осциллограмме тока дуги и напряжения видно, что импульсы по форме близки к прямоугольной, скорость нарастания импульсов и их продолжительность обеспечивает динамический режим горения дуги. При

быстром изменении тока недостаток термической эмиссии восполняется автоэлектронной, что в свою очередь приводит к увеличению напряжения.

Ввиду большей концентрации теплового потока при сварке дугой горячей в динамическом режиме требуется среднее значение тока меньшее на 30 - 40 %, чем при сварке в непрерывном режиме при сохранении высокой устойчивости физического горения дуги и сохранении высокой технологической устойчивости процесса сварки.

Отрицательная часть динамической характеристики может быть объяснена тем, что при резком снижении тока и напряжения процессы деионизации отстают от изменения параметров режима и в столбе дуги избыточный отрицательный заряд. И столб дуги превращается в активную противоЭДС, за счет которой протекает обратный ток, через тиристоры моста до рассасывания заряда на p-n переходах.

### **Заключение**

Полученные результаты экспериментального исследования показывают, что применение дуги, горячей в динамическом режиме, является перспективным направлением развития.

Разработанное устройство с формирующим элементом в виде искусственной формирующей линии обеспечивает получение импульсов тока с формой, близкой к прямоугольной, и обладает широкими регулировочными возможностями и высокой надежностью

## **6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения**

### **6.1 Предпроектный анализ**

Целью экономической части диплома 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 исследования**

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка установки для сварки дугой, горячей в динамическом режиме», выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации.

Суть работы заключается в исследовании и разработке устройства для сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме, как видно из сегментирования, хороший способ сварки, который может получать качественные сварные соединения.

Таблица 2 - Сегментирование рынка

		Показатель		
		Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Технологические показатели качества сварного соединения	Качество сварного шва	3	2	1
	Скорость сварки	2, 3	2	1
	Возможность сварки тонколистового металла	3	2	1, 2

1- Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме;

2- Аргонно-дуговая сварка;

3- Ручная дуговая сварка.

### 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

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 эксплуатации	0,1	3	4	3	0,5	0,2	0,3
2.Затраты сварочного материала	0,2	5	3	4	1	0,2	1
3.Качество сварного соединения	0,1	5	4	3	0,5	0,3	0,1

Продолжение таблицы 3

Экономические критерии оценки эффективности							
1. цена	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,25
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,3
3. Конкурентоспособность работы	0,25	5	5	3	1,25	0,5	1
Итого	1	28	26	21	5	2,35	3,75

Где сокращения: Б<sub>ф</sub> - Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме; Б<sub>к1</sub> – Аргонно-дуговая сварка; Б<sub>к2</sub>- Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (8)$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V<sub>i</sub> – вес показателя (в долях единицы);

B<sub>i</sub> – балл i-го показателя

Итогом данного анализа является то, что метод предложенный в дипломе эффективнее, чем методы конкурентов.

### 6.1.3 SWOT – анализ

Таблица 4 - Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
Отсутствие конкурентов на рынке Наличие бюджетного финансирования. Широкая область применения	Развитие новых технологий Перенастройка оборудования Отсутствие квалифицированного персонала.
Использование современного оборудования Актуальность проекта Наличие опытного руководителя Наличие патента на разработку Экономия электроэнергии	



Продолжение таблицы 4

Возможности	Угрозы
Получение качественных сварных соединений Регулирование производительности Повышение стоимости конкурентных разработок	Появление новых технологий Снижение государством финансирования темы Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.

Таблица 5 - Мероприятия, которые необходимо провести сейчас

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Повышение квалификации персонала	200	4
Привлечение ВУЗов партнеров, для развития исследования	300-500	5
Улучшение технологии	500-700	5

Таблица 6 - Мероприятия, которые необходимо провести через год

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Уменьшение габаритов установки	400	3
Привлечение финансирования для развития технологии	500	4
Улучшение технологии	500-700	5

Таблица 7 - Мероприятия, которые необходимо провести через 5 лет

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)

Введение нашей установки на предприятие	200	5
---	-----	---

Продолжение таблицы 7

Привлечение финансирования для развития технологии	500	4
Улучшение технологии	500	5

## 6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 8 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А-Диаметр сварочной проволоки, мм	1	1	1
Б-Марка сварочной проволоки	Св-08Г2С	Св-10Г2С	Св-04Х19Н9
В-Плазмообразующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	–
Г-Стабилизирующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	–
Д-Защитный газ	Ar	CO <sub>2</sub>	Ar + CO <sub>2</sub>

Возможные варианты решения технической задачи

1) А1 Б1 В2 Г2 Д3 – В первом случае, сварка низкоуглеродистых сталей при малых затратах на материал.

2) А2 Б2 В2 Г2 Д3 – Во втором случае, низкоуглеродистых или низколегированных сталей при малых затратах материал

3) А3 Б3 В1 Г1 Д1 - В третьем случае, сварка хромистых (нержавеющих) сталей аустенитного класса, с повышенными требованиями к материалу.

## 6.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 9 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
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 исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, студент

### 6.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (9)$$

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

$t_{mini}$  – 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  $T_{p i}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (10)$$

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

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

### 6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{k i} = T_{p i} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (11)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

где:  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  – количество праздничных дней в году

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 10.

После заполнения таблицы 10 строим календарный план-график (таблица 11).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 10 - Временные показатели проведения научного исследования

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			$t_{ож\ i}$ чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5
Проведение расчетов по теме	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студент	7	8	8	10	11	11
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3
Вывод по цели	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 11 - Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Работы	Вид работ	Исполнители	Т <sub>ки</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение проекта	Руководитель	3	★										
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2		★◆									
3	Поиск и изучение материала	Студ.-рук.	2		◆★									
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2			◆								
5	Календарное планирование	Руководитель	3			◆								
6	Изучение литературы по теме	Студент	15				★	★	★					
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	5						◆★					
8	Изучение установки	Студент	6							★				
9	Моделирование плазмотрона	Студент	3								★			
10	Изучение результатов	Студент	3									★		
11	Проведение расчетов по теме	Студент	10									★		
12	Анализ результатов	Студ.-рук.											◆★	
13	Вывод по цели	Студент												★

◆ - руководитель; ★ - студент.

### 6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

### 6.3.5 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{рас\ i}, \quad (13)$$

где  $Z_M$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{рас\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 12 - Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z <sub>M</sub> ), руб.		
		Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Св-ая пр-ка	кг.	0,5	0,5	0,5	80	80	80	63	63	63
ПГ,СГ,ЗГ	лит	1	1	1	12	12	12	18	18	18
Итого								1978	1978	1978



### 6.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 13 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Источник питания	1	-	-	30	-	-	40	-	-
Итого:								40	-	-

### 6.3.7 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 14.

Таблица 14 - Расчет основной заработной платы

№ п/ п	Наименование этапов	Исполнитель по категории	Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	1	1	1	4,4			5	5	5
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
4.	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	3,6			4	8	8
5.	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
6.	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
7.	Подбор нормативных	Студ.-рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
8.	Изучение установки	Студент	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4
9.	Модернизация установки	Студент	2	3	4	0,8			1,8	2,7	3,6
10.	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4			9,8	9,8	9,8
11.	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8			2,7	2,7	2,7
Итого:									69,7	74,2	75,1

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (14)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ )

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (15)$$

где:  $K_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

### 6.3.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (16)$$

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

Таблица 15 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп1	Исп2	Исп3	Исп1	Исп2	Исп3
Руководитель	48	57	57	57	68	684
Студент-	31	27	28	38	32	337
Коэффициент отчислений	0,302					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

### 6.3.9 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot K_{\text{нр}}, \quad (17)$$

где:  $K_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны:

$$Z_{\text{накл}} = 357807,5 \cdot 0,16 = 57249,2 \text{ руб.}$$

### 6.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Бюджет научного исследования, который включает материальные затраты, затраты по основной и дополнительной заработной плате, амортизацию оборудования и отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы и составил при Исп1 = 415056,7 руб; при Исп2 = 315033,8 руб; при Исп3 = 343102,5 руб.

Таблица 16 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НИИ	37353	36720,5	36636,5
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	207000	115000	138000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9564	10104	10212
5. Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5
6. Накладные расходы	57249,2	43452,9	47324,5
7. Бюджет затрат НИИ	415056,7	315033,8	343102,5

## 6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (18)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } 1} = \frac{415056,7}{415056,7} = 1; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп } 1} = \frac{315033,8}{415056,7} = 0,76; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп } 1} = \frac{343102,5}{415056,7} = 0,83$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (19)$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b^a, b^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 17)

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой ко- эффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Сварочный материал	0,25	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	2	3
3. ПГ,СГ,ЗГ	0,15	4	4	4
4. Модернизация установки	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,15	3,8

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 = 4,5;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,15;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,8;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп i} = \frac{I_{p-исп i}}{I_{финр}^{p-исп i}}, \quad (20)$$

$$I_{исп 1} = \frac{4,5}{1} = 4,5; \quad I_{исп 2} = \frac{3,15}{0,76} = 4,14; \quad I_{исп 3} = \frac{3,8}{0,83} = 4,57$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп i}}{I_{исп i \max}}, \quad (21)$$

Таблица 18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3

1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,76	0,83
---	---	---	------	------

Продолжение таблицы 18

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,15	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	4,14	4,57
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,98

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

## **7. Социальная ответственность**

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

В данной работе рассмотрено исследование формирования структуры мартенситно-старяющей стали в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки, данный эксперимент проводится в офисных помещениях 16а корпуса НИ ТПУ, кабинета 112. В ходе научного основная часть работы была выполнена с использованием ЭВМ, а также специальных электронных оборудований для проведения испытания, поэтому в данном разделе ВКР рассматриваются вопросы анализа и выявления возможных опасных и вредных факторов на рабочем месте инженера-лаборанта. Площадь занимаемого помещения составляет 40 м<sup>2</sup>, на которых располагаются 6 человек.

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

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.



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

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего человека в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. В результате идентификации выявлены следующие вредные производственные факторы:

- электромагнитные поля в производственных помещениях;
- производственный шум;
- освещенность рабочей зоны;
- микроклимат в помещении.

### **7.1.1 Электромагнитные поля в производственных помещениях**

Основным вредным фактором является электромагнитное поле (ЭПМ). Находясь в электромагнитном поле, человек поглощает его энергию, в тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта.

Биологическое действие электромагнитного излучения зависит от длины волны, напряженности поля, длительности и режима воздействия. При воздействии на человека электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. Функций щитовидной железы, генеративной функции организма.

Основными источниками электромагнитного излучения во время разработки проекта были электронный ускоритель, ЭВМ, а также электронный микроскоп и испытательная машина.

Согласно [16], временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ, составляют:

- напряженность электрического поля в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц – 25 В/м;

– напряженность электрического поля в диапазоне частот 2 кГц – 400кГц – 2,5 В/м;

– плотность магнитного потока в диапазоне частот 5 Гц – 2кГц – 250 нТл;

– плотность магнитного потока в диапазоне частот 2 кГц – 400кГц – 25 нТл;

– электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.

***Предельно допустимые уровни облучения (по СанПиН 2.2.4.1191-03):***

При 8-часовой работе ПДУ магнитного поля составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup> при 8-часовой работе, при 2-часовой работе – 10-100 мкВт/см<sup>2</sup>, а при 20-минутной работе > 100 мкВт/см<sup>2</sup>.

Исходя из исследования [17], безопасным расстоянием от токоведущего кабеля до жизненно важных органов сварщика являются расстояния 0,1; 0,25 и 0,35 м при токах 200, 300 и 400 А соответственно. Экспериментальные исследования показали, что индукция поля вблизи корпуса выпрямителя ВДУ-506 при токах до 400 А на порядок ниже ПДУ. Это связано с тем, что выпрямитель экранируется металлическим корпусом.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

***СКЗ***

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника заземленным металлическим ограждением;

***СИЗ***

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя:

- Очки из металлической решетки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой

аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

Основным коллективным средством защиты от воздействия ЭМП является экранирование источника электромагнитного излучения или же объекта защиты. При возможности эффективной защитой является удаление источника излучения из рабочей зоны. В качестве средств индивидуальной защиты, при значительном действии электромагнитного поля, используют одежду, которая изготавливается из металлизированной ткани или другой ткани с высокой электропроводностью. Ограничение времени пребывания в зоне действия ЭПМ так же является эффективной защитой.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

В процессе выполнения научного исследования не были превышены нормы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года) [18].

## 7.2 Производственный шум

Шум является общебиологическим раздражителем и в некоторых условиях может оказывать влияние на системы организма человека. Шум на рабочем месте инженера-лаборанта возникает от работы ПК, а также может проникать извне. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению.

Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин изложены в межгосударственном стандарте ГОСТ 12.1.003-2014 "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности" [19].

Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в дБ, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, для офисных помещений уровень звукового давления должен не превышать 82 дБА (по СанПиН 3359-16) [20].

Дополнительные средства для коллективной защиты (СКЗ) от шума извне могут служить современные пластиковые окна и шумоизоляционные панели стен.

Сама панель – это многослойная конструкция (триплекс). Сам ее каркас выполнен из композита на основе натуральных целлюлозных волокон. Плоские слои разделены пространством, которое обеспечивают волнообразные переемычки, по типу гофрированного картона. Все пустоты внутри панели заполнены минеральным гранулятом на базе очищенного кварцевого песка

Шум от работы ПК можно понизить, используя малошумные вентиляторы охлаждения, либо водяное охлаждение системного блока.

В качестве средств индивидуальной защиты (СИЗ) можно использовать не дорогие шумопоглощающие наушники. Так же источниками шума в

лаборатории могут быть работающие микроскопы и испытательные аппараты, для этого рекомендуется защита в виде беруш или специальных наушников.

### **7.3 Освещенность рабочей зоны**

Согласно СП 52.13330.2016 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 200 Лк.

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

Освещение рабочего места – важный фактор создания нормальных условий труда. Согласно СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [21], рабочее место инженера должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение попадает в аудитории через большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное освещение отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Слабая освещенность рабочего места инженера не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с нормативной работой и технической

документацией согласно действующим нормам СП 52.13330.2016 [6] для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность, а для естественного и совмещенного определены коэффициенты естественной освещенности (КЕО).

Нормативное значение КЕО для третьего пояса светового климата (расположение города Томска) в соответствии с СП 52.13330.2016 [21] при третьем разряде зрительной работы (III г: контраст малый и средний, фон - светлый и средний), при естественном боковом освещении КЕО,  $e_n = 1,2 \%$ , освещенность при искусственном освещении – 200 лк, ослепленность 40 ед. и пульсации искусственного освещения не более 15 %. Рекомендуемая освещенность для работы с экраном дисплея составляет 200 лк, а при работе с экраном в сочетании с работой с документами 400 лк согласно СП 52.13330.2016 [21].

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. [22]

Для расчета принимаем что длина помещения  $A=5$  м, а ширина  $B=8$  м, высота  $H=3,5$  м. Высота рабочей поверхности  $h_p = 0,8$  м. Требуемая освещенность по СНиП 23-05- 95  $E=400$  лк.

Коэффициент отражения стен  $R_c = 50 \%$  , потолка  $R_p = 70 \%$ . Коэффициент запаса  $k = 1.5$ , коэффициент неравномерности  $Z = 1.1$

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильник типа ОД,  $\lambda = 1,4$ . принимаем высоту подвеса светильника от уровня потолка  $h_c = 0,2$  м; получаем высоту подвеса светильника над расчетной поверхностью  $h = 3.5 - 0.8 - 0,2 = 2,5$  м;

Определим расстояние между рядами светильников, используя соотношение:

$$L = \lambda * h \quad (22)$$

$$L = 1.4 * 2.5 = 3.5 \text{ м,}$$

При ширине помещения  $A = 5$  м, получаем число рядов светильников:

$$n = A/L = 5/3.5 = 1.4 \sim 2 \quad (23)$$

Определим число светильников в одном ряду:

$$N_p = (B - 2l) / l_{\text{св}}, \quad (24)$$

где  $l_{\text{св}}$  – длина светильника, для светильника типа ОД–2–40  $l_{\text{св}} = 1,23$  м.

$$N_p = (8 - 2 * 1.17) / 1.23 = 4.6 \sim 4,$$

Таким образом, общее число светильников  $N$ :

$$N = N_p * n \quad (25)$$

$$N = 4 * 2 = 8.$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1230мм и шириной 266 мм), при этом разрывы между светильниками в ряду составят от 50 до 500 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 19). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N = 8 * 2 = 16$ .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A + B). \quad (26)$$

$$i = 40 / [2.5 * (5 + 8)], = 1.23.$$

Расчетным уравнением метода коэффициента использования светового потока является [22];

$$\Phi = \frac{E_n * S * K_z * Z}{N * \eta}, \quad (27)$$

По таблицам [22] определяем коэффициент использования светового потока для данной формулы  $\eta = 0,53$ ;

Отсюда получаем:

$$\Phi = \frac{400 * 40 * 1,5 * 1,1}{16 * 0,53} = 3113 \text{ лм}, \quad (28)$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

По таблице 1 [22] выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛБ 40 Вт с потоком 3200 лм. Делаем проверку выполнения условия:[22]

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{ст}}} * 100\% \leq +20\% \quad (29)$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$-10\% \leq \frac{3200 - 3113}{3200} * 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 2.7\% \leq +20\%$$

Потребляемая мощность осветительной установки составит:

$$P = 16 * 40 = 640 \text{ Вт.}$$

Таким образом, выбранная система освещения обеспечивает требуемую освещенность рабочего места. К дополнительным мерам, можно отнести использование местного освещения на рабочих местах (настольные лампы).

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

$$L = Na \cdot L_1 + 2/3 \cdot L_1 + N \cdot L_{\text{лам}};$$

Соответственно расстояние до ламп от стены длиной 8 метров обозначаем  $L_1$ , а для расстояния от стены длиной 5 метров  $L_2$

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

Составим уравнение с 1 неизвестной

$$5000 = L_1 + 2/3 * L_1 + 2 * 266;$$

$$8000 = 3 * L_2 + 2/3 * L_2 + 4 * 1230;$$

Отсюда:

$$5000 - 2 * 266 = L_1 * (1 + 2/3);$$

$$8000 - 4 * 1230 = L_2 * (3 + 2/3);$$

Следственно получаем уравнения:

$$L_1 = \frac{5000 - 2 * 266}{1 + \frac{2}{3}} = 2600; \text{ мм} - \text{расстояние вдоль помещения}$$

$$L_2 = \frac{8000 - 4 * 1230}{3 + \frac{2}{3}} = 840 \text{ мм} - \text{расстояние от торцов помещения}$$

расстояние от торцов – 1:



$$l_1 = 2600/3 = 860 \text{ мм}$$

$$l_2 = 840 / 3 = 280 \text{ мм}$$

Размещаем светильники в 2 ряда по 4 светильника. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

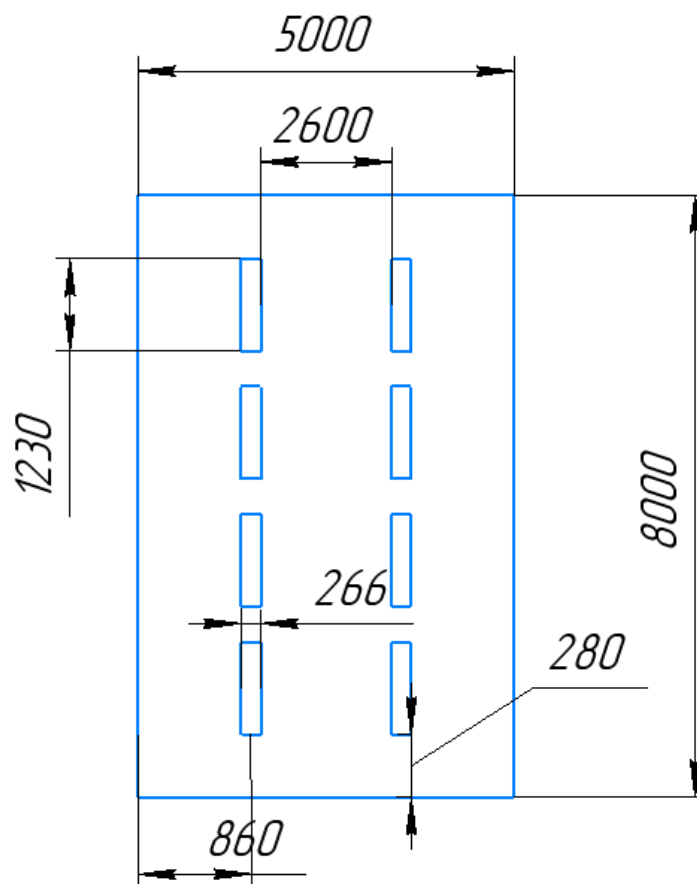


Рисунок 19 – План размещения светильников с люминесцентными лампами., размеры установлены в мм.

#### 7.4 Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещения, который определяется влияющими на человека сочетаниями температуры, влажности и скорости перемещения воздуха, а также температуры окружающих предметов ГОСТ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [23]. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие

санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [24], оптимальные микроклиматические условия создают общее и локальное ощущение теплового комфорта во время восьми часового рабочего дня, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают условия для высокой производительности труда.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны отвечать ГОСТ 12.1.005-88 [24]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости перемещения воздуха приведены в таблице 19 и 20 [24].

Таблица 19 –Оптимальные параметры микроклимата

Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
19-22	40-60	0,2

Таблица 20 –Допустимые параметры микроклимата

Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
15-28	20-80	0,5

В нашем случае рассматривается рабочий кабинет размерами 8х5 м, как показано на рисунке 19, высота кабинета 3,5 м.

Согласно, установленным размерам рабочего кабинета в нем располагается 6 человек. Объем помещения 140 м<sup>3</sup>, общая площадь 40 м<sup>2</sup>, тогда на одного человека приходится 23,3 м<sup>3</sup> и 6,7 м<sup>2</sup>, соответственно, что удовлетворяет санитарным требованиям помещения.

Объем и площадь производственного помещения, которые должны приходиться на каждого работающего, по санитарным нормам – 20 м<sup>3</sup> и 6,5 м<sup>2</sup>, соответственно. Высота помещения должна быть не менее 3 м [24].

Для категории работ I(б), к которым относится работа лаборанта, характерны такие работы, интенсивность энерго-затрат которых равна 121– 150

ккал/ч (140–174 Вт), это работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторыми физическими напряжениями.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года применяется водяное отопление, а в теплый период года для обеспечения защиты от попадания прямых солнечных лучей применяются жалюзи.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена с использованием механической приточно-вытяжную вентиляции, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и трубопроводов.

Во время разработки устройства для сварки дугой горячей в динамическом режиме в 16а корпусе ТПУ микроклимат отвечал нормам изложенным в таблице 19.

Микроклимат аудиторий поддерживается на необходимом уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

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

### **7.5.1 Факторы электрической природы**

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [25].

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые 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.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и до 1000 В при наличии двух и более из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям

Комната, в которой выполнялась работа, относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку она характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, а также электрооборудование и электрические сети выполнены в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и оборудование используемое в помещении и там преобразуется входящее переменное напряжение в постоянный ток напряжением +3,3 В, +5 В, +12 В Но в процессе деятельности с ЭВМ и электронных микроскопов и испытательных машин, работающих от источника тока, может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к металлическим конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. Для предотвращения опасности поражения электрическим током следует соблюдать правила электрической безопасности:

–перед включением ЭВМ в сеть, необходимо визуально проверить ее электрическую часть, на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие токопроводящих частей на корпусе компьютера;

–рабочее место инженера с ЭВМ, электронных микроскопов и испытательных машин, не должны быть размещены вблизи силовых кабелей и высоковольтных трансформаторов;

– ЭВМ, электронный микроскоп и испытательная машина, подключается через блок питания или питающее устройство, которые имеют сетевой фильтр, конденсаторы которого предназначены для шунтирования через провод зануления, и соответствующие трехполосные вилку и розетку высокочастотных помех питающей сети на землю;

– при выявлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической цепи ЭВМ, электронный микроскоп или испытательную машин;

– запрещается подключать корпус ЭВМ к батареям отопления, т.к. при неисправности источника питания ЭВМ батареи могут оказаться под напряжением;

– запрещается при работающей ЭВМ в то же время прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, малые напряжения, электрозащитные средства.

В корпусе 16а ТПУ используются следующие защитные меры от поражения электрическим током при работе с электроустановками:

–защитное заземление – предназначено для предотвращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю» с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током);

– зануление при замыкании на корпус электроустановок – отключение участка электрических цепей;

- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, старше 18 лет, изучившие инструктаж и обученные безопасным приемам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

Сейчас безопасным для человека считается напряжение электрической сети 42 Вольта (до недавнего времени – было 36 В), использующееся для переносных осветительных и бытовых приборов на воздухе и в доме и 12 Вольт, при условии использования переносных светильников и приборов внутри котлов, металлических резервуаров и пр.

Допустимым же для человека током принято считать силу тока, при которой он самостоятельно может освободиться от его воздействия. И он так допуски будут соответствовать  $I = 0.1$  А, а  $R_{\text{заземления}}$  – не более 4 ом.

Максимально допустимая величина тока, проходящего через тело человека, зависит от времени его воздействия. Для тока переменного, с его частотой 50 Гц допустимое напряжение прикосновения по ГОСТ12.1.038-82 составляет всего 2 В, а сила тока - всего 0,3 мА [26]. Для постоянного тока – допустимое напряжение прикосновения всего-то 8В, при силе тока в 1,0 мА (данные приведены для времени воздействия менее 10 мин в сутки).

Безопасные для человека уровни напряжения электрической сети в доме получают из нашей бытовой осветительной сети напряжением 220 В, используя при этом понижающие трансформаторы, или напрямую – используя для этого аккумуляторные батареи номинальным напряжением 12 и 24 Вольта

Так как используется оборудование с напряжением до 1000 в то применяются следующие СИЗ:

В условиях работы на оборудовании с напряжением, не достигающим 1000 вольт,

- используются: специальные прорезиненные перчатки, выполненные с использованием современным полимеров, которые способны длительное время выдерживать большое напряжение;

- изолирующие штанги, выполненные с использованием диэлектрического металла, которые прикрепляются к источнику электричества и служат в качестве основного заземлителя, в результате чего обеспечивается безопасная работа;

- специальные клещи, которые могут использоваться в места. Где применение штанги невозможно. С помощью данных клещей также осуществляются ремонтные мероприятия; специальное оборудование с указателями напряжения, для измерения силы и напряжения тока.

- специальное оборудование с указателями напряжения, для измерения силы и напряжения тока

Также используются дополнительные средства защиты:

К материалам, которые применяются в качестве дополнительных устройств с оборудованием при напряжении менее 1000 В относятся:

- специальная прорезиненная обувь, выполненная с применением современных полимеров, которая надежно обеспечивает защиту персонала;

- подставки, выполненные из дерева для осуществления работы с оборудованием без использования штатного заземления;




- специальные лестницы, выполненные из не проводимого металла, которые применяются при проведении работы на определенной высоте.

При выполнении мер защиты в электроустановках напряжением до 1 кВ классы применяемого электрооборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ Изделия

электротехнические. Общие требования безопасности» [27] следует принимать в соответствии с таблицей 21.

В результате проведенного анализа для предотвращения случаев электротравматизма на рабочем месте, рекомендуется применение электрооборудования класса 0. Помимо этого в качестве дополнительной защиты использовать сетевые фильтры, источники бесперебойного питания, использование закрытых розеток.

Таблица 21 – Применение электрооборудования в электроустановках напряжением до 1 кВ.

Класс по ГОСТ12.2.00 7.0 РМЭК536	Маркировка	Назначение защиты	Условие применения электрооборудования в электроустановке
Класс 0	-	При косвенном прикосновении	1. Применение в непроводящих помещениях. 2. Питание от вторичной обмотки разделительного трансформатора только одного электроприемника
Класс I	Защитный зажим – знак  или буквы PE, или желто-зеленые полосы	При косвенном прикосновении	Присоединение заземляющего зажима электрооборудования к защитному проводнику электроустановки
Класс II	Знак 	При косвенном прикосновении	Независимо от мер защиты принятых в электроустановке
Класс III	Знак 	От прямого и косвенного прикосновения	Питание от безопасного разделительного трансформатора

При анализе рабочего места инженера в 16а корпусе ТПУ отклонений от требований, изложенных выше, не выявлено.



## 7.5.2 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания в свою очередь (как сказано в нормативном документе) - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории АН, БН, ВН, ГН и ДН.

Для нашего помещения установлена категория пожарной опасности В. Одна из наиболее важных задач пожарной защиты — защита помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования 16а корпуса, а также категорию его пожарной опасности, здания корпуса и части здания другого назначения, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости. [28] Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами [28].

Пожары в корпусах ТПУ представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность 16а корпуса ТПУ — небольшие площади помещений. Как известно, пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окислителя и источников зажигания. В помещениях корпуса присутствуют все три основных фактора, необходимые для возникновения пожара [28].

Горючими компонентами помещения 16а корпуса являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей.

Источниками зажигания в 16а корпусе могут быть короткое замыкание и перегрев ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате

различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При постоянном действии эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность.

Разработана инструкция с мероприятиями по обеспечению пожарной безопасности. Такая инструкция ПБ должна быть размещена на каждом рабочем месте.

На рабочем месте запрещается иметь горючие вещества В помещениях запрещается: а) зажигать огонь;

- б) включать электрооборудование, если в помещении пахнет газом;
- в) курить;
- г) сушить что-либо на отопительных приборах;
- д) закрывать вентиляционные отверстия в электроаппаратуре.

Источниками воспламенения являются:

- а) искра при разряде статического электричества
- б) искры от электрооборудования
- в) искры от удара и трения
- г) открытое пламя

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию. Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2.

На стене рядом с местом расположения огнетушителя должна находиться таблица с номерами телефонов экстренного вызова местной и городской пожарной команды [28]

Помещение инженера-лаборанта соответствует нормам пожарной безопасности. В качестве дополнительных мер по предотвращению пожаров предлагается использовать автоматизированные системы оповещения и пожаротушения.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

## **7.6 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.

В 16а корпусе в качестве осветительных приборов приняты люминесцентные лампы, должны быть разработаны меры по их утилизации.

Хранение люминесцентных ламп должно осуществляться в помещении, которое отдельно расположено от мастерских и лабораторий корпуса. Оно должно соответствовать требованиям правил хранения токсичных отходов и санитарных норм. В нем должна быть налажена система вентиляции.

Полы в помещении должны быть изготовлены из водонепроницаемого материала, который препятствует попаданию вредного металла в окружающую

среду. На случай аварийной ситуации в помещении для хранения ламп дневного света должно быть не менее 10 литров воды и запас марганцевого калия.

Отработанные люминесцентные светильники должны быть помещены в плотную тару. В роли ее могут выступать картонные коробки, коробки из ДСП, фанеры, бумажные или полиэтиленовые мешки. В одной картонной коробке должно быть не более 30 единиц продукции. Емкости должны быть расставлены на стеллажах, чтобы обезопасить их от любого механического воздействия. На каждой из них должна быть надпись «Отход 1 кл. опасности. Отработанные люминесцентные лампы».

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

## **7.7 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 сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели на газе (с катализатором). Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В здании должен храниться трехдневный запас воды на всех сотрудников.

В случае отсутствия электроэнергии должны быть предусмотрены генераторы энергии (на дизеле), а также генераторы, способные поддерживать стабильное питание сварочного оборудования.

В сильные морозы возможен выход из строя транспорта. В гаражном парке должны находиться запасные автобусы и микроавтобусы. Также для перевозки людей в удаленные районы нужно предусмотреть менее габаритные автомобили, способные работать в сильные морозы.

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.

## **Графические материалы**

- 1) Освещенность на рабочем месте рисунок 1

### **Заключение по разделу**

В рамках данного раздела были рассмотрены вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению, при выполнении работ в 112 аудитории 16а корпуса ТПУ выполняемых лаборантом. На основании данных исследований были проанализированы вредные и опасные производственные факторы, влияющие на лаборантов в процессе их работы, такие как, отклонения микроклимата, неправильное освещение рабочего места, излучения мониторов, производственные шумы, возможность поражения электрическим током, а также следствие влияния этих

факторов на работающего в виде переутомляемости или профессиональных заболеваний, рассмотрено оформление временной нетрудоспособности на предприятии. С учетом этого приведены рекомендации по организации рабочего места оператора, позволяющие повысить производительность труда и свести к минимуму вероятность профессионального заболевания.

## **Заключение**

В результате исследований, проведенных в данной работе на базе известной научной информации и собственных результатов экспериментов разработаны методики снятия осциллограмм тока и напряжения дуги, горящей в динамическом режиме.

Из экспериментальной части следует что данный способ сварки является перспективным направлением для дальнейшего развития и улучшения имеющихся технологических свойств.

Созданная система питания дуги для сварки в динамическом режиме планируется для сварки изделий малых толщин и корневых слоёв.

## Список литературы

1. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Ред. С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.2/ Под ред. А.И Акулова. 1978 г - 462с.
2. М. А. Федулова. Физико-химические процессы в сварочной дуге. Учебное пособие  
2009 г - 7с.
3. Юхин Н.А. - Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитных газах. 2007 г. 20с.
4. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги (1982) - 34с.
5. Иццохи Я.С., Овчинников Н.И. Импульсные и цифровые устройства. – М.: Советское радио. 1972. – 592 с.
6. Славин Г.А., Столпнер Е.А., Некоторые особенности дуги питаемой кратковременными импульсами тока // Сварочное производство.-1967г.-№2. - С. 3-5
7. Шустов М.А. Практическая схемотехника 3. Преобразователи напряжения (2002) – 64с.
8. Пат. РФ 2294269, МПК В23К 9/09, Н03К 3/53. Устройство для формирования импульсов сварочного тока. Князьков А.Ф., Князьков С.А., Лолу Я.С., Проняев А.Б. – Заявл. 27.10.2005.
9. Бертинов А.И., Мизюрин С.Р., Сериков В.А., Геворкян Р.Л. Энергетика процесса заряда конденсатора от генератора переменного тока через выпрямитель. // Электричество. – 1967. - №8.- С. 54-61
10. Бертинов А.И., Мизюрин С.Р., Ермилов М.А., Сериков В.А., Хомин В.Д. К расчету главных размеров синхронного генератора работающего на импульсную нагрузку. // Электричество. – 1968. – №12. – С. 29-34.
11. [http://www.radioradar.net/hand\\_book/documentation/ind\\_emk.html](http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/ind_emk.html) - Индуктивности и емкости.



12. Легостаев В.А., Пентегов И.В. Энергетические характеристики индуктивных накопителей для сварки. // Автоматическая сварка. – 1973. - №3. – С. 35-39
13. Пентегов И. В. Сравнительный анализ моделей динамической сварочной дуги / И. В Пентегов, В. Н. Сидорец // Автоматическая сварка. – 1989. – № 2. – С. 33–36.
14. Зайцев А.И., Князьков А.Ф. О формировании импульсов тока. Доклады к 1-ой конференции по автоматизации производства. Томск. - 1969. – С. 97 – 104.
15. Бучинский В.Н. Стабильность горения дуги при сварке в смесях аргона с углекислым газом и кислородом. // Автоматическая сварка. – 1982. - №6. – С. 69.
16. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
17. Харчевникова. Е.А. Болотов С.В. Магнитные поля при сварке и защита от их воздействия // Вестник Белорусско-Российского университета – 2008 - №2 – С. 159.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года).
19. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
20. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
21. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
22. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания. ТПУ. 2008. С 11.
23. ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

24. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

25. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

26. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

27. ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

28. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. Охрана окружающей среды: Учеб для техн. вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др.; Под ред. С.В. Булова, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

## Приложение А

(справочное)

### INTRODUCTION. ANALYSIS OF THE MODERN STATE OF DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR WELDING IN THE DYNAMIC MODE

Студенту:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Шалгинов Б.Э.		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Князьков А.Ф.	к.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

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

## INTRODUCTION

**RELEVANCE OF THE WORK.** The actual task for today is to increase the efficiency and improve the quality of manufactured metal products. One of the ways to solve it is the development and implementation of equipment that meets world standards (automated and robotic systems, control flexibility and customization).

Welding is an important technological method of obtaining a permanent connection of structures for different purposes. A promising area is the development of automatic argon-arc welding with a non-consumable electrode of the root layer of a multilayered seam and products of small thicknesses. This method makes it possible to obtain, with the least costs in the shop or installation conditions, permanent welded joints, similar to the base metal in terms of chemical composition, mechanical and operational properties. In terms of mobility and economy, this welding method is superior to electron-beam and laser welding methods.

Despite the superiority of the process of welding with a non-consumable electrode in argon, the performance leaves much to be desired. In this regard, there is a tendency to take measures to increase the effectiveness of this process. There are known methods of increasing efficiency, internal and external, which to some extent improve the process and increase its productivity, but there are significant difficulties in their practical application. One of the most promising directions for solving this problem is compression of the arc, due to its transfer to the dynamic combustion regime. This transfer is carried out due to the flow through the arc gap of short-time powerful unipolar current pulses, of a large amplitude value.

Investigations into the study of the dynamic regime of arc combustion were carried out in due time by Pentegov I.V., Slavin G.A., Lebedev V.K., etc. In their works the influence of the dynamic regime on the geometrical dimensions of the seam, the structure, the duration of the impulses, the mathematical dependences are shown. However, their research did not cover the technical implementation of the welding process and did not draw up technological recommendations.

In accordance with this, the paper analyzes the current state of the arc welding problem in a dynamic mode. A power system has been developed that makes it possible to increase the efficiency of welding with a non-consumable electrode in argon.

**THE PURPOSE OF WORK** is the analysis and development of a pulsed power supply system for a welding arc on the basis of an artificial forming line by a nonconsumable electrode in argon.

## 1. ANALYSIS OF THE MODERN STATE OF DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR WELDING IN THE DYNAMIC MODE

The first power source was invented in the early nineteenth century by the great scientist Alesandro Volt. It was a source of direct current, representing two metal plates immersed in brine.

Since 1947, the year of the invention of the transistor, radionuclide tubes for large semiconductor devices have been actively replaced in power circuits, and since 1962, small-scale integrated circuits have been replaced. This allowed to significantly reduce the size of power supplies, improve the quality of the output voltage, greatly simplify the adjustment of the necessary parameters. At the same time, the power supply units remained large affected by the weight and size of the power transformer.

Since the forties of the twentieth century, at the same time with the transformer, another branch of power sources - impulse ones – has been developed. But the first prerequisites for the prospects of pulsed power circuits appeared only in the seventies, with the advent of high-power transistors. At the moment, switching power supplies has taken a reliable place in radio electronics, having small dimensions they provide a large output power, are easily adjustable and cheap in production.

It is known that the work on the use of pulse power systems for arc welding dates back to the late 50s and early 60s. First of all, the advantage of pulse welding arc power for welders is high stability of the arc welding process, especially of thin-sheet materials. A study of the characteristics of pulsed power systems for an arc based on a tungsten electrode, compared with an arc of direct current, showed that due to the presence of residual plasma in the arc gap, a violation of the stability of arc combustion is not observed. Submission of current impulses imposed on direct current to the welding circuit causes mixing of the liquid metal and changes the structure of the weld metal in a favorable direction when welding with a non-consumable electrode.

To date, a promising direction for improving the efficiency of the welding process with a non-melting electrode is the use of an arc that burns in a dynamic mode. But there is not enough information about this method of welding in the scientific and

technical literature, so active research in the development of this technology is carried out at the Department of Welding production of TPU.

### 1.1. Description process of welding with a non-consumable electrode in an inert gas environment

When welding with non-consumable electrode in shielding gas, a protective gas is supplied through the nozzle, which protects the non-melting electrode and molten metal from the action of active gases of the atmosphere that is shown in Figure 1. Due to the high arc burning temperature, the edges of the welded product begin to melt. The molten metal of the weld pool crystallizes and forms a welding pool.

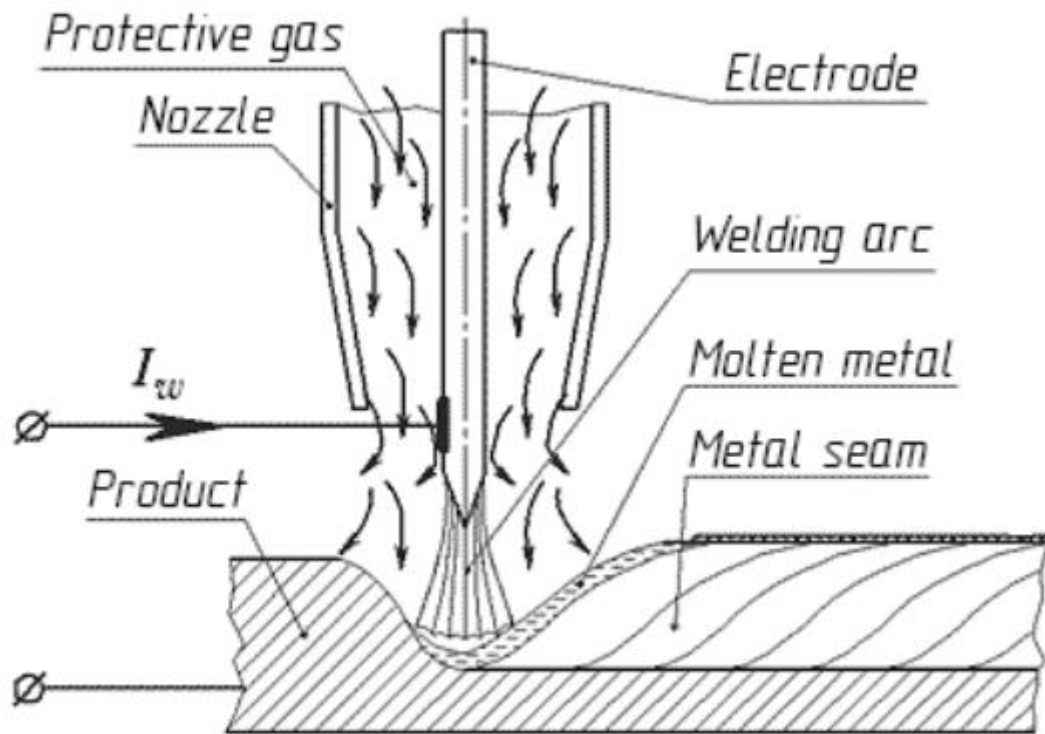


Figure 1 - Welding diagram of non-consumable electrode

Non-melting electrode is made of graphite, tungsten, copper, copper with addition of refractory metal - tungsten, zirconium, and hafnium. Protective gas must be inert to both the electrode metal and the weld metal. The flow of inert gas surrounds the welding zone and protects the molten metal, electrode, and filler rod from the effects of oxygen and nitrogen, which were heated to a high temperature. In addition,

a continuous flow of inert gas reduces the heat-spreading zone near the seam. Argon, helium, a mixture of argon and helium are used as protective gas for welding with a tungsten electrode. Nitrogen can be used for welding copper with a copper electrode or a copper electrode with an addition of hafnium (zirconium). For the reasonable use of expensive inert gases (Ar, He) in the welding of steels a combined protection created [1].

The effect of inert gas creates special conditions for electro-physical processes in the electric arc, which contribute to increasing the stability of the arc. The arc rectifying action also affects electrophysical properties of the arc. Rectifying action of the arc, formed between the electrode and the article, depends on the size and material of the product.

Welding can be performed with and without additive metal. Additive metal can be used before or during the welding process or, as in the case of oxygenacetylene welding, by melting the filler wire of the desired composition.

At a large thickness of the metal, to ensure the penetration of the main seam, welding is conducted along the gap or with cutting edges with the addition of additive metal [1].

## 1.2 The structure of the arc

A welding arc is a powerful, long-lasting electrical discharge between live electrodes in a mixture of gases and vapors. The arc is characterized by a high temperature and high current density. The welding arc is characterized by a high gas temperature and a high current density in the discharge zone [2].

The arc is formed in two ways shown in Figure 2 [3]:

- B short-circuit of the electrodes or the electrode to the product being welded, and then their dilution. After a short circuit of two solid bodies, the electric current passing through the micro-steps on the surface of the electrodes causes rapid heating and evaporation of the contact bridges, as a result of which the metal is



heated to the boiling point and after breaking the metal contact, electrically charged particles appear in the interelectrode gap;

or by electrical breakdown of the air gap using a high-frequency electric discharge. To do this, a high-frequency AC source of high voltage (oscillator) is connected to the welding circuit in parallel with the main power source. The oscillator provides contactless ignition. It is used for low-power arc welding, argon-arc welding at low currents, when welding in protective gases of sheet metal, when the idling voltage of the current source is lowered.

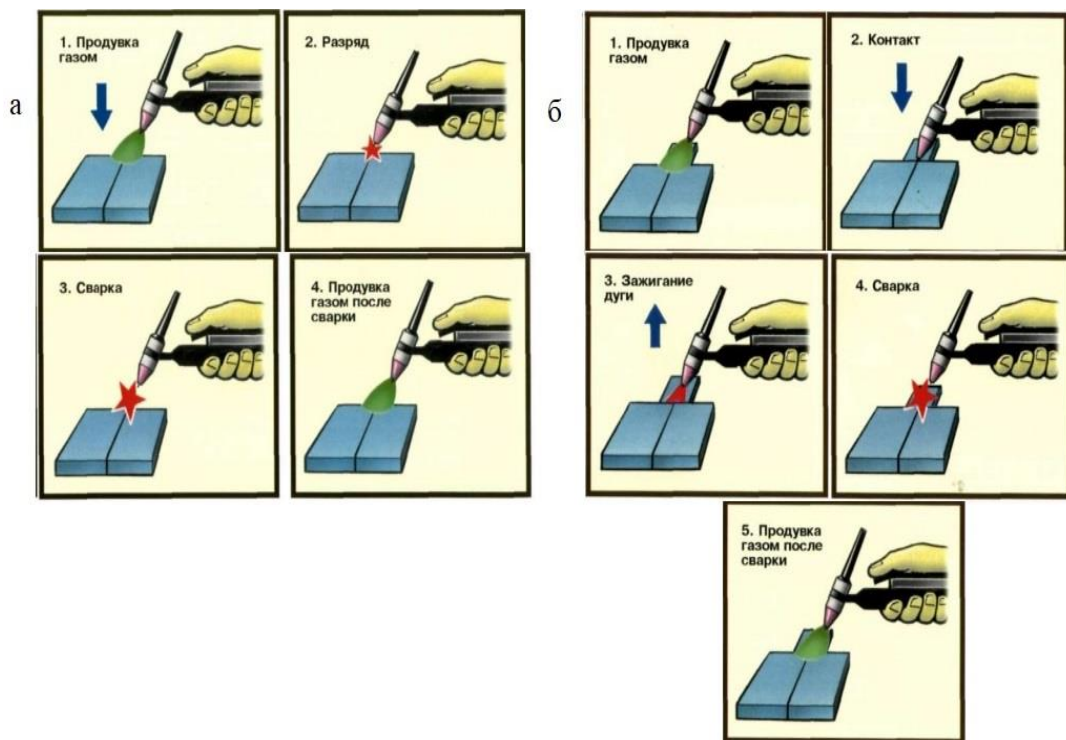


Figure 2. Methods of arc ignition.

An electric arc is a certain volume of cylindrical or conical shape. It is material and consists of specific energy carriers, which they transmit to the welding zone by means of radiant energy (radiation) and convective heat transfer. The energy carriers in the arc are ions (positive and negative particles), electrons (electron mass  $9.03 \cdot 10^{-31}$  kg, charge  $-1.59 \cdot 10^{-19}$  C), molecules and atoms of gases.

When using direct current (the power source for welding is welding generators and rectifiers), one should distinguish between forward and reverse polarity welding. In the first case, the electrode is connected to the negative pole and is called the cathode,

in the second case - to the positive and serves as an anode. When welding on alternating current, each of the electrodes is alternately an anode and a cathode.

The gap between the electrodes is called the arc discharge area or arc gap. The length of the arc gap is called the arc length. If the arc length is 2-3 mm, it is a short arc; if 3-5 mm, it is an average arc; if it is 5 mm or more, it is a long arc. Stability of arc burning depends on arc length [2].

The arc gap is usually divided into three characteristic areas (Figure 3):

- the cathode region 3 adjacent to the cathode 2;
- the anode region 5 adjacent to the anode 1;
- the gap between the cathode and anode regions is the arc column 4.

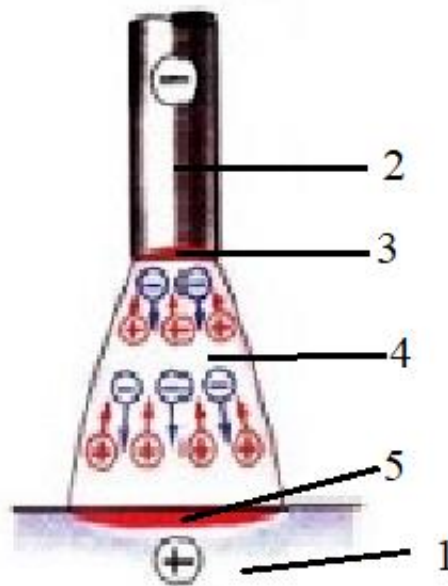


Figure 3. The structure of the electric arc

### 1.2.1 Static characteristics of the arc

The welding arc as an energy consumer and power source of the arc (welding transformer, generator or rectifier) forms a mutually connected energy system.

There are two modes of operation of this system: 1) static, when the values of voltage and current in the system do not change for a long time; 2) transient (dynamic), when the values of voltage and current in the system continuously change. However,

in all cases, the welding arc burning is determined by the current ( $I_D$ ), voltage ( $U_D$ ), the amount of space between the electrodes (the so-called arc gap) and the connection between them.

In the arc gap ( $l_D$ ) (Fig. 4, a), there are three regions: the anode 1, the cathode 2, and the arc column 3. The voltage drop in the anode and cathode regions is constant for these welding conditions. The voltage drop per unit length of the arc column is also a constant value. Therefore, the dependence of the arc voltage on its length is linear (Fig. 4, b).

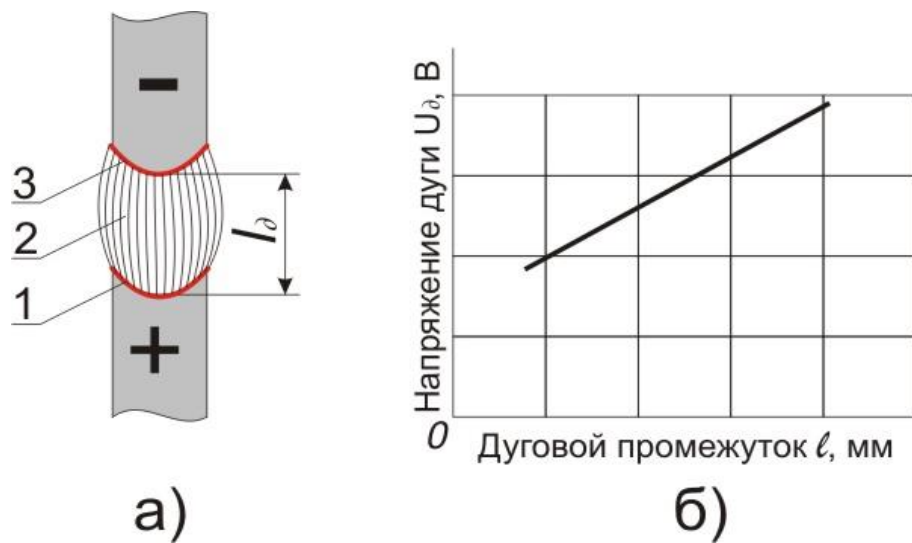


Figure 4. Welding arc burning between non-melting electrodes: a-arc diagram, b-the dependence of the arc voltage ( $U_D$ ) on the value of the arc gap ( $l_D$ ): 1 — the anode region, 2 — the arc column, 3 —the cathode region.

The stability of the welding arc is determined by the ratio between current and voltage. A graphic representation of this relationship (Figure 5) at a constant arc length is called the static volt-ampere characteristic of the arc.

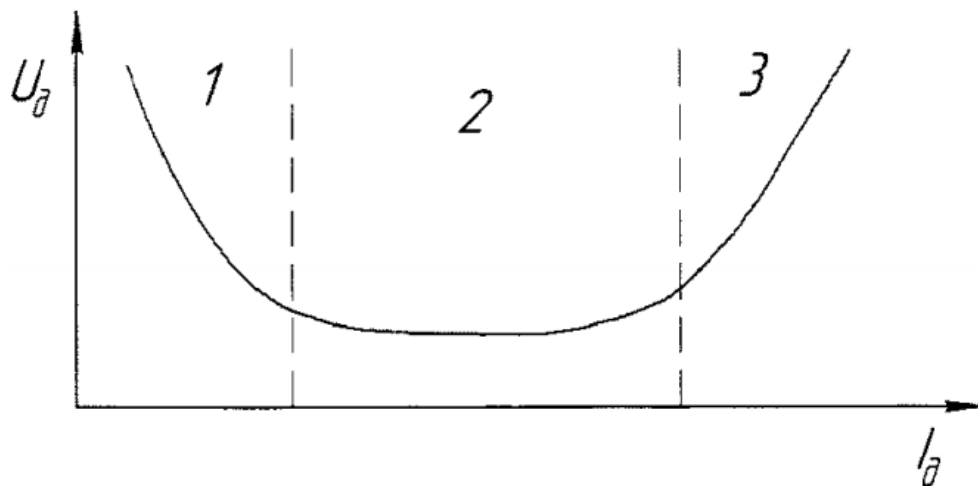


Figure 5 - General view of the volt ampere characteristic of the welding arc

There are three regions in the picture:

1 – region of small regimes (0.5 -10) A, where shape of characteristic is incident.

2 – region of medium modes with moderate current densities (welding with coated electrodes, non-consumable electrode in argon, etc.). In this region, the voltage  $U_a = E_a$ ;  $E_a$  – passive counter - EMF welding arc.

3 – weld area at high current densities. In this region, the voltage of the arc gap can be given in the formula:

$$U_a = E_a + I_a R_a \quad (1)$$

where  $R_a$  - dynamic resistance of the welding arc.

When implementing the welding process, we can distinguish between two main points of the process:

- a. arc excitation;
- b. stable arc combustion, in which a weld seam is formed;

In terms of the mode of operation, two stages are distinguished:

a) state of steady equilibrium, when  $I_a$  and  $U_a$  remain unchanged for a long time. The relationship between the current and the arc voltage in this state is called the statistical volt-ampere characteristic of the arc. The relationship between the current and the voltage of the power supply is called the temporary VI characteristic of the power supply.

b) state of unsteady equilibrium (dynamic mode, with arc excitation or perturbations). The relationship between  $U_a$  and  $I_a$  is called the dynamic characteristic of the arc, and the relationship between the current and the source voltage is the dynamic characteristic of the source, which differ significantly from the static one.

### 1.2.2 Dynamic characteristics.

The increase in the efficiency of the process of welding with a nonconsumable electrode in argon is the burning of an arc in a dynamic mode, which ensures the contraction of the arc column and the adjacent active spots. If the arc is excited at a constant current, combustion process is established  $(1-10) \cdot 10^{-5}$  seconds after it is excited.

With a stable arc discharge, the dimensions of the column of the arc and the active spot on the welded metal, as well as the energy distribution in it, are determined by discharge power, composition of gas atmosphere, thermophysical and geometric parameters of electrodes. It is known that the arc discharge acquires the properties of a stable discharge through  $(1-10) \cdot 10^{-5}$  seconds after its excitation. Time constant of the current rise is 0.002 seconds and is practically independent of the material and thickness of the electrodes.

When arc is energized by repeated current pulses, time for the establishment of a stable discharge can change due to incomplete deionization of the arc discharge in the intervals between pulses. The value of this time interval is due to the completeness of the ionization process during the pulse and deionization into the pause, which in turn depends on the energy and time characteristics of the process.

It can be assumed that if the duration of the current flow between the electrodes is less than the duration of the transition of the arc discharge to a stable state, the diameter of the active spot on the metal does not reach a value corresponding to the instantaneous values of the current and the voltage of the pulses. In this case, the arc discharge will be characterized, under equal other conditions, by a higher density of

input energy and a greater penetrating power. In the future, this mode of arc welding will be called dynamic mode.

### 1.2.3. Parameters of the dynamic mode.

After learning about the static and dynamic characteristics, we can formulate requirements for the desired mode, which must meet the task of improving the efficiency of welding, the arc burning in dynamic mode.

The dynamic characteristic of the power supply is the time required to restore the voltage from zero at the moment of short circuit, which should not be more than 0.05 seconds [4], to the operating voltage. At the same time, the rate of increase in the short-circuit current must also be optimal.

At medium current density, in particular for argon-arc welding with a non-melting electrode, the arc voltage does not depend much on the current, i.e.:

$$\frac{dU_{\text{A}}}{dI} = p_{\text{A}} \approx 0 \quad (2)$$

So the part of the system being developed that feeds the duty arc must have a steeply falling characteristic.

$$\frac{dU_{\text{A}}}{dI} = p_{\text{A}} < 0 \quad (3)$$

This ensures not only the stability of the arc burning mode, but also its elasticity and natural limitation of the short-circuit current.

Besides with a steeply falling external characteristic of the power supply, the deviation of the welding current during changes in the arc length will be insignificant, which favorably affects the constancy of the thermal regime and the formation of the seam.

Based on the preliminary analysis of the parameters of the pulse mode of an arc burning in dynamic mode, according to the literature data [6], it is possible to determine approximately their following values:

- the pulse current must be in the range of 120 to 400A.
- pulse repetition rates from several hundred Hertz to tens of kilohertz.

- the pulse duration must not exceed 500 microseconds.
- the shape of the pulse should be close to rectangular.
- the duty arc current is about 12-15A.
- the characteristic of the duty current source is steeply falling.