

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

Специальность: 15.04.01 Машиностроение

ООП: Машины и технологии сварочного производства

Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка исследовательского источника питания для дуговой сварки

УДК 621.311.6:621.791.75.01

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭИ ИШНКБ	Кулагин А.Е.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способностью использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способностью осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способностью организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способностью к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способностью обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способностью проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способностью обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способностью организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников

ОПК(У)-11	Способностью подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способностью подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способностью разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способностью выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способностью разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способностью оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-8	Способностью организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способностью и готовностью использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности

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

Специальность: 15.04.01 Машиностроение

ООП: Машины и технологии сварочного производства

Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

_____ Гордынец А.С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Выпускной квалификационной работы магистра
--

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович

Тема работы:

Разработка исследовательского источника питания для дуговой сварки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.01.2022, № 10-5/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Требования к разрабатываемому источнику</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>форма вольт – амперной характеристики</td> <td style="text-align: center;">вертикальная</td> </tr> <tr> <td>напряжение холостого хода</td> <td style="text-align: center;">70 В</td> </tr> <tr> <td>диапазон регулирования сварочного тока</td> <td style="text-align: center;">5 – 200 А</td> </tr> <tr> <td>скорость нарастания сварочного тока</td> <td style="text-align: center;">более 110 кА/с</td> </tr> </tbody> </table> <p>Источник питания должен быть безопасным в процессе эксплуатации для окружающей среды и людей, находящихся в непосредственной близости от него.</p>	форма вольт – амперной характеристики	вертикальная	напряжение холостого хода	70 В	диапазон регулирования сварочного тока	5 – 200 А	скорость нарастания сварочного тока	более 110 кА/с
форма вольт – амперной характеристики	вертикальная								
напряжение холостого хода	70 В								
диапазон регулирования сварочного тока	5 – 200 А								
скорость нарастания сварочного тока	более 110 кА/с								

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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"> 1. Обзор литературы 2. Объект и методы исследования 3. Расчеты и аналитика 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность 6. Заключение
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p style="text-align: center;">1 – 3</p>	<p style="text-align: center;">Гордынец А.С., к.т.н., Доцент ОЭИ ИШНКБ</p>
<p style="text-align: center;">4</p>	<p style="text-align: center;">Верховская М.В., к.э.н., доцент ОСГН ШБИП</p>
<p style="text-align: center;">5</p>	<p style="text-align: center;">Федорчук Ю.М., д.т.н. профессор ТПУ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</p>	
<p style="text-align: center;">1. Обзор литературы</p>	
<p style="text-align: center;">2. Объект и методы исследования</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p style="text-align: center;">10.01.2022</p>
--	---

Задание выдал руководитель

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Тариф на электроэнергию – 3,85 руб. за 1 кВт·ч Бюджет затрат НИИ - 214 669.8 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– SWOT-анализ; – оценка научного уровня исследования; – оценка организационной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Машиностроение

Тема дипломной работы: «Разработка исследовательского источника питания для дуговой сварки»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является разработка исследовательского источника питания для дуговой сварки. Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения: 10*10 м Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, осциллограф, паяльная станция.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности 	1. Вредные факторы: 1.1 Недостаточная освещенность; 1.2 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; 1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 2. Опасные факторы: 2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R _{заземления} , СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; 2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов,) и способы их утилизации;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 	Рассмотрены 2 ситуации ЧС:

<ul style="list-style-type: none"> • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, теплокоммуникациях, водоканале, транспорте);</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
4. Перечень нормативно-технической документации.	ГОСТы, СанПиНы, СНИПы

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

Задание выдал:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Куренбин И.А.		

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

Специальность: 15.04.01 Машиностроение

ООП: Машины и технологии сварочного производства

Отделение электронной инженерии

Период выполнения осенний/весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Выпускная квалификационная работа магистра
--

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающегося:

Группа	ФИО
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович

Тема работы:

Разработка исследовательского источника питания для дуговой сварки

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.01.2022	1. Обзор литературы	20
09.02.2022	2. Объект и методы исследования	20
25.03.2022	3. Расчеты и аналитика	20
10.05.2022	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
24.05.2022	5. Социальная ответственность	10
31.05.2022	Английский язык	10
04.06.2022	Заключение	5
03.06.2022	Презентация	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гордынец А.С.	К.Т.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 101 с., 19 рис., 22 табл., 20 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: источник тока, статические характеристики, динамические характеристики, стабильность, технологичность.

Объектом разработки является исследовательский источник питания для дуговой сварки.

Цель работы – исследование источников, применяемых для дуговой сварки и разработка универсального исследовательского источника питания.

В рамках выполнения работы были рассмотрены вопросы физической и технологической стабильности процесса дуговой сварки, а также основные требования, предъявляемые к источникам для различных способов дуговой сварки. На основании литературного обзора были предъявлены требования к разрабатываемому источнику, после чего проведены необходимые расчеты, спроектирован и собран исследовательский источник питания. Так же были проведены испытания источника на соответствие предъявленным требованиям.

Основные конструктивные и технологические характеристики: форма вольт – амперной характеристики – вертикальная; напряжение холостого хода – 70 В; диапазон регулирования сварочного тока – 5-200 А; скорость нарастания сварочного тока – 110 кА/с.

В дальнейшем планируется использование источника питания для исследования новых и развития технологических возможностей существующих способов сварки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

ВКР – выпускная квалификационная работа;

ВАХ – вольт – амперная характеристика;

ХХ – холостой ход;

РДС – ручная дуговая сварка;

ПК – персональный компьютер;

ИП – источник питания;

ОТК – отдел технического контроля;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

СКЗ – средства коллективной защиты;

СИЗ – средства индивидуальной защиты.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1) ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.

2) ГОСТ Р 2.2.2006-05 Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Стандартинформ, 2015. – 45 с.

3) СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. / Разработаны: НИИ медицины труда РАМН / Афанасьева Р.Ф., Репин Г.Н., Михайлова Н.С., 1996. – 45 с.

- 4) ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 5) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы / Минздрав России / Москва 2003. – 27 с.
- 6) СП 52.13330.2016 Свод правил. Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. / НИИСФ РААСН / Дата введения 2017 – 35с.
- 7) ОСТ 54 30013-83. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности. // Дата принятия 04.04.1983 // ОСТ СССР (Отраслевой Стандарт СССР) – 25с.
- 8) СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" / Минздрав России / Москва 21 2016 год. – 26 с.
- 9) ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов. //М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 – 42с.
- 10) Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. // Минюст России 01.08.2003 – 25с.
- 11) СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы // Госстрой СССР 01.01.1987 – 29с.
- 12) СанПиН 2.2.4./2.1.8.582-96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения. Санитарные правила и нормы / Минздрав России / Москва 1997 год. – 23 с.
- 13) ГОСТ 12.1.030-81 Электробезопасность защитное заземление. Зануление. / Государственный комитет СССР/ Переиздание от 2001 года – 19 с.

Оглавление

Введение.....	16
1 Обзор литературы	17
1.1 Физические основы сварки плавлением	17
1.1.1 Физическая стабильность дугового разряда.....	18
1.1.2 Технологическая стабильность процесса сварки	20
1.2 Виды сварочного оборудования.....	21
1.2.1 Источники для ручной дуговой сварки	22
1.2.2 Источники для механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе	23
1.2.3 Источники для механизированной сварки под флюсом.....	25
1.3 Методика измерения статических и динамических характеристик источников питания дуги	26
Вывод.....	29
2 Объект и методы исследования	30
2.1 Требования, предъявляемые к источнику питания сварочной дуги	30
2.2 Формирование статической внешней вольт – амперной характеристики	32
3 Расчеты и аналитика	35
3.1 Функциональная схема источника.....	35
3.2 Силовая часть источника питания	36
3.3 Реализация управления источником питания.....	40
3.4 Измерение статических характеристик источника	41
3.5 Измерение динамических характеристик источника.....	42

3.6 Проведение серии испытаний.....	45
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	48
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	48
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	48
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	49
4.1.3 SWOT – анализ.....	51
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	54
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	54
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	55
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	56
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	58
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	59
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	60
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	60
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	62
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	62
4.3.6 Накладные расходы	63
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	64
4.5 Выводы по разделу	66
5 Раздел «Социальная ответственность»	67
5.1 Производственная безопасность	67

5.1.1 Анализ освещенность рабочего помещения	67
5.2 Анализ микроклимата рабочего помещения.....	71
5.3 Анализ уровня шума на рабочем месте	72
5.4 Анализ уровня электромагнитного излучения	73
5.5 Опасные факторы.....	75
5.5.1 Электробезопасность	75
5.5.2 Пожаробезопасность.....	76
5.6 Экологическая безопасность	79
5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	80
Перечень нормативно – технической документации	82
Заключение	84
Список используемых источников.....	85
Приложение A Development of a research power source for arc welding	87
Introduction.....	88
6.1.1 The Physical Stability of Arc Discharge.....	90
6.1.2 Process stability of the welding process	91
6.2 Types of welding equipment.....	92
6.2.1 Sources for manual arc welding.....	93
6.3 Methodology for measuring static and dynamic characteristics of arc power supplies.....	96
6.4 Requirements for the welding arc power source	99
Conclusions.....	101

Введение

Исследования в области сварочного производства связаны с проведением экспериментов, для этого необходимо соответствующее техническое оснащение. В частности, исследования дуговых процессов сварки сопряжено с применением специализированных источников питания технические характеристики которых должны соответствовать специфике проводимых исследований.

Источники питания, представленные на рынке, отвечают требованиям конкретного способа сварки. А изучение новых и расширение технологических возможностей существующий способов сварки требует источников питания с улучшенными характеристиками.

В таком случае приходится сталкивается со следующими проблемами: изготовление специализированного источника питания трудозатратный процесс, требующий значительных финансовых вложений. Так же в начале исследования сложно предъявить конкретные требования, составить четкое техническое задания для изготовления источника.

Для решения этих проблем было решено разработать исследовательский источник питания для дуговой сварки. Основными требованиями для источника являлись: широкий диапазон регулировки выходного тока, возможность регулировки статической вольт – амперной характеристики, высокие динамические характеристики, возможность работы в импульсном режиме, наличие интерфейса для реализации связи с компьютером, автоматическая регистрация сварочного тока и напряжения дуги.

В литературном обзоре будет рассматриваются общие требования, предъявляемые к источникам питания дуги для различных способов сварки и вопросы, связанные с измерением характеристик источников питания.

1 Обзор литературы

1.1 Физические основы сварки плавлением

Сварка — процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми изделиями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или совместном действии того и другого. Различают сварку в жидкой фазе — плавлением и в твердой фазе — давлением. Наибольшее развитие и применение получили способы сварки плавлением. [5]

В общем случае процесс сварки плавлением можно разделить на несколько этапов: нагрев свариваемых поверхностей до температуры плавления, образование общей для соединяемых деталей сварочной ванны, кристаллизация сварочной ванны, металл которой и образует сварочный шов. Стабильность протекания этих этапов и соответственно качество получаемого соединения зависит от стабильности теплового потока.

В зависимости от способа сварки, источником тепла может быть электронный луч (пучок высокоэнергетических частиц), лазерный луч, газовое пламя, но чаще всего применяют дуговой разряд, так как его значительно легче получить и поддерживать, чем электронный и лазерный луч. И в отличие от газового пламени дуговой разряд имеет более высокую концентрацию энергии. Основным же недостатком является то, что без принятия специальных мер тепловой поток дугового разряда является нестабильным, что повышает вероятность появления дефектов сварных соединений. [1]

На стабильность дуги оказывают влияние внешние и внутренние воздействия, как контролируемые — управляющие, так и не контролируемые — возмущающие. К последним относятся удлинение дуги, неравномерность расплавления электрода, изменение питающего напряжения и многие другие.

При всех воздействиях процесс сварки должен быть физически и технологически стабилен.

Для сварочного процесса различают два вида *стабильности*:

Физическая стабильность – существование дугового разряда непрерывно в течении необходимого времени, и как следствие получение стабильного теплового потока, обеспечивающего равномерное плавление металла. [5]

Технологическая стабильность – получение предсказуемых по качеству и свойствам соединений без дефектов при воздействии возмущений, обусловленных технологией способа сварки.

При этом технологическая стабильность не возможна без физической стабильности дуги.

1.1.1 Физическая стабильность дугового разряда

Любой процесс можно рассмотреть с точки зрения поступающей в систему и расходуемой ею энергией. Стабильной система считается в том случае, когда поступающая в систему энергия равняется расходуемой. Дуговой разряд является преобразователем электрической энергии в тепловую. Дуга получает энергию от источника питания, а основная часть тепловой энергии, выделяемой дуговым разрядом, расходуется на плавление металла в зоне сварки. Стабильность дугового разряда рассматривают в системе «дуга – источник». [5]

Традиционный подход к обеспечению стабильности дуги подразумевает применение источника с требуемой статической вольт – амперной характеристикой (ВАХ), позволяющей стабилизировать электрические параметры дугового разряда и, как следствие, тепловой поток при различных возмущениях. Условия физической стабильности дуги в системе «дуга – источник» были изложены Г. И. Лесковым. [5]

Отклонение тока, возникающие при воздействии возмущения, описывается уравнением:

$$i = i_0 \exp \left[-\frac{1}{L} \left(\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} \right) t \right] \quad (1.1)$$

где i_0 – ток горения дуги перед воздействием возмущения;

L – индуктивность сварочной цепи;

$\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I}$ – производная ВАХ дуги;

$\frac{\partial U_u}{\partial I}$ – производная ВАХ источника.

Из формулы следует, что возникающие в системе «дуга – источник» случайные малые возмущения тока с максимальным значением i_0 могут либо нарастать со временем ($i > i_0$), либо убывать ($i \rightarrow 0$). Это зависит от показателя экспоненты. Поскольку индуктивность цепи всегда положительна, то знак определяется разностью $\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} = k$, зависящей от расположения к внешним характеристикам дуги и источника тока в анализируемой точке пересечения характеристик $U_u(I)$ и $U_{\partial}(I)$. Когда разность больше нуля, экспонента $\exp\left(-\frac{k}{L}t\right)$ становится убывающей и возникающее возмущение тока стремится к нулю. В таком случае система устойчива. Если разность $\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} = k$ отрицательна, экспонента становится возрастающей, т.е. ток растет со временем и случайное возмущение тока приводит к его дальнейшему изменению, следовательно система становится неустойчивой. [5]

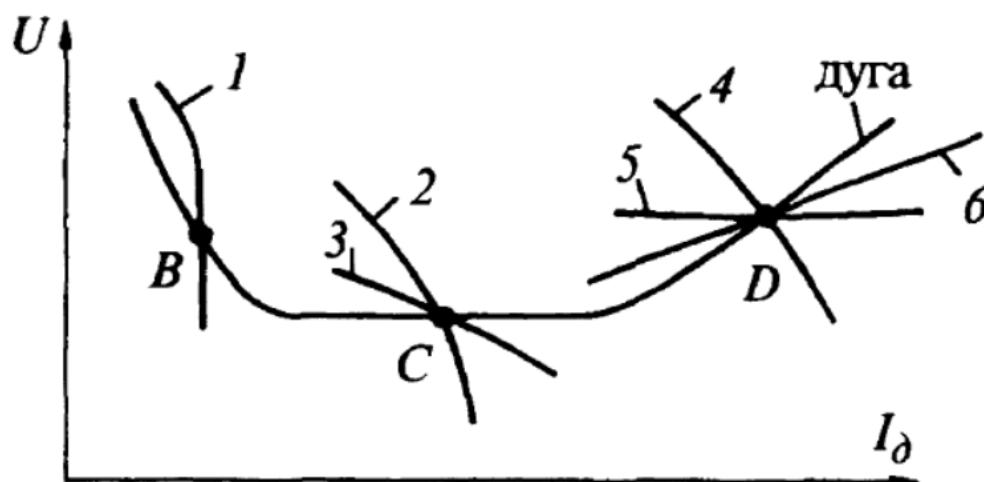


Рисунок 1.1 – Статическая ВАХ дуги с различными вариантами ВАХ источника

Требуемой формы статической вольт – амперной характеристики добиваются различными техническими решениями.

1.1.2 Технологическая стабильность процесса сварки

Помимо обеспечения физической стабильности горения дуги необходимо рассматривать технологическую стабильность процесса сварки.

В последние десятилетия существенные изменения произошли в технологиях сварки плавящимся электродом с применением модулированного сварочного тока, что позволило управлять плавлением и контролировать процесс переноса электродного металла. Периодически чередующиеся этапы горения дуги и коротких замыканий создают возмущения, которые вызывают переходные электрические процессы в сварочной цепи. Это позволяет говорить о технологической стабильности процесса, не смешивая ее с понятием физической стабильности дуги как длительной неизменности характера протекающих процессов. При этом математическое описание этих электрических процессов невозможно выполнить, используя только статические ВАХ источника питания. Следовательно, необходимо оперировать

динамическим характеристикам источников питания, где дополнительными параметрами являются время (изменение во времени параметра режима сварки) и в некоторых случаях длина дуги (напряжение дуги во время переноса электродного металла). Эти обстоятельства требуют дальнейших исследований с целью формулирования критериев пригодности сварочных источников питания для различных импульсных процессов сварки.

Для каждого способа сварки применяется свое оборудование, отличающиеся как по техническим, так и по электрическим параметрам. Требования к оборудованию предъявляются исходя из специфики плавления и переноса металла для различных видов дуговой сварки.

1.2 Виды сварочного оборудования

Глобально все виды дуговой сварки можно разделить по способу подачи плавящегося электрода или присадочного материала в зону сварки/наплавки на две категории: **Ручная, Механизированная.**

При ручной подаче физическая и технологическая стабильность процесса в значительной степени зависит от сварщика, поэтому применяется падающая статическая ВАХ источника питания, позволяющая частично компенсировать возмущения, обусловленные человеческим фактором. [4]

При механизированной подаче от сварщика зависит момент инициализации начала процесса и частичное участие в обеспечении технологической стабильности. Часть задач выполняется вспомогательными механизмами. Для такого процесса характерна жесткая статическая ВАХ источника, позволяющая реализовать принципы саморегулирования длины межэлектродного промежутка.

Рассмотрим подробно виды, относящиеся к ручной дуговой и к механизированной сварке. К ним относятся:

Источники для ручной дуговой сварки;

Источники для механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе;

Источники для механизированной сварки под флюсом.

1.2.1 Источники для ручной дуговой сварки

Ручная дуговая сварка (РДС) производится покрытыми электродами диаметром от 1,6 до 12,5 мм на токах от 25 до 1000 А. Напряжение дуги при этом составляет от 20 до 44 В. Характеристика рабочей нагрузки соответствует уравнению $U_d = 20 + 0,04i_d$. [6, 7]

Степень пригодности источника питания для РДС определяется на основе анализа следующих его характеристик: наклона внешней ВАХ, напряжения холостого хода, диапазона регулирования сварочного тока, отношение тока короткого замыкания к току горения дуги.

Внешняя характеристика должны быть падающей. Рекомендуемый угол наклона ВАХ должен находиться в пределах от -0.1 до -5 В/А. При таком наклоне ВАХ обеспечивается физическая устойчивость горения дуги. [4]

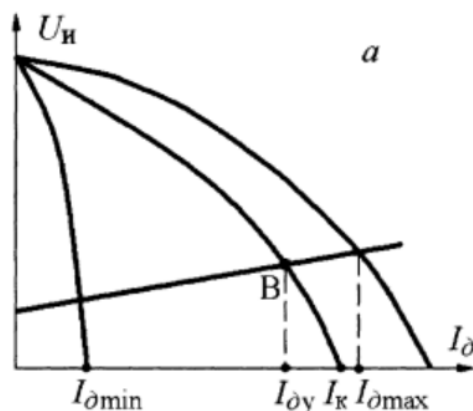


Рисунок 1.2 – Статическая ВАХ источника для ручной дуговой сварки

Диапазон напряжений холостого хода от 40 до 113 В. Нижний предел обусловлен надежностью зажигания дуги, а верхний ограничивается из соображений безопасности. [7]

Диапазон регулирования сварочного тока от 25 до 1000 А.

Требование к величине тока короткого замыкания по отношению к установленному значению сварочного тока составляет 1,2 – 2. При таком соотношении обеспечивается технологическая устойчивость процесса РДС при умеренных потерях металла на разбрызгивание. Если наклон статической ВАХ источника питания находится в рекомендуемом диапазоне, требование к соотношению выполняется автоматически. [4]

1.2.2 Источники для механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе

Сварка в углекислом газе, аргоне и их смесях с кислородом и другими газами ведется на постоянном токе с использованием проволоки диаметром от 0,5 до 2,4 мм (в аргоне до 5 мм) на токах от 50 до 600 А при напряжении от 15 до 44 В. Характеристика условной рабочей нагрузки соответствует уравнению $U_d = 14 + 0,05i_d$. [6,7]

Технологическая устойчивость процесса сварки достигается благодаря использованию принципа саморегулирования, поскольку при сварке в защитных газах в подавляющем большинстве случаев применяются аппараты с постоянной скоростью подачи проволоки. Для сварки в углекислом газе характерно значительное разбрызгивание электродного металла. Выделяют следующие разновидности процесса, оказывающие влияние на выбор источника: сварка в углекислом газе короткой дугой с частыми технологическими короткими замыканиями, сварка в углекислом газе и аргоне длинной дугой с крупнокапельным переносом, сварка в аргоне со струйным переносом, импульсно-дуговая сварка в аргоне. [4]

При сварке в углекислом газе степень пригодности источника питания определяется на основе анализа следующих его статических характеристик: статической ВАХ, напряжения холостого хода и диапазона регулирования сварочного напряжения. [4]

Внешняя характеристика такого источника жесткая. Наклон должен быть от +0,04 до -0,07 В/А. При таком наклоне ВАХ напряжение холостого хода не значительно отличается от настроенного сварочного напряжения, что значительно затрудняет зажигание дуги коротким замыканием. Для улучшения зажигания вводят систему подпитки, позволяющую увеличить напряжение холостого хода до 80 – 100 В. [7]

Касательно динамических характеристик источников для сварки в углекислом газе нормируется скорость нарастания силы тока короткого замыкания. Оптимальные для большинства случаев скорости нарастания силы тока короткого замыкания равны 70 – 110 кА/с. [4]

При аргоно – дуговой сварке плавящимся электродом дуга значительно устойчивей, крупнокапельный перенос при низких токах идет гораздо спокойнее, а более благоприятный струйный перенос достигается простыми технологическими приемами (увеличением плотности тока, нанесением активирующих покрытий на проволоку). Поэтому при сварке тонкой проволокой аппаратом системы АРДС используют источники с жесткой и даже пологопадающей характеристикой от -0,04 до -0,2 В/А со сравнительно низкой скоростью нарастания тока короткого замыкания 10 – 30 кА/с. При сварке проволокой большого диаметра (более 3 – 4 мм) рекомендуется использовать аппарат системы автоматической регулировки напряжения дуги (АРНД) в сочетании с источником, имеющим крутопадающую характеристику. [4]

Импульсно – дуговая сварка в аргоне и его смесях позволяет реализовать управляемый перенос металла. Главным достоинством является возможность в 2 – 3 раза уменьшить нижний предел тока, при котором еще обеспечивается

мелкокапельный перенос, и, следовательно, сваривать металл сравнительно малой толщины без опасности прожога и недопустимого разбрызгивания.

Выбор статических и динамических характеристик источников диктуется диаметром электрода и методом сварки. Импульсно – дуговая сварка включает в себя много методов значительно отличающихся друг от друга технологически. Это в свою очередь диктует различные требования к оборудованию.

1.2.3 Источники для механизированной сварки под флюсом

Сварка под флюсом выполняется проволокой от 1 до 6 мм на токе от 150 до 2000 А при напряжении от 22 до 44 В. График условной рабочей нагрузки соответствует отношению $U_d = 20 + 0,04i_d$, а при токе свыше 600 А напряжение дуги считается постоянным и равным 44 В. Для поддержания непрерывного горения дуги при сварке электродом до 4 – 5 мм используют эффект саморегулирования, при большем диаметре применяется автоматическое регулирование напряжения дуги. Требования к источнику существенно различаются в зависимости от способа поддержания дуги. [6, 7]

При сварке с постоянной скоростью подачи проволоки, работающим по принципу саморегулирования, источник должен иметь жесткую или пологопадающую характеристику с наклоном от -0,01 до -0,1 В/А. [4]

При сварке аппаратом с автоматическим регулированием напряжения дуги источник должен иметь падающую характеристику от -0,07 до -0,3 В/А. Сила тока короткого замыкания составляет (1,5 – 2) I_d , поскольку зажигание выполняется с отводом электрода от изделия. Напряжение дуги задается автоматическом регулятором, поэтому регулятор источника используется для настройки тока. [4]

Обобщив информацию по источникам питания, можно сделать вывод, что к источникам для каждого способа сварки предъявляются требования к

статическим и динамическим характеристикам, которые влияют на технологические особенности способа сварки. Вследствие этого, возникает необходимость измерения статических и динамических характеристик источников. В соответствии с документом Национального Агентства Контроля Сварки РД 03-614-03 [19] специальным и практическим испытаниям подлежат все экземпляры аттестуемого оборудования у потребителя и по крайней мере два экземпляра, но не менее 5 % от каждой партии у производителя такого оборудования.

1.3 Методика измерения статических и динамических характеристик источников питания дуги

Для оценки качества оборудования и его соответствия заявленным требованиям необходимо фиксировать выходные статические и динамические характеристики источников питания дуги. Такие измерения удобно выполнять без использования дуги, потому что она является нелинейной электрической нагрузкой и сопровождается многочисленными возмущениями, затрудняющими анализ статических и динамических характеристик источника. В качестве нагрузки вместо дуги, реализуя принцип имитационного моделирования, обычно применяют балластный реостат — мощный линейный резистор с переменным активным сопротивлением. [2]

Итогом снятия статических характеристик (ВАХ) является график, отображающий взаимосвязь $I_{св}$ и $U_{св}$, полученных при постепенном изменении сопротивления реостата от режима холостого хода к нагрузке и короткому замыканию (рисунок 1.3 б). Динамические характеристики сварочного оборудования фиксируются на графиках переходных процессов $I_{св}(t)$ и $U_{св}(t)$ при переключениях режимов «холостой ход–нагрузка–короткое замыкание».

При массовых испытаниях оборудования данные измерения можно автоматизировать. Подобные измерители разработаны и для испытания сварочного оборудования в технологическом (сварочном) эксперименте. [8]

Одним из примеров подобного оборудования является измеритель статических внешних характеристик AWS-024, предназначенный для измерения, запоминания и передачи на ЭВМ вольт - амперных характеристик источников на ток до 500 А. ВАХ измеряется на активной нагрузке — охлаждаемом балластном реостате с линейно изменяемым сопротивлением от 4 Ом до 0 (короткое замыкание) с шагом 0,02 Ом. [18]

Коммутацию встроенных балластных резисторов осуществляют электронными ключами. Для измерения тока в цепи нагрузки и напряжения на выходных клеммах источника питания служит двухканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Управление процессом измерения осуществляется встроенным микроконтроллером. Для визуализации параметров ВВАХ разработано программное обеспечение, работающее под ОС WINDOWS 98/2000/XP. Основные технические характеристики измерителя AWS-024 приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики измерителя AWS-024 [18]

Диапазон измеряемых напряжений, В	0...90
Диапазон измеряемого тока, А	0...500
Класс точности измерения напряжения	1,5
Класс точности измерения тока	1,0
Число точек измерения	128
Время измерения, с	10
Емкость съемного запоминающего устройства, кол-во записей	32
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	50
Максимальная рассеиваемая мощность, кВт	15
Габаритные размеры, мм	220×220×400
Масса, кг	13

К недостаткам измерителя AWS-024 можно отнести относительно малую рассеиваемую мощность и применение в качестве нагрузки резистивных элементов, что ограничивает его применение для тестирования источников питания с номинальным током более 300 А. Кроме того, не предусмотрен оперативный контроль параметров измерений соответствующей ВАХ, что обусловлено отсутствием дисплея и необходимых органов управления.

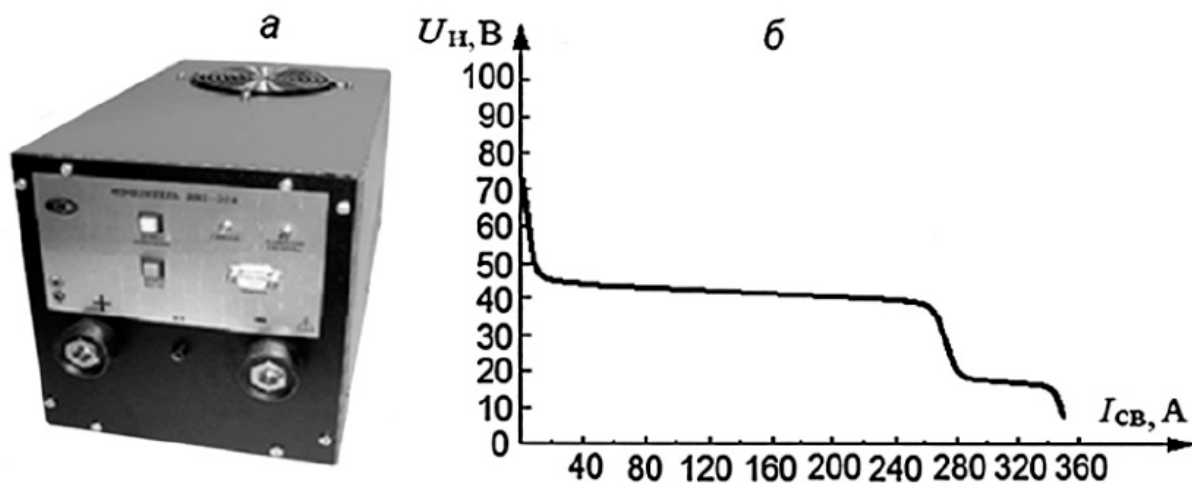


Рисунок 1.3 – Измеритель AWS-024: а — внешний вид,
б — результат измерения ВАХ инверторного источника DC-250

Вывод

1. Наибольшее распространение получила сварка плавлением, где в качестве источника тепла используется дуговой разряд.

2. Качество получаемых сварных соединений зависит от выполнения множества условий основными из которых являются физическая и технологическая стабильность процесса сварки.

3. Оборудование для различных способов дуговой сварки характеризуется определенными статическими и динамическими характеристиками. При этом в специальной литературе сформулированы требования к форме статических внешних вольт - амперных характеристик. Динамические характеристики источника питания, такие как реакция на изменение сопротивления нагрузки и управляющее воздействие не нормируются конкретными величинами, либо не учитываются вовсе.

4. Развитие сварочного оборудования направлено на повышение динамических характеристик источников питания, что позволяет более точно контролировать процессы плавления металла и разрабатывать новые способы сварки.

5. Контроль технического состояния сварочных источников питания осуществляется путем прямого измерения его статических внешних ВАХ по стандартной методике. При этом динамические характеристики в силу отсутствия обще принятой методики измерения не контролируются.

Для дальнейшего развития сварочного оборудования и разработки новых способов дуговой сварки необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать источник питания с отсутствием реакции на изменение сопротивления нагрузки, т.е. приближенный к идеальному источнику тока.

2. Разработать аналоговый интерфейс подключения источника питания к системе управления процессом сварки.

3. Создать методику измерения динамических характеристик.

2 Объект и методы исследования

2.1 Требования, предъявляемые к источнику питания сварочной дуги

В разделе 1 были рассмотрены требования, предъявляемые к источникам питания, для различных способов дуговой сварки, к основным из которых относятся такие характеристики как: форма статической вольт – амперной характеристики, напряжение холостого хода, диапазон регулирования сварочного тока, а также динамическая характеристика – скорость нарастания тока при коротком замыкании.

Разрабатываемый источник питания должен быть адаптируемым для основных, применяемых в промышленности, способов дуговой сварки. Следовательно, необходимо обобщить рассмотренные требования и сформулировать конкретные характеристики для источника питания.

Рассмотрим последовательно все основные характеристики:

1. Источник питания должен иметь вертикальную статическую вольт – амперную характеристику, что исключит реакцию источника на изменение сопротивления нагрузки (см. раздел 2.2).

2. Напряжение холостого хода из соображений безопасности не должно превышать 113 В [6]. При этом минимальное напряжение холостого хода должно обеспечивать стабильное зажигание и горение дуги. Напряжение холостого хода промышленного оборудования чаще всего находится в пределах 50 – 80 В. Для разрабатываемого источника решено было выбрать напряжение холостого хода равным 70 В.

3. Диапазон регулирования сварочного тока должен позволять проводить работать с наиболее часто используемыми диаметрами электродов и сварочной проволоки.

При ручной дуговой сварке применяют электроды диаметром от 2 до 4 мм, что соответствует диапазону сварочного тока от 30 до 200 А. Для механизированной сварки плавящимся электродом в среде защитных газов диаметр проволоки в основном составляет 0,6 до 1,2 мм, что соответствует диапазону сварочного тока от 50 до 200 А. При сварке неплавящимся электродом в среде защитных газов минимальное значение сварочного тока 5 А. Следовательно, источник питания должен обеспечивать регулирование тока в сварочной цепи от 5 до 200 А.

4. Скорость нарастания тока в сварочной цепи в период короткого замыкания межэлектродного промежутка должна быть более 110 кА/с. [2]

Таблица 2.1 – Требования к разрабатываемому источнику

нормируемый параметр	величина параметра
форма вольт – амперной характеристики	вертикальная
напряжение холостого хода	70 В.
диапазон регулирования сварочного тока	5 – 200 А.
скорость нарастания сварочного тока	более 110 кА/с.

Помимо упомянутых выше характеристик необходимо обеспечить минимальную пульсацию выходного тока, чтобы тепловой поток дуги был стабилен. Одновременно с этим, необходимо получать максимально быстрый отклик источника на управляющее воздействие. Данный параметр характеризуется амплитудно и фазочастотной характеристикой силовой части источника питания.

2.2 Формирование статической внешней вольт – амперной характеристики

Как было рассмотрено в разделе 1 для каждого способа сварки требуется определенная статическая внешняя ВАХ. В зависимости от того является сварка ручной или механизированной необходимо сформировать падающую, либо жесткую ВАХ соответственно. Необходимой ВАХ добиваются различными техническими решениями. К примеру, Н. Г. Славянов в 1888 г. применил для сварки генератор постоянного тока, а для улучшения горения дуги установил в сварочную цепь балластный реостат, что позволило сформировать падающую характеристику. Затем стали применять генераторы с насыщением и добавлять в сварочную цепь стали индуктивность. [1]

Такой подход к формированию ВАХ имеет свои недостатки, так как требует отдельного решения для каждой задачи, что усложняет процесс разработки и лишает источник возможности широкой настройки и универсальности.

Существует метод формирования ВАХ источника при помощи контура обратной связи. Данный метод нашел широкое применение в области электроприводов и носит название: двухконтурная система управления. На рисунке ... приведена структурная схема данного метода управления.

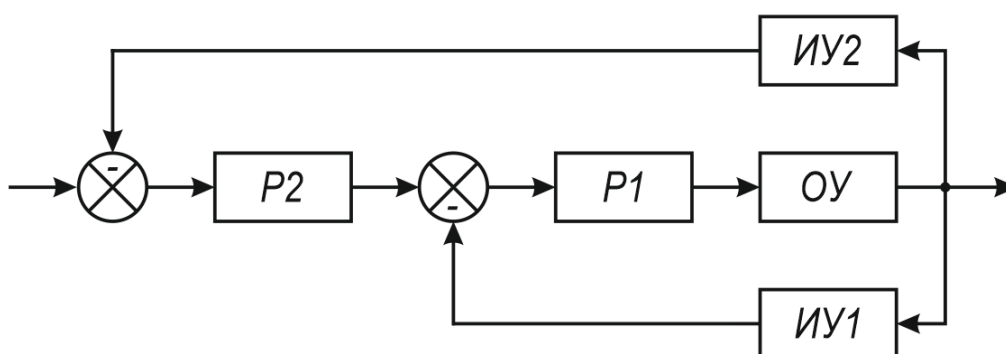


Рисунок 2.1 – Структурная схема двухконтурной системы управления

где ОУ – объект управления, Р1 – регулятор первого контура, ИУ1 – измерительное устройство первого контура, Р2 – регулятор второго контура, ИУ2 – измерительное устройство второго контура.

Так как возможно управление только сварочным током, вводится два контура управления. Первый контур отслеживает выходной ток источника и сигнал задания тока и формирует управляющее воздействие. Второй контур отслеживает выходное напряжение источника (напряжение межэлектродного промежутка) и после умножения на передаточную функцию, определяющую форму ВАХ, формирует сигнал задания тока для первого контура.

Для наглядного понимания работы двухконтурной системы управления разберем на примере, как происходит формирование ВАХ.

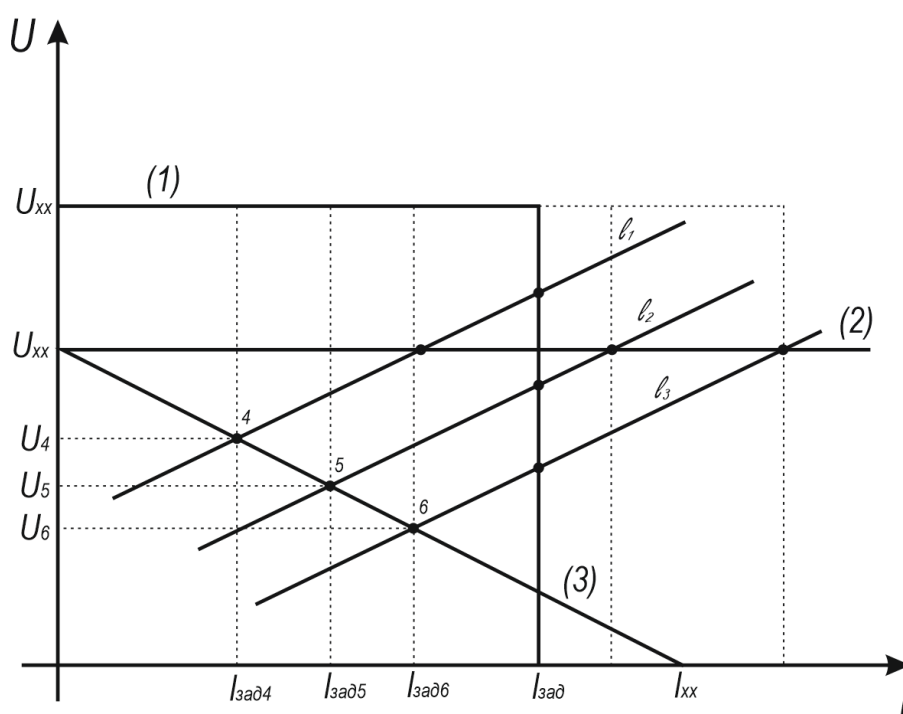


Рисунок 2.2 – Формирование статической ВАХ

На рисунке обозначены три нагрузочные характеристики дуги при различной длине столба дуги ($l_1 > l_2 > l_3$).

Исследовательский источник питания обладает вертикальной статической вольт – амперной характеристикой (1). Однако для существующих

способов сварки требуется жесткая (2), либо падающая ВАХ (3), следовательно, необходимо при помощи управления выходным током источника синтезировать необходимую форму ВАХ. Для этого разобьем имеющуюся ВАХ на множество точек. Величина сигнала задания тока в каждый момент времени определяется координатой X точки, лежащей на требуемой статической ВАХ при соответствующей ей точке Y .

Так ВАХ описывается уравнением:

$$I_{\text{зад.}} = \frac{U_{\text{н.зад}}}{k} \quad (2.1)$$

где k – коэффициент наклона вольт – амперной характеристики (В/А)

Форма вольт – амперной характеристики будет зависеть от коэффициента k . Задав уравнение через кусочно – заданную функцию можно получить ломанную ВАХ сложной формы.

3 Расчеты и аналитика

3.1 Функциональная схема источника

Функционально источник можно разделить на две части: силовая (исполнительная) и управляющая.

Силовая часть предназначена для преобразования энергии электрической сети переменного тока в постоянный ток, питающий сварочную цепь. Она состоит из трансформатора, выпрямителя и понижающего преобразователя. Формирование вертикальной статической ВАХ силовой частью возможно при условии соответствующего закона управления ею. Такой закон требует наличия управляющей части, содержащей систему обратной связи.

Необходимо предусмотреть возможность внешнего дистанционного управления источником (задание тока и регулировка ВАХ). Для этого необходимо разработать интерфейс, позволяющий передавать данные на некоторое расстояние без помех. Так же необходимо измерять и передавать данные о сварочном токе и напряжении, что позволит упростить проведение экспериментов и сбора данных.

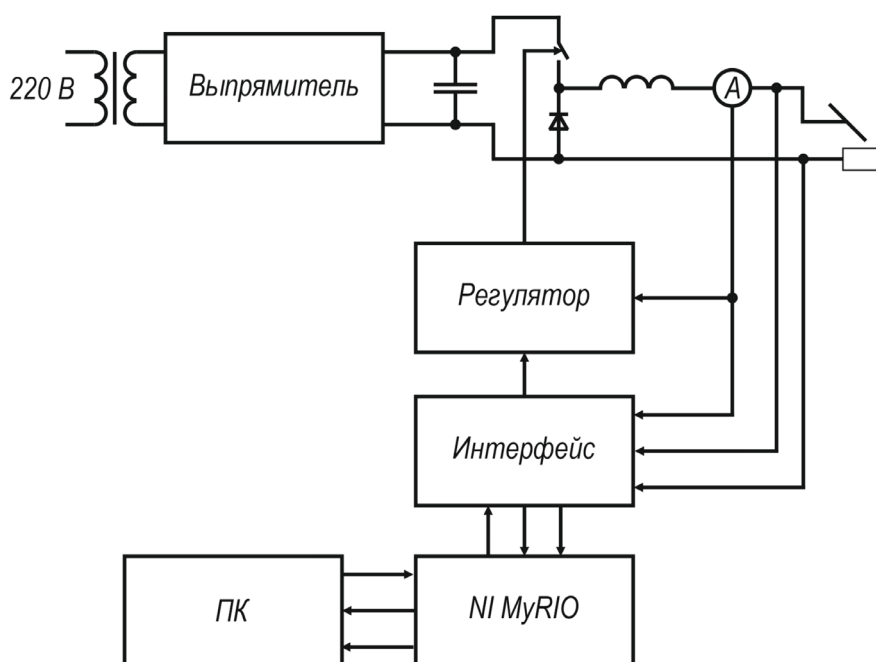


Рисунок 3.1 – Функциональная схема источника питания

Удаленное управление источником можно осуществлять как аналоговыми, так и цифровыми средствами. Так как источник является исследовательским необходимо применить цифровую систему управления, имеющую большую гибкость и удобство настройки. Наиболее удобно реализовать цифровое управление через компьютер. Для этого необходимо использовать встроенную оценочную плату реального времени MyRIO от National Instruments.

3.2 Силовая часть источника питания

К проектируемому источнику не предъявляются требования по КПД и массогабаритным показателям. Основными требованиями являются простота и надежность. Требуемые технические характеристики (таблица 2.1) достигаются двумя способами: либо применением инверторного выпрямителя, либо понижающим конвертором. Инверторный выпрямитель позволит уменьшить массогабаритные показатели, но обладает потенциально меньшей надежностью и сложен в разработке. Понижающий конвертор позволяет применить в своей конструкции компоненты от существующих тиристорных сварочных выпрямителей серии ВДУ, что сокращает и значительно упрощает процесс разработки.

Принципиальная схема данного решения приведена на рисунке 3.2.

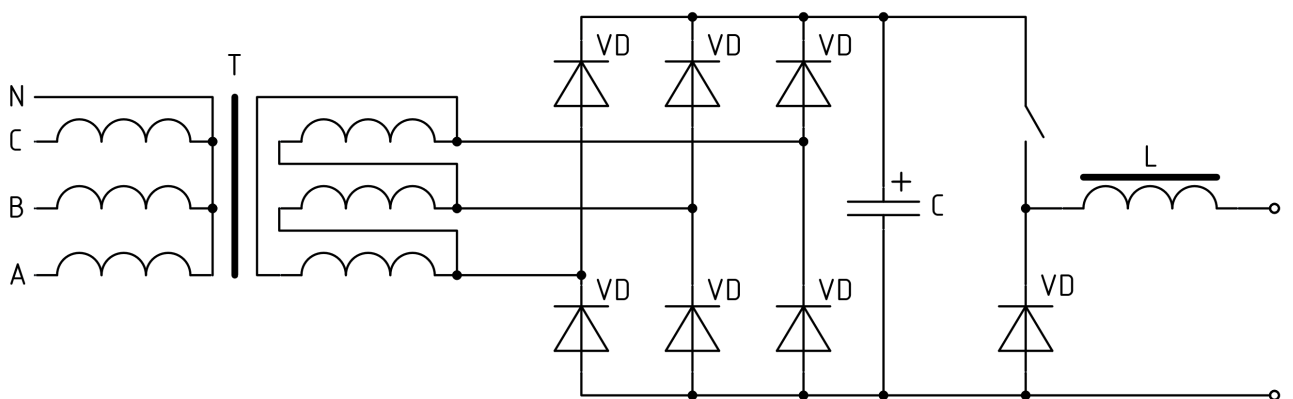


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема силовой части источника питания

Входное напряжение поступает на трансформатор, который гальванически развязывает питающее напряжение и понижает его до необходимого уровня. Далее пониженное напряжение поступает на выпрямитель, который формирует постоянное напряжение для понижающего преобразователя.

Для расчета схемы и выбора компонентов необходимо оценить требуемую мощность источника. Заданный диапазон токов составляет 5 – 200 А. Выходное напряжение при максимальном токе будет равняться:

$$U_d = 20 + 0,04i_d = 20 + 0,04 \cdot 200 = 28 \text{ В} \quad (3.1)$$

Тогда выходная мощность составит:

$$P_n = U_{n \max} \cdot I_{n \max} = 28 \cdot 200 = 5600 \text{ Вт} \quad (3.2)$$

Для обеспечения такой мощности необходимо питать источник от трехфазной сети.

Понижающий преобразователь управляется широтно – импульсной модуляцией. Частота работы была выбрана 20 кГц. Такая частота оптимальна для соотношения статических и динамических потерь в транзисторе и диоде, а также для величины индуктивности выходного дросселя.

К самому понижающему преобразователю предъявляются следующие требования: необходимо получить максимальное быстродействие, как отклик системы на управляющий сигнал и минимальные пульсации выходного тока. Данные требования являются противоречивыми. Для увеличения быстродействия необходимо уменьшать индуктивность выходного дросселя. Чтобы получить минимальные пульсации выходного тока индуктивность дросселя необходимо увеличивать. Чтобы разрешить это противоречие используют многофазные системы. Так как источник является стабилизатором тока можно соединять фазы параллельно.

Было решено использовать двухфазную систему. При этом сигнал управления одной фазы смещается на пол периода относительно другой фазы. При этом частота пульсаций снижается вдвое, что позволяет снизить вдвое индуктивность дросселя каждой из фаз.

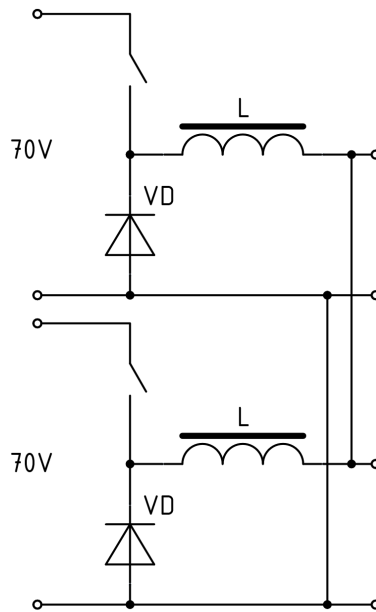


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема двухфазной системы

Расчет дросселя определяется из необходимости поддержания тока на минимальном режиме. При сварке на 5 А не должно быть токовой паузы.

Для расчета индуктивности дросселя рассмотрим контур напряжений, прикладываемых к нему при включении и выключении ключа.

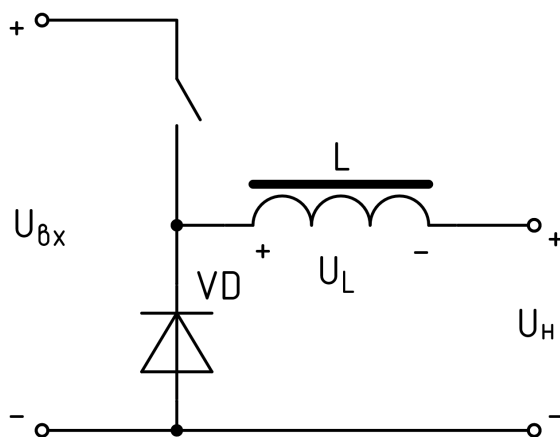


Рисунок 3.4 – Напряжения, действующие в контуре с индуктивностью

При замкнутом ключе VT:

$$U_L^+ = U_{\text{вх}} - U_{\text{н}} \quad (3.3)$$

При разомкнутом ключе VT:

$$U_L^- = -U_{\text{н}} \quad (3.4)$$

Скорость нарастания тока в цепи с постоянным напряжением определяется выражением:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_L}{L} \quad (3.5)$$

Наибольшая скорость нарастания тока будет при максимальном напряжении. В свою очередь, максимальное прикладываемое напряжение будет при открытом ключе в случае короткого замыкания. Тогда напряжение, прикладываемое к индуктивности будет равно входному, т.е. 70 В. В этом случае будет максимальная скорость нарастания выходного тока.

Рассмотрим индуктивность на минимальном токе, который составляет 5 А. Так как система двухфазная, то на одну фазу в таком случае приходится 2.5 А. Необходимо обеспечить стабильный ток без пауз при минимально режиме. Наибольшие пульсации будут наблюдаться при коэффициенте заполнения в 50% (время импульса равно времени паузы). В таком случае напряжение на выходе источника будет равно половине питающего напряжения, т.е. 35 В.

В таком случае индуктивность дросселя должна составить:

$$L = U_L \frac{dt}{di} = 35 \frac{25 \cdot 10^{-6}}{5} = 175 \text{ мкГн} \quad (3.6)$$

Значение индуктивности дросселя было выбрано 200 мкГн. Для каждой фазы индуктивность дросселя составит 100 мкГн.

Максимальная скорость нарастания тока при такой индуктивности составит:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_L}{L} = \frac{70}{100 \cdot 10^{-6}} = 700 \text{ кА/с}$$

3.3 Реализация управления источником питания

Как было описано в разделе 2, для управления источником питания используется двухконтурное регулирование. Задача первого контура – стабилизация выходного тока в соответствии с заданным значением. Контур обратной связи подразумевает измерение выходного тока. Для этого был выбран датчик тока на эффекте холла ACS758ECB-200B-PFF-T. Датчик позволяет измерять постоянный биполярный ток до 200 А, имеет чувствительность 10 мВ/А и полосу пропускания 120 кГц.

Для стабилизации выходного тока источника был выбран принцип управления по пиковому току. В таком случае управляющая система используется для того, чтобы стабилизировать пиковый ток преобразователя, что упрощает его динамику. Для корректной работы контура управления необходимо решить вопросы электромагнитной совместимости отдельных модулей источника.

Схема управления и передачи сигнала чувствительна к коммутационным и электромагнитным помехам, поэтому необходимо при разработке максимально снизить влияние помех. Для этого измерительные линии должны быть экранированными и согласованными по сопротивлению. Сигнальные линии управления – гальванически развязанными, регулятор защищен от электромагнитных наводок. Для передачи сигнала использовались витые пары, что позволило уменьшить влияние электромагнитных помех на линии связи.

3.4 Измерение статических характеристик источника

Измерение ВАХ источника питания проводится по схеме, представленной на рисунке 3.5. К выходным клеммам источника питания подключают балластный реостат. Измерение тока производится при помощи токоизмерительных клещей. Напряжение фиксируется цифровым вольтметром. Итогом снятия статических характеристик (ВАХ) является график, отображающий взаимосвязь $I_{св}$ и $U_{св}$, полученных при постепенном изменении сопротивления реостата от режима холостого хода к нагрузке и короткому замыканию

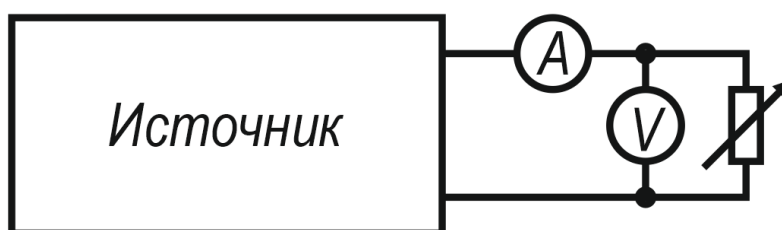


Рисунок 3.5 – Схема проведения измерений

Измерения статических ВАХ проводились при двух режимах: минимальном токе в 5 А и при токе в 155 А. Полученные данные представлены ниже в таблицах 3.1 и 3.2 и на рисунке 3.6.

Таблица 3.1 – Данные о токе и напряжении источника при заданном токе

5 А

U_{out}, B	0	1	5	10	15	20	30	40	60
I_{out}, A	5	5	5	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3

Таблица 3.2 – Данные о токе и напряжении источника при заданном токе

155 А

U_{out}, B	0	1,25	19,1	29,1	33,8	36,3	38,1	40,7	45,8	48,8	51,7	59,6	63,6
I_{out}, A	155	155	155	151	147	143	137	128	110	100	92	64	35

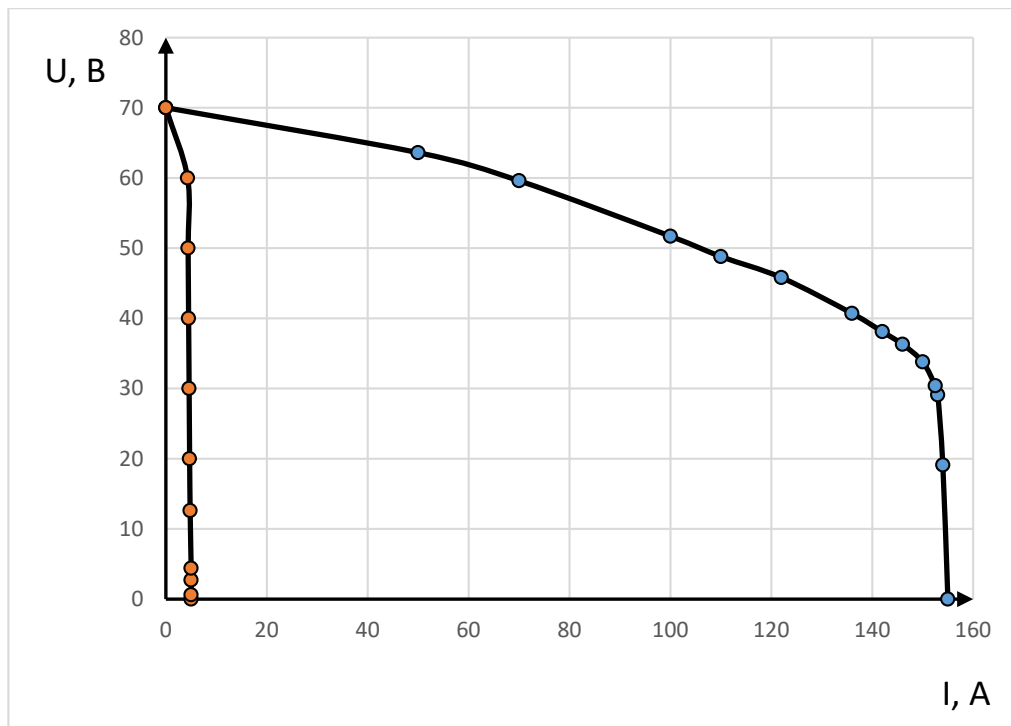


Рисунок 3.6 – Результат измерения ВАХ разрабатываемого источника

По результатам измерения статических ВАХ разрабатываемого источника можно сделать вывод, что в диапазоне от 0 до 40 В источник имеет вертикальную характеристику. Данный диапазон соответствует рабочему напряжению дуги. Требования, предъявляемые к источнику, выполняются.

3.5 Измерение динамических характеристик источника

Динамические характеристики можно оценить по постоянной времени сварочной цепи:

$$\tau = (L_{др.} + L_{св.}) / (R_{ээ} + R_{св.}) \quad (3.7)$$

где τ – постоянная времени, с;

$L_{др.}$ – индуктивность сглаживающего дросселя, Гн;

$L_{св.}$ – индуктивность сварочных кабелей, Гн;

$R_{ээ}$ – сопротивление межэлектродного промежутка, Ом;

$R_{св.}$ – сопротивление сварочных кабелей, Ом;

Из анализа уравнения следует, что при неизменной индуктивности, скорость изменения тока зависит от сопротивления составляющих сварочной цепи. Так как сопротивление кабелей постоянно и равно примерно 20 мОм, поэтому скорость нарастания напрямую зависит от сопротивления межэлектродного промежутка. При коротком замыкании $R_{эз}$ равно нулю. При горении дуги, в случае ручной дуговой сварки, $R_{эз}$ можно определить по формуле []:

$$R_{эз} = 20/I_d + 0,04 \quad (3.7)$$

где I_d – ток сварочной цепи.

Следовательно, в процессе сварки, при токе 100А, сопротивление сварочной цепи изменяется в пределах от 20 до 260 мОм. Поэтому измерения нужно производить при коротком замыкании нагрузки и при сопротивлении нагрузки 240 мОм.

Традиционно динамические характеристики оценивают с помощью амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристик. Которые показывают насколько точно, быстро и с каким запаздыванием источник питания способен реализовывать управляющее воздействие.

Измерения АЧХ и ФЧХ осуществлялись на специальном стенде (рисунок 3.7), в состав которого входили: источник питания (ИП), трансформатор (ТВ), осциллограф Rigol MSO5074, токовый осциллографический пробник LEM NEME PR1030 и балластный реостат. Эксперимент проводили следующим образом, первоначально устанавливали задающее напряжение ($U_{зад}$), соответствующее току 100 А. После чего подбирали сопротивление балластного реостата (Рб) таким, чтобы напряжение на его клеммах было равно 24 В. Измерения частотных характеристик осуществлялось автоматически с помощью встроенного в осциллограф генератора и программного обеспечения автоматизированного построения графиков АЧХ и ФЧХ, приведенных на рисунках 3.8 и 3.9.

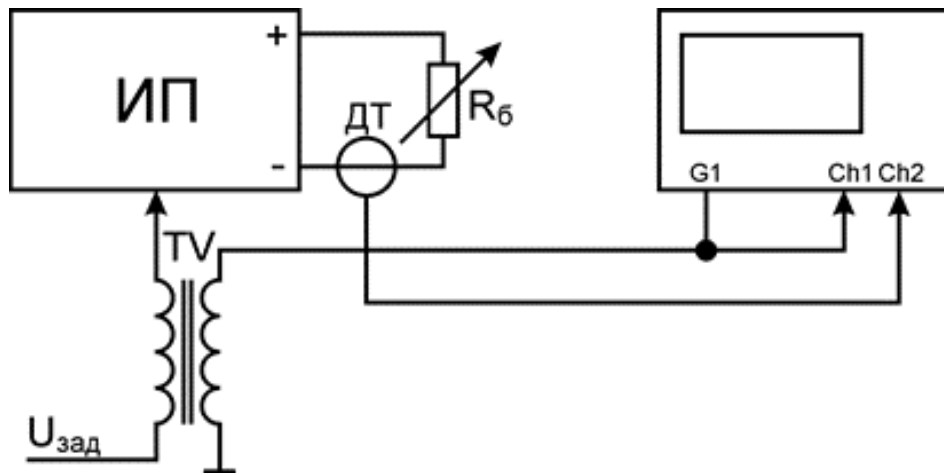


Рисунок 3.7 – Схема проведения измерений

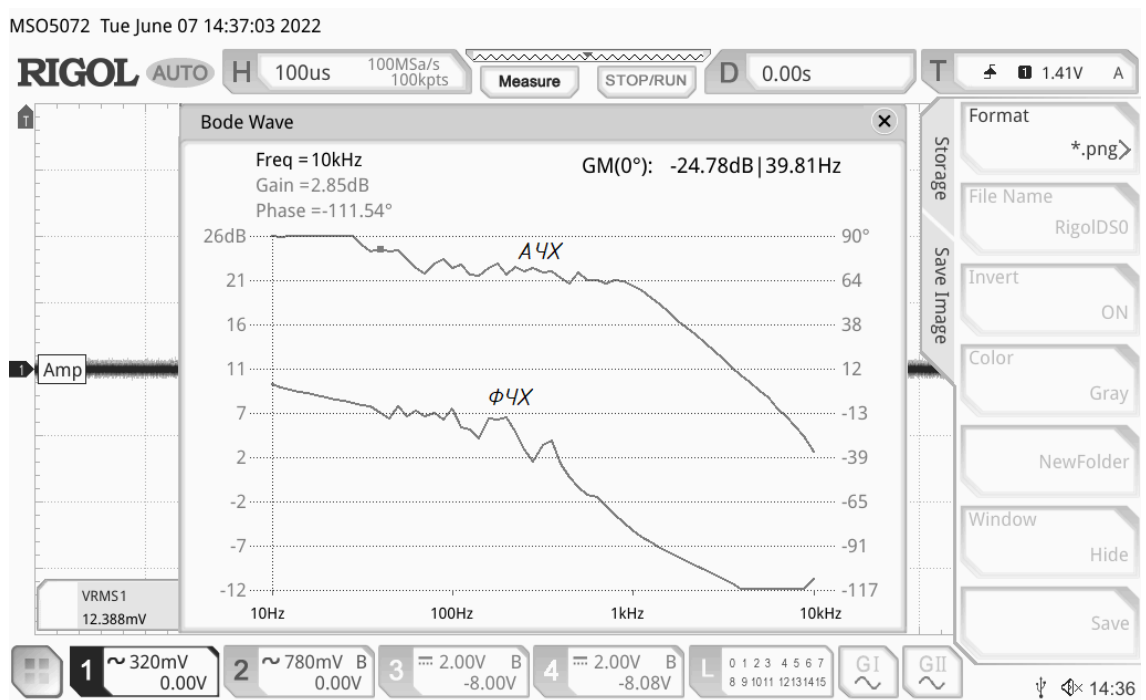


Рисунок 3.8 – АЧХ и ФЧХ источника питания при коротком замыкании

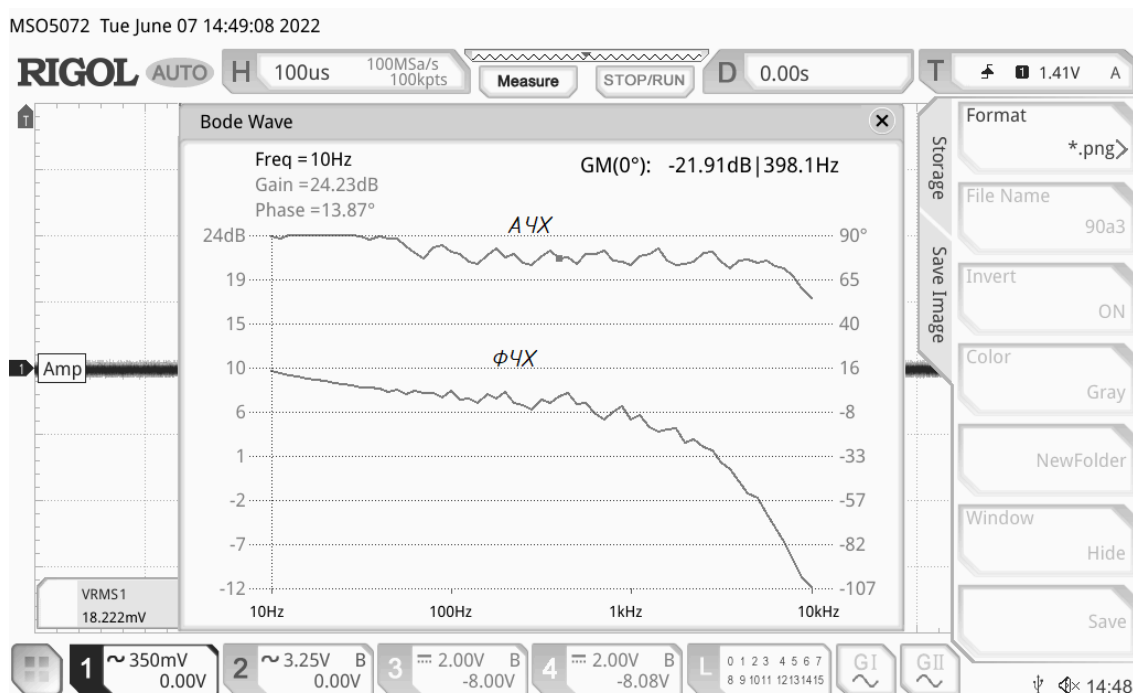


Рисунок 3.9 – АЧХ и ФЧХ источника питания при нагрузке

3.6 Проведение серии испытаний

После сборки источника питания и измерения его динамических и статических характеристик необходимо оценить его поведение при сварке. Эта часть испытаний проводилась при нагрузках на сварочную дугу. Выставлялся постоянный ток в 100А. Фиксировался выходной ток и напряжение.

При этом оценивались статическая и динамическая реакция источника на короткие замыкания

При нагрузке на сварочную дугу было выявлено:

- В статическом режиме источник работает устойчиво, колебаний не наблюдается.
- При переключении в короткое замыкание наблюдается выброс тока в 7А.
- При зажигании дуги наблюдается просадка тока на 10 – 14А.

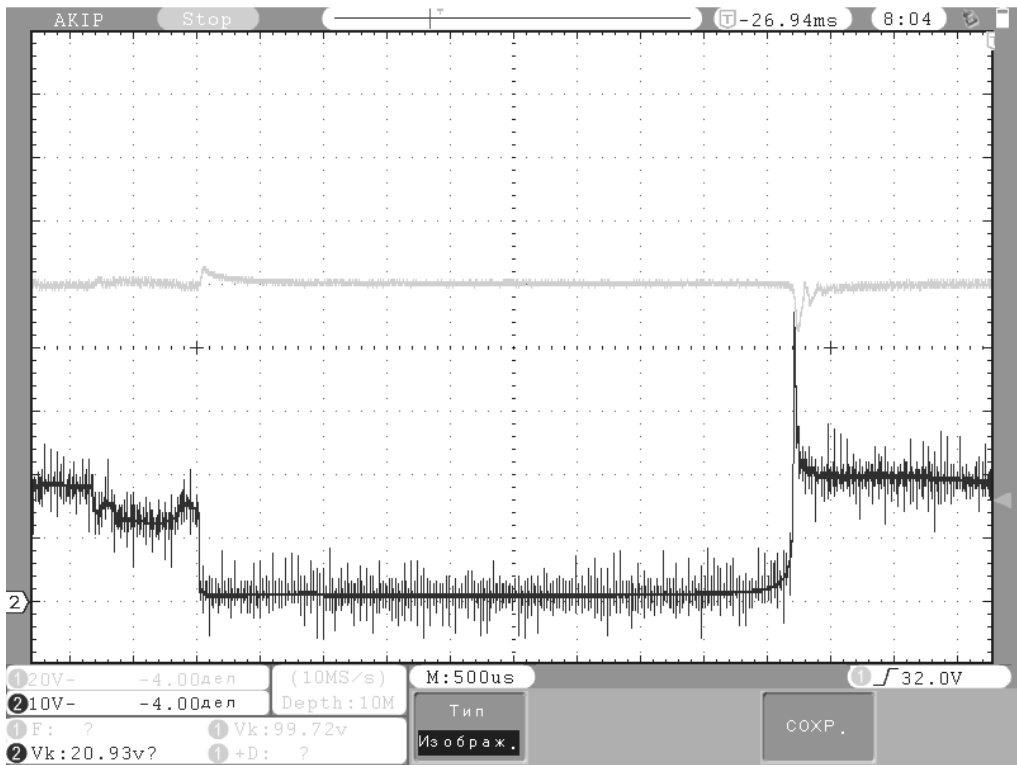


Рисунок 3.10 – Осциллограмма выходного тока и напряжения дуги

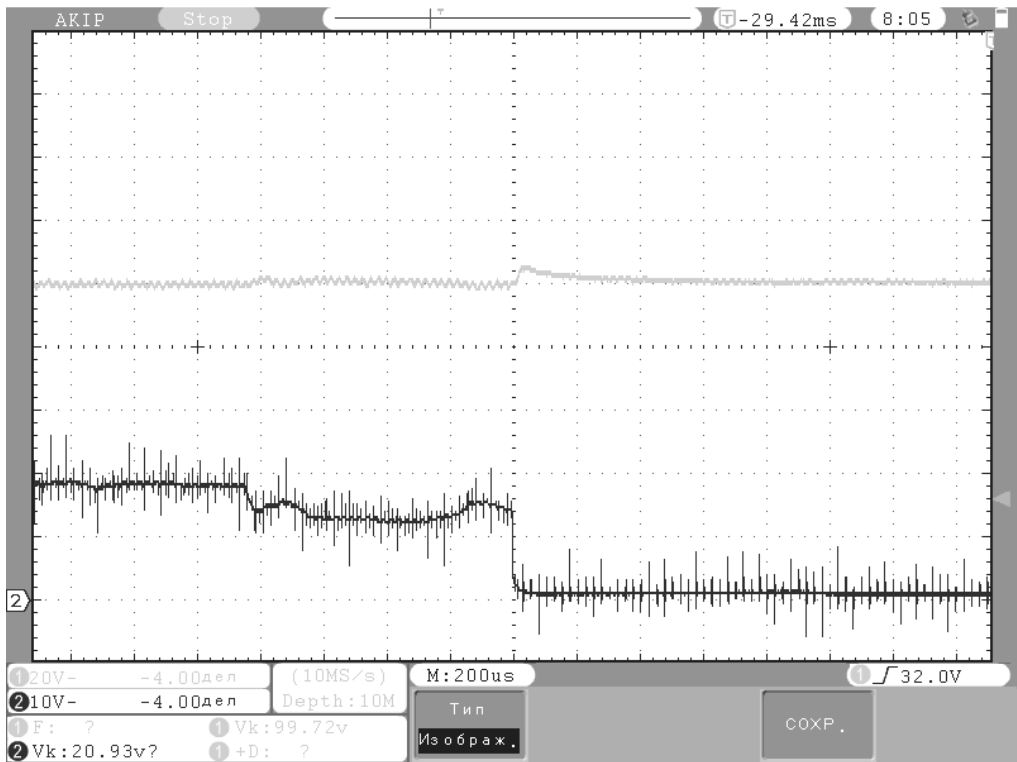


Рисунок 3.11 - Осциллограмма момента короткого замыкания

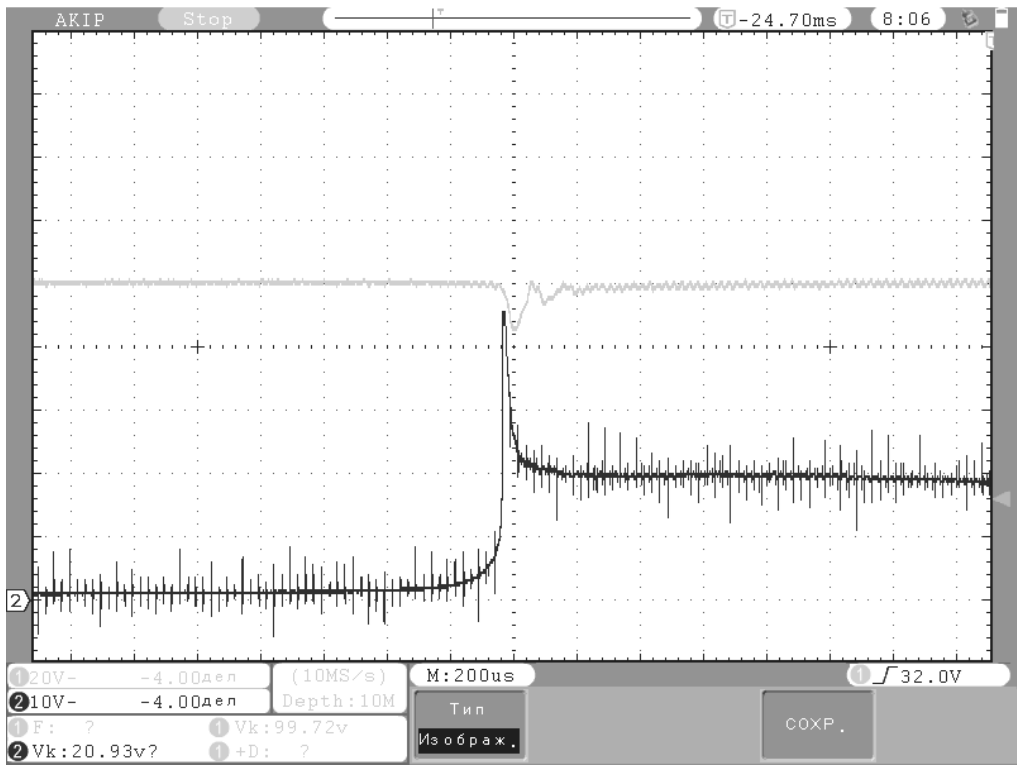


Рисунок 3.12 – Осциллограмма момента зажигания дуги

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Цель магистерской диссертации – разработка исследовательского источника питания для дуговой сварки. Данный источник предназначен для лабораторных исследований новых способов дуговой сварки, расширение технологических возможностей существующих способов дуговой сварки. Источник позволяет в широком диапазоне регулировать динамически и статически характеристики необходимые для исследуемого процесса. Разработка исследовательского источника питания включает в себя этапы моделирования, макетирования, сборки и проверки работоспособности источника.

Потенциальными потребителями разрабатываемого исследовательского источника могут быть лаборатории, промышленные предприятия, имеющие исследовательские отделы. Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. По карте сегментирования видно, что у всей выпускаемой продукции есть свой целевой потребитель, не зависимо от размера предприятия. Карта приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сегментирование рынка

		Сфера использования		
		Промышленные предприятия	Объекты ЖКХ	Лаборатории
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Разрабатываемый исследовательский источник соответствует таким критериям, как:

- надежность, способность оборудования выполнять требуемые функции в заданных условиях;
- точность, источник способен с минимальной погрешностью обрабатывать управляющее воздействие;
- высокие динамические характеристики, источник имеет широкую полосу пропускания;
- многофункциональность, из – за гибкости настройки источник можно применять для всех способов сварки плавлением;
- удобство эксплуатации, управляющее воздействие задается с компьютера, так же осуществляется автоматическая регистрация сварочного тока и напряжения, что значительно упрощает сбор и обработку данных при проведении эксперимента;
- перспективность рынка, в сварочной промышленности при исследованиях всегда возникает необходимость проведения эксперимента. Представленное на рынке оборудование отвечает требованиям конкретного технологического процесса. Исследовательские источники приходится разрабатывать самостоятельно.
- конкурентоспособность, исследование новых типов сварки диктует жесткие требования к источнику сварочного тока, как с точки зрения динамических характеристик, так и удобства эксплуатации. Чем более

универсальным является разрабатываемый источник, тем более конкурентным он будет.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0.1	3	4	3	0.3	0.4	0.3
2. Точность	0.2	5	4	4	1	0.8	0.8
3. Высокие динамические характеристики	0.2	5	3	3	1	0.6	0.6
4. Многофункциональность	0.2	5	2	2	1	0.4	0.4
5. Удобство эксплуатации	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки							
1. Перспективность рынка	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
2. Конкурентоспособность	0.1	5	5	3	0.5	0.5	0.3
Итого	1	27	26	23	4.7	3.5	3.2

где сокращения: Б_ф – разрабатываемый исследовательский источник; Б_{к1} – Источник STT2; Б_{к2} – Источник Aspect 200

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

Где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

По результатам расчета видно, что предложенный метод, конкурентоспособен, по сравнению с аналогичными источниками. Наибольшие

преимущества наблюдаются в точности, быстродействии и многофункциональности.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ используется для определения слабых и сильных сторон проекта, таблица 4.3.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны: С1. Заявленная надежность и точность С2. Высокие динамические характеристики С3. Технологичность проектируемого источника С3. Возможность автоматизации эксперимента С4. Возможность замены функциональных элементов в оборудовании.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Требуется повышение квалификации специалистов. Сл2. Повышенные ресурсные требования к высокоточному оборудованию Сл3. Необходимость этапа лицензирования оборудования Сл4. Отсутствие точных требований к исследовательскому оборудованию</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Сотрудничество с предприятиями, занимающимися исследовательской деятельностью В3. Применение на объектах приоритетной отрасли В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>		

Продолжение таблицы 4.3 – SWOT-анализ

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Неустойчивая экономическая ситуация У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p>		
--	--	--

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.4 и 4.5.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности проекта	B1	+	0	+	+	+	+	+	-	-
	B2	+	0	+	0	+	+	+	-	+
	B3	0	0	0	0	+	+	-	-	+
	B4	+	+	+	+	+	-	0	-	0

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы проекта	У1	+	0	+	0	+	-	-	-	-
	У2	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	У3	-	-	+	0	-	-	+	-	-
	У4	-	-	+	0	-	-	-	-	-

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны: С1. Заявленная надежность и точность С2. Высокие динамические характеристики С3. Технологичность проектируемого источника С3. Возможность автоматизации эксперимента С4. Возможность замены функциональных элементов в оборудовании.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Требуется повышение квалификации специалистов. Сл2. Повышенные ресурсные требования к высокоточному оборудованию Сл3. Необходимость этапа лицензирования оборудования Сл4. Отсутствие точных требований к исследовательскому оборудованию</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Сотрудничество с предприятиями, занимающимися исследовательской деятельностью В3. Применение на объектах приоритетной отрасли В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>	<p>В1В2С1С3С5 Возможность привлечения узкопрофильных специалистов в сварочной области как из научной, так и исследовательской области. В4С1С2С3С4 Уникальное сочетание характеристик оборудования способствует повышению спроса на продукт</p>	<p>В1В2Сл1Сл2 Возможность исследовательской деятельности на базе ТПУ и подготовки специалистов по заказу предприятия</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Неустойчивая экономическая ситуация У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p>	<p>У2С1С2С3С4 подтверждение соответствия заявленным требованиям У1У2С3С5 возможность значительно улучшить технологически возможности процесса сварки</p>	<p>У3Сл2 применение новых принципов проектирования, позволяющих создать унифицировать источники для сварки</p>

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Прежде чем начать работу над проектом, необходимо провести планирование этапов работы, обозначив при этом занятость каждого из участников, а также привести сроки выполнения каждого этапа.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер
Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Разработка модели	Инженер
	7	Оценивание правильности полученных данных путем сравнения их с существующими экспериментальными значениями	Научный руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Научный руководитель

Продолжение таблицы 4.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка структурной схемы источника, принципиальной схемы	Инженер
	10	Разработка макета и проверка работоспособности идеи	Инженер
	11	Проектирование и сборка источника	Инженер
	12	Проведение серии испытаний	Инженер
	13	Составление пояснительной записки	Инженер
	14	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Научный руководитель , инженер
Оформление отчета по работе	15	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Научный руководитель, инженер
	16	Подведение итогов, оформление работы	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоёмкость выполнения исследования оценивается экспертным путём в силу вероятностного характера величины. За единицу измерения трудоёмкости принимаются человеко-дни. Ожидаемая трудоёмкость рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} \quad (4.2)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы человеко-дней;
 $t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человеко-дней;
 $t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человеко-дней.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, 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 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i} \quad (4.3)$$

где T_{Pi} – продолжительность одной работы, рабочих дней;
 $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дней;
 $ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

4.2.3 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:

$$T_{ki} = T_{Pi} \cdot k_{кал} \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{Pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (4.5)$$

где $T_{кал} = 365$ – количество календарных дней в году;
 $T_{вых} = 104$ – количество выходных дней в году;
 $T_{пр} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1.47$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 4.8. После этого строим календарный план-график (табл. 4.9).

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.

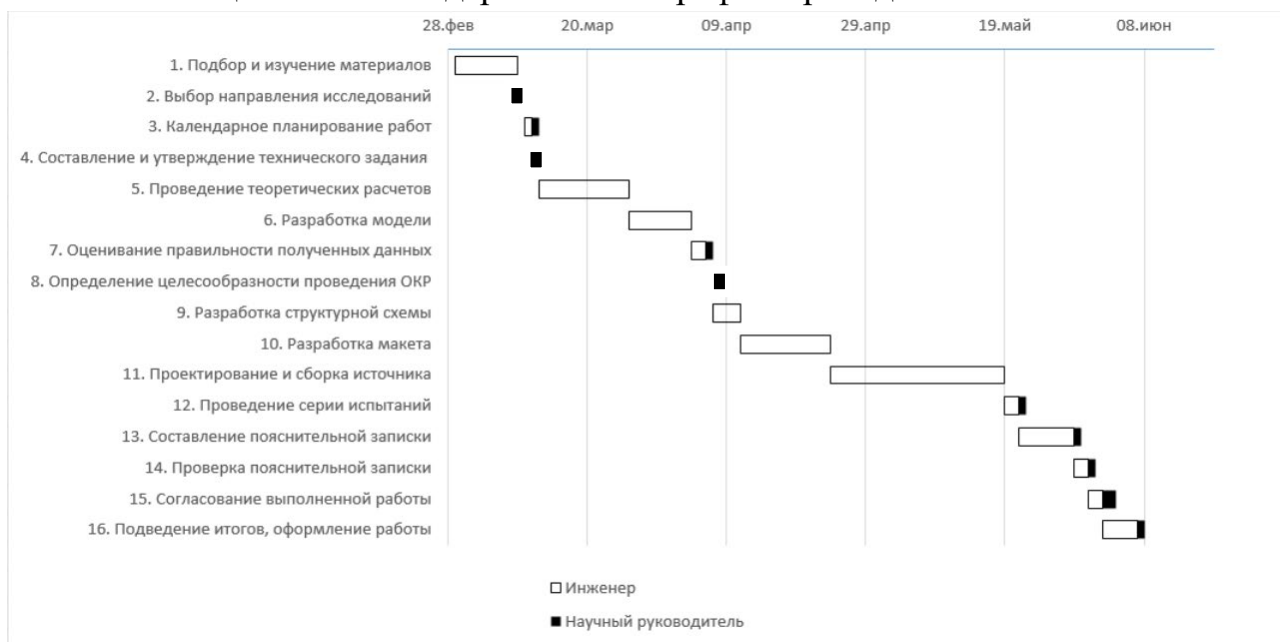
Таблица 4.8 – Временные показатели проведенного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни					
	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР
1. Подбор и изучение материалов	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	9	–
2. Выбор направления исследований	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1
3. Календарное планирование работ	1	1	2	1	1,4	1	0,7	0,5	1	1
4. Составление и утверждение технического задания	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1
5. Проведение теоретических расчетов	8	–	10	–	8,8	–	8,8	–	13	–
6. Разработка модели	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	9	–
7. Оценивание правильности полученных данных	2	1	5	1	3,2	1	1,6	0,5	2	1
8. Определение целесообразности проведения ОКР	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1
9. Разработка структурной схемы	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4	–
10. Разработка макета	8	–	10	–	8,8	–	8,8	–	13	–
11. Проектирование и сборка источника	15	–	20	–	17	–	17	–	25	–
12. Проведение серии испытаний	2	1	4	1	2,8	1	1,4	0,5	2	1
13. Составление пояснительной записки	10	1	12	1	10,8	1	5,4	0,5	8	1
14. Проверка пояснительной записки	2	1	4	1	2,8	1	1,4	0,5	2	1

Продолжение таблицы 4.8 – Временные показатели проведенного исследования

15. Согласование выполненной работы	2	2	3	3	2,4	2,4	1,2	1,2	2	2
16. Подведение итогов, оформление работы	5	1	8	1	6,2	1	3,1	0,5	5	1

Таблица 4.9 – Календарный план-график проведения ВКР по теме



4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ обеспечиваем полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используем следующие группировки по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

–накладные расходы;

–формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта [].

4.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i} \quad (4.6)$$

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

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	шт.	150	0,38	57
Печать на листе А4	шт.	150	3	450
Ручка	шт.	2	10	20
Ластик	шт.	1	10	10
Электронные компоненты	шт.	150	100	15000
Материалы корпуса	шт.	8	1000	8000
Итого				23537
С учетом транспортно-заготовительных расходов				27067

Коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы составляет 15 % от отпускной цены материалов.

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, 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.

При проведении разработки не было необходимости приобретать специальное оборудование. В свою очередь стоимость спецоборудования с помощью которого проводились работы составляет менее 100 т.р., поэтому амортизация для него не рассчитывается.

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и магистра (инженера), а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.7)$$

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

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

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.8)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11.2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10.4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	118
Потери рабочего времени на отпуск	56	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{окл} \cdot k_p \quad (4.10)$$

где $Z_{окл}$ – оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Научный руководитель имеет должность доцента и степень кандидата технических наук, его оклад составляет 35 111.5 руб. Оклад инженера составил 22 695.68 руб.

Таблица 4.12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{окл}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	35 111.5	1.3	45 644.95	1 953.52	7	13 674.64
Инженер	22 695.68		29 504.38	1 481.83	64	94 837.12
Итого $Z_{осн}$						108 511.76

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (4.11)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0.12 – 0.15).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{доп}$	$Z_{осн}$, руб	$Z_{доп}$, руб
Научный руководитель	0.12	13 674.64	1 640.96
Инженер		94 837.12	11 380.45
Итого			13 021.41

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (4.12)$$

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

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2022 году, водится пониженная ставка – 30%.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	13 674.64	94 837.12
Дополнительная заработная плата, руб.	1 640.96	11 380.45
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Сумма отчислений	4 594.68	31 865.27
Итого	36 460	

4.3.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\sum \text{статей} \right) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.13)$$

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:

$$Z_{\text{накл}} = 185060.17 \cdot 0.16 = 29609.63$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научного исследования.

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	27 067
2. Затраты на амортизацию оборудования.	0
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	108 511.76
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13 021.41
5. Отчисления во внебюджетные фонды	36 460
6. Накладные расходы	29 609.63
7. Бюджет затрат НТИ	214 669.8

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождения связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности [1].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финпр}^{исп. i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.14)$$

где $I_{финпр}^{исп. i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финпр}^{исп1} = \frac{214670}{214670} = 1 \quad I_{финпр}^{исп2} = \frac{210815}{214670} = 0,98 \quad I_{финпр}^{исп3} = \frac{205413}{214670} = 0,95$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i \quad (4.15)$$

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

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

b^i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.16).

Таблица 4.16 – сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп. 2	Исп.3
1. Многофункциональность	0.35	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0.25	5	2	3
3. Точность	0.25	4	4	4
4. Надежность	0.15	4	5	5
Итого	1	4.6	3.3	3.9

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{фин. i}} \quad (4.16)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,6}{1} = 4,6 \quad I_{исп2} = \frac{3,3}{0,98} = 3,4 \quad I_{исп3} = \frac{3,9}{0,95} = 4,1$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки, позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 4.16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) []:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \quad (4.17)$$

Таблица 4.17 – Сравнительная эффективность разработки

п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0.98	0.95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.6	3.3	3.9
3	Интегральный показатель эффективности	4.6	3.4	4.1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0.75	0.91

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.

4.5 Выводы по разделу

В данном разделе был выполнен анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения выпускной квалификационной работы – Разработка исследовательского источника питания дуги. Были проанализированы слабые и сильные стороны работы, способы устранения их и использования для продвижения исследовательской работы. Был проведен прогноз внешних угроз и возможностей, учитывая которые можно повысить конкурентоспособность данного проекта. В данном разделе было произведено распределение обязанностей по научно-исследовательской работе и рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Также был сформирован бюджет затрат НТИ, который составил 214 669.8руб.

По факту оценки эффективности исследовательской работы, можно сделать выводы:

1. Значение интегрального финансового показателя составляет 1;
2. Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4.6 по сравнению с 3.3 и 3.9;
3. Значение интегрального показателя эффективности составляет 4.6 по сравнению с 3.4 и 4.1 и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в данной работе, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5 Раздел «Социальная ответственность»

Цель магистерской диссертации – разработка исследовательского источника питания для дуговой сварки. Данный источник предназначен для лабораторных исследований новых способов дуговой сварки, расширение технологических возможностей существующих способов дуговой сварки. Источник позволяет в широком диапазоне регулировать динамически и статически характеристики необходимые для исследуемого процесса.

Разработка исследовательского источника питания включает в себя этапы моделирования, макетирования, сборки и проверки работоспособности источника. На каждом из этапов необходимо оценивать влияние и уменьшать негативное влияние разработки на окружающую среду и человека при ее производстве, эксплуатации и утилизации.

Целью раздела является оценка условия труда на соответствие с санитарно – гигиеническими нормами, варианты действий в случае чрезвычайных ситуаций, а также принимаемые меры для охраны окружающей среды. Порядок работы и организация должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ освещенность рабочего помещения

Нормирование показателей освещения осуществляется согласно СП 52.13330.2016 [11] и ГОСТ Р 55710-2013 [10]. Нормированные значения указываются в точках его минимального значения на рабочей поверхности для любых источников света.

Имеется коэффициент пульсации, который характеризует колебания светового потока во времени, падающего на единицу поверхности. Для люминесцентных ламп допустимый уровень коэффициента пульсации не

должен превышать 5%.

Согласно СНиП 23-05-95 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 300 Лк.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 10000$ мм, ширина $B = 10000$ мм, высота $H = 3000$ мм. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 800$ мм. Площадь помещения:

$$S = A \cdot B \quad (5.1)$$

$$S = 100 \text{ м}^2,$$

Коэффициент отражения стен $R_c = 30 \%$, потолка $R_n = 50 \%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1.5$, коэффициент неравномерности $Z = 1.1$.

Лампа дневного света ЛД-40 дает световой поток равный ФЛД = 2600 лм. Светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40 имеют две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1.1 – 1.3. Принимаем $\lambda = 1.1$, расстояние светильников от перекрытия $h_c = 300$ мм.

Высота светильника над рабочей поверхностью h , определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c \quad (5.2)$$

$$h = 3000 - 800 - 300 = 1900 \text{ мм.}$$

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника

$\Phi_{\text{п}}$ определяется по нижеуказанной формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / (N \cdot \eta) \quad (5.3)$$

где E – нормируемая минимальная освещенность, $E = 300$ лк;

K_3 – коэффициент запаса, в данном случае $K_3 = 1.5$;

N – количество ламп;

η – коэффициент использования светового потока лампы, зависящий от типа лампы, типа светильника, коэффициента отражения потолка и стен, высоты подвеса светильника и индекса помещения i .

Из формулы 5.3 находим число ламп:

$$N = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / (\Phi_{\text{п}} \cdot \eta) \quad (5.4)$$

i определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B)) \quad (5.5)$$

$$i = (10 \cdot 10) / (1,9 \cdot (10+10)) = 2.6$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{п}} = 70\%$, $\rho_{\text{с}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 2.6$ равен $\eta = 0.50$.

$$\text{Тогда } N = (300 \cdot 100 \cdot 1.5 \cdot 1.1) / (2600 \cdot 0.5) = 38$$

Принимаем 40 ламп, при этом получаем 20 светильников, т.е четыре ряда по пять светильников.

Из условий равномерности освещения определяем расстояния L_1 и $L_1/3$ и L_2 и $L_2/3$ по следующим уравнениям:

$$10000 = 4L_1 + 2/3 \cdot L_1 + 5 \cdot 265;$$

$$L_1 = 1859 \text{ мм}; L_1/3 = 620 \text{ мм};$$

$$10000 = 3L_2 + 2/3 \cdot L_2 + 4 \cdot 1227;$$

$$L_2 = 1388 \text{ мм}; L_2/3 = 463 \text{ мм};$$

На рисунке 1 изображен план размещения светильников с люминесцентными лампами.

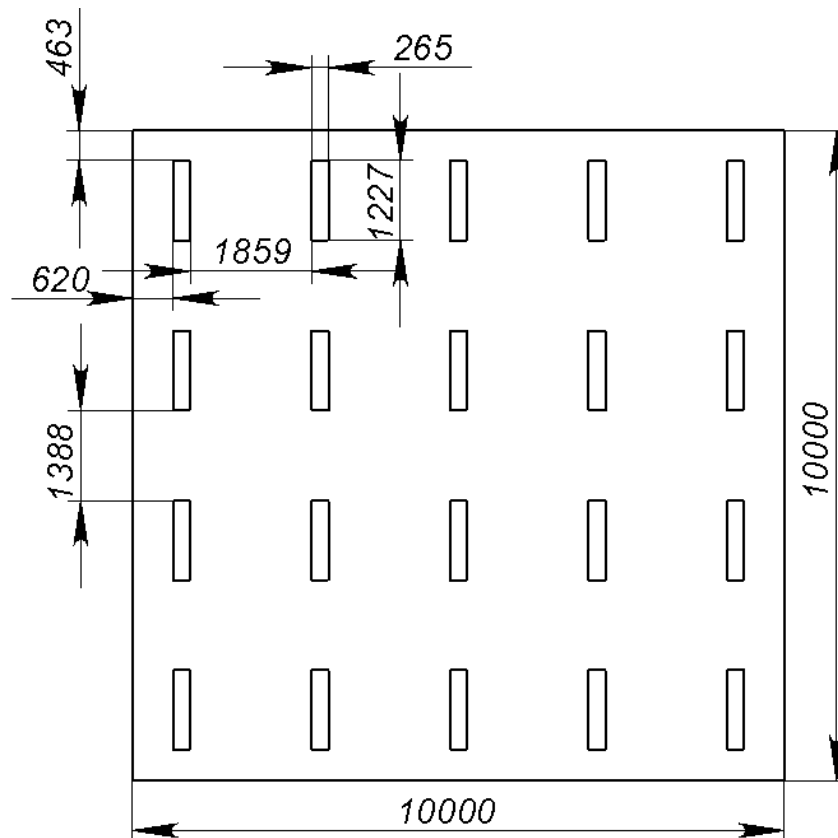


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника $\Phi_{\text{п}}$ определяется по вышеуказанной формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = (300 \cdot 100 \cdot 1.5 \cdot 1.1) / (40 \cdot 0.5) = 2475 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$- 10\% \leq ((\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}) / \Phi_{\text{лд}}) \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$((\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}) / \Phi_{\text{лд}}) \cdot 100\% = ((2600 - 2475) / 2600) \cdot 100\% = 4,8\%$$

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

$$P = 40 \cdot 40 = 1600 \text{ Вт}$$

5.2 Анализ микроклимата рабочего помещения

Микроклимат – состояние внутренней среды замкнутого пространства (помещения), оказывающее воздействие на человека, характеризуется показателями температуры воздуха и конструкций, влажностью и подвижностью воздуха, интенсивностью теплового облучения.

Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице.

Таблица 5.1 - Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя граница	Верхняя граница		
Холодный	15	24	20-80	<0,5
Теплый	22	28	20-80	<0,5

Общая площадь рабочего помещения составляет 100м², объем составляет 300м³. Санитарные нормы составляют 6,5м² и 20м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

Рассмотрим микроклимат в рабочем помещении. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость движения воздуха.

В помещении осуществляется комбинированная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного и дверного проема и вытяжной вентиляции. Основной недостаток такого типа вентиляции – приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и подогрева. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 60 м³, что соответствует нормам [1]. Температура в помещении поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 90°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [1]. Нормируемые

параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям.

5.3 Анализ уровня шума на рабочем месте

Шум – Звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, способные оказать вредное воздействие на безопасность и здоровье работника. [2]

С физиологической точки зрения шум – это всякий неблагоприятно воспринимаемый звук. Источниками шума на рассматриваемом рабочем месте являются: работающее оборудование (компьютер, работающие осветительные приборы дневного света), проходящая рядом автомобильная дорога. Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Прежде всего, шум влияет на различные отделы головного мозга, изменяя нормальные процессы высшей нервной деятельности (жалобы на утомляемость, общую слабость, апатию, ослабление памяти и т.д.).

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и система вытяжной вентиляции. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [4].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);

– применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

– Наушники противозумные, которые закрывают уши снаружи;

– Вкладыши противозумные, которые перекрывают слуховой проход снаружи или прилегающие к нему;

– Противозумные шлемы и каски – используются при очень высоких уровнях шума в комплекте с наушниками [3].

5.4 Анализ уровня электромагнитного излучения

Источники электромагнитного излучения на рабочем месте:

1. Монитор персонального компьютера. Это основной источник электромагнитных полей (ЭМП) в широком диапазоне частот. Он также является источником электростатического поля.

2. Системный блок персонального компьютера.

3. Электрооборудование (электропроводка, сетевые фильтры, источники бесперебойного питания)

4. Различные периферийные устройства (принтеры, факсы и пр.);

5. Разрабатываемый источник питания.

Электромагнитное излучение оказывает на организм человека тепловое воздействие - интегральное повышение температуры тела человека или отдельных его частей при общем или местном облучении. Электромагнитное излучение также оказывает и нетепловой эффект, который связан с переходом электромагнитной энергии в нетепловую форму энергии.

Длительное пребывание в зоне повышенного электромагнитного излучения оказывает на организм неблагоприятное воздействие. Появляется тошнота, усталость, головная боль. Превышение нормативов может повлечь за собой повреждения сердечно-сосудистой системы, мозга и центральной нервной системы, а также развитие трудно поддающихся лечению болезней. Облучение

глаз электромагнитным излучением может повлечь за собой помутнение хрусталика и развитие катаракты. Электромагнитное излучение оказывает влияние на психику человека: появляется раздражительность, нервозность, человек теряет контроль над своими действиями.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [1]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В.

Предельно допустимые уровни облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):

- а) до 10 мкВт/см² , время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см² , время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см² , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

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;
- защита рабочего места от излучения.

СИЗ

- Очки 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.

- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

5.5 Опасные факторы

5.5.1 Электробезопасность

Рабочее помещение является помещением без повышенной опасности поражения электрическим током и относится к 1-му классу электробезопасности (помещение без повышенной опасности). так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования.

Безопасными номиналами являются: $I < 0,1 \text{ А}$; $U < (2-36) \text{ В}$; $R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}$. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое,

необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

- обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот);
- очистить дыхательные пути;
- приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание);
- в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае:

- возникновения угрозы жизни или здоровью человека;
- появления запаха, характерного для горящей изоляции или пластмассы;
- появления дыма или огня;
- появления искрения;
- обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

- Заземление источников электрического тока;
- Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты:

- Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

5.5.2 Пожаробезопасность

Согласно НПБ 105-03 рабочее помещение относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с

водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудногорючим материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

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

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 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-

вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 и СНиП 2.04.05-86;

2. специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений предвзрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Рабочее помещение полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 2, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

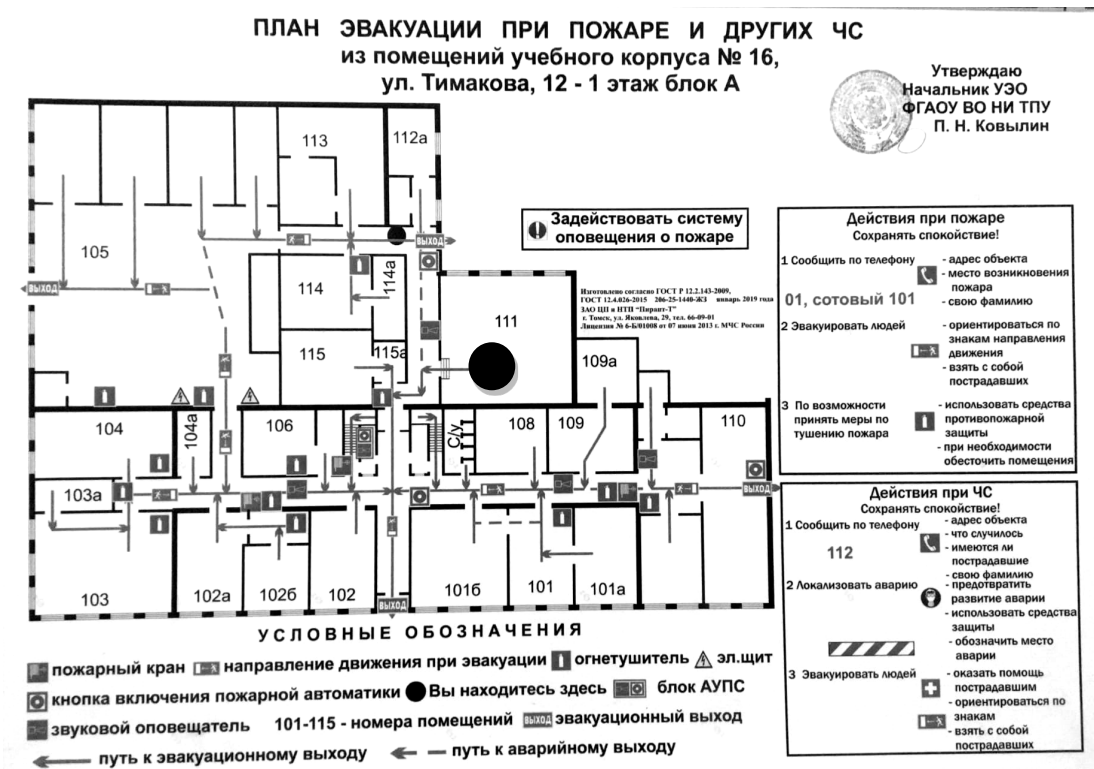


Рисунок 5.2 – План эвакуации людей при пожаре и других ЧС

5.6 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность - это состояние защищенности окружающей природной среды от вредного воздействия на нее хозяйственной и иной деятельности.

Под охраной окружающей среды понимаются различного рода мероприятия, влияющие на следующие природные зоны:

- атмосфера;
- гидросфера;
- литосфера.

В разрабатываемом источнике, как и в персональном компьютере огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Вся используемая электроника требует специальных комплексных методов утилизации:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части подвергаются специально переработке[6];

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация

может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию техники можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;
- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
- кофир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения», чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [11].

В рабочем помещении возможны следующие чрезвычайные ситуации:

- Природные чрезвычайные ситуации;
- Техногенные чрезвычайные ситуации (несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место).

Природные чрезвычайные ситуации носят стихийный характер, потому что причиной такой чрезвычайной ситуации является природа.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть: а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектростанции; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

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.

Перечень нормативно – технической документации

1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
2. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности
3. СНиП П-12-77. «Защита от шума».
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
5. Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники / Государственный Комитет РФ по телекоммуникациям / 1999 г.
6. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон № 197-ФЗ: [принят Государственной думой 30 декабря 2001 года].
7. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
8. ГОСТ 12.0.003.2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017.03.01.
9. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений: дата введения 2014.07.01.
10. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
11. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности: дата введения 2015.11.01.
12. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 1983.07.01.

13. Правила устройства электроустановок (ПУЭ): дата введения 1999.10.06.
14. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление: дата введения 1982.07.01.
15. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ: [принят Государственной думой 10 января 2002 года]
16. ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения: дата введения 2017.01.01.
17. Нормы пожарной безопасности «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях» (НПБ 104-03): официальное издание : утверждены Министерством РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий от 20.06.2003.

Заключение

В ходе выполнения данной магистерской выпускной квалификационной работы были рассмотрены вопросы физической и технологической устойчивости процесса сварки. Были сформулированы требования, предъявляемые к оборудованию для наиболее распространенных способов дуговой сварки и рассмотрены методики измерения статических и динамических характеристик источников питания дуги. После были сформулированы требования к исследовательскому источнику питания для дуговой сварки.

В расчётно – пояснительной записке представлены основные технические решения, применяемые при проектировании источника. После этапа моделирования и расчетов источник питания был собран и проведен ряд испытаний на соответствие требуемым характеристикам. Были измерены статически и динамические характеристики, а также сняты осциллограммы при нагрузке источника на дугу. Источник питания соответствует изначально предъявленным требованиям.

Разработанный источник может применяться в лабораторных условиях для исследования новых и совершенствования существующих способов сварки. В дальнейшем планируется совершенствование источника в области повышения его динамических характеристик.

До процесса сборки проведена экономическая оценка технологии в сравнении с конкурентными разработками, где была обоснована целесообразность данной разработки, а также рассчитан бюджет исследования.

В рамках охраны труда были описаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности, которые обеспечивают минимальное влияние вредных и опасных факторов производства на инженера, сохраняя его максимальную трудоспособность. А также рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности при ЧС.

Список используемых источников

1. Оборудование для дуговой сварки : справочник / под ред. В. В. Смирнова. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.: ил.. — Библиогр.: с. 650-652.
2. Милютин В.С. Испытания сварочных свойств оборудования для дуговой сварки: / В.С. Милютин —Екатеринбург, 2019. —466 с.
3. Мухин, В. Ф. Современные технологические процессы и оборудование для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов : учеб. пособие / В. Ф. Мухин, Е. Н. Еремин ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 140 с. : цв. ил.
4. Милютин В.С. Источники питания для сварки: учебник / В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров .— М.: Айрис-пресс, 2007.—384 с. ff
5. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. — М.: Машиностроение, 1970. —335 с.
6. ГОСТ 9466-75 ЭЛЕКТРОДЫ ПОКРЫТЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ И НАПЛАВКИ
7. ГОСТ Р МЭК 60974-1-2012Оборудование для дуговой сварки Часть 1 ИСТОЧНИКИ СВАРОЧНОГО ТОКА
8. Сравнительные испытания сварочно-технологических свойств инверторных и тиристорных источников питания / В.М. Илюшенко, Г.А. Бутаков, В.М. Ганчук и др. // Автоматическая сварка. 2009. № 4. с. 42–45.
9. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: учебник / Г.Г. Ран-нев, А.П. Тарасенко.— М.: Академия, 2008. —336 с.
10. Заруба И.И. Статистические показатели стабильности при оценке сварочных свойств источников питания для дуговой сварки. / И.И. Заруба, В.П. Латанский, Н.В. Троицкая // Новые сварочные источ-ники питания: сб. науч. тр. АН Украины, ИЭС им. Е.О.Патона. — Киев, 1992. с. 86–94.
11. Рабинович И.Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги / И.Я. Рабинович.— М.: Машгиз, 1958. — 380 с.

12. Источник питания для ручной дуговой сварки / В.А. Ленивкин, П.И. Петров, Г.Г. Кленов и др. // Сварочное производство. 1995. № 8. с. 32–35.

13. Печенин А.А. Исследование статических и динамических свойств трансформаторов с подвижной обмоткой / А.А. Печенин, В.А. Жуков // Пути развития источников питания для электродуговой сварки: сб. научн. трудов.— Вильнюс: Респ. инст. науч.-техн. инф, 1968. с. 12–13.

14. Патент на полезную модель РФ. RU 94889, Источник питания для электродуговой сварки /А.Г. Сивоплясов.— Подано 17.08. 2012. 11.09.2010.

15. Ильященко Д.П. Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытым электродом и способы его снижения / Д.П. Ильященко, С.Б. Сапожков // Сварочное производство, 2007. № 12. с. 28–31.

16. Ильященко Д.П. Определение потерь на разбрызгивание металла при использовании различных источников питания / Д.П. Ильященко, Е.А. Зернин // Сварочное производство. 2009. №5. с. 36–39.

17. Милютин В.С. Оценка стабильности режима при испытании источников питания для ручной дуговой сварки / В.С. Милютин, Р.Ф. Катаев, А.В. Полухин // Сварка и диагностика. 2014. № 3. с. 32–37.

18. Измеритель статических ВАХ сварочных источников AWS-024 / Э.А. Гладков, Р.А. Перковский, К.В. Гусев и др. // Сварочное производство. 2004. № 3. с. 37.

19. РД 03-495-02. Технологический регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. Госгортехнадзор России. 2002. 81 с.

6. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.

Приложение А

(обязательное)

Development of a research power source for arc welding

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ01	Куренбин Иван Александрович		

Консультант школы отделения (ОЭИ)

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Устюжанина А.К.	к.ф.н.		

Introduction

Researches in the field of welding production are connected with carrying out of experiments, for this purpose it is necessary to have the corresponding technical equipment. In particular, the research of arc welding processes involves the use of specialized power sources, technical characteristics of which must meet the specifics of the research.

The power sources available on the market meet the requirements of a particular welding process. And exploration of new and expansion of technological capabilities of existing welding processes requires power sources with improved characteristics.

In this case, we have to face the following problems: making a specialized power source is a labor-intensive process that requires significant financial investments. Also at the beginning of research it is difficult to present specific requirements, to make a clear statement of work for the manufacture of the source.

To solve this problem it was decided to develop a research power source for arc welding. The main requirements for the source were: a wide range of output current control, the ability to adjust the static volt - ampere characteristics, high dynamic characteristics, the ability to work in pulsed mode, the availability of an interface to implement communication with the computer, automatic registration of welding current and arc voltage.

In the literature review the general requirements for the arc power sources for different welding methods and issues related to the measurement of power source characteristics will be considered.

6.1 Physical basics of fusion welding

Welding is the process of obtaining an inseparable joint by establishing interatomic bonds between the welded products at their local or general heating, plastic deformation or the joint action of both. A distinction is made between welding in the liquid phase - the fusion and the solid phase - pressure. The greatest development and application are methods of welding by fusion.

The process of fusion welding can be divided into several stages: the heating of the welded surfaces to the melting temperature, the formation of a common to the parts being joined, weld pool crystallization, which metal and forms a weld. The stability of these stages and, consequently, the quality of the resulting connection depends on the stability of the heat flow.

Depending on the welding method, the heat source may be an electron beam (beam of high-energy particles), laser beam, gas flame, but most often an arc discharge is used, as it is much easier to obtain and maintain than an electron and laser beam. And in contrast to the gas flame, the arc discharge has a higher concentration of energy. The main disadvantage, however, is that without taking special measures, the heat flux of the arc discharge is unstable, which increases the probability of defects in welded joints.

The arc stability is influenced by external and internal influences, both controlled - controlling and uncontrolled - disturbing. The latter include arc elongation, uneven electrode melting, changes in the supply voltage and many others. With all influences, the welding process must be physically and technologically stable.

Two types of stability are distinguished for the welding process:

Physical stability - the existence of the arc discharge continuously for the required time, and as a consequence, obtaining a stable heat flow that ensures uniform melting of the metal.

Technological stability - obtaining connections predictable in quality and properties without defects under the influence of disturbances caused by the technology of the welding method.

However, technological stability is not possible without physical stability of the arc.

6.1.1 The Physical Stability of Arc Discharge

Any process can be considered in terms of energy entering the system and energy consumed by it. A system is considered stable if the energy entering the system is equal to the energy consumed. An arc discharge is a converter of electrical energy into thermal energy. The arc receives energy from the power source, and the main part of the thermal energy released by the arc discharge is spent on melting the metal in the welding zone. The stability of the arc discharge is considered in the arc-source system.

Traditional approach to arc stability implies using a source with the required static volt-ampere characteristic (I-V curve), which allows to stabilize electrical parameters of arc discharge and, as a consequence, heat flux under various perturbations. Conditions of physical stability of arc in "arc-source" system were stated by G.I. Leskov in.

Current deflection, arising under the influence of perturbation, is described by the equation:

$$i = i_0 \exp \left[-\frac{1}{L} \left(\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} \right) t \right] \quad (1)$$

where i_0 is the arc burning current before the disturbance; L is the inductance of the welding circuit; $\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I}$ is the derivative of the arc I-V curve; $(\partial U_u)/\partial I$ is the derivative of the source I-V curve.

It follows from the formula that random small current disturbances arising in the arc-source system with a maximum value of i_0 can either increase with time ($i > i_0$) or decrease ($i \rightarrow 0$). This depends on the exponent exponent. Since the inductance of the circuit is always positive, the sign is determined by the difference $\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} = k$, depending on the location to the external arc and current source characteristics at the analyzed intersection of the characteristics $U_u(I)$ and $U_{\partial}(I)$. When the difference is greater than zero, the exponent $\exp(-\frac{k}{L}t)$ becomes decreasing and the resulting current perturbation tends to zero. In this case the system is stable. If the difference $\frac{\partial U_{\partial}}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} = k$ is negative, the exponent becomes increasing, i.e., the current increases with time and the random current perturbation causes it to change further, hence the system becomes unstable.

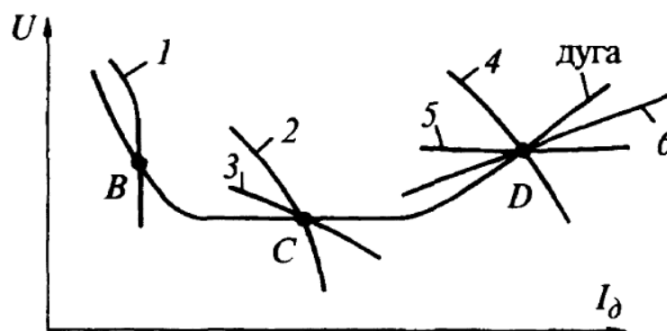


Figure 1.1 - Static arc I-V curve with different variants of the source I-V curves

The required shape of the static VI characteristic is achieved by various technical solutions.

6.1.2 Process stability of the welding process

In addition to the physical stability of the arc flame, technological stability of the welding process must be considered.

Over the last decades, significant changes have occurred in the technology of fusion electrode welding using modulated welding current, which allowed to control the melting and control the process of electrode metal transfer. Periodically alternating

stages of arc burning and short circuits create perturbations that cause transient electrical processes in the welding circuit. This allows us to talk about the technological stability of the process, without confusing it with the concept of physical stability of the arc as a long-term constancy of the character of the running processes. At the same time, mathematical description of these electrical processes cannot be performed using only the power source static I-V curves. Consequently, it is necessary to operate with dynamic characteristics of power sources, where additional parameters are time (change in time of welding mode parameter) and, in some cases, arc length (arc voltage during electrode metal transfer). These circumstances require further research in order to formulate criteria for the suitability of welding power sources for various pulsed welding processes.

Each welding method uses its own equipment, differing both in technical and electrical parameters. The requirements for the equipment are based on the specifics of melting and metal transfer for different types of arc welding.

6.2 Types of welding equipment

Globally, all types of arc welding can be divided by the method of feeding the fusing electrode or filler material into the welding/melting zone into two categories: Manual, Mechanized.

With manual feeding, the physical and technological stability of the process depends largely on the welder, so a falling static VI characteristic of the power source is used, which allows to partially compensate for perturbations caused by human factor.

In mechanized feeding, the welder is dependent on the welder to initiate the start of the process and to be partially involved in process stability. Some of the tasks are performed by auxiliary mechanisms. This process is characterized by a rigid static VAR of the source, which allows to implement the principles of self-regulation of the interelectrode gap length.

Let us consider in detail the types related to manual arc welding and to mechanized welding. These include:

Sources for manual arc welding

Sources for mechanized welding with consumable electrode in shielding gas

Sources for mechanized submerged-arc welding

6.2.1 Sources for manual arc welding

Manual arc welding is performed with covered electrodes with a diameter of 1.6 to 12.5 mm at currents of 25 to 1000 A. The arc voltage is between 20 and 44 V. The working load characteristic corresponds to the equation $U_d = 20 + 0.04id$.

The degree of suitability of a power source for RTD is determined on the basis of analysis of its following characteristics: the slope of the external characteristic curve, no-load voltage, the range of welding current control, the ratio of the short-circuit current to the arc burning current.

The external characteristic must be a falling characteristic. The recommended slope angle of the VI characteristic should be between -0.1 and -5 V/A. This slope of the VI ensures the physical stability of the arc combustion.

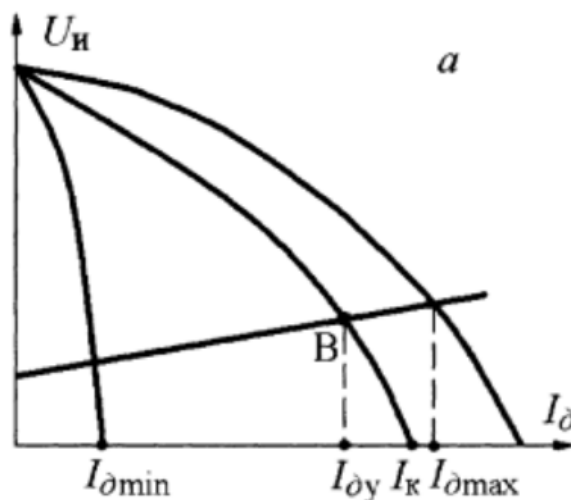


Figure 1.2 - Static I-V curve of the source for manual arc welding

The range of no-load voltages is from 40 to 113 V. The lower limit is due to the reliability of arc ignition, and the upper limit is limited for safety reasons.

Welding current control range from 25 to 1000 A.

Short circuit current requirement in relation to the set value of welding current is 1.2 - 2. This ratio ensures technological stability of the manual arc welding process with moderate metal spatter losses. If the slope of the power source static I-V curve is in the recommended range, the requirement for the ratio is automatically fulfilled.

6.2.2 Sources for mechanized welding with a melting electrode in shielding gas

Welding in carbon dioxide, argon and their mixtures with oxygen and other gases is carried out with direct current using a wire with a diameter from 0.5 to 2.4 mm (in argon up to 5 mm) at currents from 50 to 600 A at voltage from 15 to 44 V. The characteristic of the conditional working load corresponds to the equation $U_d = 14 + 0,05i_d$.

Technological stability of the welding process is achieved by using the principle of self-regulation, as when welding in shielding gases in the vast majority of cases the devices with a constant wire feed rate are used. Carbon dioxide welding is characterized by significant spattering of the electrode metal. There are the following process varieties that influence the choice of source: short arc carbon dioxide welding with frequent process short circuits, long arc carbon dioxide and argon welding with large-drop transfer, argon welding with jet transfer, pulse arc welding in argon.

When welding in carbon dioxide, the suitability of the power source is determined by analyzing the following static characteristics: static PLA, no-load voltage, and welding voltage control range.

The external characteristic of such a source is rigid. The slope shall be from +0,04 to -0,07 V/A. With such a slope of the I-V curve the no-load voltage does not

differ significantly from the adjusted welding voltage, which makes short-circuit arc ignition much more difficult. To improve ignition, a boost system is introduced to increase the no-load voltage to 80 to 100 V.

Regarding the dynamic characteristics of sources for welding in carbon dioxide, the rate of short-circuit current buildup is normalized. The optimal short-circuit current slew rates for most applications are 70 - 110 kA/s.

In argon-arc welding with a consumable electrode the arc is much more stable, large-drop transfer at low currents is much quieter, and more favorable jet transfer is achieved by simple technological methods (increasing the current density, application of activating coatings on the wire). Therefore, when welding with a thin wire using an ARDS system, sources with a hard and even semi-falling characteristic of -0.04 to -0.2 V/A with a relatively low rate of short circuit current rise of 10 - 30 kA/s are used. When welding with large-diameter wire (more than 3 - 4 mm), it is recommended to use automatic arc voltage control system (AVCS) in combination with a source with steeply falling characteristic.

Pulsed arc welding in argon and its mixtures allows to realize controlled metal transfer. The main advantage is the possibility to reduce the lower current limit by 2 - 3 times, at which still provides fine droplet transfer, and, therefore, to weld metal of relatively small thickness without the danger of burning and inadmissible spattering.

The choice of static and dynamic characteristics of the sources is dictated by the diameter of the electrode and the welding method. Pulsed arc welding includes many methods which are technologically very different from each other. This, in turn, dictates different equipment requirements.

6.2.3 Sources for mechanized submerged-arc welding

Submerged-arc welding is carried out with a wire of 1 to 6 mm at a current of 150 to 2000 A and a voltage of 22 to 44 V. The diagram of conditional workload

corresponds to the relation $U_d = 20 + 0,04id$, and at a current of over 600 A the arc voltage is considered to be constant and equal to 44 V. To keep the arc continuously burning when welding with up to 4 - 5 mm electrode the self-regulation effect is used, at bigger diameter automatic arc voltage control is applied. Requirements for the source differ significantly depending on the method of maintaining the arc.

When welding with a constant wire feed rate operating on the principle of self-regulation, the source must have a rigid or semi-falling characteristic with a slope of -0.01 to -0.1 V/A.

When welding with a machine with automatic arc voltage control, the source shall have a falling characteristic of -0.07 to -0.3 V/A. The short-circuit current is $(1.5 - 2) I_d$, since the ignition is carried out with the electrode away from the item. The arc voltage is set by the automatic regulator, so the source regulator is used to set the current.

Summarizing the information on power sources, we can conclude that the sources for each welding method have requirements for static and dynamic characteristics, which affect the technological characteristics of the welding process. As a consequence, there is a need to measure the static and dynamic characteristics of the sources.

6.3 Methodology for measuring static and dynamic characteristics of arc power supplies

In order to evaluate the quality of equipment and its compliance with the stated requirements, it is necessary to record the output static and dynamic characteristics of arc power sources. It is convenient to perform such measurements without using the arc, because it is a non-linear electrical load and is accompanied by numerous disturbances, which complicate the analysis of the static and dynamic characteristics

of the source. As a load instead of the arc, implementing the principle of simulation, usually use a ballast rheostat - a powerful linear resistor with a variable active resistance.

The result of taking the static characteristics is a graph showing the relationship between I_{cf} and U_{cf} , obtained with a gradual change in rheostat resistance from no-load to load and short-circuit modes (Fig. 1.3 b). Dynamic characteristics of the welding equipment are recorded on the plots of transients $I_{sv}(t)$ and $U_{sv}(t)$ at "no-load-short-circuit" mode switches.

These measurements can be automated during mass tests of equipment. Similar meters have been developed for testing welding equipment in the technological (welding) experiment.

One example of such equipment is a static external characteristic meter AWS-024 designed for measuring, recording and transmitting to computer volt-ampere characteristics of sources for current up to 500 A. The I-V curve is measured on an active load, i.e. a cooled ballast resistor with a linearly variable resistance from 4 Ohm to 0 (short-circuit) with a step of 0,02 Ohm.

The built-in ballast resistors are switched by electronic keys. Two-channel analog-to-digital converter (ADC) is used to measure current in the load circuit and voltage on the power supply output terminals. The measurement process is controlled by the built-in microcontroller. To visualize the parameters of the voltmeter the software working under WINDOWS 98/2000/XP has been developed. The main technical characteristics of the AWS-024 meter are given in Table 1.2.

Table 1.2 - Technical characteristics of the AWS-024 meter

Measuring voltage range, V	0...90
Measuring range of current, A	0...500
Accuracy class of voltage measurement	1,5
Accuracy class of current measurement	1,0
Number of measuring points	128
Measuring time, s	10

Capacity of removable storage device, number of records	32
Supply voltage, V	220
Consumed power, W	50
Maximum power dissipation, kW	15
Overall dimensions, mm	220×220×400
Weight, kg	13

The disadvantages of the AWS-024 meter are its relatively low power dissipation and the use of resistive elements as a load, which limits its use for testing power supplies with a rated current over 300 A. In addition, the on-line control of the measurement parameters of the corresponding I-V curve is not provided, which is due to the lack of a display and the necessary controls.

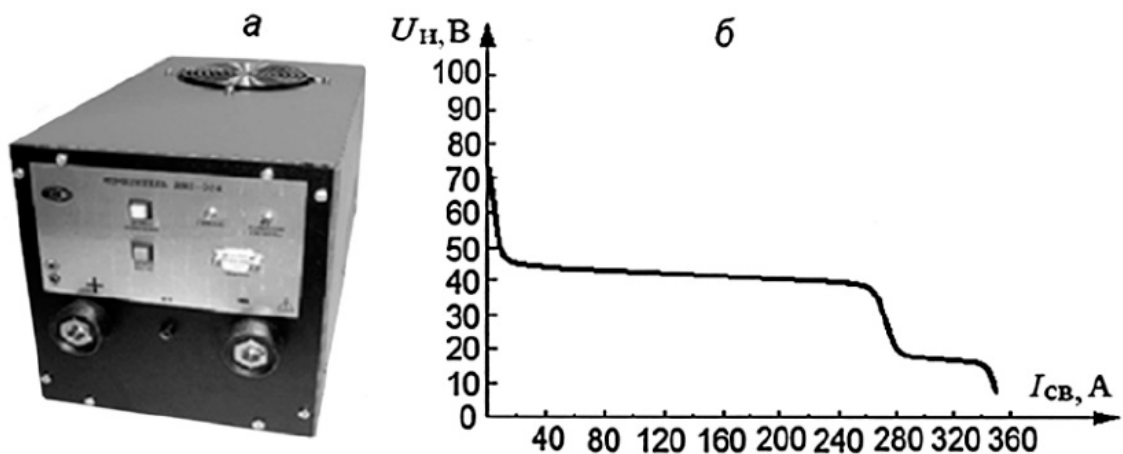


Figure 1.3 - The AWS-024 meter: a - external view,
b - the result of measuring the VA of the DC-250 inverter source

6.4 Requirements for the welding arc power source

In Section 1, the requirements for power sources for different arc welding methods were considered, the main of which include such characteristics as: the shape of the static volt-ampere characteristic, no-load voltage, the range of welding current control, as well as such a dynamic characteristic as the rate of current rise in the short-circuit.

The developed power source must be adaptable to the main arc welding methods used in industry. To do this, it is necessary to summarize the considered requirements and formulate specific characteristics for the power source.

Let's consider all the main characteristics in sequence:

1. the power supply must have a static vertical volt-ampere characteristic, which will eliminate the source's response to changes in load resistance (see Section 2.1).

2. The no-load voltage should not exceed 113V for safety reasons. At the same time, the minimum no-load voltage must ensure stable arc ignition and combustion. The no-load voltage of industrial equipment is most often in the range of 50 - 80 V. For the source under development it was decided to choose the no-load voltage of 70 V.

3. The welding current control range should allow to work with the most frequently used electrode and welding wire diameters.

For manual arc welding, use electrodes with a diameter of 2 to 4 mm, which corresponds to the range of welding current from 30 to 200 A. For mechanized welding with a consumable electrode in shielding gas, the diameter of the wire is mostly 0.6 to 1.2 mm, which corresponds to the range of welding current from 20 to 200 A. When welding with a non-consumable electrode the minimum value of the welding current is 5 A. Therefore, the power source shall ensure regulation of current in welding circuit from 5 to 200 A.

4. Dynamic characteristic, such as the rate of current rise in the welding circuit during the short-circuit of the inter-electrode gap must be more than 110 kA/s.

Table1.3 - Requirements for the developed source

rated parameter	parameter value
form of volt - ampere characteristic	vertical
no-load voltage	70 B.
welding current control range	5 – 200 A.
Welding current build-up speed	more than 110 kA/s.

In addition to the characteristics mentioned above, it is necessary to achieve minimal output current ripple so that the arc heat flux is stable. It is also necessary to obtain the fastest possible response of the source to the control action. This parameter is characterized by the amplitude and phase-frequency response of the power supply.

Conclusions

1. Fusion welding, where an arc discharge is used as a heat source, is the most widespread.

2. The quality of obtained welded joints depends on the fulfillment of many conditions, the main of which are physical and technological stability of the welding process.

3. equipment for different methods of arc welding is characterized by certain static and dynamic characteristics. At the same time, requirements to the form of static external volt-ampere characteristics are formulated in the special literature. Dynamic characteristics of the power source, such as the response to changes in load resistance and control action are not normalized by specific values, or are not taken into account at all.

4. Development of welding equipment is aimed at increasing the dynamic characteristics of power sources, which allows to control metal melting processes more accurately and to develop new welding methods.

5. Control of the technical condition of welding power sources is carried out by direct measurement of its static external I-V curves according to the standard methodology. At the same time, dynamic characteristics are not monitored due to the lack of a generally accepted measurement technique.

For further development of welding equipment and development of new methods of arc welding, it is necessary to solve the following tasks:

1. To develop a power supply with no reaction to changes in load resistance, i.e. close to an ideal current source.

2. To develop an analog interface for connecting a power source to a welding process control system.

3. Create a technique for measuring dynamic characteristics.