

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока

УДК 004.896:621.387.143

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Поваляев Павел Вадимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова Наталья Александровна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

По разделу на английском языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты освоения ООП

15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

(Киберфизическая автоматизация технологических процессов и производств)

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
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции выпускников	
ПК(У)-1	Обладает способностью разрабатывать технические задания на модернизацию и автоматизацию действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний, новые виды продукции, автоматизированные и автоматические технологии ее производства, средства и системы автоматизации, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством;
ПК(У)-2	Обладает способностью проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты и патентоспособности новых проектных решений и определения показателей технического уровня проектируемой продукции, автоматизированных и автоматических технологических процессов и производств, средств их технического и аппаратно-программного обеспечения;

ПК(У)-3	Обладает способностью: составлять описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства, проектировать их архитектурно-программные комплексы;
ПК(У)-4	Обладает способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты автоматизированных и автоматических производств различного технологического и отраслевого назначения, технических средств и систем автоматизации управления, контроля, диагностики и испытаний, систем управления жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизации проектирования, отечественного и зарубежного опыта разработки
ПК(У)-5	Обладает способностью разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования;

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерской диссертации

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2021	Основная часть	75
16.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
18.05.2021	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Гайворонский С. А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Поваляеву Павлу Вадимовичу

Тема работы:

Система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-14/с от 19.02.2021
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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>Объектом исследования является дугового реактора постоянного тока с горизонтальным расположением электродов. Режим работы периодический. Необходимо обеспечить повторяемость экспериментов в ходе синтеза и регистрацию параметров синтеза (ток разрядного контура, напряжение, температура, влажность и концентрацию газов).</p>
---	--

<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. Аналитический обзор существующих систем 2. Устройство дугового реактора 3. Подбор компонентов для реализации системы 4. Схема подключения оборудования 5. Монтаж оборудования системы 6. Настройка OPC-сервера и создание визуализации 7. Тестирование работоспособности системы
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Схема подключения оборудования</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Гончарова Наталья Александровна, Доцент отделения социально-гуманитарных наук, кандидат экономических наук</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович, доцент отделения общетехнических дисциплин, кандидат технических наук</p>
<p>Раздел на иностранном языке</p>	<p>Сидоренко Татьяна Валерьевна, доцент отделения иностранных языков, кандидат педагогических наук</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Анализ предметной области</p>	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент ОАР ИШИТР</p>	<p>Пак Александр Яковлевич</p>	<p>К.Т.Н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>8ТМ91</p>	<p>Поваляев Павел Вадимович</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Поваляеву Павлу Вадимовичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистр	Направление /специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию 3,66 кВт/ч
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налог во внебюджетные фонды 30% Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 16%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ	Оценка потенциальных потребителей исследования, анализ конкурентных решений, SWOT – анализ, оценка готовности разработки к коммерциализации.
2. Инициация проекта	Цели и результат проекта, организационная структура проекта.
3. Планирование управления научно-техническим проектом	Иерархическая структура работ, планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета.
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4.35 Интегральный показатель эффективности – 4.398 Сравнительная эффективность проекта – 1.0471

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности для проекта
2. Матрица SWOT
3. Иерархическая структура работ проекта
4. Рабочая группа проекта
5. Календарный план-график выполнения проекта
6. Материальные затраты
7. Бюджет НИИ
8. Основные показатели эффективности ИП

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова Наталья Александровна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Поваляев Павел Вадимович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Поваляеву Павлу Вадимовичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

Система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<p>Объектом исследования и разработки система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока. В состав системы входят: шаговый двигатель, насос, датчики газоанализа, температуры и влажности, а также контроллер и драйвера для шагового двигателя.</p> <p>Рабочим местом является зона, включающая рабочий стол, пульт управления и монитор.</p> <p>Областью применения данной являются предприятия, где необходима переработка твердых бытовых отходов, или производство сверхтвердых материалов. Также данную систему можно использовать научных лабораториях или же очистных сооружениях.</p>
<i>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</i>	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12. 2001 г. № 197– ФЗ (ред. от 30.04.2021 г.). - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. - ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения..
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Отклонение показателей микроклимата - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Повышенный уровень шума на рабочем месте - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - Движущие механизмы - Повышенная яркость света - Термическая опасность
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - загрязнение атмосферы объектом исследования не выявлено; - загрязнение гидросферы объектом исследования не выявлено; - выявление загрязнения литосферы объектом исследования: утилизация оборудования и печатных плат.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - возникновение пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Поваляев Павел Вадимович		

Реферат

Пояснительная записка содержит 129 страниц, 44 рисунка, 26 таблиц, 35 источников.

Ключевые слова: система управления, анализ газовой среды, SCADA-система, OPC-сервер, визуализация процесса.

Данная работа посвящена разработке системы управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора.

Объектом исследования является разработка системы на базе микроконтроллера ATmega2560.

Цель работы – разработка системы управления и мониторинга параметров рабочего режима для плазмохимического реактора.

Значимость работы заключена в создании системы, которая позволит регистрировать показания тока и напряжения в ходе синтеза, а также проводить полный анализ газовой среды и измерение влажности и температуры внутри реактора. С помощью системы управления возможно обеспечить повторяемость экспериментов.

Содержание

Реферат	9
Введение.....	13
1 Аналитический обзор существующих систем	15
1.1 Термическая плазменная система тяньцзиньского университета	15
1.2 Плазменная горелка с переносом дуги	16
1.3 Плазменная печь, разработанная китайской академией наук	17
1.4 Горизонтальный плазменный реактор малой мощности.....	19
1.5 Установка шанхайского университета Цзяо Тонг для синтеза высококачественных многослойных углеродных нанотрубок	20
1.6 Вывод по главе 1	21
2 Проектирование системы управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора.....	23
2.1 Устройство дугового реактора	23
2.2 Подбор компонентов для реализации системы	26
2.2.1 Управление и сбор данных	26
2.2.2 Измерение влажности и температуры	27
2.2.3 Выбор датчика тока	28
2.2.4 Анализ компонентов газовой среды	30
2.2.5 Шаговый двигатель.....	31
2.2.6 Управление шаговым двигателем	32
2.2.7 Блок управления перемещения электродами.....	33
2.3 Разработка схем подключения оборудования.....	35
2.3.1 Подключение силовой части	35
2.3.2 Подключение датчика тока	36
2.3.3 Подключение оборудования к контроллеру	38
2.3.4 Вывод по главе 2	38
3 Реализация системы управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора.....	41
3.1 Монтаж оборудования.....	41
3.2 Настройка OPC-сервера.....	42

3.3	Создание визуализации на базе программного пакета MasterScada.....	45
3.3.1	Показания датчиков газоанализа и окно ввода калибровочных параметров	46
3.3.2	Запуск и индикация работы насоса.....	47
3.3.3	Выбор режима управления	48
3.3.4	Вывод измеряемых параметров.....	49
3.3.5	Архивирование измеряемых параметров	50
3.4	Разработка алгоритмов работы системы	53
3.4.1	Определение старта и окончания синтеза	53
3.4.2	Алгоритм управления двигателем.....	54
3.5	Тестирование работоспособности системы	56
3.5.1	Анализ газовой среды.....	56
3.5.2	Регистрация тока и напряжения	58
3.5.3	Управление системой с использованием мнемосхемы.....	60
3.6	Вывод по главе 3	60
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
4.1	Предпроектный анализ	63
4.1.1	Потенциальные конкуренты для результатов исследования	63
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	64
4.1.3	SWOT-анализ.....	65
4.1.4	Оценка готовности разработки к коммерциализации.....	67
4.2	Инициация проекта.....	69
4.2.1	Цели и результат проекта.....	69
4.2.2	Организационная структура проекта	70
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом	71
4.3.1	Иерархическая структура работ	71
4.3.2	План проекта	72
4.3.3	Определение трудоемкости выполнения работ	73
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	78
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	78
4.4.2	Расчет амортизационных отчислений	80

4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	81
4.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	83
4.4.5	Отчисление во внебюджетные фонды	83
4.4.6	Прочие прямые затраты	83
4.4.7	Накладные расходы	84
4.4.8	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	84
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	85
5	Социальная ответственность	89
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	89
5.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	89
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	90
5.2	Производственная безопасность	92
5.2.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	92
5.2.2	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	93
5.3	Экологическая безопасность.....	104
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	106
5.4.1	Анализ вероятных ЧС.....	106
5.4.2	Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.....	106
5.4.3	Разработка действий в случае возникновения ЧС.....	108
5.5	Вывод по главе 5	108
	Заключение	110
	Список публикаций студента.....	111
	Список использованной литературы.....	112
	Приложение А. (Обязательное) Схема подключения оборудования	116
	Приложение Б. (Обязательное) Review of analogs of plasma-arc systems	118

Введение

В условиях быстрого экономического роста и ускоренной урбанизации, происходит непрерывное увеличение количества твердых бытовых отходов. В следствии чего возникла необходимость утилизации этих отходов. С возникновением данной проблемы пришла необходимость поиска оптимального метода для ее решения.

Один из способов утилизации твердых бытовых отходов – сжигание. Данный метод применяется в связи с высоким процентом уничтожения количества отходов, а также выработки электроэнергии. Однако, в процессе сжигания бытовых отходов происходит выделение большого количества летучей золы. Летучая зола определяется как опасные бытовые отходы, с содержанием высокого уровня тяжелых металлов, таких как Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr. Существует множество методов обработки золы, что приводит к устранению вредного воздействия тяжелых металлов [1].

Обработка плазмой – эффективная и действенная технология для плавления и остекловывания опасных отходов из-за высоких температур и плотности энергии.

Для обработки золы плазмой, используется плазмохимический реактор совмещенного типа, синтез материалов происходит в атмосфере без использования инертных газов или же вакуума. Реактор, для которого разрабатывается система автоматизации, имеет горизонтальное расположение электродов.

В настоящее время практически отсутствуют системы управления и мониторинга параметров для плазмохимических реакторов, современные разработки ограничиваются лишь анализом газовой среды, или же автоматической подачи реагентов. Однако, важной частью протекания процесса синтеза является мониторинг параметров окружающей среды и параметров системы, таких как: ток разрядного контура, напряжение на электродах и так далее. Отслеживание параметров позволяет получить систематизацию исследований и выявлять зависимость влияния окружающей

среды и параметров системы на конечный продукт, что в свою очередь дает возможность изменить стартовые параметры при синтезе и получать порошки с новыми свойствами.

Функционал системы не ограничивается регистрацией параметров, также в данной системе предусмотрена возможность управления перемещением электродов в реакторной зоне, что позволит обеспечить повторяемость экспериментов, точное позиционирование электродов и определенное время протекание процесса.

Целью данной работы является разработка системы управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. выбор компонентов для построения системы;
2. разработка схем системы;
3. реализация систем управления и мониторинга параметров;
4. построение визуализации процесса;
5. реализация алгоритма обработки и архивации данных.

1 Аналитический обзор существующих систем

В настоящее время существуют готовые решения, принцип работы которых заложен в разрабатываемой системе. Данные решения обладают схожим функционалом, а также имеют свои преимущества и недостатки. В данной главе приведен обзор готовых решений и технологий, а также их достоинства и недостатки, которые были учтены при создании системы.

1.1 Термическая плазменная система тяньцзиньского университета

Термическая плазменная система созданная учеными тяньцзиньского университета предназначена для обработки и устранения летучей золы, а также данная установка предполагает снижение вредного воздействия тяжелых металлов летучей золы. Установка имеет вертикальное расположение электрода, что отличает ее от разрабатываемой системы, однако основные блоки из которых состоит система может применяться в разработке системы [1]. Рассмотрим устройство установки, представленной на рисунке 1.

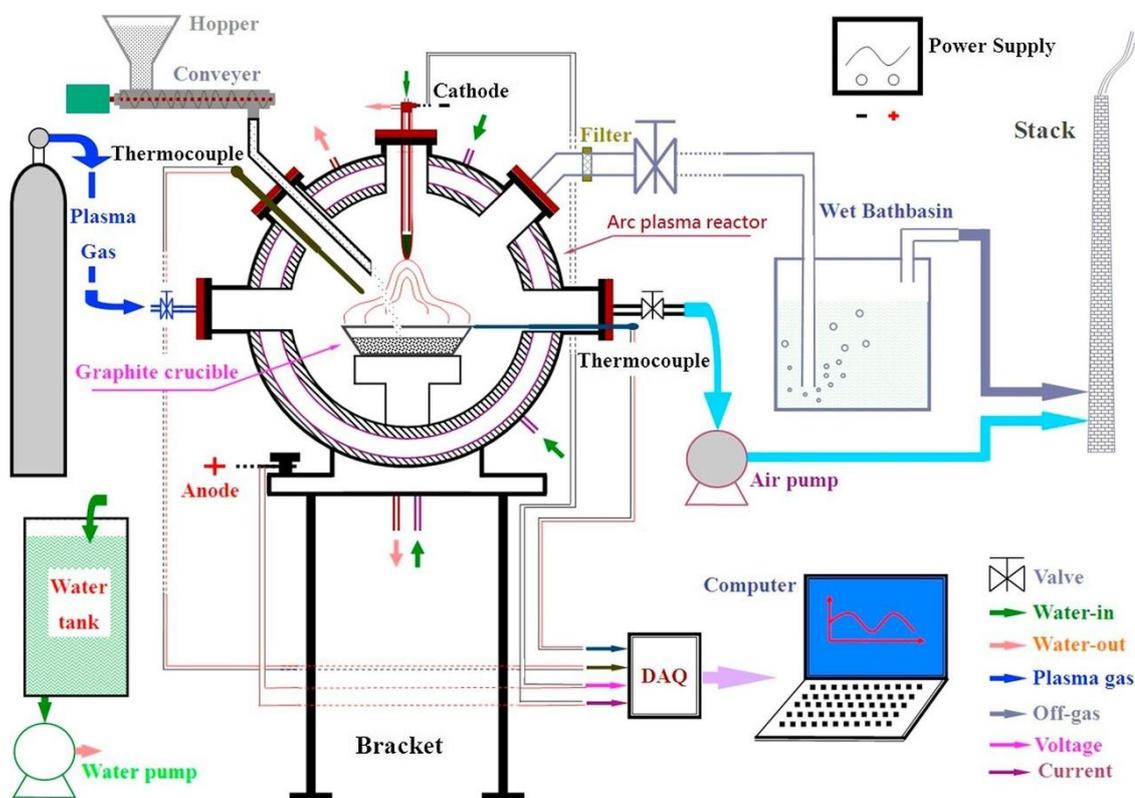


Рисунок 1 – Термическая плазменная система

Термическая плазменная система включает в себя:

- дуговую плазменную печь;
- блок электроснабжения;
- блок подачи материала;
- блок подачи рабочего газа;
- систему охлаждения;
- систему очистки выхлопных газов.

Из плюсов данной системы можно выделить наличие автоматической подачи реагента в печь, системы охлаждения и системы очистки выхлопных газов, что также позволяет производить анализ газов, выделяющихся при реакции. Реакции в данной системе производятся под воздействием рабочего газа – аргона и можно сделать вывод, что камера печи имеет высокую герметичность, что также можно отнести к положительным качествам, так как герметичность реакторной зоны позволяет производить полный анализ газовой среды. Наличие компьютера в системе позволяет отслеживать основные параметры в ходе реакции, такие как ток и напряжения в разрядном промежутке.

К минусам установки можно отнести высокую энергоемкость системы.

1.2 Плазменная горелка с переносом дуги

Плазменная горелка, изображенная на рисунке 2, используется для переработки угольной золы и как следствие получения керамики на основе муллита [2].

Рассмотрим подробнее устройство данной системы. Как видно из рисунка, горелка состоит из:

- графитового катода и анода;
- механизма для обеспечения движения катода;
- блока охлаждения;
- блока подачи газа.

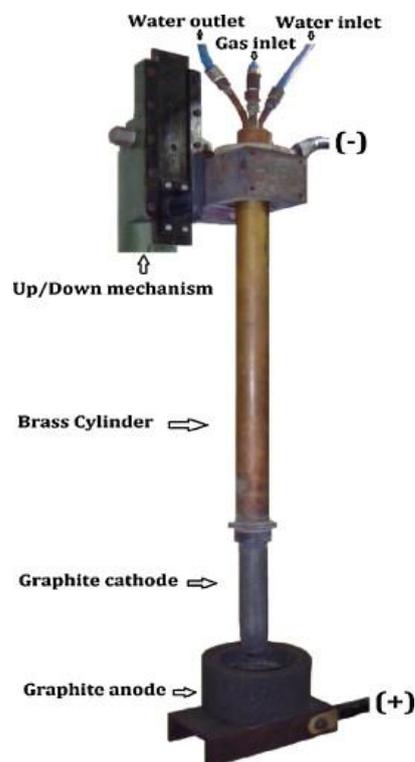


Рисунок 2 – Плазменная горелка с переносом дуги

Стоит отметить, что достоинством рассматриваемой горелки является проведение реакции под воздействием окружающей среды, данная установка не обладает герметичностью. На основании этого можно сделать вывод о том, что не менее актуальны установки открытого типа, так как разрабатываемая установка предусматривает эксперименты под воздействием окружающей среды. Однако отсутствие герметичности системы затрудняет проведение газоанализа.

Основной недостаток данной установки – отсутствие какой-либо автоматики и систем регистрации параметров.

1.3 Плазменная печь, разработанная китайской академией наук

В связи с тем, что количество твердых бытовых отходов в Китае резко возросло в течение последних нескольких десятилетий, оптимальным способом удаления большинства отходов является их сжигание при высокой температуре. Одним из способов устранения отходов является использование термической плазмы – электрической дуги.

На рисунке 3 приведена схема разработанной печи.

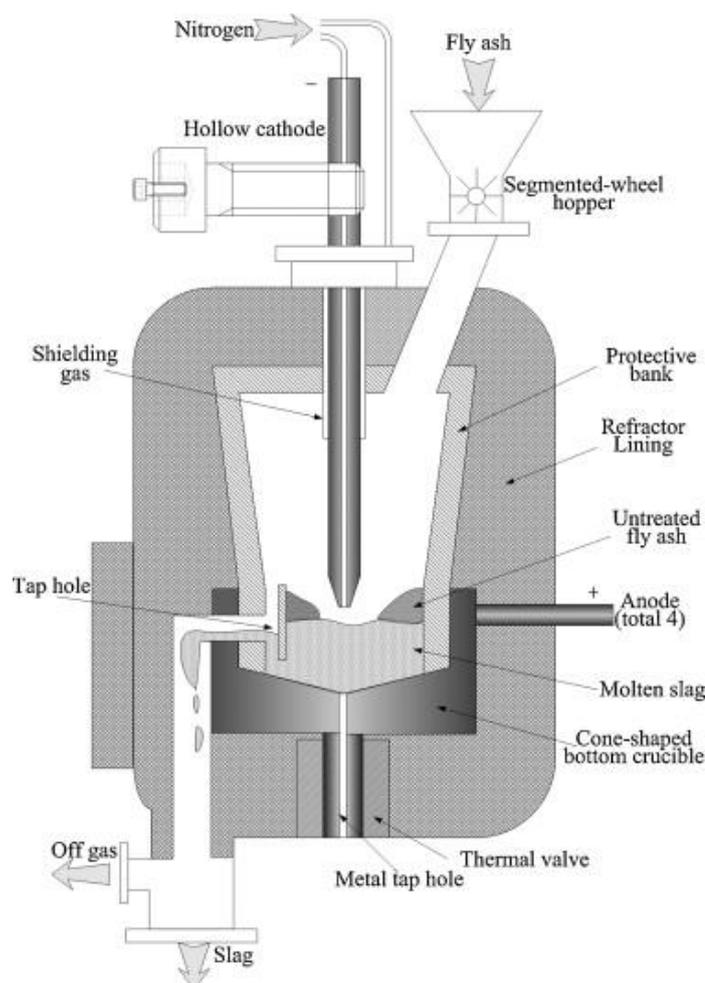


Рисунок 3 – Принципиальная схема стекловаренной печи

Рассмотрим устройство показанной системы. Экспериментальная установка состоит из:

- плазменной печи;
- системы непрерывной подачи реагента;
- графитового анода и катода;
- блока забора газов и получаемого продукта реакции;
- механизма газового охлаждения для катода;
- водяного охлаждения внешней поверхности для анодов.

Преимуществом данной установки является системы подачи шлака не нарушающая герметичность системы и реакторной зоны. Система подачи состоит из двигателя, который приводит в действие бункер с сегментным колесом, предназначенный для подачи твердых отходов с максимальным

размером частиц 1 сантиметр. Летучая зола переносится в емкость через бункер с сегментным колесом вертикально, удерживая воздух из емкости. Скорость подачи регулируется путем изменения скорости двигателя. Скорость подачи является постоянной и очень стабильной по сравнению с шнековым транспортером.

Газы выделяющиеся в ходе реакции проходят через камеру водяного охлаждения для того чтобы минимизировать образования различных соединений. После охлаждения газ проходит отработанный газ проходит через пылеуловитель, а затем в камеру с активированным углем для удаления кислых газов и галогенов, и в завершении отчищенный газ выпускается в атмосферу. На протяжении всех этих этапов происходит контроль состава отработанного газа. Систему устранения отработанных газов также стоит отнести к преимуществам рассматриваемой установки [3].

1.4 Горизонтальный плазменный реактор малой мощности

Кухонные отходы, один из видов твердых бытовых отходов, стали предметом широкого беспокойства и очевидно, что обработка кухонных отходов стала одной из актуальных проблем нашего времени. Плазменная горелка постоянного тока, разработанная в китайской академии наук предназначена для газификации кухонных отходов.

Экспериментальная система содержит плазменную горелку, камеру газификации, спектроскопический газоанализатор с Фурье-преобразованием, шнековый питатель и источник питания плазменной горелки.

Длина и внутренний диаметр камеры газификации составляют 95 мм и 30 мм, а смотровое окно расположено в середине камеры. В передней части камеры установлены две форсунки для подачи порошка. Регуляторы массового расхода используются для контроля расхода воздуха и азота. На выходе из камеры продукты газификации непосредственно собираются и детектируются с помощью FTIR-спектроскопического газоанализатора (Gasmeter DX-4000), а водород детектируется с помощью Hydrogen Analyzer

(QRD-1102C) с использованием метода теплопроводности [4]. Данные с газоанализатора передаются напрямую на компьютер. Описанная система показана на рисунке 4.

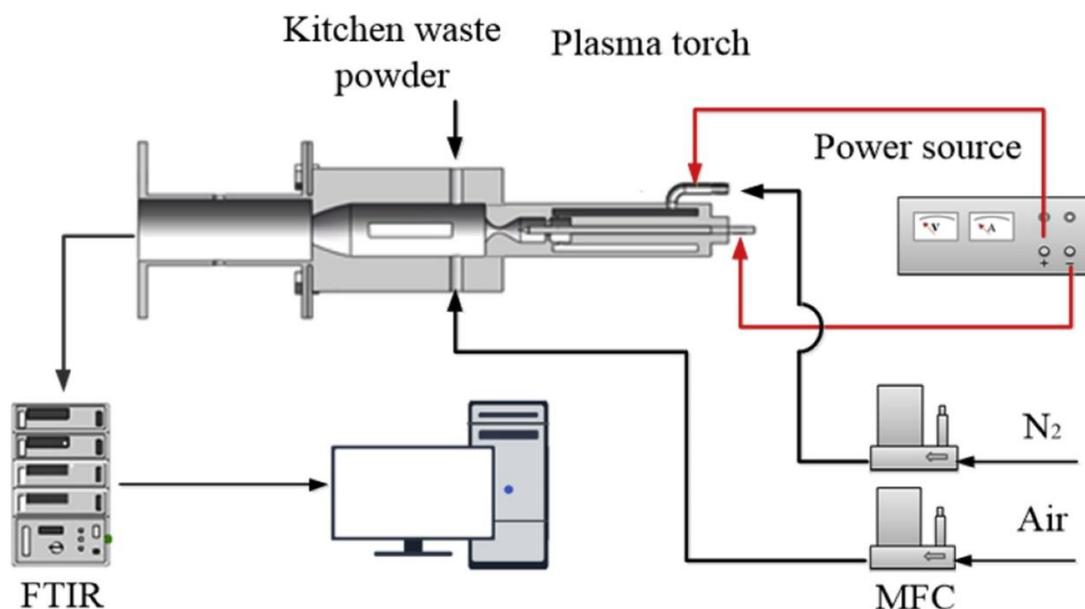


Рисунок 4 – Эскиз горизонтального плазменного реактора малой мощности

Из положительных сторон данной установки можно отметить систему забора отработанных газов и их анализа. От рассмотренных выше систем является замена анода и катода плазменным резаком, а также расположение реактора.

1.5 Установка шанхайского университета Цзяо Тонг для синтеза высококачественных многослойных углеродных нанотрубок

Данная установка предназначена для производства углеродных нанотрубок с помощью дугового разряда на открытом воздухе. Методика получения нанотрубок подразумевает использование горизонтального графитового анода и вертикально вращающегося цилиндрический графитового катода. Применение вращающегося катода позволяет повысить скорость охлаждения катода за счет своевременного смещения области дугового разряда.

На рисунке 5 показана схема аппарата дугового разряда.

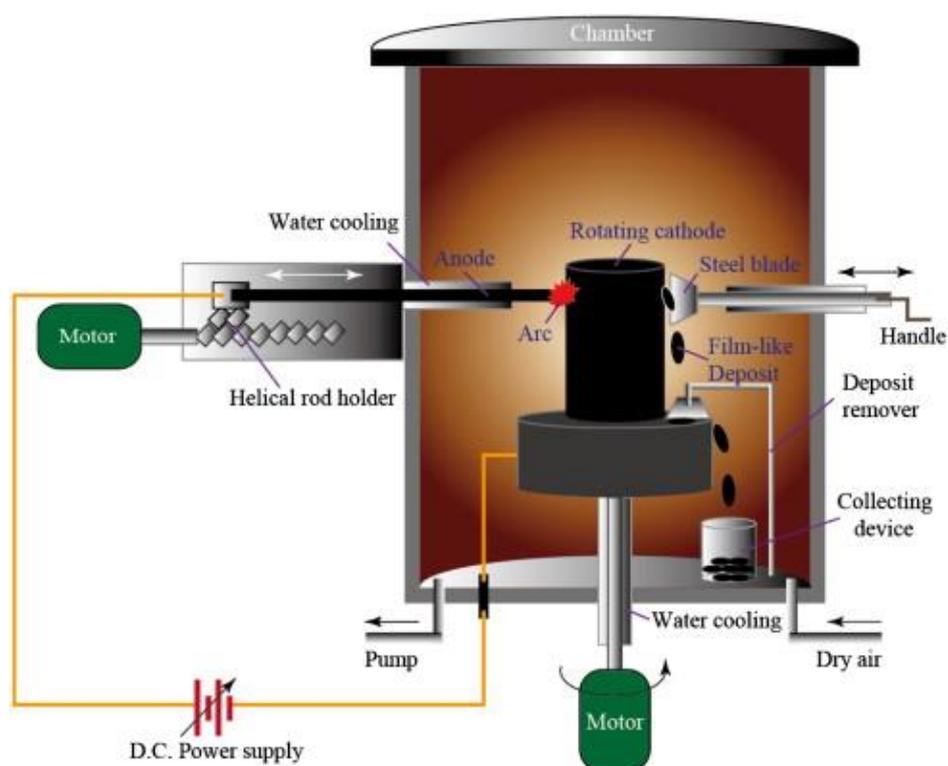


Рисунок 5 – Схема аппарата дугового разряда

В процессе синтеза между электродами поддерживали зазор (1 – 2) мм, который постоянно регулировали в процессе синтеза. Камера заполнялась воздухом в качестве буферного газа. Для получения конечного продукта и отдельных связок нанотрубок, отложения на стенках аппарата обжигали при температуре 750 °С в течении 30 минут, после обработки получают нанотрубки [5].

Из преимуществ данной установки можно выделить наличие системы охлаждения реакторной зоны, как с помощью вращения катода, так и наличие водяной системы охлаждения. Также стоит отметить герметичность системы.

Из недостатков системы можно выделить отсутствие систем мониторинга параметров и управления.

1.6 Вывод по главе 1

В данной главе были рассмотрены основные аналоги систем управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора, использующие методику плазменной дуги. В ходе анализа выявлено малое

количество существующих решений, использующих такой принцип работы. Основными производителями таких систем являются научные лаборатории при университетах.

В результате обзора существующих технологий и решений были выделены следующие особенности плазменных реакторов:

1. Во многих системах отсутствует система управления перемещением электродов.

2. Существующие дуговые реакторы имеют высокую герметичность, что позволяет производить полный анализ газовой среды.

3. Высокая энергоемкость систем.

4. Наличие автоматической подачи реагентов в зону реакции, и отгрузки готового материала из реакторной зоны.

5. Отсутствие единой системы управления и регистрации параметров, с возможностью архивирования данных и расчета параметров синтеза.

6. Наличие системы охлаждения реакторной зоны.

7. Возможность фильтрации отработанных газов.

Также были определены основные компоненты на основе которых необходимо начать построение системы управления и мониторинга параметров.

2 Проектирование системы управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора

В данной главе рассмотрен общий принцип работы дугового реактора, для которого создается данная система. Также произведен подбор компонентов для проектирования системы.

2.1 Устройство дугового реактора

Для создания системы используется реактор совмещенного типа. У реакторов совмещенного типа, генерация плазмы и реакция происходят в одном месте. Подобная конструкция позволяет перерабатывать пылегазовую смесь в очень высокой концентрации, 15 к 1. Это обусловлено тем, что подача материала в зону разряда повышает энергоэффективность реактора.

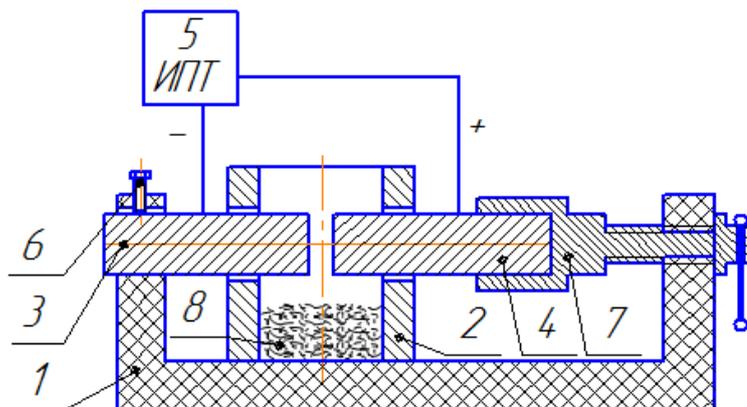
Данный реактор представляет из себя кубическую камеру с облицовкой из огнеупорного материала для снижения потерь тепла. Плазмообразующий газ вводится в зону горения дуги по касательной, а исходные реагенты подводятся сверху.

Общие требования, предъявляемые к реакторам: достижимая мощность, энтальпия, тепловой коэффициент полезного действия (КПД), ресурс непрерывной работы, производительность и безопасность в эксплуатации.

Несмотря на то, что во всех конструкциях использован один и тот же нагревательный элемент - электрическая дуга, достижения высоких показателей могут существенно различаться из-за особенностей конкретных технических решений.

Реактор, для которого разрабатывается система мониторинга основных параметров, имеет горизонтальное расположение электродов. Анод представляет из себя графитовый стержень, а катод в свою очередь представляет собой графитовый тигель, куда непосредственно помещается исходный реагент.

На рисунке 6 показана схема реакторной зоны, при горизонтальном расположении электродов.



1 – диэлектрический корпус; 2 – графитовый тигель; 3 – графитовый цилиндрический катод; 4 – графитовый цилиндрический анод; 5 – источник постоянного тока; 6 – резьбовое соединение; 7 – держатель анода; 8 – порошок карбида бора

Рисунок 6 – Схема реакторной зоны, при горизонтальном расположении электродов

Устройство для получения порошка (8) на основе карбида бора содержит диэлектрический корпус (1), на дне которого расположен цилиндрический графитовый тигель (2), в стенке которого напротив друг друга выполнены два сквозных отверстия, в которые соосно вставлены с одной стороны один конец графитового цилиндрического катода (3), а с другой стороны – один конец графитового цилиндрического анода (4). Другой конец катода неподвижно закреплен на одной стенке корпуса при помощи винта через резьбовое отверстие (6). Второй конец анода закреплен в держателе (7), конец которого вставлен в резьбовое отверстие в другой стенке корпуса. Анод и катод подключены к источнику постоянного тока (5). Технический результат: позволяет получить порошок на основе карбида бора в плазме дугового разряда постоянного тока, инициированного в воздушной атмосфере при нормальных условиях.

Именно для установки было принято решение создавать систему управления и мониторинга параметров рабочего режима. Концептуальная схема системы представлена на рисунке 7.

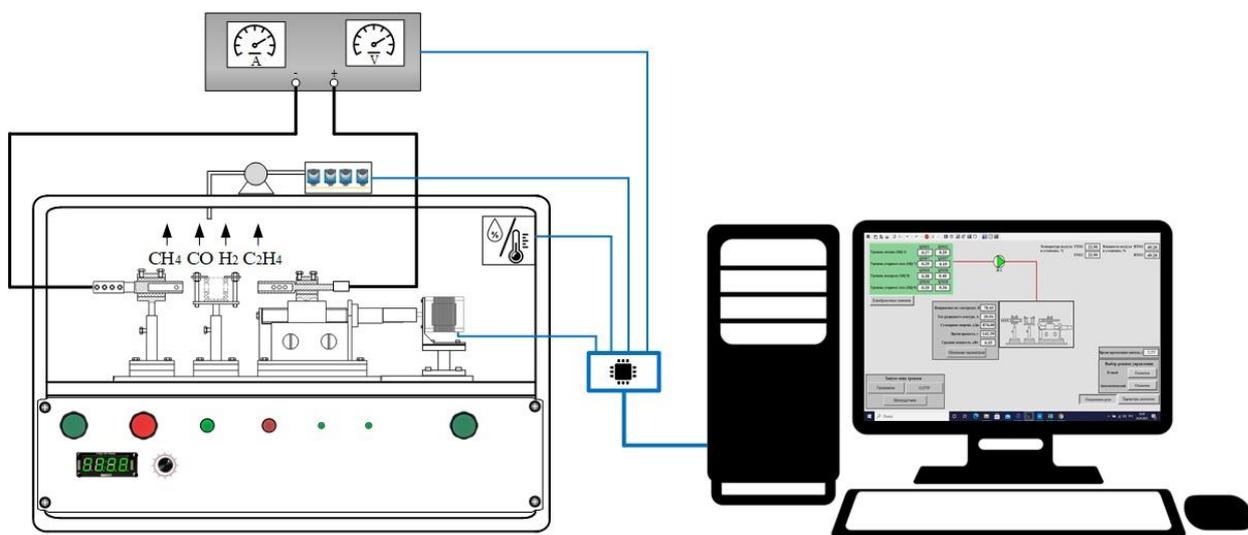


Рисунок 7 – Концептуальная схема реактора с горизонтальным расположением электродов

На основе принципа работы реактора, а также концептуальной схемы, были выделены основные элементы из которых состоит разрабатываемая система:

- 1) Система управления.
- 2) Система регистрации параметров.
- 3) Устройство передачи данных.
- 4) Визуализация процесса.

Для создания системы были определены следующие требования по разработке:

1. Разрабатываемая система должна выполнять следующие функции:

- измерение температуры и влажности;
- измерение тока и напряжения в процессе проведения синтеза;
- анализ компонентов газовой среды;
- управление шаговым двигателем с целью перемещения электродов;

электродов;

- управление насосом, перекачивающим воздух из реактора до датчиков газоанализа;
- архивирование измеряемых параметров;
- установка калибровочных коэффициентов для системы газоанализа.

2. В установке должны быть предусмотрены:

- органы запуска и отключения;
- OPC-сервер для передачи данных между платформой Arduino Mega и SCADA-системой MasterScada;
- визуализация технологического процесса на базе программного пакета MasterScada. Предусмотреть на визуализации возможность изменения следующих параметров: скорость и направление вращения шагового двигателя, время протекания синтеза. При создании визуализации добавить возможность: запуска синтеза процесса (начало движения шагового двигателя) и включение и отключение насоса. На визуализации предусмотреть вывод измеряемых параметров (температура, влажность, ток, напряжение, данные с датчиков газоанализа).

3. Наличие схемы электрических соединений датчиков газоанализа, влажности, температуры, тока и напряжения.

2.2 Подбор компонентов для реализации системы

После изучения принципа работы реактора и определения основных элементов системы, был произведен подбор компонентов для реализации системы управления и мониторинга параметров.

2.2.1 Управление и сбор данных

Управление двигателем, а также производство сбора данных с датчиков в системе производится с использованием контроллера Arduino Mega.

Выбор данного контроллера обусловлен наличием уже существующей системы управления в лаборатории на базе Arduino Mega. Таким образом при создании системы учитывалась ее модульность и возможность интеграции в другие системы. Так, например, система газоанализа может быть интегрирована в другую установку.

Также стоит отметить, что контроллер в данной работе выступает лишь устройством сбора и передачи информации в SCADA систему, все расчеты и алгоритмы, за исключением управления шаговым двигателем, реализованы непосредственно в SCADA-системе.

Технические характеристики Arduino Mega приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики Arduino Mega

Технические характеристики	Значения
Микроконтроллер	ATmega2560
Количество цифровых входов/выходов	70
Порты с АЦП	16
Тактовая частота, МГц	16
Входное напряжение питания, В	(7 – 12)
Напряжение логических уровней, В	5
Потребляемый ток, мА	(0.5 – 2)
Размеры, мм	102 × 53
Стоимость, руб	3 540

2.2.2 Измерение влажности и температуры

Для реализации системы регистрации температуры и влажности было решено использовать цифровые метеодатчики. В настоящий момент существует множество различных устройств. Выбор датчиков производился среди следующих устройств: AM2302 и SHT31-ARP-B [6]. В таблице 2 представлены характеристики каждого из датчиков.

Таблица 2 – Технические параметры метеодатчиков

Параметр	AM2302	SHT31-ARP-B
Напряжение питания, В	5	5
Потребляемый ток, mA	150	170
Диапазон рабочих температур, °C	от - 40 до 80	от – 40 до 120
Погрешность измерения температуры, °C	± 0.2	± 0.3
Диапазон влажности, %	(0 –100)	(0 –100)
Погрешность измерения влажности, %	± 2	± 2
Время отклика, с	2	4
Стоимость, руб.	510	670

В ходе сравнительного анализа был выбран датчик AM2302 показанный на рисунке 8 [7], AM2302 имеет меньшую погрешность и время отклика, но при этом меньший диапазон температур.



Рисунок 8 – Датчик влажности и температуры AM2302

2.2.3 Выбор датчика тока

Сила тока является одним из основных параметров в процессе плазмохимического синтеза, соответственно в процессе разработки системы был поставлен вопрос в выборе датчика тока. В ходе работы были изучены основные типы датчиков тока. В зависимости от принципа работы можно выделить следующие типы датчиков:

- резистивные;

- токовые трансформаторы;
- датчики на эффекте Холла.

В состав резистивного датчика входит резистивный элемент, включенный в цепь измерения. С помощью датчиков, основанных на принципе токового трансформатора, возможно измерение лишь переменного тока, при этом данные датчики имеют низкий частотный диапазон. Из преимуществ токовых трансформаторов можно отметить отсутствие вносимых потерь, напряжения смещения и необходимости использования внешнего источника питания.

Датчики тока, основанные на эффекте Холла, позволяют производить измерение как переменных, так и постоянных токов. Они также отличаются высокой надежностью электрической изоляции и высоким частотным диапазоном. Их можно разделить на:

- датчики с открытой петлей;
- датчики с закрытой петлей.

В зависимости от типа выходного сигнала датчики можно разделить на датчики:

- с линейным сигналом по напряжению (CSL);
- с выходом по току (CSN);
- с цифровым сигналом (CSD) [8].

Для регистрации значения тока в ходе синтеза использован датчик тока CSLA1DJ, основанный на эффекте Холла, показанный на рисунке 9 [9].



Рисунок 9 – Датчик тока CSLA1DJ

Регистрация напряжения разряда производится посредством снятия аналогового сигнала с омического делителя напряжения.

Технические характеристики датчика приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики датчика тока CSLA1DJ

Технические параметры	Значение
Тип подключения к измеряемой цепи	бесконтактный
Максимальный допустимый ток, А	225
Измерение постоянного тока, I _{пост}	+
Измерение переменного тока, I _{пер.}	+
Напряжение питания, В	(8 – 16)
Время отклика, мс	3
Стоимость, руб	1 050

2.2.4 Анализ компонентов газовой среды

Для анализа компонентов газовой среды, было принято решение использовать следующие датчики:

1. датчик метана MQ-2;
2. датчики угарного газа MQ-7 и MQ-9;
3. датчик водорода MQ-8.

На рисунке 10 изображены датчики, использующиеся для анализа газовой среды.



Рисунок 10 – Датчики для анализа газовой среды

В таблице 4 приведены основные технические характеристики датчиков.

Таблица 4 – Технические характеристики датчиков газоанализа

Наименование	Напряжение питания, В	Потребляемый ток, мА	Диапазон аналогового сигнала, В	Вид газа
MQ-2	5	160	(0 – 5)	Метан
MQ-7		150		Угарный газ
MQ-8		150		Водород
MQ-9				Угарный газ

2.2.5 Шаговый двигатель

Был произведен подбор двигателя, при помощи которого будет осуществляться перемещение электродов. Для реализации проекта было решено использовать шаговый двигатель. Выбор данного устройства обоснован следующими преимуществами двигателей такого типа:

- габариты двигателя;
- точность поворота;
- высокий момент при низких скоростях вращения;
- наличие защиты от перегрева и сгорания двигателя при нагрузке,

превышающей максимальный вращающий момент.

На данном этапе создания системы был выбран шаговый двигатель NEMA 17HS8401SY-DP. Шаговый двигатель 17HS8401 биполярный, с высоким крутящим моментом [10]. Выбранный двигатель имеет 4 вывода. Обмотка двигателя AA питается выводами +А и –А, обмотка ВВ питается выводами +В и –В. Включение электромагнита, производится при подаче разности потенциалов на выводы обмотки, отсюда происходит и название двигателя – биполярный. От полярности потенциалов на выводах зависит направление магнитного поля.

Данный двигатель имеет следующие характеристики:

- угловой шаг составляет $1.8^\circ \pm 5\%$;
- количество фаз двигателя: 2;
- крутящий момент: 5.3 кг·см;
- момент удержания: 2.8 кг·см;
- потребляемый ток 1.7 А;
- напряжение питания: 12 В;
- габариты устройства: 42 x 42 x 48 мм.

2.2.6 Управление шаговым двигателем

Управление шаговым двигателем происходит с использованием специального устройства – драйвера шагового двигателя, в ходе работы был произведен анализ драйверов. Выбор драйвера производился из модулей A4988 и L298N.

Драйвер A4988 имеет напряжение питания (8 – 35) В и обеспечивает ток до 2 А на фазу двигателя с использованием радиатора. Также в данном модуле имеется защита от перегрузки и перегрева. A4988 позволяет уменьшить шаг поворота ротора за счёт возможности управления промежуточными шагами, что увеличивает точность перемещения [11].

L298N – полный мостовой драйвер, предназначенный для управления двунаправленными нагрузками с током до 2 А и напряжением до 46 В, с помощью данного модуля производится управление биполярным двигателем. L298N содержит разъем для подключения питания, переключки для настройки модуля, два выхода А и В и разъем управления, с помощью которых регулируют направление вращения и скорость.

В таблице 5 представлены технические характеристики модулей.

Таблица 5 – Технические характеристики драйверов шагового двигателя

Характеристики	A4988	L298N
Напряжение питания, В	(8 – 35)	(8 – 35)
Напряжение питания логики, В	(3 – 5.5)	5
Рабочий ток драйвера, А	2	2
Защита от перегрева	+	+
Размер, мм	20 x 15	43.5 x 43.2 x 29.4
Стоимость, руб	300	610

В результате сравнительного анализа, для реализации управления шаговым двигателем использован драйвер A4988. На рисунке 11 представлен драйвер шагового двигателя.

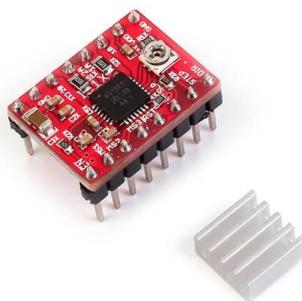


Рисунок 11 – Драйвер шагового двигателя A4988

Из плюсов A4988 можно отметить, что реализация алгоритма управления двигателем выполняется с помощью стандартных функций, без использования библиотек. Также использование «дробления» шага позволяет обеспечивать наибольшую точность позиционирования электрода, что позволяет стабильно поддерживать электрическую дугу в процессе синтеза.

2.2.7 Блок управления перемещения электродами

Управление перемещением электрода осуществляется с помощью шагового двигателя.

Изначально при реализации перемещения решено использовать ременную передачу [12]. В ходе работы было изготовлено два зубчатых колеса и зубчатый ремень, на рисунках 12 и 13 представлены модели деталей, изготовленных в CAD-программе Inventor.

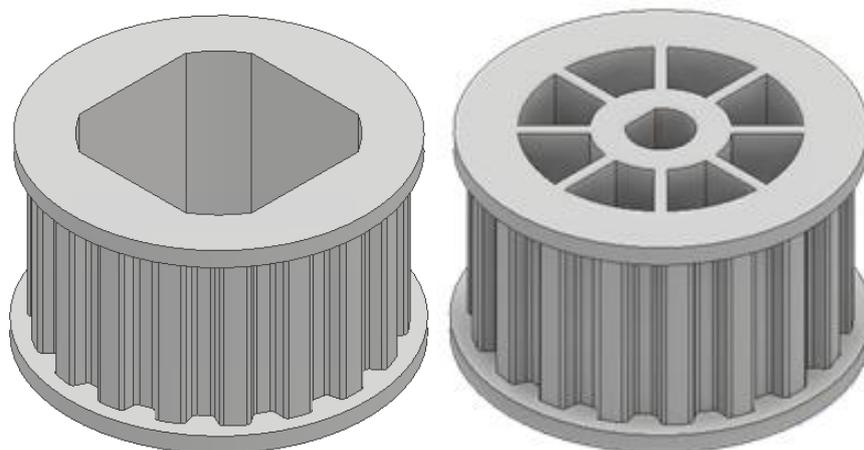


Рисунок 12 – Зубчатое колесо для вала двигателя и держателя анода

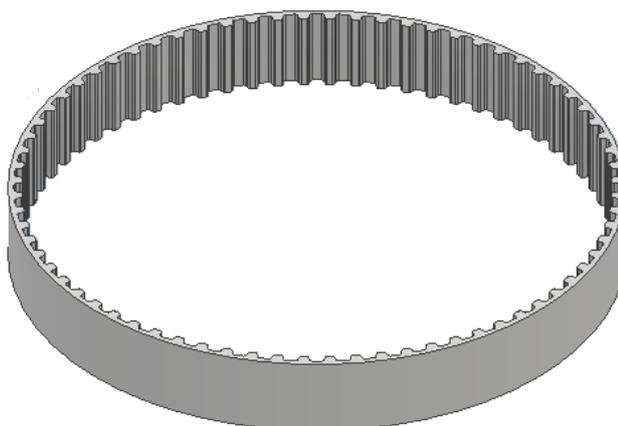


Рисунок 13 – Зубчатый ремень для ременной передачи

На вал двигателя и вал держателя анода были установлены зубчатые колеса, соединенные между собой зубчатым ремнем. Однако, при запуске шагового двигателя движение электрода не происходило – это связано с сильным натяжением ремня и недостаточным моментом.

В связи с проблемой, описанной выше, принято решение заменить ременную передачу на прямую. Была изготовлена переходная муфта и стойка для шагового двигателя. После запуска двигателя держатель анода был

приведен в движение, однако плавность перемещения отсутствовала, в связи с механическими особенностями конструкции.

Также не маловажной задачей, при перемещении электродов с помощью шагового двигателя, является предотвращение заклинивания двигателя при достижении конечных точек пазов для перемещения анода. Данная проблема была решена путем установки микро-концевых выключателей, изготовленные стойки для выключателей показаны на рисунке 14.

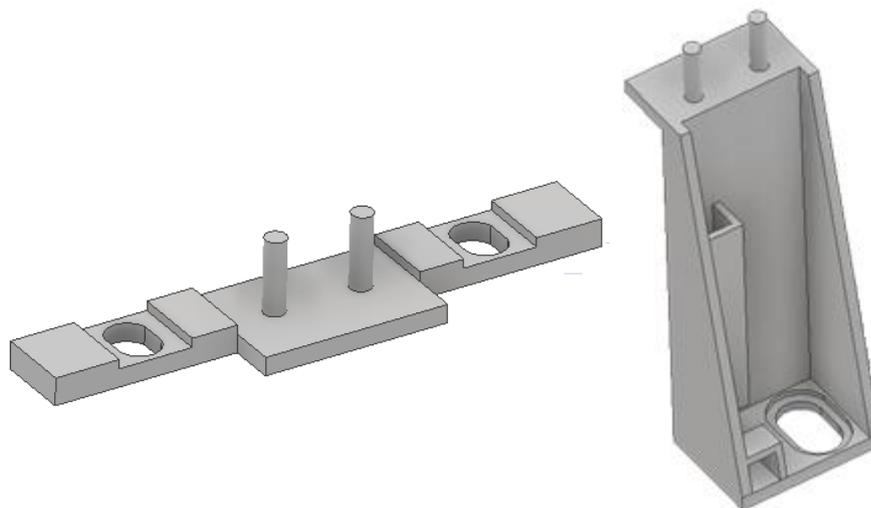


Рисунок 14 – Стойки для микро-концевых выключателей

2.3 Разработка схем подключения оборудования

Неотъемлемой частью проектирования установки, является процесс создания принципиальных и электрических схем установки. В данном пункте приведены схемы подключения оборудования, которые использовались при монтаже оборудования в установке.

2.3.1 Подключение силовой части

На рисунке 15 представлена электрическая схема ввода питания на установку.

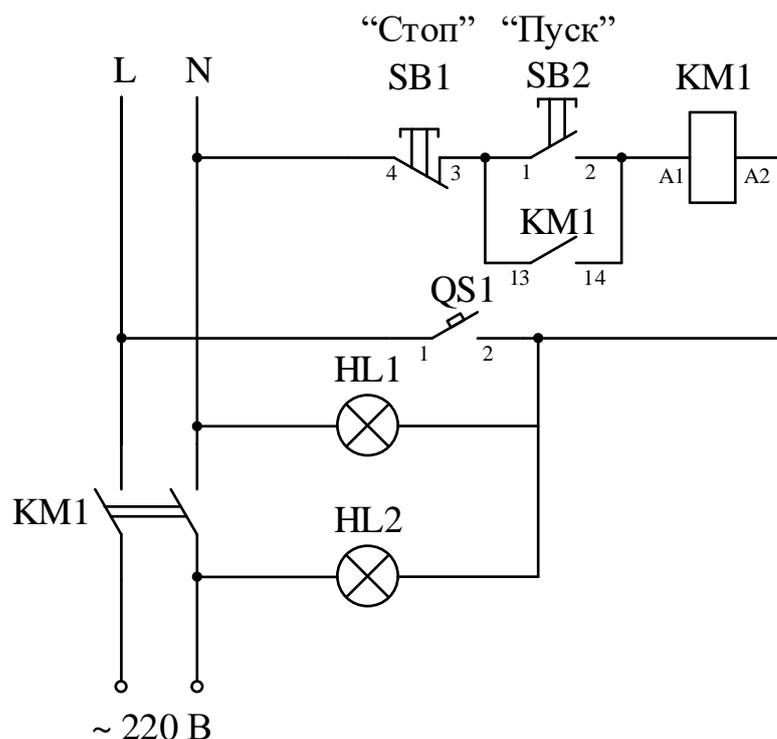


Рисунок 15 – Электрическая схема подачи питания в реактор

Питание на установку подается от внешней сети переменного тока 220 В. Для предотвращения случайного запуска установки и для безопасности пользователя в схему введен магнитный пускатель (KM1). Запуск установки производится с помощью кнопки «Пуск» (SB2), однако, для запуска установки необходимо перевести конечный автомат (QS1) в положение «On». В систему введены сигнальные лампы (HL1 и HL2), предназначенные для визуального отображения наличия питания в установке. После срабатывания магнитного пускателя происходит подача питания на сварочный инвертор, который подключен к электродам. Питание 220 В поступает на блоки преобразования напряжения в 5 В и 12 В соответственно. Прекратить подачу питания можно кнопкой «Стоп», или же переводением конечного автомата в положение «Off».

2.3.2 Подключение датчика тока

На рисунке 16 представлена схема подключения датчика тока CSLA1DJ.

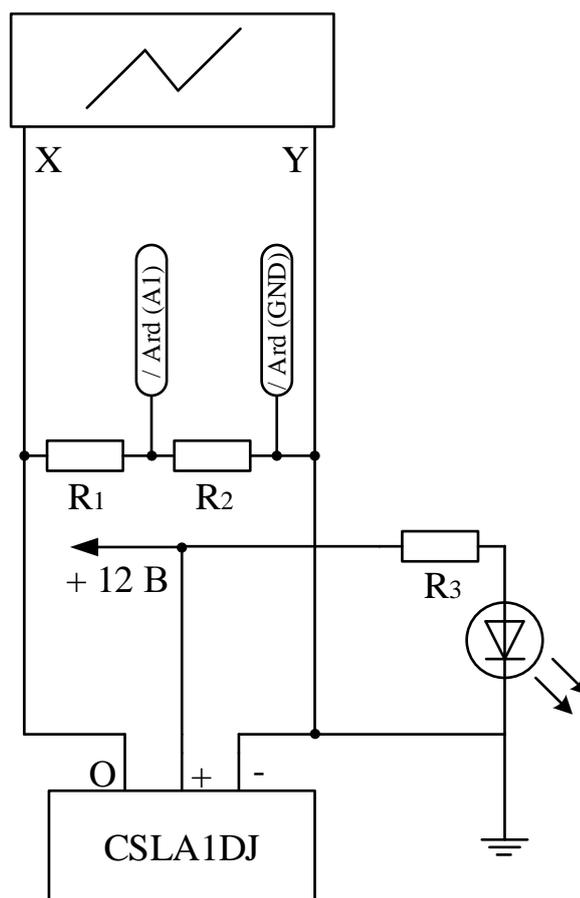


Рисунок 16 – Схема подключения датчика тока CSLA1DJ

Работа датчика происходит от источника питания 12 В. В схему введен светодиод, показывающий наличие питания на датчике. Введение делителя напряжения на двух резисторах, дает возможность регистрировать напряжение микроконтроллером в диапазоне (0 – 5) В. Также регистрация напряжения осуществляется с помощью осциллографа.

Подключение датчика тока к контроллеру показано на схеме в приложении А. Для получения значения тока, с датчика производится регистрация напряжения, далее в программе происходит пересчет полученных значений в значение силы тока.

Регистрация напряжения разряда производится посредством снятия аналогового сигнала с омического делителя напряжения

2.3.3 Подключение оборудования к контроллеру

С помощью графического редактора Microsoft Visio была разработана схема электрических соединений датчиков к контроллеру: газа, влажности и температуры, тока и напряжения. Также на схему добавлено подключение насоса и драйвера шагового двигателя. Схема представлена в приложении А.

Питание датчиков осуществляется источником напряжения 5 В. Датчики газа (MQ-2, MQ-7, MQ-8, MQ-9) подключены через зажимные клеммы к аналоговым входам контроллера (А1-А7). При старте синтеза управляющее воздействие поступает на насос R385, имеющий напряжение питания 12 В и подачу 2 л/мин. Насос производит откачку воздуха из реактора. Откаченный воздух с выделившимися газами поступает в камеру газоанализа.

Для повышения точности измерений, датчики газа были продублированы. В камере газоанализа установлено восемь датчиков, соединённых с контроллером Arduino Mega. Запуск/отключение насоса реализовано с помощью двухканального реле.

Датчики влажности и температуры (AM2302) подключаются к дискретным входам контроллера (D6 и D7). Также в схему введено реле (Relay Module), подключённое к дискретному выходу (D5), которое регулирует работу насоса при запуске/завершении синтеза. В ходе проектирования системы для повышения надежности также было решено продублировать и метеодатчики.

2.3.4 Вывод по главе 2

В данной главе был описан принцип работы плазмохимического реактора для которого разрабатывается система управления и мониторинга параметров рабочего режима, и как следствие определены основные элементы системы.

Для сбора информации и управления перемещением электродов выбран контроллер Arduino Mega, обладающий достаточным количеством

вычислительных ресурсов для считывания информации с датчиков, а также для реализации алгоритма управления шаговым двигателем.

Для измерения температуры и влажности окружающей среды решено использовать метеодатчик AM2302, после сравнения с датчиком SHT31-ARP-В было определено что AM2302 имеет наименьшее время отклика и наибольшую точность по сравнению с конкурентом.

Также был произведен выбор датчика тока, при выборе датчика было рассмотрено три типа устройства датчиков. В итоге был выбран датчик на основе эффекта Холла. Датчики такого типа позволяют бесконтактно измерять переменный и постоянный ток, также имеют высокий диапазон частот. После изучения и выбора датчика, был выбран модуль CSLA1DJ. CSLA1DJ позволяет измерять ток до 225 А, также он имеет время отклика 3 с и напряжение питания 12 В, также стоит отметить тип выходного линейного сигнала по напряжению.

Для анализа газовой среды были выбраны датчики MQ-2, MQ-7, MQ-9 и MQ-8. Датчики обладают низкой стоимостью и не имеют аналогов в своей ценовой категории.

Реализация перемещения электродов была производится с помощью шагового двигателя Nema 17 17HS8401SY-DP, при выборе двигателя учитывался крутящий момент и габариты двигателя, также немаловажна точность позиционирования ротора. Управление Nema 17 решено реализовывать с помощью драйвера шагового двигателя A4988, при выборе драйвера учитывалась точность позиционирования и возможности реализации алгоритма управления. Для перемещения электрода была изготовлена переходная муфта и стойка под двигатель, тем самым удалось реализовать прямую передачу.

После произведения подбора компонентов, произведена разработка схем электрических соединений. Были разработаны схемы подключения силовой части, схема монтажной платы для датчика тока, а также схемы подключения датчиков и драйвера к контроллеру. В процессе проектирования

системы, для повышения точности показаний, решено продублировать датчики газоанализа и метеодатчики.

Спроектировано управление перемещением электродов, в ходе работы были использованы методы ременной и прямой передачи, проработан вопрос предотвращения заклинивания двигателя при достижении конечных положений.

3 Реализация системы управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора

После подбора комплектующих и изучения функционала используемого оборудования, реализация системы была разделена на следующие этапы:

1. Монтаж оборудования.
2. Настройка OPC-сервера.
3. Создание визуализации работы системы.
4. Реализация алгоритмов работы системы.

3.1 Монтаж оборудования

Для удобства монтажа датчиков в реактор была изготовлена печатная плата, для подключения датчиков и вывода цифровых сигналов. Создание печатной схемы производилось в кросс-платформенной среде EasyEDA [13]. На рисунке 17 показана печатная плата для метеодатчиков.

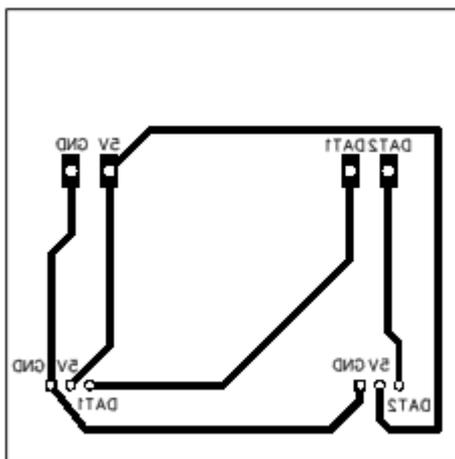


Рисунок 17 – Печатная плата для датчиков влажности и температуры AM2302

Для монтажа датчиков газоанализа была создана печатная плата, изображенная на рисунке 18.

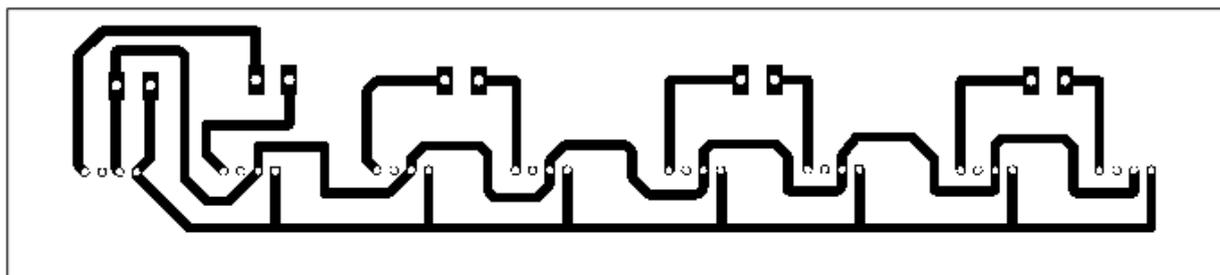


Рисунок 18 – Печатная плата для датчиков газа

В полученные печатные платы были установлены ранее указанные датчики, после чего была произведена сборка плат в установку. Затем, с помощью сигнальных проводов, датчики были соединены с контроллером. Для датчиков газа используются аналоговые входы контроллера, для датчиков влажности и температуры – дискретные входы. Питание датчиков осуществляется с внешнего источника питания.

Делитель напряжения, используемый для измерения напряжения, а также датчик тока, были реализованы на монтажной плате. Для создания делителя напряжения были использованы резисторы на 4700 и 250 Ом, мощностью 2 Вт.

Контроллер, драйвера шагового двигателя, реле включения насоса были расположены на листе текстолита, в рамках электробезопасности. Ввод и вывод сигнальных проводов в контроллер производится через зажимные клеммы.

3.2 Настройка OPC-сервера

Для связи контроллера и SCADA-системы был добавлен OPC-сервер. Создание OPC-сервера производилось в программе Master OPC universal Modbus.

Modbus Universal MasterOPC Server сочетает в себе возможности OPC-сервера наиболее распространенного промышленного протокола передачи Modbus RTU/ASCII/TCP [14]. Также Modbus Universal MasterOPC Server имеет бесплатную версию на 32 тэга, без ограничения работы программы по времени.

Master SCADA 3.7 выбрана для реализации мнемосхемы мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора. Данная версия программы бесплатна, однако имеет ограничение на максимальное количество тэгов – 32. На данном этапе разработки предоставленного количества тэгов достаточно.

Стоит отметить следующие возможности Master SCADA 3.7:

- единая среда разработки и проектирования АСУТП;
- раздельное конфигурирование структуры АСУТП и логической структуры объекта;
- открытость и следование стандартам;
- интуитивная легкость освоения;
- неограниченная гибкость вычислительных возможностей;
- объектный подход [15].

Для передачи данных между Arduino Mega и MasterScada, произведем настройку OPC-сервера. Создадим устройство в древе объектов, а также добавим подключение через COM-порт и установим скорость передачи данных. На рисунке 19 показаны параметры подключения COM-порта [16].

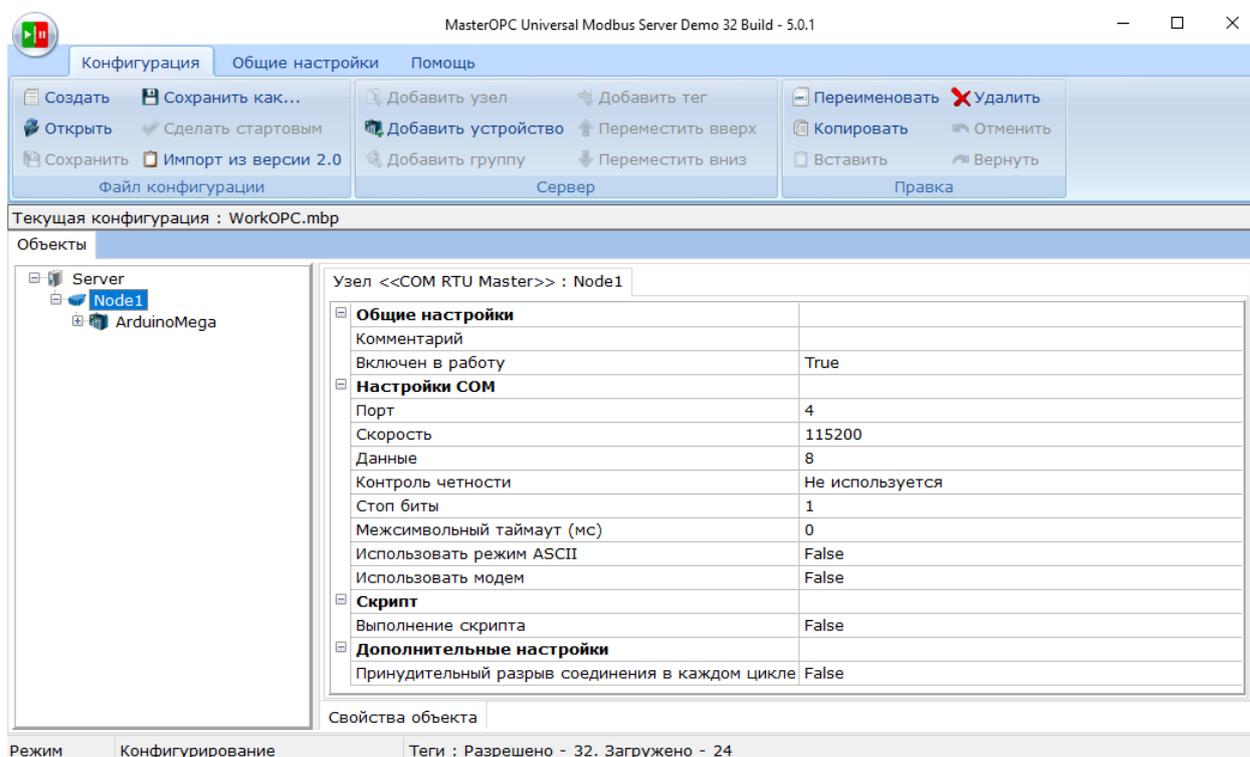


Рисунок 19 – Параметры подключения COM-порта

Добавим устройство Arduino Mega и зададим параметры времени ответа и период опроса, показанные на рисунке 20.

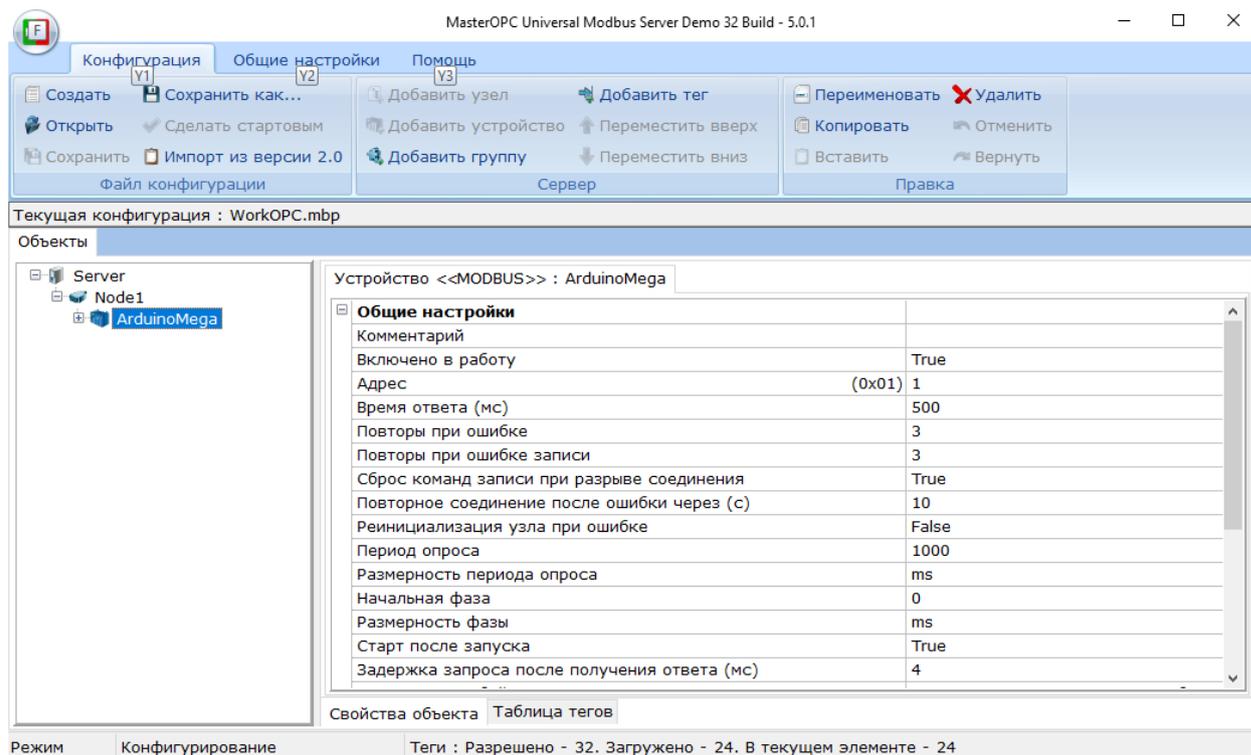


Рисунок 20 – Параметры для подключения микроконтроллера

Добавим теги для опрашиваемых параметров с Arduino Mega. Для каждого тега укажем адрес, тип данных и тип доступа. На рисунке 21 показан список добавленных тегов.

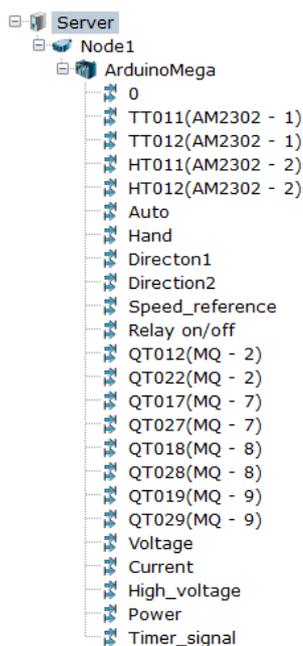


Рисунок 21 – Список тегов для опроса

После этого производится запуск OPC-сервера, и добавление данного сервера в MasterSCADA.

3.3 Создание визуализации на базе программного пакета MasterScada

После подключения OPC сервера к MasterScada были добавлены OPC-переменные, которые связаны с тегами, созданными для мнемосхемы.

В рамках практики была разработана мнемосхема, позволяющая производить мониторинг измеряемых параметров, а также выполнять управление процессом синтеза. На рисунке 22 изображена построенная визуализация.

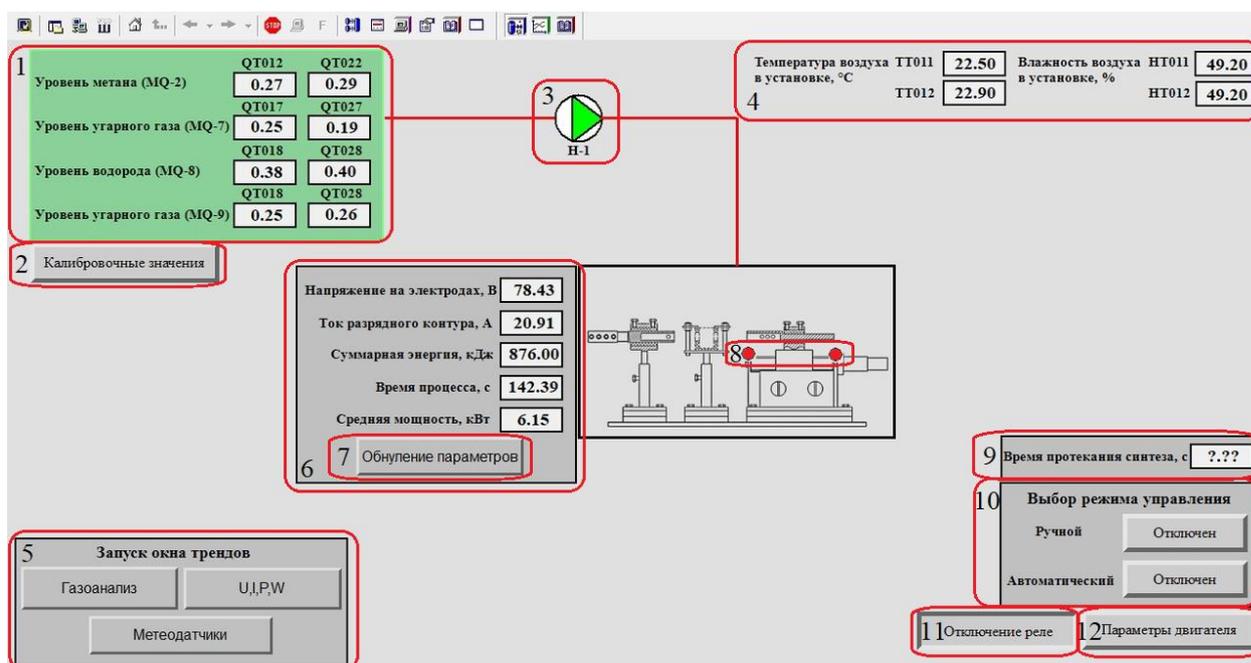


Рисунок 22 – Экран управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора

Рассмотрим экран управления процессом, представленный на рисунке 22. Каждая позиция на схеме пронумерована, позиции и их расшифровка сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Обозначение позиций на визуализации

Номер позиции	Обозначение
1	Показания датчиков газоанализа
2	Вызов окна ввода калибровочных параметров
3	Индикация работы насоса
4	Вывод показаний влажности и температуры в помещении
5	Окно запуска трендов
6	Вывод основных показаний синтеза (напряжение, ток, время синтеза, суммарная энергия и средняя мощность)
7	Обнуление показаний суммарной энергии и средней мощности
8	Индикация срабатывания концевых микровыключателей
9	Окно ввода времени протекания процесса
10	Окно выбора режима управления
11	Включение/отключение насоса
12	Вызов окна управления шаговым двигателем

3.3.1 Показания датчиков газоанализа и окно ввода калибровочных параметров

На рисунке 23 показано окно для вывода показаний датчиков газоанализа.

	QT012	QT022
Уровень метана (MQ-2)	0.04	0.08
	QT017	QT027
Уровень угарного газа (MQ-7)	0.12	0.12
	QT018	QT028
Уровень водорода (MQ-8)	0.70	0.58
	QT018	QT028
Уровень угарного газа (MQ-9)	0.15	0.21
Калибровочные значения		

Рисунок 23 – Вывод показаний датчиков газоанализа

В системе газоанализа, для увеличения точности измерений, применяется дублирование каждого датчика, на мнемосхеме выведено среднее значение с двух датчиков.

Также предусмотрена возможность ввода калибровочных значений, вызов производится с помощью кнопки обозначенной позицией 2. На рисунке 24 показано окно ввода калибровочных параметров.

Ввод калибровочного значения	
Калибровочное значение MQ-2	1.00
Калибровочное значение MQ-7	1.00
Калибровочное значение MQ-8	1.00
Калибровочное значение MQ-9	1.00

Рисунок 24 – Окно ввода калибровочных значений

С помощью данного окна предусмотрена возможность вводить калибровочные параметры для каждой пары датчиков, при калибровке с другими устройствами газоанализа.

3.3.2 Запуск и индикация работы насоса

На рисунке 25 показано отображение работы насоса на мнемосхеме.

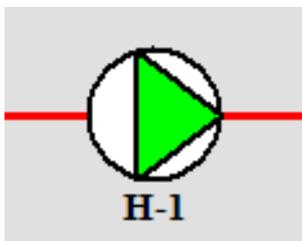


Рисунок 25 – Насос на мнемосхеме

На рисунке 26 изображен экран управления насосом.



Рисунок 26 – Экран управления насосом

На данном этапе управление насосом реализовано с помощью реле, подключенному к дискретному выходу контроллера.

3.3.3 Выбор режима управления

В программе реализованы два режима управления – автоматического и ручного. Мнемосхема позволяет производить выбор данных режимов.

При выборе ручного режима управления пользователю предоставляются следующие возможности:

- выбор направления вращения шагового двигателя;
- запуск/остановка шагового двигателя;
- задание скорости вращения.

При выборе автоматического режима управления происходит непосредственно запуск процесса синтеза. Для начала синтеза пользователю необходимо, в окне параметров двигателя, задать скорость вращения двигателя и также задать время протекания процесса. После задания всех параметров необходимо нажать кнопку «Запуск процесса», отключение производится возвращением кнопки в исходное состояние.

На рисунке 27 изображено окно выбора режима управления и окно задания времени протекания процесса.

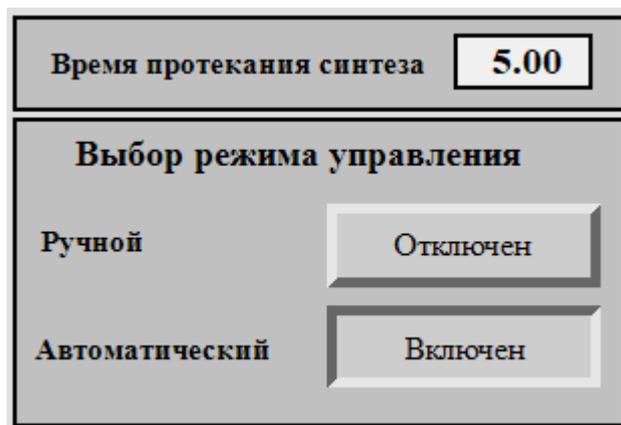


Рисунок 27 – Окно выбора режима управления и задания времени протекания процесса

На рисунке 28 изображен экран управления шаговым двигателем.

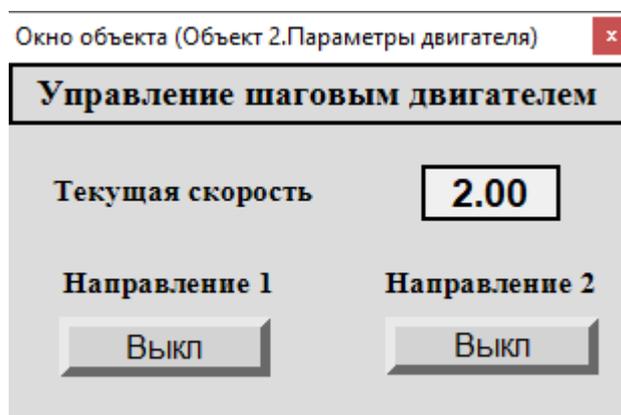


Рисунок 28 – Экран управления шаговым двигателем

3.3.4 Вывод измеряемых параметров

На мнемосхеме также выведена информация о параметрах окружающей среды – влажности и температуры, и значениях тока и напряжения разряда. На рисунке 29 показан вывод данных температуры и влажности, на рисунке 30 показан вывод данных тока и напряжения разряда.

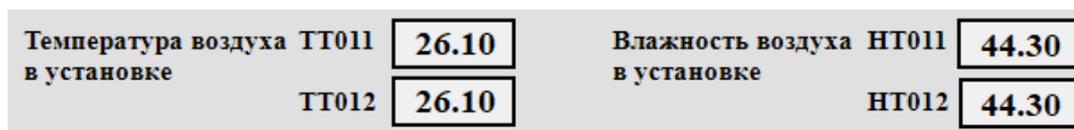


Рисунок 29 – Показания влажности и температуры

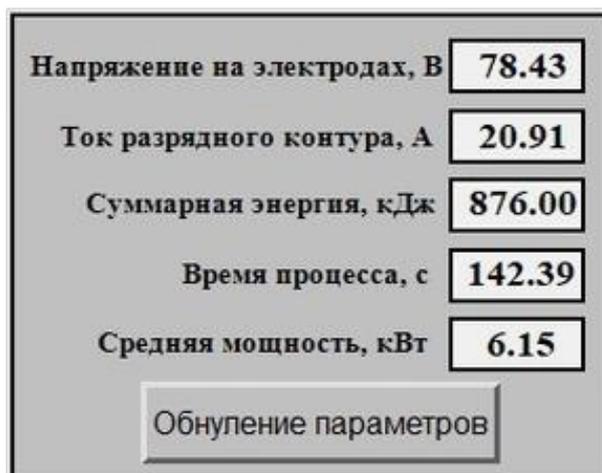


Рисунок 30 – Вывод основных показаний синтеза

3.3.5 Архивирование измеряемых параметров

Представление данных за прошедший период времени, помогающее в оценке результатов и качества функционирования установки, изучении событий в ходе процесса синтеза, реализовано с помощью SCADA-системы.

Важным элементом SCADA системы является система представления архивных данных – графиков. Архивация данных в MasterSCADA может осуществляться в собственный файловый архив или в одну из распространенных СУБД (MS SQL, Oracle, Firebird). Для графического представления архивных значений параметров используется модуль трендов [17].

В разрабатываемой SCADA системе были созданы тренды, для описанных выше параметров. На рисунке 31 представлено окно вызова трендов на мнемосхеме.



Рисунок 31 – Запуск трендов с мнемосхемы

На рисунках 32 – 34 изображены линии тренда для измеряемых параметров.

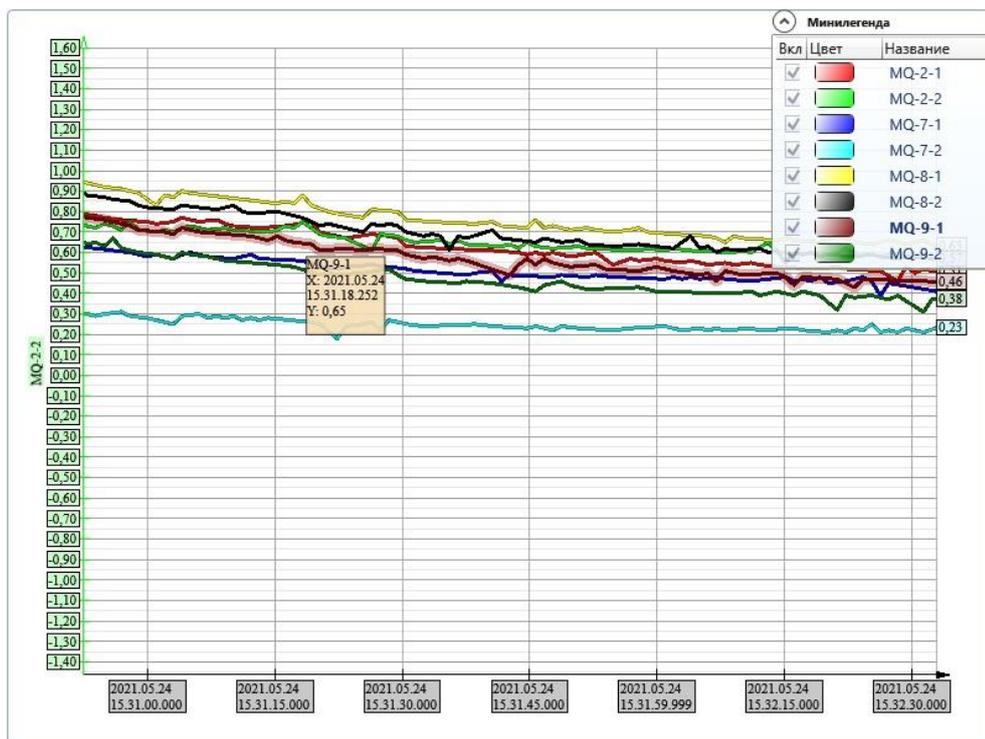


Рисунок 32 – Линии тренда для датчиков газоанализа

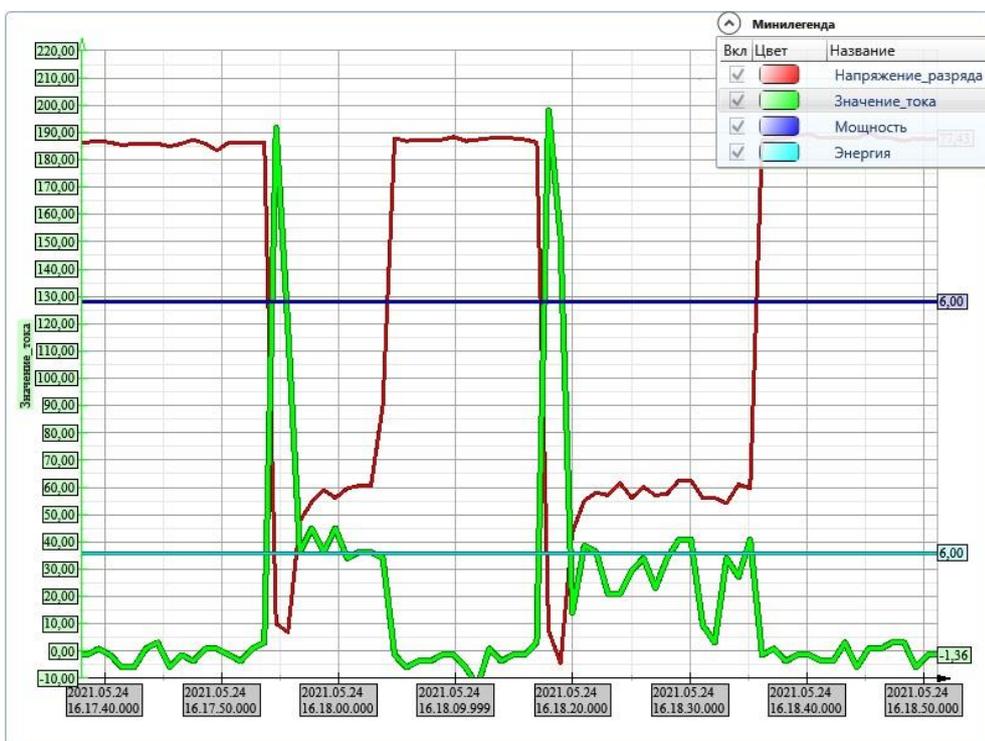


Рисунок 33 – Линии тренда для основных показаний синтеза (напряжение, ток, время синтеза, суммарная энергия и средняя мощность)

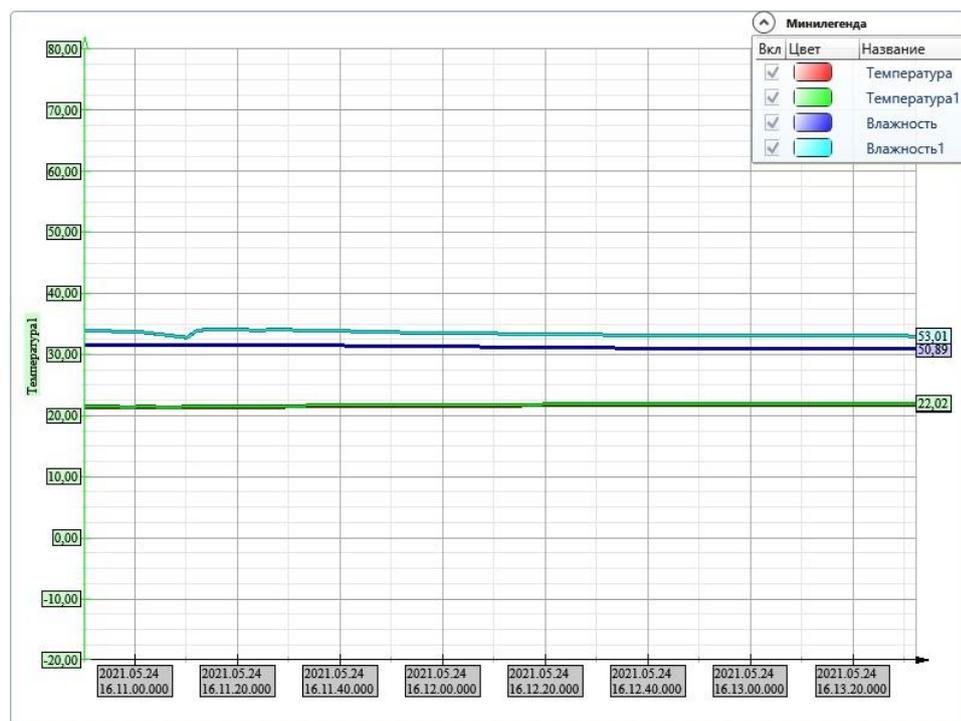


Рисунок 34 – Линии тренда для влажности и температуры
 На рисунке 35 показан экспорт данных с трендов.

	A	B	C	D	E
1	Дата Время	Температура	Температура1	Влажность	Влажность1
2	25.10.2020 15:04:50:571	24,3	24,63	44,37	44,61
3	25.10.2020 15:06:23:775	24,19	24,81	44,71	44,64
4	25.10.2020 15:06:24:775	24,17	24,86	44,8	44,66
5	25.10.2020 15:06:25:775	24,81	24,09	44,56	44,4
6	25.10.2020 15:06:26:775	24	24,01	44,56	44,67
7	25.10.2020 15:06:27:775	24,66	24,45	44,55	44,34
8	25.10.2020 15:06:28:775	24,3	24,88	44,81	44,97
9	25.10.2020 15:06:29:775	24,75	24,46	44,46	44,9
10	25.10.2020 15:06:30:775	24,71	25	45	44,73
11	25.10.2020 15:06:31:775	24,56	24,02	44,56	44,36
12	25.10.2020 15:06:32:775	24,19	24,28	44,49	44,71
13	25.10.2020 15:06:33:775	24,48	24,21	44,82	44,63
14	25.10.2020 15:06:34:775	24,6	24,39	44,81	44,73
15	25.10.2020 15:06:35:775	24,23	24,43	44,86	44,66
16	25.10.2020 15:06:36:775	24,17	24,66	44,64	44,34
17	25.10.2020 15:06:37:775	24,95	24,14	44,93	44,79
18	25.10.2020 15:06:38:775	24,97	24,68	44,41	44,91
19	25.10.2020 15:06:39:775	24,82	24,48	44,41	44,65
20	25.10.2020 15:06:40:790	24,86	24,57	44,78	44,83
21	25.10.2020 15:06:41:790	24,37	24,83	44,32	44,66

Рисунок 35 – Экспорт значений температуры и влажности в Excel

Для удобства работы с данными реализован экспорт регистрируемых значений в файл Excel.

3.4 Разработка алгоритмов работы системы

Создание алгоритмов работы системы мониторинга параметров и управления является основой работы системы в целом. В данном пункте приведены алгоритмы, созданные для системы мониторинга параметров и управления.

3.4.1 Определение старта и окончания синтеза

Важной задачей в процессе синтеза является процесс вычисления суммарной энергии и мощности. Поэтому для устранения влияния шумов или же ложных срабатываний датчиков, было решено создать алгоритм для определения старта и окончания синтеза, на рисунке 36 представлена блок-схема алгоритма.



а – алгоритм проверки старта синтеза; б – алгоритм проверки окончания синтеза

Рисунок 36 – Блок-схема для определения старта и окончания синтеза

На протяжении всего времени работы системы происходит непрерывная регистрация показаний тока и напряжения, показаний мощности и энергии в это время обнуляются. При старте синтеза происходит падение напряжения и увеличение показаний тока, запускается алгоритм проверки на старт синтеза. После того как напряжение уменьшилось, а ток начал возрастать, запускается таймер и начинается вычисление суммарной энергии и мощности, также регистрируется длительности процесса синтеза, если значения указанных выше переменных находятся в установленных границах в течении 3-х секунд, то расчет показаний продолжается. В том случае если значения тока и напряжения выходят за установленные границы, происходит сброс таймера и алгоритм проверки запускается снова.

Также в процессе работы системы также необходимо определять момент окончания синтеза, для реализации данного алгоритма был заложен принцип работы алгоритма определения старта синтеза. Окончание синтеза сопровождается стабилизацией напряжения и уменьшением показаний тока, тем самым происходит запуск алгоритма проверки на окончание синтеза. После того как напряжение увеличилось, а ток начал уменьшаться, запускается таймер проверки на окончание синтеза, вычисление суммарной энергии и мощности продолжается, если значения указанных выше переменных находятся в установленных границах в течении 3-х секунд, то расчет показаний заканчивается и происходит вывод времени процесса и окончательный расчет средней мощности. В том случае если значения тока и напряжения выходят за установленные границы, происходит сброс таймера проверки на окончание синтеза и алгоритм проверки запускается снова, расчет показаний не прекращается.

3.4.2 Алгоритм управления двигателем

Важным критерием работы установки является возможность осуществления высокой повторяемости экспериментов. Для реализации

данной функции был разработан алгоритм автоматического управления, представленный на рисунке 37.

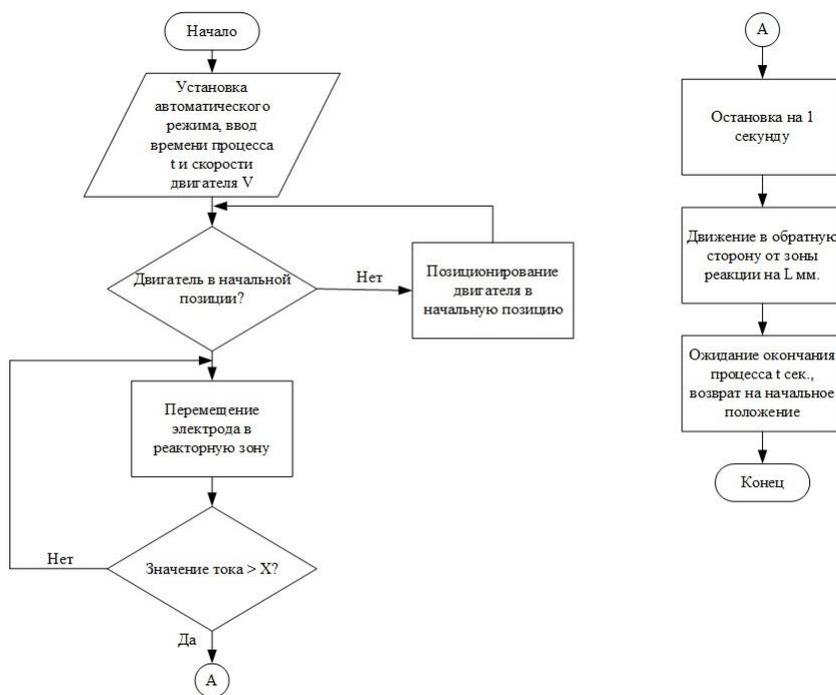


Рисунок 37 – Блок-схема управления шаговым двигателем для запуска процесса синтеза

Для запуска процесса оператору необходимо активировать автоматический режим, задать время протекания процесса и указать скорость двигателя, данные действия могут быть выполнены с помощью мнемосхемы. После указания необходимых параметров оператору необходимо нажать кнопку запуска процесса.

Для корректности работы системы, изначально происходит проверка позиции анода, в случае если анод находится в неопределённом положении, то происходит запуск двигателя и анод перемещается в начальное положение. После установки анода в стартовое положение происходит перемещение анода в реакторную зону, до момента повышения тока. После того как в системе произошел скачок тока, анод задерживается в реакторной зоне на заданное время, и затем, для создания разрядного промежутка, происходит перемещение анода в обратном направлении на заданное расстояние. Затем происходит отсчет заданного времени процесса, при его окончании

активируется двигатель и происходит разрыв дуги, анод возвращается на начальное положение.

3.5 Тестирование работоспособности системы

После сборки системы и программной реализации, требуется провести проверку качества работы систем и провести сравнение показаний с поверенными приборами:

- анализ газовой среды;
- регистрация тока и напряжения;
- управление системой с использованием мнемосхемы.

3.5.1 Анализ газовой среды

Для проверки системы анализа газовой среды, изначально дуговой реактор был запущен в режиме холостого хода, в результате чего были получены следующие результаты, изображенные на рисунке 38.

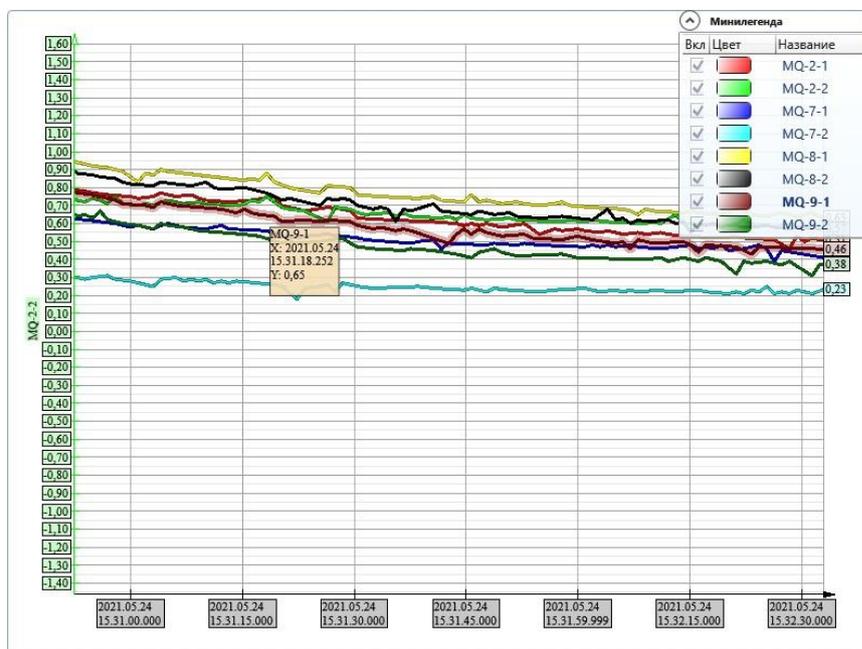


Рисунок 38 – Данные с датчиков анализа газовой среды при холостом ходе системы

Из графиков видно, что изначально датчики проходят стадию нагрева, после чего их показания стабилизируются, наблюдаются колебания показаний.

Далее был произведен тестовый запуск системы. При старте синтеза запускается насос R385, который производит закачку воздуха в камеру газоанализа, где установлено 4 продублированных типа датчиков. Показания датчиков в ходе процесса синтеза представлены на рисунке 39.

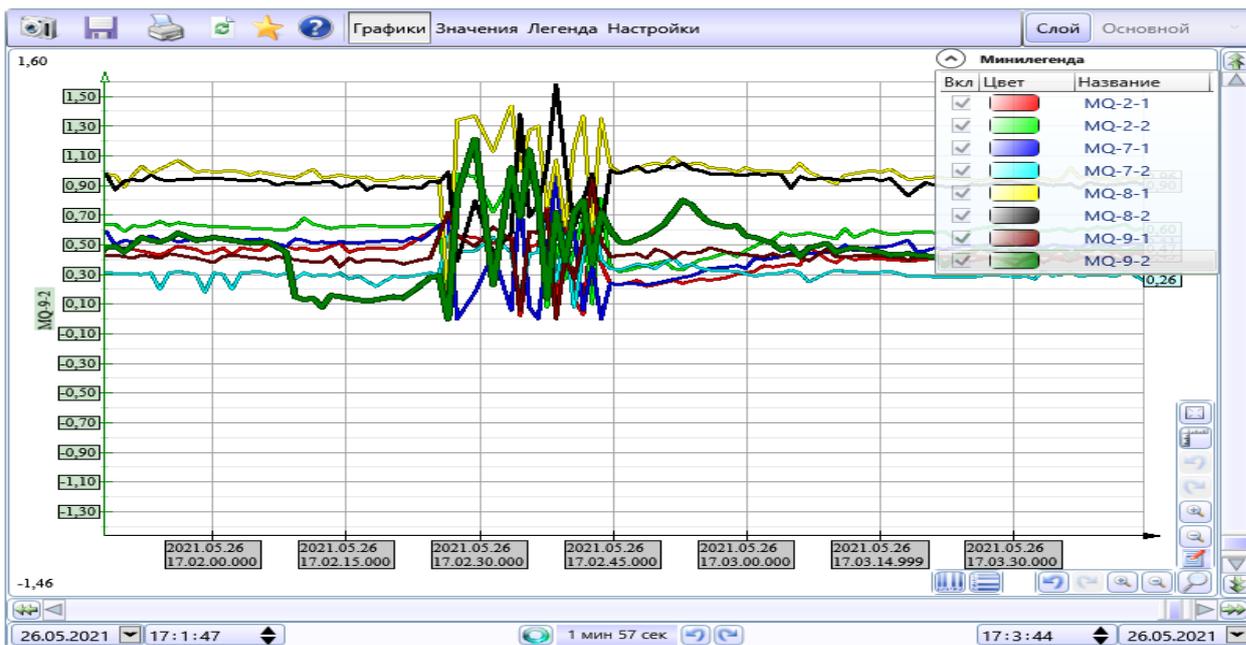


Рисунок 39 – Данные с датчиков анализа газовой среды в процессе синтеза

Как видно из рисунка 39, сигнал со всех датчиков сильно зашумлен, в таком случае утверждать о работоспособности системы газоанализа не представляется возможным. Причинами зашумления сигналов с датчиков является электрическая дуга, образующаяся в момент проведения синтеза, дуга является источником высокочастотных помех, что приводит к некорректной работе системы. Для решения данной проблемы была произведена экранизация сигнальных проводов, однако это не привело к улучшению сигналов. Также одна из причин проблем заключается в объединенной системе питания, то есть минус низковольтной части системы объединен с минусами блоков питания, которые питаются последовательно с

питанием инвертора. Для решения данной проблемы необходимо отделить высоковольтное питание от низковольтного.

3.5.2 Регистрация тока и напряжения

Регистрация тока разрядного контура и напряжения на электродах на данный момент производится с помощью осциллографа. Для удобства обработки информации и архивации данных, было принято решение реализовать измерение данных параметров с помощью контроллера и SCADA-системы. Реализация блоков измерения параметров описана в предыдущих пунктах. Для проверки корректности работы система была запущена в режиме холостого хода и затем был произведен синтез. На рисунке 40 изображены линии трендов для тока и напряжения.

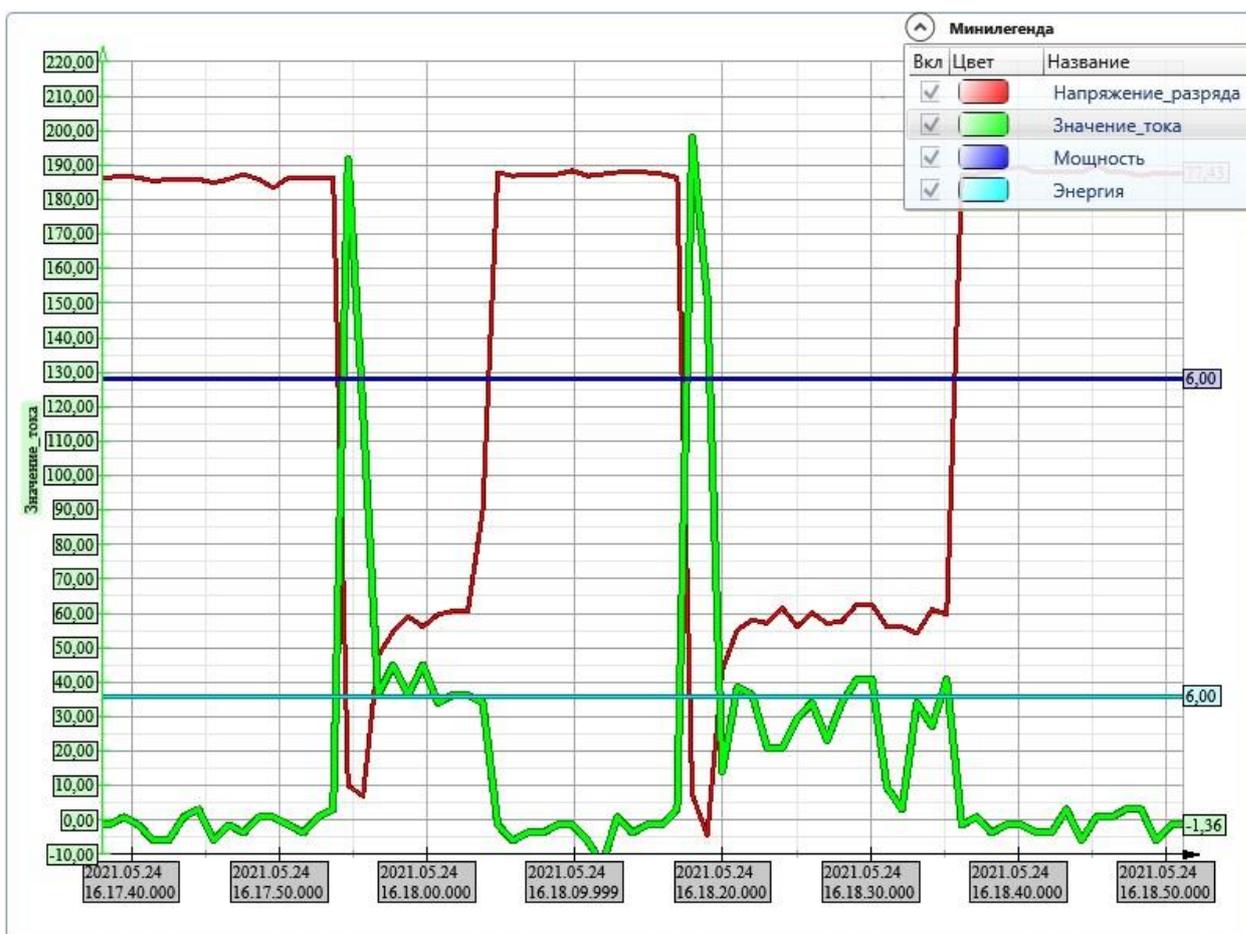


Рисунок 40 – Линии тренда делителя напряжения и датчика тока

Из рисунка 40 видно, что показания напряжения корректны, при этом показания тока неверны. При холостом ходе установки показания тока

должны колебаться в районе 0 А, значение напряжения должны находится в пределах 80 В. Для правильной регистрации значений тока, в расчет тока был введен коэффициент датчика тока. Для проверки корректности регистрации значений проведем процесс синтеза с использованием осциллографа и сравним показания с полученными трендами. На рисунке 41 изображены показания тока и напряжения с осциллографа, на рисунке 42 изображены показания, снятые с помощью разрабатываемой системы.



Рисунок 41 – Показания делителя напряжения и датчика тока с осциллографа

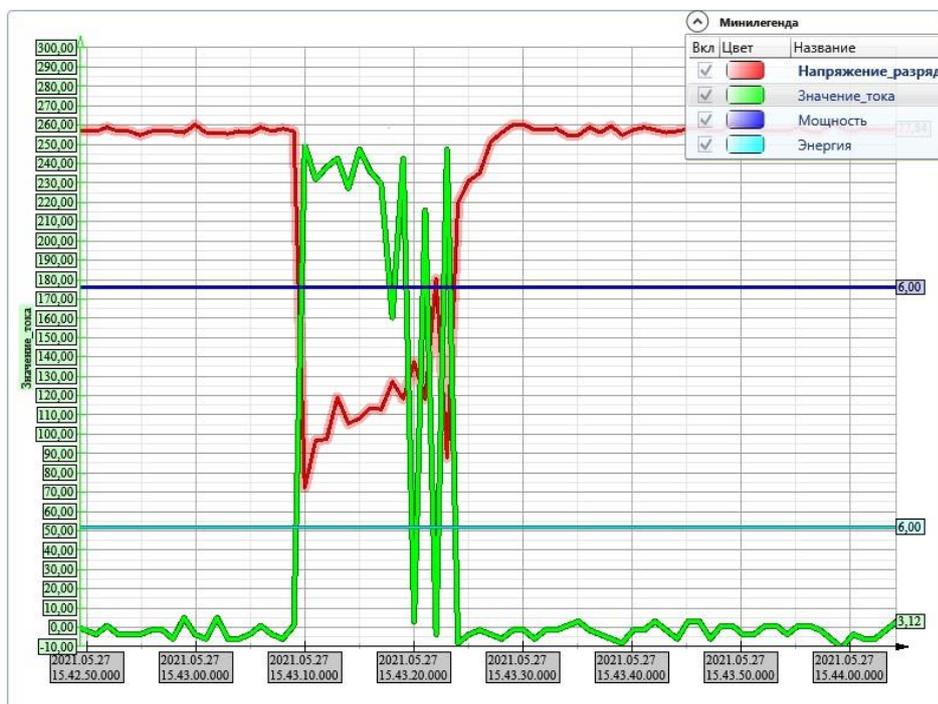


Рисунок 42 – Данные делителя напряжения и датчика тока с разрабатываемой системы

Из рисунков 41 и 42 видно что графики тока и напряжения с осциллографа схожи с графиками полученными системой. Однако, для более точной проверки показаний произведем расчет средней энергии, и определим точность показаний разрабатываемой системы.

После выполнения расчетов средней энергии было получена средняя мощность, рассчитанная с использованием показаний осциллографа, равная 5,234 кВт, средняя мощность рассчитанная из показаний системы составила 5,184 кВт. Относительная погрешность составила приблизительно 0.1 %.

3.5.3 Управление системой с использованием мнемосхемы

Для проверки корректности работы мнемосхемы было проведено ее апробирование. Данные с контроллера отправляются на мнемосхему с периодом опроса равным одну секунду. Запись данных с мнемосхемы в контроллер происходит около 2 секунд. Запись данных в контроллер необходима для выбора направления вращения вала двигателя, задания скорости вращения, а также запуска реле, активирующего работу насоса.

3.6 Вывод по главе 3

В данной главе рассмотрена реализация системы управления и мониторинга параметров дугового реактора постоянного тока. Первым этапом реализации системы был монтаж оборудования в реактор. Согласно разработанным схемам оборудование было установлено в реактор, для удобства монтажа датчиков газоанализа и метеодатчиков были разработаны печатные платы. Сигналы в контроллер заведены через колодку зажимных клемм.

Следующими этапами разработки системы было создание визуализации процесса. Для связи контроллера с SCADA-системой возникла необходимость в настройке OPC-сервера. В качестве OPC-сервера был выбран Modbus Universal MasterOPC Server. В качестве SCADA-системы выбрана Master SCADA 3.7. При выборе учитывалась доступность программ, а именно

наличие бесплатной версии. В выбранных программах присутствует неограниченное время работы и возможность использования 32 тэгов для переадресации данных между SCADA-системой и контроллером.

После настройки OPC-сервера реализована визуализация, на базе программного пакета MasterScada 3.7. На визуализации реализовано отображение измеряемых параметров – температуры, влажности, напряжения разряда и тока, также веден расчет суммарной энергии и средней мощности. Добавлены тренды для данных параметров, и окно вызова трендов. Также добавлен вывод данных с датчиков газоанализа, и реализована возможность ввода калибровочных значений. С помощью мнемосхемы осуществлен выбор режима управления, ввод времени протекания процесса синтеза, ввод скорости вращения шагового двигателя и выбор направления вращения в ручном режиме.

Также была выполнена реализация системы управления и мониторинга параметров рабочей среды дугового реактора совмещенного типа с горизонтальным расположением электродов. Созданы печатные платы для измерения напряжения, датчиков температуры и газоанализа. Реализовано управление перемещением электродов, в ходе работы использован метод прямой передачи, проработан вопрос предотвращения заклинивания двигателя при достижении конечных положений, с помощью монтажа конечных микровыключателей.

После реализации визуализации процесса, были созданы алгоритмы работы системы мониторинга параметров и управления перемещения анодом.

Заключительным этапом реализации системы является – тестирование ее работоспособности. В ходе проверки системы газоанализа было выявлено, что показания датчиков при процессе синтеза некорректны, это связано с шумом, создаваемым разрядной дугой. Также проверены измерения тока и напряжения, для точной проверки использован осциллограф, были получены графики и данные исходя из которых была рассчитана средняя энергии по показаниям с разрабатываемой системы и осциллографа, в результате

относительная погрешность составила 0.1 %. Последним этапом тестирования системы является проведение апробации мнемосхемы, что позволило утверждать о корректной работе мнемосхемы.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные конкуренты для результатов исследования

Для анализа существующей конкуренции необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Объектом разработки является система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока. Группу потребителей могут составить предприятия, где необходима переработка твердых бытовых отходов, или производство сверхтвердых материалов. Сегментирование рынка произведено по следующим критериям: размер компании-заказчика и область применения. Карта сегментирования приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Карта сегментирования

		Область применения		
		Научные лаборатории	Промышленные предприятия	Очистные сооружения
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Согласно карте сегментирования, можно выбрать следующие сегменты рынка: разработка системы управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока для мелких и средних научных лабораторий, для крупных и средних промышленных предприятий, и очистных сооружений.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Среди производителей рассматриваемой системы можно выделить следующих: термическая плазменная система тяньцзиньского университета (конкурент 1), плазменная печь, разработанная китайской академией наук (конкурент 2). Анализ приведен в таблице 8.

Термическая плазменная система созданная учеными тяньцзиньского университета предназначена для обработки и устранения летучей золы, а также данная установка предполагает снижение вредного воздействия тяжелых металлов летучей золы.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических 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. Скорость передачи данных	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
2. Точность показаний	0.1	5	5	5	0.5	0.5	0.5
3. Плавность работы	0.07	3	4	5	0.21	0.28	0.35
4. Удобство управления	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
5. Масштабируемость	0.1	5	4	3	0.5	0.4	0.3
6. Модульность	0.05	5	2	2	0.25	0.1	0.1
7. Помехоустойчивость	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
8. Время отклика	0.03	3	4	5	0.09	0.12	0.15

Продолжение таблицы 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических 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
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0.05	4	5	5	0.2	0.25	0.25
2. Уровень проникновения на рынок	0.05	4	2	2	0.2	0.1	0.1
3. Цена	0.1	4	2	2	0.4	0.2	0.2
4. Послепродажное обслуживание	0.1	4	2	2	0.4	0.2	0.2
5. Доступность	0.1	4	1	1	0.4	0.1	0.1
Итого	1	54	50	47	4.2	3.5	3.5

Согласно критериям ресурсоэффективности слабыми сторонами проекта можно считать: плавность работы, время отклика. В то же время, продукт конкурентоспособен по остальным техническим критериям. Из сильных сторон можно выделить модульность, скорость передачи данных, масштабируемость и точность показаний.

Для оценки экономической эффективности были выбраны следующие экономические критерии: конкурентоспособность продукта, уровень проникновения на рынок, цена, послепродажное обслуживание, доступность. Результаты анализа выявили, что созданный продукт имеет наибольшую конкурентоспособность в условиях существующего рынка по сравнению с конкурентами.

4.1.3 SWOT-анализ

Для исследования внутренней и внешней среды проекта был проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта – SWOT-анализ.

Итоговая матрица SWOT-анализа, полученная в результате реализации всех этапов исследования, приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкая стоимость. С2. Точность показаний. С3. Модульность проекта. С4. Замена компонентов. С5. Архивирование информации. С6. Скорость передачи данных. С7. Удобство управления и наличие мнемосхемы.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Неустойчивость к помехам и наводкам. Сл2. Отсутствие плавности в работе. Сл3. Недостаточное время отклика. Сл4. Неповоротное оборудование. Сл5. Отсутствие клиентской базы.
Возможности: В1. Осваивание новых отраслей. В2. Выход на иностранный рынок. В3. Повышение стоимости разработок конкурентов. В4. Появление бюджетных аналогов использующихся компонентов. В5. Возможность синтеза новых материалов.	За счёт модульности проекта существует возможность осваивания новых отраслей и расширения функционала. Удобство управления и наличие мнемосхемы, позволяют уменьшить затраты на обучение персонала, а также дает возможность использования проекта иностранными клиентами. Появление бюджетных аналогов использующихся компонентов обеспечит низкую стоимость проекта, что дает возможность повысить спрос на проект при повышении стоимости разработок конкурентов.	При осваивании новых отраслей и выходе на иностранный рынок возможно появление и увеличение клиентской базы. Увеличение стоимости разработок конкурентов приведет к появлению новых клиентов. Осваивание новых отраслей повлечет за собой замену комплектующих, что приведёт к устранению неустойчивости к помехам и наводкам. Выход на иностранный рынок повлечет за собой новые требования к используемому оборудованию, что приведет к необходимости приобретения поверенного оборудования.

Продолжение таблицы 9 – Матрица SWOT-анализа

<p>Угрозы: У1. Появление новых способов синтеза/обработки материалов. У2. Увеличение стоимости ресурсов. У3. Появление на рынке наиболее совершенных систем от конкурентов. У4. Уменьшение спроса потребителей на данную систему.</p>	<p>Снижение стоимости проекта при повышении цен на ресурсы за счет замены комплектующих бюджетными аналогами и использования бюджетного программного обеспечения. Наличие многих комплектаций и вариантов продукта для различных отраслей, позволит сохранить спрос на продукт. Архивирование информации и точность показаний позволит произвести анализ недостатков системы и устранить их, что позволит оставаться конкурентоспособными при появлении новых систем.</p>	<p>Увеличение функционала и мощности системы, что приведет к более плавной и стабильной работе системы, позволит конкурировать проекту с другими системами от конкурентов. При увеличении стоимости ресурсов возможно увеличение количества клиентов так как в проекте используются бюджетные комплектующие, что практически не отразится на цене продукта. Использование поверенного оборудования позволит сохранить спрос на систему, а также позволит конкурировать с более совершенными системами.</p>
--	--	---

Таким образом, с использованием сильных сторон проекта имеется перспектива реализации возможностей. Низкая стоимость, простота эксплуатации и модульность проекта позволяют в полной мере использовать все возможности для развития проекта. Но слабые стороны и наличие угроз снижают конкурентоспособность продукта.

4.1.4 Оценка готовности разработки к коммерциализации

В ходе разработки системы важной частью данного раздела, является оценка степени готовности разработки к коммерциализации. Для этого необходимо заполним специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. В таблице 10 приведены оценки степени готовности разработки к коммерциализации.

Таблица 10 – Оценка степени готовности разработки к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности разработки	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научнотехнический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научнотехнического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации разработки	4	5
Итого баллов:		49/75	48/75

Из полученных оценок степени готовности разработки к коммерциализации можно сделать вывод, что перспективность проекта к коммерциализации выше среднего. Для повышения перспективности проекта необходимо привлечь маркетологов, а также составить бизнес-план для коммерциализации научной разработки и определить пути продвижения на рынке.

4.2 Инициация проекта

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

4.2.1 Цели и результат проекта

В данном пункте приведена информация о заинтересованных сторонах проекта. В таблице 11 представлены заинтересованные стороны проекта.

Таблица 11 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны	Ожидания заинтересованных сторон
Научные лаборатории в сфере переработки отходов.	Обеспечение повторяемости экспериментов и мониторинг параметров синтеза, для производства дальнейшего анализа и расчета параметров
Предприятия по производству сверхтвердых материалов.	Создание автоматизированной установки позволяющей синтез сверхтвердых материалов в больших объемах.

Цели и результат проекта приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка системы управления и анализа рабочей газовой среды дугового реактора совмещенного типа с горизонтальным расположением электродов.
Ожидаемый результат проекта:	<ol style="list-style-type: none"> 1) Сбор и архивирование данных о протекании синтеза. 2) Реализация алгоритма управления для перемещения электродов. 3) Описание работы системы.
Критерии приемки результата разработки:	<p>Система должна включать в себя:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Алгоритм управления установкой. 2) Панель оператора. 3) Высокую точность измерений.
Требования к результату разработки:	Требования:
	Непрерывная работа системы
	Архивирование информации
	Возможность переноса системы на другие установки
	Наличие органов управления и корректировки параметров

4.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, а также определена роль каждого участника в данном проекте и прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

В таблице 13 приведена рабочая группа проекта.

Таблица 13 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в разработке	Функции	Трудоза- траты, час.
1	Пак Александр Яковлевич, ТПУ доцент ОАР	Научный руководитель	Постановка технического задания, установка сроков выполнения работ, координация деятельности исполнителя	35
2	Поваляев Павел Вадимович, ТПУ ОАР ИШИТР, магистрант гр. 8ТМ91	Исполнитель	Выполнение поставленных задач, разработка системы	280
Итого:				315

Исходя из приведенных выше данных, видно, что выполняемая работа требует больших трудозатрат. Заинтересованные стороны проекта ожидают готовую систему с высокими показателями.

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ

Иерархическая структура работ для данной разработки представляет собой детализацию укрупненной структуры работ, продемонстрированной на рисунке 43.

Данный проект разделен на четыре основных блока:

- проектирование системы управления;
- проектирование системы мониторинга параметров;
- реализация системы;

- проведение пусконаладочных работ.

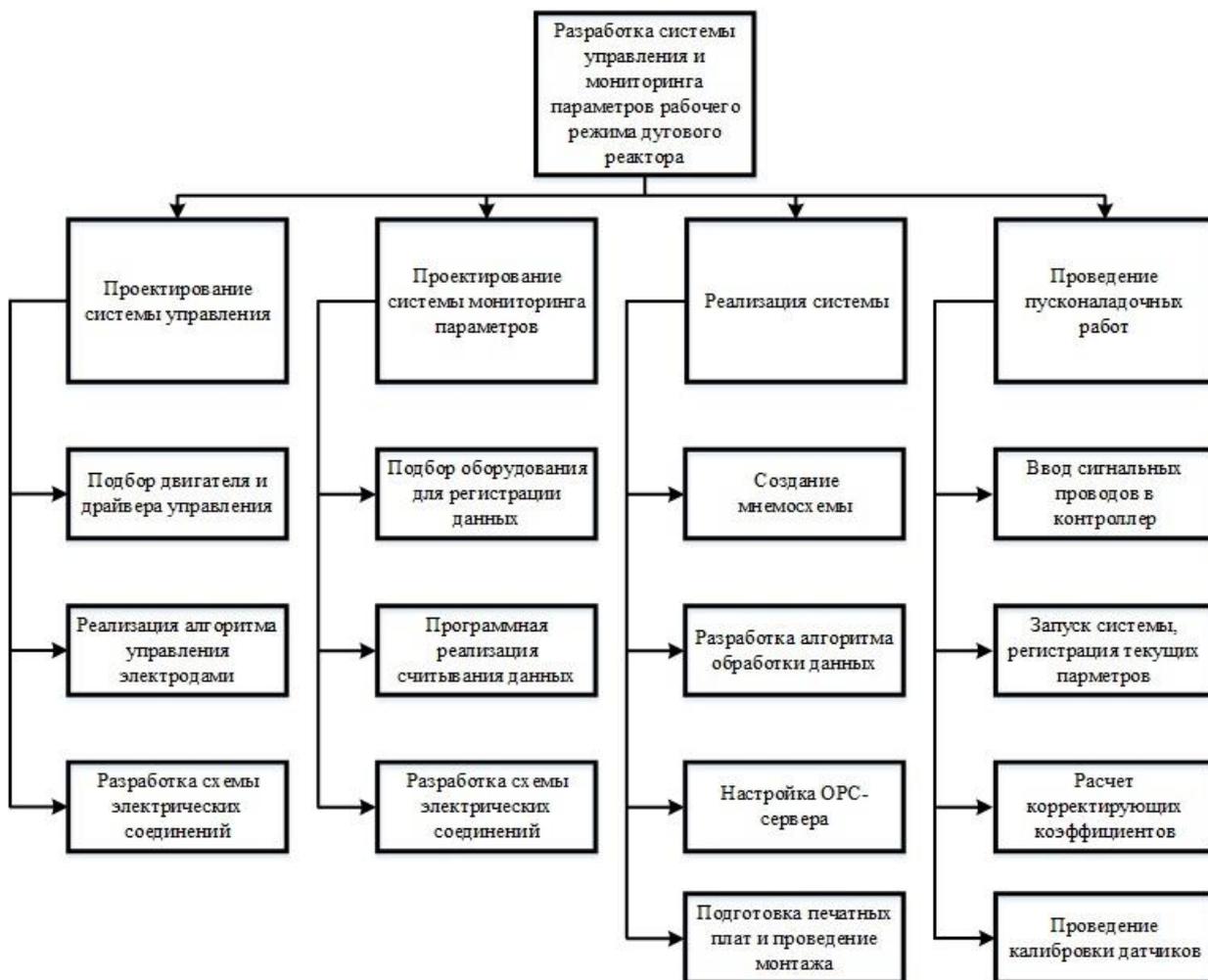


Рисунок 43 – Иерархическая структура работ по проведению разработки

Основная часть работы заключается в подборе оборудования и программной реализации алгоритмов регистрации параметров и управления электродами. Также не большая часть времени уделена конечной настройке системы.

4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построим календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	8	20.10.20	27.10.20	Пак А.Я.
2	Подбор и изучение материалов по теме	20	28.10.20	16.11.20	Поваляев П.В.
3	Изучение существующих систем	25	17.11.20	12.12.20	Поваляев П.В.
4	Календарное планирование работ по теме	8	13.12.20	20.12.20	Пак А.Я. Поваляев П.В.
5	Подбор компонентов для реализации системы	15	21.12.20	05.01.21	Поваляев П.В.
6	Монтаж оборудования	40	06.01.21	14.02.21	Поваляев П.В.
7	Создание алгоритма программы и программная реализация	20	15.02.21	06.03.21	Поваляев П.В.
8	Тестирование и отладка работы системы	30	07.03.21	05.04.21	Пак А.Я. Поваляев П.В.
9	Оценка полученных результатов	9	06.04.21	14.04.21	Пак А.Я.
10	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта	25	15.04.21	09.05.21	Поваляев П.В.
11	Составление пояснительной записки	20	10.05.21	30.05.21	Поваляев П.В.
Итого:		220			

4.3.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется формула (1):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, продолжительность работ вычисляется по формуле (2):

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Представим ленточный график в форме диаграммы Ганта. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой (3):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

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

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

Коэффициент календарности определяется по формуле (4):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1.22 \quad (4)$$

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

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

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

Полученные данные сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы						Длительность работы в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работы в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	5		10		7		7		9	
Подбор и изучение материалов по теме		15		25		19		19		24
Изучение существующих систем		20		30		24		24		30
Календарное планирование работ по теме	6	6	10	10	7.6	7.6	3.8	3.8	5	5
Подбор компонентов для реализации системы		10		20		14		14		18
Монтаж оборудования		30		50		38		38		47
Создание алгоритма программы и программная реализация		16		22		18.4		18.4		23
Тестирование и отладка работы системы	27	27	32	32	29	29	14.5	14.5	18	18
Оценка полученных результатов	7		11		8.6		8.6		11	

Продолжение таблицы 15 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы						Длительность работы в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работы в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта		23		26		24.2		24.2		30
Составление пояснительной записки		19		23		20.6		20.6		26
Итого							33,9	219.5	43	221

На основе полученной таблицы 9 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Календарный план-график выполнения проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																							
				Окт.			Нояб.			Дек.			Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	9	▨																							
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	24		■	■	■																				
3	Изучение существующих систем	Инженер	30				■	■	■	■																	
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	5							▨	■																
5	Подбор компонентов для реализации системы	Инженер	18							■	■	■															
6	Монтаж оборудования	Инженер	47									■	■	■	■	■											
7	Создание алгоритма программы и программная реализация	Инженер	23														■	■	■								
8	Тестирование и отладка работы системы	Руководитель, инженер	18																	▨	■	■					
9	Оценка полученных результатов	Руководитель	11																		▨						
10	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта	Инженер	30																				■	■	■	■	■
11	Составление пояснительной записки	Инженер	26																							■	■

▨ – руководитель

■ – инженер

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле (5):

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (5)$$

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

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 17 сведены данные о материальных затратах на научное исследование.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Ноутбук ASUS K43S	Шт.	1	23 490	23 490
Мышь A4Tech F4	Шт.	1	1 599	1 599
USB-разветвитель SVEN HB-401	Шт.	1	499	499
Контроллер Arduino Mega	Шт.	1	1388	1388
Датчик газов широкого спектра MQ-2	Шт.	2	360	720

Продолжение таблицы 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Датчик широкого спектра газов MQ-7	Шт.	2	470	940
Датчик широкого спектра газов MQ-8	Шт.	2	530	1060
Датчик широкого спектра газов MQ-9	Шт.	2	530	1060
Цифровой метеодатчик AM2302	Шт.	2	320	640
CSLA1DJ, 225A датчик тока линейный AC/DC	Шт.	1	1 050	1 050
Шаговый двигатель Nema 17, 42HS48-1684	Шт.	1	1 668	1 668
Драйвер шагового двигателя A4988	Шт.	2	290	580
Соединительные провода папа-мама (40шт)	Шт.	1	64	64
Соединительные провода папа-папа (40шт)	Шт.	1	64	64
Соединительные провода мама-мама (40шт)	Шт.	1	64	64
Преобразователь 220 AC - 5 DC	Шт.	2	1 155	2 310
Преобразователь 220 AC - 12 DC	Шт.	1	980	980

Продолжение таблицы 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Короб перф 25х40 ИМПАКТ серия М, 2м	Шт.	1	120	120
Клеммная колодка на Din-рейку ST6	Шт.	17	61	1 037
Самоклеящиеся квадратные крепления для кабельных стяжек	Шт.	40	1.5	60
Насос R385, 12В	Шт.	1	280	280
Всего за материалы				46 153
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				1 384
Итого				47 537

4.4.2 Расчет амортизационных отчислений

Произведем расчет амортизационных отчислений. Первоначальная стоимость ноутбука магистранта, который используется для работы, составляет 23 490 рублей. Срок полезного использования данной машины – 3 года, из которых 10 месяцев машина использовалась для написания ВКР и разработки мнемосхем, а также написания алгоритма работы программы.

Норма амортизации рассчитывается по формуле (6):

$$A_n = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33.33\% \quad (6)$$

Годовые амортизационные отчисления вычисляются по формуле (7):

$$A_n = 23\,490 \cdot 0.33 = 7\,751 \text{ руб.} \quad (7)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления рассчитываются по формуле (8):

$$A_n = \frac{7751}{12} = 646 \text{ руб.} \quad (8)$$

Таким образом затраты на амортизацию ПК составляют 7 751 руб.

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату, заработную плату вычисляем по формуле (9):

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (9)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по формуле (10):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (10)$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле (11):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

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

Баланс рабочего времени приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника вычисляется по формуле

(12):

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (12)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно (0,2 – 0,5);

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

Расчет основной платы представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад	k_{np}	k_d	k_p	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33 664	-	-	1.3	43 763.2	1 813.3	33,9	61 470.87
Инженер	21 760	-	-	1.3	28 288	1 172.09	219.5	257 273.75
Итого:								318 744.625

4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле (13):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (13)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (0,12 – 0,15).

Получим:

$$Z_{доп\text{ НР}} = 0.12 \cdot 61\,470.87 = 7\,376.5 \text{ рублей.}$$

$$Z_{доп\text{ И}} = 0.12 \cdot 257\,273.75 = 30\,872.85 \text{ рублей.}$$

4.4.5 Отчисление во внебюджетные фонды

В данной статье отражаются обязательные отчисления по установленным законодательствам Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (14):

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

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений	Отчисления
Руководитель	61 470.87	7 376.5	0.3	20 654.21
Инженер	257 273.75	30 872.85		86 443.98
Итого				107 098.19

4.4.6 Прочие прямые затраты

К данному виду затрат относятся затраты на электроэнергию. Для юридических лиц стоимость 1 кВт·ч составляет 3.66 руб. При умеренном

пользовании стационарный компьютер средней мощности потребляет 180 Вт в час в среднем, используемое оборудование потребляет в сумме 200 Вт в час. В день на работу затрачивается 3 часа, всего на работу с компьютером и оборудованием затрачивается 100 дней. Тогда затраты на электроэнергию составят:

$$Z_{\text{эн}} = 0.380 \cdot 100 \cdot 3 \cdot 3.66 = 417.24 \text{ рублей.}$$

4.4.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по формуле (15):

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

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, 16 %.

Получим:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (318\,744.625 + 38\,249.85) = 57\,119.036 \text{ рублей.}$$

4.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции

Определение бюджета затрат приведено в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты НТИ	47 537
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	318 744.625
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	38 249.85
4. Отчисление во внебюджетные фонды	107 098.19
5. Прочие расходы	417.24
5. Накладные расходы	57 119.036
6. Бюджет затрат НТИ	567 781.941

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального финансового показателя, определяемого по формуле (16):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (16)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Φ_{max} зависит от сложности проекта для которого разрабатывается АСУ.

Изменения в материальных затратах для второго исполнения отображены в таблице 22.

Таблица 22 – Материальные затраты для второго варианта исполнения

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Шаговый двигатель Nema 23, ST57-56	Шт.	1	1 553	1 553
Контроллер шагового двигателя ТВ6600 (9-40В 4А)	Шт.	2	1 264	2 528
Блок питания AC/DC AL (201-100-6) 24 В, 4.2 А	Шт.	1	2 468	2 468
Итого:				6 549
Итоговая стоимость с учетом всех компонентов:				50 958.22

Так как изменения во втором исполнении произведены только в материальной составляющей, максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта составит – 572 587.161.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{567\,781.941}{573\,971.161} = 0.989$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{573\,971.161}{573\,971.161} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить, используя формулу (17):

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (17)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Сравнительный анализ приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1	Исп. 2
1. Скорость передачи данных	0.2	4	4
2. Точность показаний	0.2	5	5
3. Плавность работы	0.1	3	4
4. Удобство управления	0.05	5	5
5. Масштабируемость	0.1	5	4
6. Модульность	0.2	5	4
7. Помехоустойчивость	0.05	4	5
8. Время отклика	0.1	3	3
Итого	1	34	34

$$I_{p-исп1} = 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5 + 0.1 \cdot 3 + 0.05 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.2 \cdot 5 + 0.05 \cdot 4 + 0.1 \cdot 3 = 4.35,$$

$$I_{p-исп2} = 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5 + 0.1 \cdot 4 + 0.05 \cdot 5 + 0.1 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 + 0.05 \cdot 5 + 0.1 \cdot 3 = 4.2.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (18):

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} \quad (18)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) рассчитана по формуле (19):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (19)$$

Результаты расчета показателей сведены в таблицу 24.

Таблица 24 – Сравнительная эффективность разработок

Показатель	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель	0.989	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.35	4.2
Интегральный показатель эффективности	4.398	4.2
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.0471	

Исходя из полученных данных сравнения финансовой и ресурсной эффективности различных вариантов исполнения, несколько более эффективным является первый вариант исполнения.

5 Социальная ответственность

В разделе рассматриваются правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производится анализ опасных и вредных производственных факторов, оказывающих влияние на производственную деятельность обслуживающего персонала, а также поднят вопрос влияния объекта исследования на окружающую среду.

Объектом исследования и разработки является система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока. В состав системы входят: шаговый двигатель, насос, датчики газоанализа, температуры и влажности, а также контроллер и драйвера для шагового двигателя.

Потенциальными потребителями проектного решения являются предприятия, где необходима переработка твердых бытовых отходов, или производство сверхтвердых материалов. Также данную систему можно использовать научных лабораториях или же очистных сооружениях.

Сборка системы производилась в лабораторных условиях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В подразделе рассмотрены специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Также тезисно приводятся основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды.

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно «Трудовому кодексу Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 30.04.2021), рабочее время - время, в течение которого

работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации относятся к рабочему времени [18].

В компании, где предполагается использование разрабатываемой системы, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда (часть третья введена Федеральным законом от 22.07.2008 N 157-ФЗ) [18].

Работодатель обязан вести учет времени, фактически отработанного каждым работником.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Управление разрабатываемой системой предполагает наличие оператора, который взаимодействует с ней через пульт управления в положении сидя.

Поэтому рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований, согласно ГОСТ 12.2.032-78 [19]:

- Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

- Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

- Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

- Выполнение трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

- При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают мужчины и женщины - общие средние показатели мужчин и женщин.

- Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15°.

Работа оператора предполагает использование дисплея на рабочем месте. Согласно ГОСТ Р 50923-96, рабочее место при наличии дисплея должно быть организовано в соответствии со следующими требованиями [20]:

- Дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднять или опустить голову.

- Дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно горизонтальной линии взгляда не должен превышать 60°.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представлены в таблице 25 [21].

Таблица 25 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Вид работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. 3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки".
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
3.Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	

Продолжение таблицы 25 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Вид работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
5. Движущие механизмы	-	+	+	4. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение". 5. ГОСТ 12.1.030-81 (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. 6. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы.
6. Повышенная яркость света	-	-	+	
7. Термическая опасность	-	-	+	

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

1) Микроклимат

Основные виды работ, выполняемыми оператором, по степени физической тяжести, можно отнести к категории легких работ. В таблице 26 приведены оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для оператора [22].

Таблица 26 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, С ⁰	Температура поверхностей, С ⁰	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(21 – 23)	(20 – 24)	(40 – 60)	0,1
Теплый	(23 – 25)	(22 – 26)	(40 – 60)	0,1

Профилактика перегрева организма работника в нагревающем микроклимате включает следующие мероприятия:

- нормирование верхней границы внешней термической нагрузки на допустимом уровне применительно к восьмичасовой рабочей смене;
- регламентация продолжительности воздействия нагревающей среды для поддержания среднесменного теплового состояния на оптимальном или допустимом уровне;
- использование специальных средств коллективной и индивидуальной защиты, уменьшающих поступление тепла извне к поверхности тела человека и обеспечивающих допустимый тепловой режим.

Защита от охлаждения осуществляется посредством:

- одежды, изготовленной в соответствии с требованиями государственных стандартов.
- использования локальных источников тепла, обеспечивающие сохранение должного уровня общего и локального теплообмена организма.
- регламентации продолжительности непрерывного пребывания на холоде и продолжительности пребывания в помещении с комфортными условиями.

2) Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику

человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов [23].

Требования к освещению [24]:

- Требования к освещению предусматривают применение в качестве источников света люминесцентных ламп типа ЛБ. При местном освещении разрешается использовать лампы накаливания.

- Требования к освещению запрещают использование светильников без рассеивателей и экранирующих решеток.

- В зоне углов излучения от 50 до 90 градусов (с вертикалью в поперечной и продольной плоскости), яркость светильников общего освещения не должна превышать 200 кд/кв.м., защитный угол светильников - не менее 40 градусов.

- Для светильников местного освещения необходим непросвечивающий отражатель с защитным углом 40 градусов или больше.

- Осветительные установки общего освещения должны обладать Кз (коэффициентом запаса) равным 1,5.

- Применение газоразрядных ламп в светильниках с ВЧ ПРА позволяет не превышать значение минимально допустимого коэффициента пульсации (5%), для любых типов светильников.

- Требования к освещению обязывают совершать проведение чистки стекол оконных рам и светильников как минимум два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп светильников для обеспечения указанных выше нормированных значений освещенности помещений.

К средствам нормализации освещения относятся [25]:

- источники света;
- осветительные (световые) приборы;
- световые приборы;

- светозащитные устройства;
- светофильтры.

К средствам индивидуальной защиты глаз – защитные очки и к СИЗ лица и глаз – щитки.

Также необходимо произвести расчет параметров освещенности помещения. В лаборатории применяется общая система освещения с светодиодным освещением. Согласно СНиП 23-05-95 общая освещенность рабочих поверхностей должна составлять 200 лк [26].

Размеры лаборатории: длина $A = 8$ м, ширина $B = 4.5$ м и высота составляет $H = 2.5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 200$ лк.

Коэффициент отражения стен с окнами, без штор $\rho_C = 50$ %, потолка $\rho_{п} = 70$ %. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $KЗ = 1.5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1.1$.

Выбираем светильник Светозар модель СЛ-830 SV-57595-2-30, мощностью 36 Вт. Размеры светильника длина – 938 мм, ширина – 103 мм. Световой поток составляет 3520 лм.

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников выражается величиной λ , которая для люминесцентных светильников лежит в диапазоне (1,1 – 1,3). Принимаем $\lambda = 1,3$. Расстояние светильников от перекрытия составляет $h_c = 0.1$ м.

Высоту светильника над рабочей поверхностью рассчитаем по формуле (20):

$$h = h_n - h_{рп}, \quad (20)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Высоту светильника над полом рассчитаем по формуле (21):

$$h_n = h - h_{\text{рп}} = 2500 - 100 = 2400. \quad (21)$$

Расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью равна:

$$h = h_n - h_{\text{рп}} = 2300 - 800 = 1500.$$

Расстояние между соседними светильниками определим по формуле (22):

$$L = h \cdot \lambda = 1.5 \cdot 1.3 = 1.95 \text{ м.} \quad (22)$$

По формуле (23) определим число рядов светильников в лаборатории:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{4.5}{1.95} = 2.3 \approx 2 \text{ ряда.} \quad (23)$$

Число светильников в ряду определим по формуле (24):

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{8}{1.95} = 4.1 \approx 4 \text{ ряда.} \quad (24)$$

В результате общее число светильников составляет 8 штук.

По формуле (25) определим расстояние от крайних светильников или рядов до стены:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{1.95}{3} = 0.65 \text{ м.} \quad (25)$$

Далее проведем расчеты с учетом размеров светильников для их размещения в лаборатории по ширине и по длине.

Размещение по ширине определим по формуле (26):

$$4500 = L_1 + 2 \cdot \frac{L_1}{3} + 2 \cdot 103; \quad (26)$$

$$L_1 = \frac{(4294) \cdot 3}{5} = 2576 \text{ мм;}$$

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2576}{3} = 858 \text{ мм.}$$

Размещение по длине определим по формуле (27):

$$8000 = 3 \cdot L_2 + 2 \cdot \frac{L_2}{3} + 4 \cdot 938; \quad (27)$$

$$L_1 = \frac{(4248) \cdot 3}{11} = 1158 \text{ мм.}$$

$$l = \frac{L}{3} = \frac{1158}{3} = 386 \text{ мм.}$$

На рисунке 44 представлена схема размещения светильников в помещении.

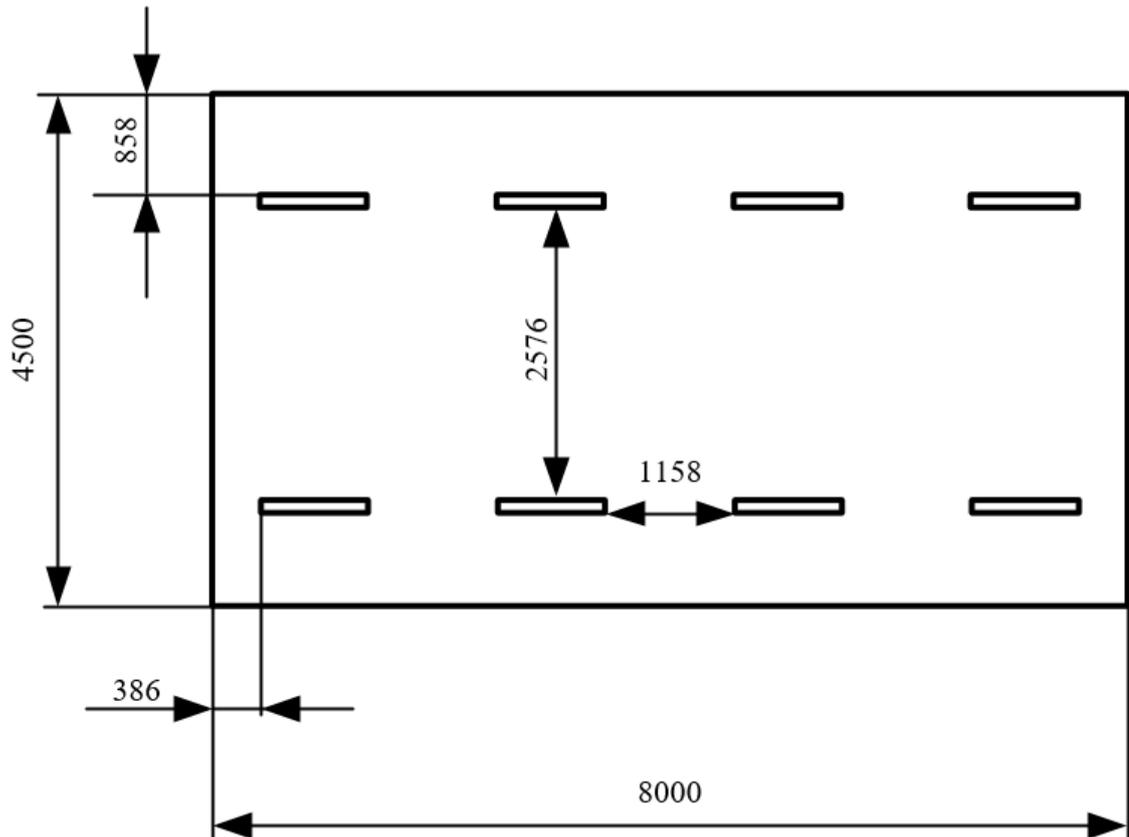


Рисунок 44 – Схема размещения светильников в помещении

Далее вычислим индекс помещения для определения использования светового потока по формуле (28):

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 4.5}{1.5(8 + 4.5)} = 1.92. \quad (27)$$

Учитывая особенности лаборатории, коэффициент отражения потолка примем $\rho_{\text{п}} = 70 \%$, коэффициент отражения стен – $\rho_{\text{с}} = 50 \%$. Тогда коэффициент использования светового потока $\eta = 40 \%$.

Для определения светового потока также необходимо есть следующие параметры:

- $E_H = 200$ лк – нормируемая минимальная освещённость;
- $K_3 = 1.3$ – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли.

Соответствует помещению с малым выделением пыли;

- $Z = 1.1$ – коэффициент неравномерности освещения;
- $N = 8$ – число ламп в помещении.

Определим световой поток лампы, используя формулу (28):

$$i = \frac{E_H \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 1.3 \cdot 8 \cdot 4.5 \cdot 1.1}{8 \cdot 0.4} = 3217.5. \quad (28)$$

Произведем проверку выполнения условий, воспользовавшись формулой (29):

$$10\% \leq \frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \cdot 100\% \leq 20\%, \quad (28)$$

$$\frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \cdot 100\% = \frac{3520 - 3217.5}{3520} \cdot 100\% = 8.5 \%$$

Условие, представленное в формуле 29 выполняется, следовательно, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона. Электрическая мощность системы освещения составляет 288 Вт.

3) Повышенный уровень шума

На этапах изготовления и эксплуатации системы наблюдается повышенный уровень шума в рабочей зоне.

Шум – это совокупность различных шумов, возникающих в процессе производства и неблагоприятно воздействующих на организм. Шум может привести к нарушениям слуха (в случае постоянного нахождения при шуме более 85 децибел (dB)), а также может быть фактором стресса и повысить систолическое кровяное давление. Дополнительно, он может способствовать

несчастным случаям, маскируя предупреждающие сигналы и мешая сконцентрироваться.

Шум может взаимодействовать с другими факторами угрозы на производстве, увеличивая риск для работников.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, в производственных помещениях при выполнении основных и вспомогательных работ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. Так, согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 при напряженности труда легкой степени предельно допустимые уровни звука составляют 80 дБА [27].

При работе в условиях повышенного уровня шума работник обеспечивается средствами защиты (противошумные вкладыши, противошумные наушники и шлемы) в соответствии с действующими нормами.

Снизить уровень шума можно при помощи звукопоглощающих материалов, предназначенных для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создается за счет использования занавесок из плотной ткани.

4) Повышенное значение напряжения в электрической цепи

В соответствии с п.1.1.13 главы 1.1 раздела 1 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) по опасности электропоражения помещение, в котором проводятся работы, относится к помещениям без повышенной опасности. Это обусловлено отсутствием высокой влажности, высокой температуры, токопроводящей пыли и возможности одновременного соприкосновения с заземленными предметами и металлическими корпусами оборудования.

Во время нормального режима работы оборудования, опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы

работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями [28]. В ходе эксплуатации установки присутствует опасность поражения электрическим током.

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению технических средств защиты. В соответствии с главой 1.7 ПУЭ к основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

- основная изоляция токоведущих частей;
- защитное заземление или зануление;
- автоматическое отключение питания;
- защитное электрическое разделение цепей;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей.

5) Движущиеся механизмы

В объекте исследования шаговые двигатели представляют собой механическую опасность.

Основные последствия механических опасностей для данного объекта исследования:

- порезы;
- попадание под удар.

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) в соответствии с ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ относятся [29]:

- оградительные устройства;
- блокировочные устройства.

При разработке системы исследователь имеет непосредственный контакт с работающим механизмом. В экстренном случае необходимо обеспечить остановку аппарата путем его обесточивания.

б) Повышенная яркость света

Синтез материалов с использованием дугового разряда постоянного тока представляет собой сложные технологические процессы, связанные с определенными опасностями при их осуществлении. Необходимо неукоснительно соблюдать меры предосторожности.

В качестве опасного фактора синтеза выступает повышенная яркость света.

Процесс синтеза предполагает возникновение плазменной дуги. Обладая большой мощностью, сверхвысокой температурой и сохраняясь достаточное длительное время, такая дуга становится источником излучения:

- видимых лучей;
- инфракрасных лучей;
- ультрафиолетовых лучей.

Наиболее опасными для человеческого глаза являются, именно, последние.

Обладая длиной волны в диапазоне (10 – 400) нм, ультрафиолетовые лучи являются своеобразным промежутком между видимым (длина волны больше 380 нм) и рентгеновским (длина волны меньше 10 нм) излучениями. Он отличается неоднородностью, – различают УФ-лучи (зависимо от длины волны) типа:

- А ((315 – 400) нм) – так называемый ультрафиолет ближний;
- В ((280 – 315) нм);
- С ((100 – 280) нм), называемые дальним ультрафиолетом, ультрафиолета экстремального ((10 – 100) нм).

По оценкам медэкспертов, наименьший вред здоровью человека (и его зрению, в том числе) наносят УФ-А лучи, неощутимые, практически, для глаза. Хуже обстоит дело с излучениями в (280 – 315) нм, оказывающими значительное отрицательное воздействие и могущими при длительном воздействии стать причиной ожога кожи, а также слизистых оболочек. Но, наиболее агрессивными и губительными (при отсутствии соответствующей защиты) для зрения являются дальний и экстремальный ультрафиолеты с длиной волны менее 280 нм.

Излучения в процессе синтеза (при недостаточной защищенности глаз во время работы) могут спровоцировать электроофтальмию, – заболевание оболочек (слизистой, а иногда и роговой) глаз, сопровождающееся болью в них, ощущениями их засорения мельчайшими частицами, произвольным закрыванием век, слезотечением, головной болью. Эти симптомы появляются спустя (5 – 8) часов после ожога.

При длительном воздействии сварочной дуги на незащищенные глаза возможны и более серьезные для зрения негативные последствия в виде:

- эрозии роговицы – при ожогах 2-ой степени;
- некротических изменений кожи, ухудшения зрения до восприятия окружающего мира, как сквозь матовое стекло – при ожогах 3-ей степени;
- значительной потери зрения, некроза тканей глаза и конъюнктивы – при ожогах 4-ой степени [30].

Для предотвращения пагубного влияния повышенной яркости света, необходимо использовать защитные лицевые щитки. Требования к защите от прямых излучений дуги короткого замыкания и других тепловых процессов предъявляются только к защитным лицевым щиткам, согласно ГОСТ 12.4.253-2013 [31]:

Смотровые стекла должны иметь толщину не менее 1,4 мм и градационный шифр, равный 2 - 1,2 или 3 - 1,2.

Защитные лицевые щитки должны отвечать требованиям для области обзора.

7) Термическая опасность

В качестве опасного фактора синтеза также выступает высокая температура электродов и обрабатываемых материалов.

Термическая опасность – опасность, возникающая при горении, повышенной температуре поверхности и (или) повышенной температуре вдыхаемого газа.

Термические опасности, согласно ГОСТ ISO 12100-2013, могут приводить к:

- ожогам и ошпариванию из-за соприкосновения с предметами или материалами, имеющими чрезвычайно высокую или низкую температуру, вызванную, например, пламенем или взрывом, а также излучением источников тепла;
- ущерб здоровью из-за воздействия высокой или низкой температуры окружающей производственной среды [32].

Для предотвращения получения термических ожогов оператор должен быть снабжен защитными перчатками, головным убором и специальной одеждой, требования к специальной одежде описаны в ГОСТ Р 12.4.234-2012 [33]. При синтезе температура обрабатываемой поверхности повышается, поэтому необходимо исключить соприкосновений с электродами и обрабатываемыми материалами во избежание ожогов.

5.3 Экологическая безопасность

Объект исследования не оказывает воздействия на атмосферу и гидросферу. Присутствует воздействие на литосферу в виде отходов, возникающих при замене устаревшего или неисправного оборудования (печатные платы, компьютеры, двигатели, датчики). Если используемое

оборудование по каким-либо причинам выйдет из строя, и не подлежит ремонту, то его необходимо будет утилизировать. Пластмассовые, железные детали, можно пустить на переработку. Для сохранения окружающей среды необходимо обратиться в утилизирующие компании.

При переработке утилизирующая компания производит разбор техники. Определяет содержащиеся в ней компоненты и материалы, которые подлежат переработке в сырье для изготовления новой техники.

Большую часть отходов при создании системы составляют печатные платы, вышедшие из строя. Утилизация печатных плат – дорогостоящая технологичная процедура. Сложность утилизации печатных плат состоит в том, что их состав включает множество компонентов разных свойств, например, по плотности и электропроводности [34]. Для эффективного разделения на части используют два вида обработки:

- механическая;
- гидromеталлургическая.

Механическая утилизация снижает затраты на труд и включает этапы:

- измельчение ножами, вращающимися на высокой скорости, в контейнере;
- извлечение черных металлов с помощью сильных магнитов;
- передача плат в шаровую мельницу для получения порошка, просеивание;
- рециркуляция с помощью электростатики;
- повторное измельчение;
- пиролитическая переработка бесполезных компонентов.

Гидрометаллургия — выделение золота с контактным разъемом.

Очистка проводится одним из следующих способов:

- растворение меди на подложках в кислоте,

- применение растворов с цианидом для получения электролитического осадка.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС

Чрезвычайная ситуация – это состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и природной среде.

Наиболее типичной ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения является пожар. Он может возникнуть вследствие причин электрического и неэлектрического характеров. К причинам электрического характера можно отнести короткое замыкание, искрение, статическое электричество. К причинам неэлектрического характера относится неосторожное обращение с огнём, курение, оставление без присмотра нагревательных приборов.

5.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС

Пожарная безопасность – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара [35].

Наиболее типичной ЧС для нашего объекта является пожар. Данная ЧС может произойти в случае замыкания электропроводки оборудования, обрыву проводов, не соблюдению мер пожаробезопасности.

По пожарной и взрывопожарной опасности, согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»,

помещения производственного и складского назначения, независимо от их функционального назначения, подразделяют на следующие категории:

- повышенная взрывопожароопасность (А);
- взрывопожароопасность (Б);
- пожароопасность (В 1—В4);
- умеренная пожароопасность (Г);
- пониженная пожароопасность (Д).

В операторной присутствуют лишь горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), категория производственного помещения – Г (умеренная пожароопасность).

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара, средствами связи, должна быть исправна электрическая проводка осветительных приборов и электрооборудования;
- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи, а также помнить номера телефонов для сообщения о пожаре и уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо проводить следующие профилактические работы, направленные на устранение возможных источников возникновения пожара:

- периодическая проверка проводки;
- отключение оборудования при покидании рабочего места;
- проведение с работниками инструктажа по пожарной безопасности.

5.4.3 Разработка действий в случае возникновения ЧС

Каждый работник, обнаруживший пожар или его признаки (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

1. немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную часть (при этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность, фамилию и номер своего телефона);
2. задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации детей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;
3. известить о пожаре руководителя образовательного учреждения или заменяющего его работника;
4. организовать встречу пожарных подразделений, принять меры по тушению пожара имеющимися в учреждении средствами пожаротушения.

5.5 Вывод по главе 5

Таким образом, в разделе социальная ответственность были рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и особенности трудового законодательства применительно к условиям проекта.

Также проанализированы основные вредные и опасные факторы, которые могут возникать в процессе исследований в лаборатории, при разработке и эксплуатации проекта, а именно: отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, движущие механизмы, повышенная яркость света и термическая опасность. Были описаны мероприятия по снижению уровней воздействия данных факторов. Также был произведен расчет освещенности помещения.

Рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. В процессе выполнения работы было выявлено, то что объект исследования не оказывает влияния на гидросферу и атмосферу, но может оказывать влияние на литосферу. Во избежание загрязнения среды были предложены мероприятия по утилизации отходов, а также способы их утилизации.

Произведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций, возникновение которых возможно при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Были разработаны превентивные меры по предупреждению возникновения чрезвычайных ситуаций, а также разработан порядок действий при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Требования, мероприятия, указанные в работе, могут применяться при внедрении проектного решения на производстве, порядок действий при чрезвычайных ситуациях также может быть задействован на производстве.

Заключение

В процессе выполнения работы была спроектирована и реализована система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора постоянного тока.

Были рассмотрены существующие аналоги систем, использующих методику плазменной дуги для проведения синтеза материалов. В ходе анализа были определены основные преимущества и недостатки данных систем.

Вторым этапом создания системы является изучение и описание устройства и принципа работы реактора постоянного тока, на основе чего были подобраны компоненты, необходимые для реализации системы. После подбора оборудования была спроектирована система управления и мониторинга параметров рабочего режима и разработаны схемы электрических соединений датчиков и оборудования.

На следующем этапе разработке был произведен монтаж оборудования в установку, а также изготовлены печатные платы для удобства монтажа датчиков. После сборки системы, были выбраны: SCADA-система и OPC-сервер. Для связи контроллера и SCADA-системы проведена настройка OPC-сервера, после чего создана визуализация процесса с отображением и архивацией регистрируемых показаний и возможностью управления шаговым двигателем. В процессе создания системы были реализованы алгоритмы управления перемещением анодом и алгоритм определения старта и окончания синтеза.

Завершающим этапом реализации системы является тестирование работы системы: проверка работы алгоритмов управления и расчета параметров, также проведена серия экспериментов в ходе чего была произведена проверка точности регистрируемых показаний.

Список публикаций студента

1. Поваляев П.В. «Система управления и мониторинга параметров рабочего режима дугового реактора». XVIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», 22-26 марта 2021 г., г. Томск, 1 публикация.

2. Поваляев П.В. «Система перемещения объекта в двумерном пространстве». XVIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», 17–20 февраля 2020 г., г. Томск, 1 публикация.

3. Поваляев П. В. Система управления положением объекта в трехмерном пространстве / П. В. Поваляев, А. С. Фадеев // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов VI Международной конференции, 14-19 октября 2019 г., Томск. — Томск: Изд-во ТПУ, 2019. — [114-119].

Список использованной литературы

1. ScinceDirect [Электронный ресурс] / Destruction of inorganic municipal solid waste incinerator fly ash in a DC arc plasma furnace // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410006357> — Дата обращения 19.05.2021.
2. ScinceDirect [Электронный ресурс] / Volatilization and leaching behavior of heavy metals in MSW incineration fly ash in a DC arc plasma furnace // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236117309535> — Дата обращения 19.05.2021.
3. ScinceDirect [Электронный ресурс] / Transferred arc plasma processed mullite from coal ash and bauxite // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884211005372> — Дата обращения 19.05.2021.
4. ScinceDirect [Электронный ресурс] / Main performance analysis of kitchen waste gasification in a small-power horizontal plasma jet reactor // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743967118308894> — Дата обращения 19.05.2021.
5. ScinceDirect [Электронный ресурс] / Continuous and low-cost synthesis of high-quality multi-walled carbon nanotubes by arc discharge in air // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386947712001567> — Дата обращения 19.05.2021.
6. Chipdip [Электронный ресурс] / SHT31-ARP-B, Датчик температуры и влажности // URL: <https://www.chipdip.ru/product/sht31-arp-b-span> — Дата обращения 19.05.2021.
7. RoboShop [Электронный ресурс] / SHT31-ARP-B, Датчик температуры и влажности DHT22 (AM2302) // URL: <https://roboshop.spb.ru/sensors/dht-22-am2303-module> — Дата обращения 19.05.2021.

8. Сенсорика [Электронный ресурс] / Датчики тока // URL: http://www.sensorica.ru/docs/d7_overview.shtml — Дата обращения 19.05.2021.
9. Chipdip [Электронный ресурс] / CSLA1DJ, 225A датчик тока линейный AC/DC // URL: <https://www.chipdip.ru/product/csla1dj> — Дата обращения 19.05.2021.
10. ElectroChip магазин электрики [Электронный ресурс] / Шаговый мотор NEMA 17HS8401SY-DP // URL: <https://electrochip.mk.ua/product/shagovuj-motor-nema-17hs8401sy-dp-59ncm/> — Дата обращения 19.05.2021.
11. 3DiY [Электронный ресурс] / Драйвер шагового двигателя A4988 // URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drajver-shagovogo-dvigatelya-a4988/> — Дата обращения 19.05.2021.
12. Библиотека технической литературы [Электронный ресурс] / Виды передач. Ременная передача. // URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/39/43.html> — Дата обращения 19.05.2021.
13. EasyEDA [Электронный ресурс] / EasyEDA Designer // URL: <https://easyeda.com/editor> — Дата обращения 19.05.2021.
14. ИНСАТ [Электронный ресурс] / ИНСАТ Modbus universal MasterOPC server 32 // URL: <https://insat.ru/prices/info.php?pid=6944> — Дата обращения 19.05.2021.
15. СТК [Электронный ресурс] / SCADA система MasterSCADA // URL: <http://cons-systems.ru/insat> — Дата обращения 19.05.2021.
16. Хабр [Электронный ресурс] / SCADA, Программирование микроконтроллеров // URL: <https://habr.com/ru/post/278269/> — Дата обращения 19.05.2021.
17. MasterSCADA [Электронный ресурс] / ТРЕНДЫ MASTER SCADA И АРХИВИРОВАНИЕ // URL: <https://masterscada.insat.ru/products/?category=1281> — Дата обращения 26.02.2021.

18. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12. 2001 г. № 197–ФЗ (ред. от 30.04.2021 г.). – М., 2015. – 123 с.
19. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.
20. ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – Москва Стандратформ, 2008. – 12 с.
21. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. – Москва Стандратформ, 2016. – 16 с.
22. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – введ. 1996 – 10 – 01. – Москва Минздрав России, 2001. – 20 с.
23. Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Саха (Якутия) [Электронный ресурс] / Влияние освещенности на организм человека // URL: <http://fguz-sakha.ru/portfolio-view/osveshenie> — Дата обращения 18.05.2021.
24. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. введ. 2014 – 07 – 01. – Москва Стандартиформ, 2016. – 19 с.
25. ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – Взамен ГОСТ 12.4.011-87; введ. 1990 – 06 – 30. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2004. – 7 с.
26. Санитарные правила и нормы: СНиП 23-05-95 Строительные нормы и правила российской федерации. Естественное и искусственное освещение.
27. Санитарные правила и нормы: СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
28. Кодекс. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) — Издательство «Норматика», 2019. – 464 с.

29. ГОСТ 12.4.125-83 Система стандартов безопасности труда. Средства коллективной защиты работающих от воздействий механических факторов. Классификация. введ. – 1984 – 01 – 01. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2002. – 4 с.

30. Oculo.by все о зрении [Электронный ресурс] / Влияние сварки на зрение // URL: <https://www.oculo.by/%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D1%81%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B8-%D0%BD%D0%B0-%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5> — Дата обращения 18.05.2021.

31. ГОСТ 12.4.253-2013 (EN 166:2002) Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования. – Москва Стандратформ, 2019. – 39 с.

32. ГОСТ ISO 12100-2013 Безопасность машин. Основные принципы конструирования. Оценки риска и снижения риска. – Москва Стандратформ, 2016. – 75 с.

33. ГОСТ Р 12.4.234-2012 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от термических рисков электрической дуги. Общие технические требования и методы испытаний – Москва Стандратформ, 2019. – 39 с.

34. ООО «Московская утилизирующая компания» [Электронный ресурс] / Утилизация печатных плат и электроники // URL: <https://www.fpkservice.ru/utilizaciya-plat.html> — Дата обращения 18.05.2021.

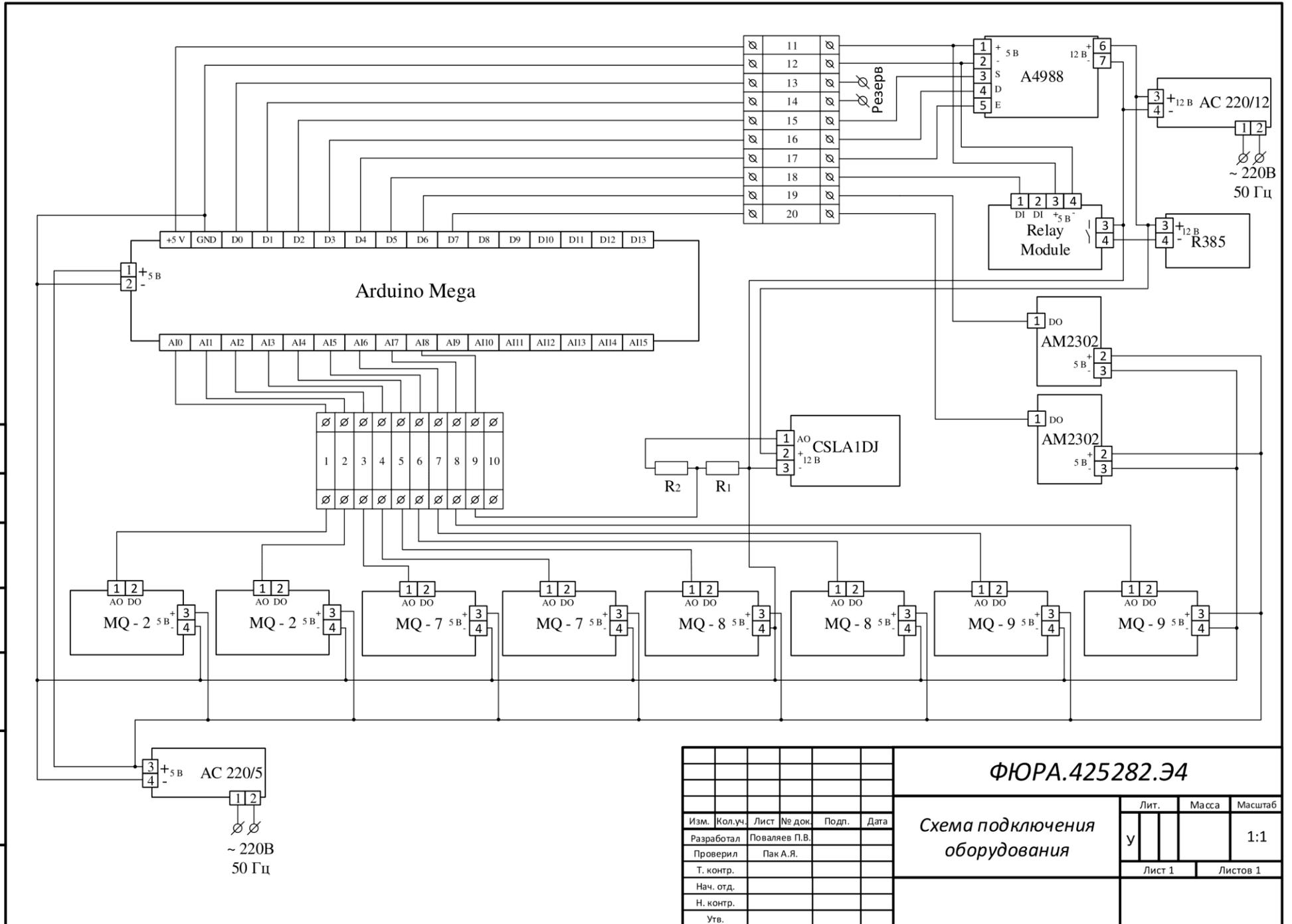
35. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения. введ. – 1982 – 06 – 30. – Москва ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.

Приложение А

(Обязательное)

Схема подключения оборудования

Инв. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	



Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Повальев П.В.				
Проверил	Пак А.Я.				
Т. контр.					
Нач. отд.					
Н. контр.					
Утв.					

ФЮРА.425282.Э4				
Схема подключения оборудования		Лит.	Масса	Масштаб
		у		1:1
		Лист 1	Листов 1	

Приложение Б

(обязательное)

Review of analogs of plasma-arc systems

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Поваляев Павел Вадимович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	К.Т.Н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	К.П.Н.		

Introduction

With economic development and accelerated urbanization, the generation of municipal solid waste is continuously increasing. As a consequence, it became necessary to find the optimal method for solving the problem.

High-temperature incineration is one of the ways to dispose of municipal solid waste due to the high percentage of waste disposal, as well as electricity generation. However, a large amount of fly ash is generated during the incineration of household waste. Fly ash is defined as hazardous municipal waste containing high levels of heavy metals such as Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr. There are many methods of ash treatment, which leads to the elimination of the harmful effects of heavy metals [1].

Transferred arc plasma processing is an effective and efficient technology for melting and vitrification of hazardous wastes due to the high temperatures and energy density.

A combined-type plasma-chemical reactor is used for arc plasma processing, herein the materials synthesis occurs in the open atmosphere without using inert gases or vacuum. The reactor for which the automation system is being developed has a horizontal arrangement of electrodes.

At present, there are almost no monitoring and control systems for parameters of plasma-chemical reactors, modern developments are limited only to the analysis of the gaseous medium, or the automatic supply of reagents. However, an important part of the synthesis process is the monitoring of environmental and system parameters, such as the discharge circuit current, voltage across the electrodes, etc. Parameters tracking makes it possible to systematize studies and to find the dependence of the influence of the environment and system parameters on the final product, which in turn makes it possible to change the starting parameters during synthesis and obtain powders with new properties.

The functionality of the system is not limited to the parameters tracking. Also, this system provides the ability to control the movement of the electrodes in

the reactor zone, which will ensure the repeatability of experiments, accurate positioning of the electrodes, and the specified time of the process.

The aim of this work is to develop a monitoring and control system for the operating mode parameters of a DC arc reactor.

To achieve this goal, the following tasks were formulated:

1. Choice of components for building the system.
2. Development of system diagrams.
3. Implementation of monitoring and control systems for parameters.
4. Construction of process visualization.
5. Implementation of the data processing and archiving algorithm.

Chapter 1. Analytical review of existing systems

Currently, there are ready-made solutions, the principle of which is incorporated in the system being developed. These solutions have similar functionality, and also have their own advantages and disadvantages. This chapter provides a review of ready-made solutions and technologies, as well as their advantages and disadvantages, which were taken into account when creating the system.

Tianjin University Thermal Plasma System

The Tianjin University Thermal Plasma System is designed to treat and dispose of fly ash, and the system is designed to reduce the harmful effects of heavy metals in fly ash. The installation has a vertical electrode arrangement, which distinguishes it from the developed system. However, the main system blocks can be used in the development of the own system [1]. The configuration of a thermal DC arc plasma furnace system was presented in Figure 1.

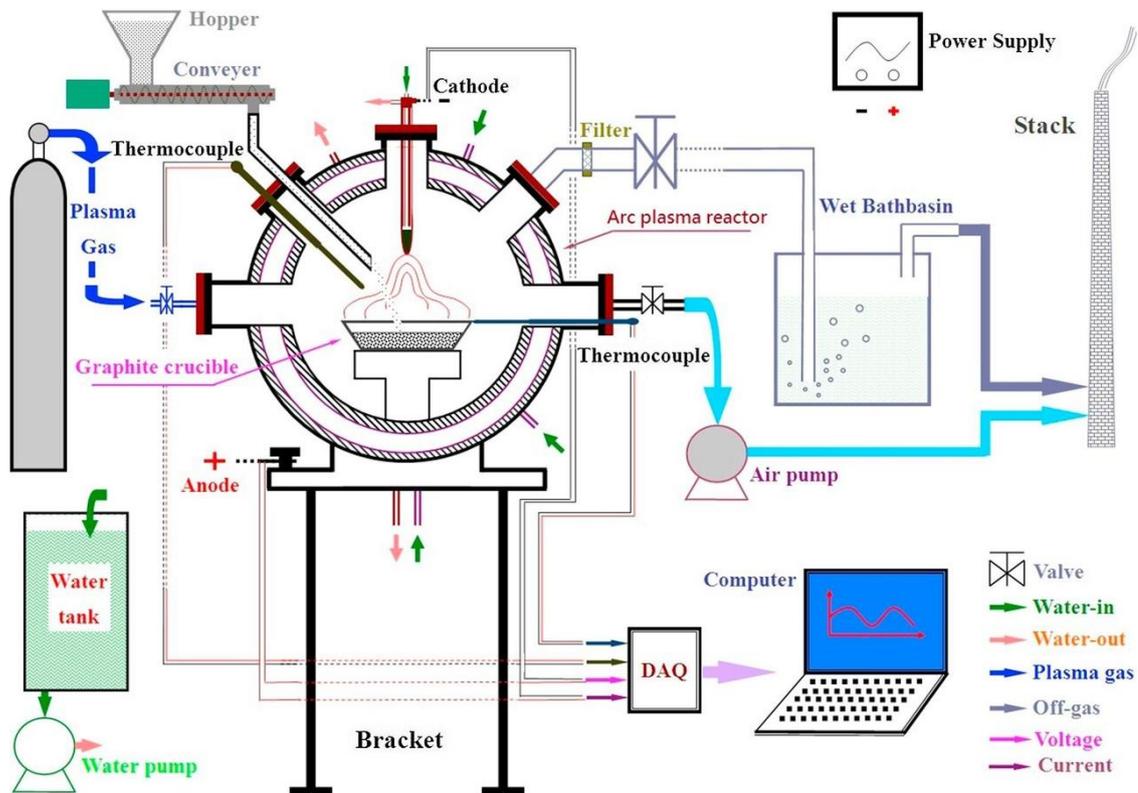


Figure 5 – Thermal Plasma System

The thermal plasma system consisted of:

- DC arc plasma furnace.
- Power supply system.
- Feed unit.
- Working gas unit.
- Cooling water unit.
- Exhaust gas cleaning unit.

Among the advantages of this system, one can single out the presence of an automatic supply of the reagent to the furnace, the cooling water unit, and the exhaust gas cleaning unit, which also allows the analysis of gases released during the reaction. The reactions in this system are carried out under the influence of the working gas - argon. From this, it follows that the furnace chamber has a high tightness, which can also be attributed to advantages since the tightness of the reactor zone allows a complete analysis of the gaseous medium. The presence of a computer in the system makes it possible to monitor the main parameters during the reaction, such as the current and voltage in the discharge gap.

The disadvantages include the high energy consumption of the system.

Transferred arc plasma torch

Transferred arc plasma (TAP) torch, showed in Figure 2, is used for processing coal ash and, as a consequence, obtaining ceramics based on mullite [2].

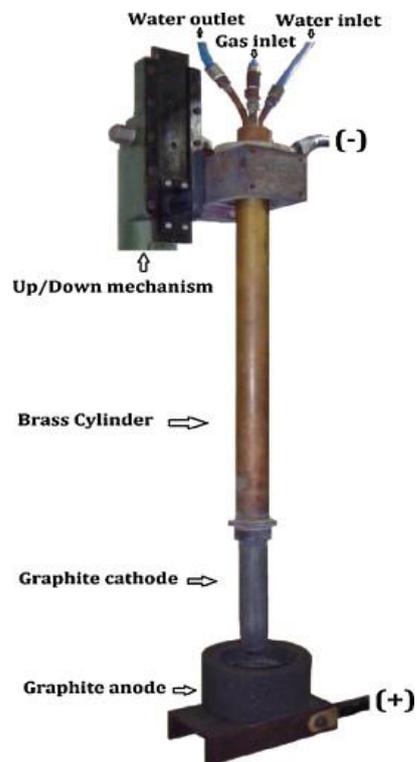


Figure 6 – Transferred arc plasma torch

As it can be seen from the Figure 2, the system consists of:

- Graphite cathode and anode.
- Mechanism for the cathode movement (Up/down mechanism).
- Cooling unit.
- Gas supply unit.

It should be noted that the advantage of the TAP torch is the reaction in the open environment, thus the installation does not have airtightness. Based on this, it can be concluded that open-type installations are no less relevant since the developed installation provides for experiments under the influence of the environment. However, the lack of tightness of the system makes it difficult to carry out a gas analysis.

The main disadvantage of this installation is the absence of any automation and parameter registration systems.

Plasma furnace developed by the Chinese Academy of Sciences

With the amount of municipal solid waste increasing drastically in China during the past several decades, and landfill site selection in major cities becoming increasingly difficult, the optimal method of disposal for most such wastes has been high-temperature incineration. One of the ways to eliminate waste is to use a thermal plasma generated as a result of burning an electric arc.

Figure 3 shows a diagram of the vitrification furnace.

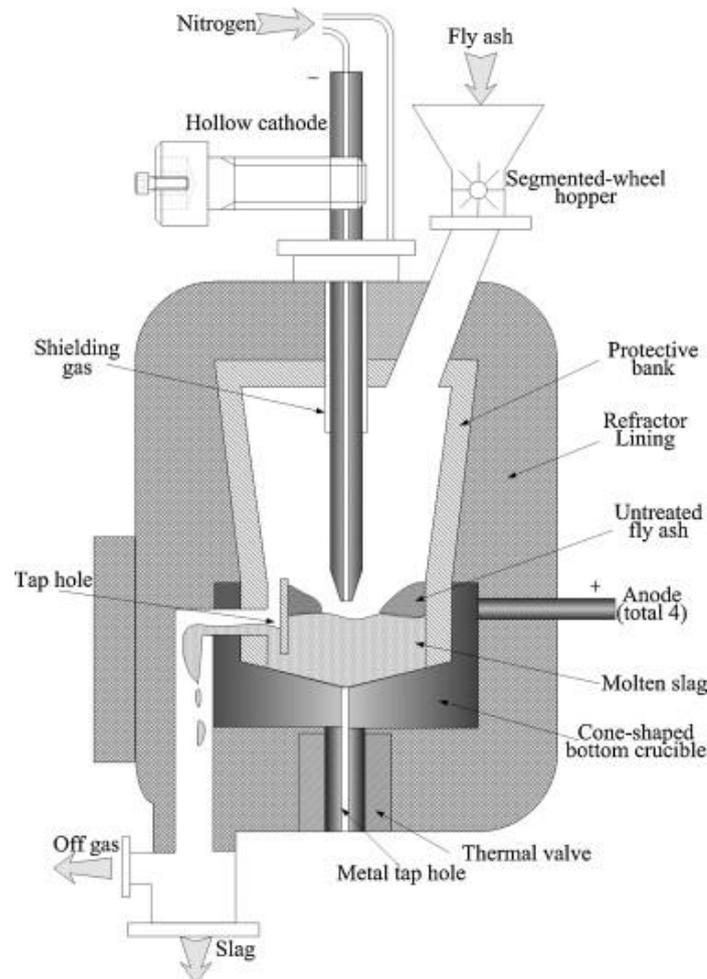


Figure 7 – Schematic diagram of vitrification furnace.

The installation shown in Figure 3 consists of the following parts:

- Plasma furnace.
- Waste feeder system.
- Graphite cathode and anodes.
- Gas-cooling mechanism for the cathode.

- Water-cooling system for the anodes.
- Slag and waste gas removal.

The advantage of the furnace is the slag supply system that does not violate the tightness of the system and the reactor zone. The feeder system consists of a motor that drives a segmented-wheel hopper intended for feeding solid waste having a maximum particle size of 1 cm. Fly ash is carried into the vessel through the segmented-wheel hopper vertically, keeping air from the vessel. The feed rate is adjustable by varying the speed of the motor. The feed rate is continuous and very steady, compared to a screw conveyor feeder.

The gases evolved during the reaction pass through a water cooling chamber in order to minimize the formation of various compounds. After cooling, the exhaust gas passes through a dust collector, and then into an activated carbon chamber to remove acid gases and halogens, and finally, the cleaned gas is released into the atmosphere. During all these stages, the composition of the waste gas is monitored. The exhaust gas elimination system should also be attributed to the advantages of the considered plasma furnace [3].

Small-power horizontal plasma jet reactor

Kitchen waste, as a form of municipal solid waste, has become a subject of widespread concern, and it is clear that the utilizing of kitchen waste has become one of the important issues today. Plasma gasification is a technologically advanced and environmentally friendly process of wastes disposing and converting them into commercially useable products. During the process, due to the extremely high temperature generated by plasma torch, the input kitchen wastes are decomposed into simple elements.

The experimental system of the small-power horizontal plasma jet reactor (Fig. 4) contains plasma torch, gasification chamber, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopic gas analyzer, screw feeder and plasma torch power supply. Fig. 1 indicates the sketch of the experimental system.

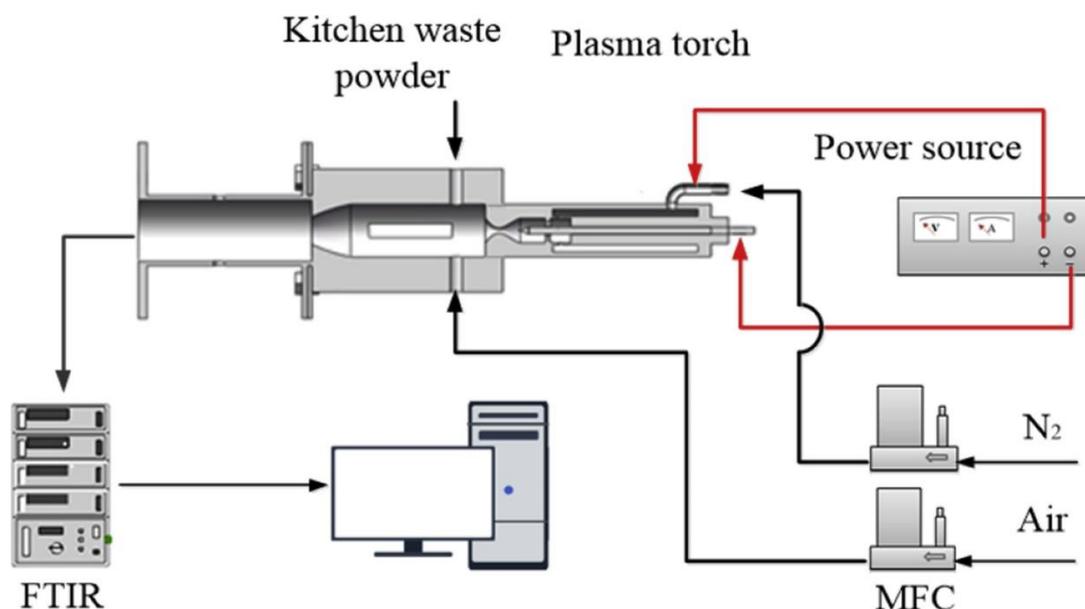


Figure 8 – The sketch of the small-power horizontal plasma jet reactor

The length and inner diameter of the gasification chamber are 95 mm and 30 mm and the observation window is located in the middle of the chamber. In front of the chamber, two nozzles are installed as inlets of kitchen waste powder and air. The mass flow controllers (Seven Stars D07 Series) are employed to control the flow rate of air and nitrogen. In the outlet of the chamber, the gasification products are directly collected and detected by FTIR spectroscopic gas analyzer (Gasetm DX-4000), while hydrogen is detected by Hydrogen Analyzer (QRD-1102C) using the thermal conductivity method. The data from the gas analyzer is transmitted directly to the computer.

The advantages of the plasma jet reactor are the exhaust gas intake system and their analysis. The difference from the systems discussed above is the replacement of the anode and cathode with a plasma cutter, as well as the location of the reactor.

Installation of Shanghai Jiao Tong University for the synthesis of high-quality multi-walled carbon nanotubes

We have developed a continuous and low-cost approach to prepare high-quality multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) using direct current arc

discharge with a horizontal graphite anode and a vertical rotating cylindrical graphite cathode in air.

This installation is designed for the production of carbon nanotubes using an arc discharge in the open air. It adopts a horizontal graphite anode and a vertical rotating cylindrical graphite cathode. The usage of rotating cathode can effectively reduce high temperature and improve cooling rate of the cathode by shifting away timely the arc discharge region.

Figure 5 shows the schematic of arc discharge installation.

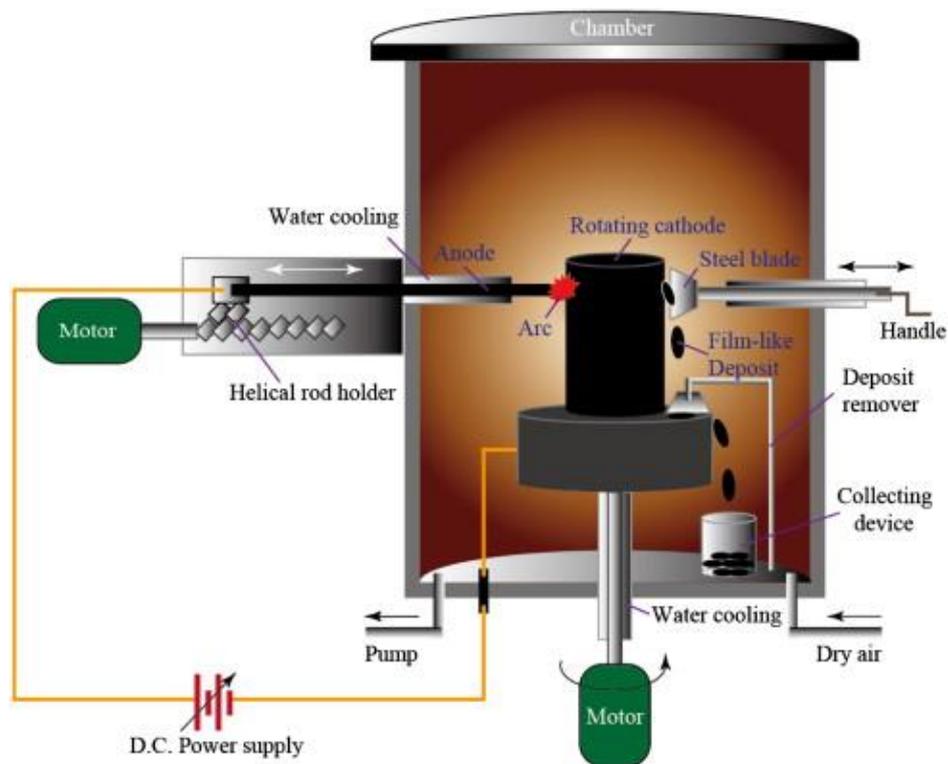


Figure 5 – Schematic of arc discharge apparatus

The gap between the anode and the cathode can be controlled by the stepper motor. The opposite side of the anode is composed of a steel blade and a handle, which are used to scrape the film-like MWCNT products that deposit on the surface of cylindrical cathode. With manual adjustment of the handle, it makes the steel blade tangent to the cylindrical cathode. At the same time, the film-like products deposited on the surface of cathode are scraped off the graphite disk. Subsequently,

they are collected automatically in the container by the remover. Water cooling device is used for the electrodes and the arc chamber in the arc growth process.

A gap of 1–2 mm between the two electrodes was maintained, which was readjusted continually during the synthesis process. The chamber was filled with air as the buffer gas. In order to purify and separate nanotube bundles stuck together, the film-like deposits were burned simply at 750 °C for 30 min. A spongy bulk of purified nanotubes was obtained after treatment [5].

The advantages of this installation are the cooling system for the reactor zone by rotating the cathode, and the water cooling system. It is also worth noting the tightness of the system.

The disadvantages are the lack of parameter monitoring and control systems.

Conclusions on chapter 1

In this chapter, the main analogs of monitoring and control systems of the operating mode parameters of the arc plasma reactor were considered. The analysis revealed a small number of existing solutions using this principle of operation. The main producers of such systems are research laboratories at universities.

As a result of a review of existing technologies and solutions, the following features of plasma reactors were highlighted:

1. Many systems do not have a control system for the movement of the electrode.
2. The existing arc reactors have a high tightness, which allows for a complete analysis of the gaseous medium.
3. High energy consumption of systems.
4. Availability of automatic supply of reagents to the reaction zone, and collection of finished material from the reactor zone.
5. Lack of a unified system for control and registration of parameters with the possibility of archiving data and calculating synthesis parameters.
6. Availability of the reactor zone cooling system.

7. Ability to filter waste gases.

Also, the main components, on the basis of which it is necessary to start building a control and monitoring system for parameters, were identified.