

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 – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка системы управления плазмохимического реактора постоянного тока для получения карбида кремния

УДК 004.896-047.84:66.023.2:533.9:661.811

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5А	Герасимов Роман Дмитриевич		

Руководитель ВКР

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	К.ф.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Евгений Иванович	К.Т.Н. доцент		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать области их применения.
P2	Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социальноэкономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за риски и работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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 – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Уровень образования – бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	75
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	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	Громаков Евгений Иванович	к.т.н. ДОЦЕНТ		



Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Громаков Е. И.
(Ф.И.О.)

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5А	Герасимов Роман Дмитриевич

Тема работы:

Разработка системы управления плазмохимического реактора постоянного тока для
получения карбида кремния

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№1094/с от 12.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– Техническая документация по отладочной плате Arduino Nano – Техническая документация по одноплатному компьютеру Raspberry Pi 3 – Техническая документация по шаговому двигателю Nema 17 – Техническая документация по драйверу шагового двигателя A4988 – Интернет-ресурсы, включающие описание протокола Modbus TCP – Интернет-ресурсы по проектированию и разработке SCADA систем
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Компоненты системы управления плазмохимического реактора
	• Оборудование для реализации системы • Программное обеспечение
Перечень графического материала	Реализация системы управления плазмохимического реактора
	• Создание принципиальной схемы • Реализация системы управления • Реализация SCADA системы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Винокурова Галина Федоровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
—	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5А	Герасимов Роман Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5А	Герасимову Роману Дмитриевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «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	Бюджет 266884,26 руб. Затраты на з/п 98 701,86 руб. Прочие 43 413,37руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнерг. 5,8 кВт/ч Норма амортизации – 10%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налог во внебюджетные фонды 27,1 Район. Коэф – 1,3 Наклад расходы – 16%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Оценка потенциальных потребителей исследования, SWOT – анализ,
2. Формирование плана и бюджета инженерного проекта (ИП)	Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета.
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Оценка сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности НТИ
2. Матрица SWOT
3. График разработки
4. Бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.04.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5А	Герасимов Роман Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5А	Герасимову Роману Дмитриевичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

Система управления плазмохимического реактора постоянного тока для получения карбида кремния

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования и разработки является система управления плазмохимического реактора постоянного тока. В состав системы входят: шаговый двигатель, твердотельное реле, трансформаторы напряжения, силовой источник питания, осциллограф, датчики, контроллер и драйвер. Рабочим местом является зона, включающая рабочий стол, пульт управления и монитор. Областью применения данной системы являются предприятия, производящие нанодисперсные материалы. Также данную систему можно использовать для переработки отходов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 01.14.2019) – ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– отклонение показателей микроклимата; – повышенная яркость света; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенное значение температуры реактора, которое может вызвать ожоги тканей организма человека; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	– загрязнение атмосферы объектом исследования не выявлено; – загрязнение гидросферы объектом исследования не выявлено; – выявление загрязнения литосферы объектом исследования: утилизация оборудования и печатных плат.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– возникновение пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5А	Герасимов Роман Дмитриевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 79 страницах, содержит 15 рисунков, 20 таблиц, 20 источников литературы, 2 приложения.

Ключевые слова: автоматизация, плазма, реактор, управление, наноматериалы, Arduino, raspberry Pi.

Данная работа посвящена разработке системы управления плазмохимического реактора постоянного тока для получения карбида кремния.

Объектом исследования является разработка системы на базе микроконтроллера ATmega328 и одноплатного компьютера raspberry Pi.

Цель работы – разработка системы управления плазмохимического реактора постоянного тока и реализация на базе микроконтроллера ATmega328 и одноплатного компьютера raspberry Pi.

Результатом работы является рабочий прототип системы

Значимость работы заключается в создании системы, которая повысит повторяемость опытов по созданию карбида кремния и других нанодисперсных материалов в плазмохимическом реакторе.

В будущем планируется модификация системы: добавление датчиков для анализа газов образующихся при синтезе, контроль всех параметров среды (температура, влажность, давление), оптимизация работы кода.

Оглавление

Введение.....	12
1 Анализ предметной области	13
1.1 Методы получения карбида кремния.....	13
1.1.1 Детонационный синтез.....	14
1.1.2 Плазмохимический синтез.....	14
1.2 Плазмохимические реакторы.....	14
1.2.1 Струйные реакторы.....	15
1.2.2 Реакторы раздельно-совмещенного типа	16
1.2.3 Реакторы совмещенного типа.....	17
1.2.4 Реакторы совмещенного типа в открытой воздушной среде	18
1.3 Вывод по главе 1	18
2 Проектирование системы управления плазмохимического реактора	20
2.1 Принцип работы системы	20
2.2 Выбор оборудования	20
2.2.1 Выбор исполнительного устройства.....	20
2.2.2 Выбор управляющего оборудования	23
2.2.3 Выбор датчика тока	24
2.3 Вывод по главе 2	27
3 Реализация системы управления плазмохимического реактора	29
3.1 Описание системы.....	29
3.2 Алгоритм работы.....	30
3.3 Испытание системы	31
3.4 Расширение системы.....	33
3.5 SCADA система.....	34
3.6 Вывод по главе 3	38
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	39
4.2 Технология QuaD	40

4.3 SWOT-анализ.....	42
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	43
4.4.1 Структура работы в рамках научного исследования	43
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	44
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	47
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	49
4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	49
4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы	50
4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	53
4.5.4 Отчисление во внебюджетные фонды	53
4.6 Накладные расходы	54
4.7 Прямые затраты.....	54
4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ..	54
4.9 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	55
4.10 Вывод по главе 4.....	57
5 Социальная ответственность	59
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	59
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	60
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. ..	60
5.2 Производственная безопасность	61
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	62
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	67
5.3 Экологическая безопасность.....	68
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	70
5.4.1 Анализ вероятных ЧС.....	70
5.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.....	70
5.4.3 Разработка действий в случае возникновения ЧС.....	71

5.5 Вывод по разделу социальная ответственность.....	72
Заключение	74
Список литературы	75
Приложение А Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018664326	78
Приложение Б Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018665589	79

Введение

Последнее время все сильнее растет интерес научного сообщества к ультрадисперсным материалам, например, к таким как графен или нанотрубки. Известно множество методик получения ультрадисперсных материалов, активнее всех на текущий момент используются электроразрядные методы получения порошковых материалов. Одним из таких материалов является карбид кремния. Карбид кремния характеризуется рядом важных для науки и техники свойств: высокая твердость, стойкость к окислению в воздушной среде, коррозионная стойкость, радиационная стойкость, высокая теплопроводность и др. [1, 2]. Такой набор свойств материала делает его перспективным для применения во множестве отраслей, в том числе в аэрокосмической [3, 4] - в качестве основы для получения высокотемпературной сверхтвердой керамики [5]. Однако во многих существующих реакторах есть свои недостатки и сложности, такие как ручное управление [6] и как следствие низкая повторяемость экспериментов, использование сложного и дорогостоящего оборудования, синтез в вакууме или среде инертного газа. Следует также отметить, что многие разработки в данной области ведутся за пределами России, большинство работ в данной области были выполнены в Японии.

Целью данной работы является разработка и создание системы управления плазмохимического реактора. Данная система должна обеспечивать управление перемещением электрода, возможность установки параметров для реакции, запись и отображение таких параметров как: ток, напряжение и время, а также иметь высокую повторяемость экспериментов.

1 Анализ предметной области

1.1 Методы получения карбида кремния

Следует выделить следующие характерные отличия нанопорошков от более крупных частиц:

- повторяемость химического и фазового состава частиц;
- большая скорость образования центров зарождения частиц и маленькая скорость роста;
- узкий диапазон распределения частиц по размерам, наибольший размер не более 100 нм;
- высокие требования к контролю и управлению параметрами процесса получения.

Основные методы получения нанопорошков изображены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Методы получения нанопорошков

Наиболее популярным является высокоэнергетический синтез, рассмотрим эти методы подробнее.

1.1.1 Детонационный синтез

Суть данного метода заключается в том, что по проволоке пропускают импульс тока, под действием которого материал проволоки частично испаряется или разлетается в виде жидких капель. В результате образуются частицы размером от 5 нм до 1 мм. Из испарившейся фазы, за счет процесса конденсации в потоке быстро расширяющегося пара, образуются частицы очень малого размера, который существенно зависит от плотности введенной в проводник энергии и скорости ее ввода. Этот метод подходит для получения нанопорошков оксидов и металлов.

1.1.2 Плазмохимический синтез

Плазмохимический синтез материалов основывается на применении плазмы, используя при этом в качестве сырья металлы, галогениды и другие соединения некоторых элементов. Когда плазма начинает взаимодействовать с веществом, подверженным обработке, происходит плавление, испарение и диспергирование. После этого происходит восстановление и синтез продукта, размер частиц после синтеза может измеряться в нанометрах. Один из основных способов получения нанопорошка металлов, соединений и сплавов – синтез и восстановление в химической активной плазме. Ряд объектов имеет относительно небольшой разброс по размеру и форме частиц, имеющих сферическую форму. Достаточно высокая температура плазмы (до 10000 К) и высокая скорость взаимодействия позволяет осуществлять переход практически всех исходных веществ в газообразное состояние и как следствие последующим взаимодействием и конденсацией продуктов в виде нанопорошка, частицы которого имеют правильную форму и размеры от 10 до 200 нм.

1.2 Плазмохимические реакторы

Благодаря высокой скорости протекания химических процессов плазмохимические реакторы имеют высокую производительность.

Электрическая дуга используется как нагревательный элемент, так как большая мощность и высокая плотность тепловой энергии позволяют достичь высоких температур в реакторе и вести химические процессы с высокой скоростью и производительностью.

Классификация реакторов представлена на рисунке 2 [7].

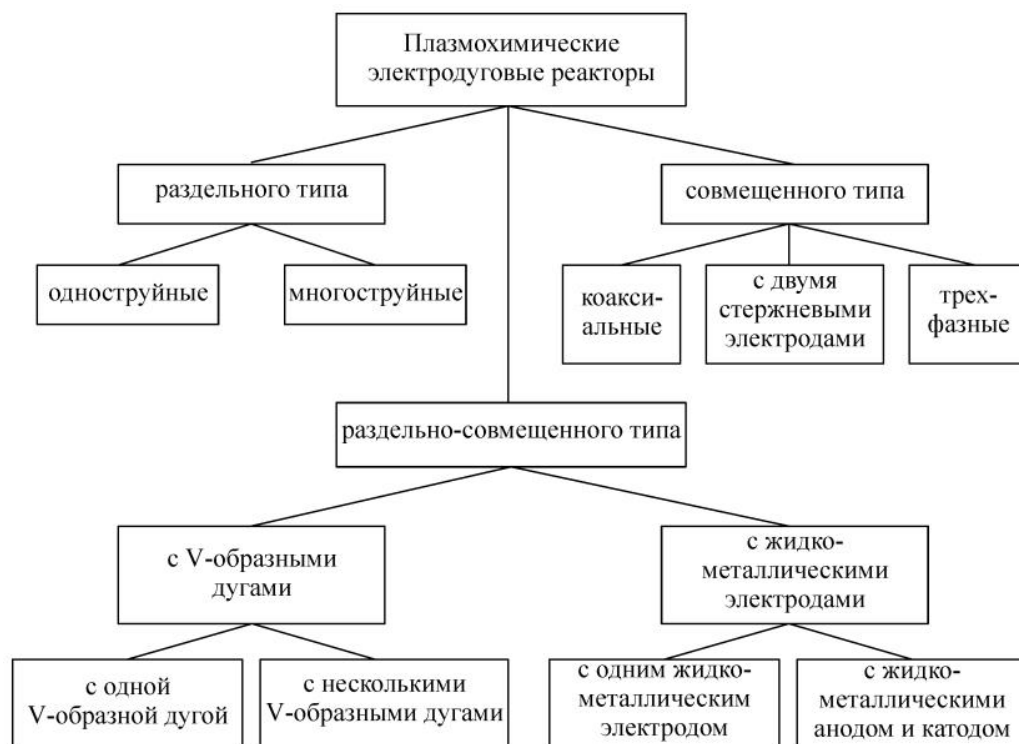


Рисунок 2 – Категории плазмохимических электродуговых реакторов

1.2.1 Струйные реакторы

Отличительной особенностью реакторов является то, что генерация плазмы и область где проходят реакции разделены, а генерация плазмы осуществляется одним или более плазмотронами. Данные реакторы имеют следующие достоинства:

- быстрое смешение плазмы с реагентами;
- возможность увеличения мощности и числа плазмотронов позволяет увеличить мощность реактора;
- раздельное питание газом каждого плазмотрона позволяет подобрать реакционную среду определенного состава;

- мобильность изменения режима работы, обеспечивающая легкость автоматизации процесса и др.

Конструктивно он представляет собой цилиндрическую водоохлаждаемую стальную камеру с крышкой, к которой крепятся один или несколько плазмотронов.

1.2.2 Реакторы раздельно-совмещенного типа

Реакторы имеющие раздельно-совмещенный тип зоны вблизи электродов свободны от реагентов, принимающих участие в процессе, данный факт оказывает положительно влияет на стабилизацию разряда. Также положительное влияние на энергетическую эффективность, оказывает присутствие реагентов в столбе разряда за границами приэлектродной области. Конструкция V-образного реактора, которая применяется для проведения газофазных и гетерогенных процессов является более перспективным вариантом реакторов раздельно-совмещенного типа.

Для V-образного реактора очень важен выбор значения угла сходимости плазменных струй в затопленном пространстве. Оптимальным значение для угла сходимости является угол в 60° , данное значение получено в ходе исследования влияния этого угла на устойчивость горения дуги. В случае значения имеющего меньшую величину, наблюдается возрастание пульсации напряжения, а также тока дуги, что приводит к неустойчивости разряда. В том случае если угол имеет величину больше 60° , происходит увеличение потерь тепла в стенку — это приводит к понижению теплового КПД V-образного реактора.

Реактор внешне напоминает многоструйный реактор, данное сходство обусловлено наличием цилиндрической формы. Преимущество реактора заключается в объединении элементов раздельных и совмещенных реакторов. Данное преимущество можно отобразить на примере ввода реагента в зону горения, что приводит к увеличению эффективности тепловой обработки сырья, порошкообразного вида, также повышается турбулентное повышение

струй реагента, что значительно повышает производительность процессов химических взаимодействий. В реакторе имеется крышка, с установленной парой электродных узлов под углом в 60° , узлов в крышке может быть больше одной пары. При наращивании числа пар электродных узлов имеется возможность увеличить мощность реактора. Также, как и в случае многоструйного реактора, V-образная многопарная схема реактора предусматривает использование метода поочередной ротации узлов, в целях проведения профилактики или замены. Все выше перечисленное позволяет V-образным реакторам, как и в многоструйных реакторах, обеспечивать практически неограниченные ресурсы для работы реактора в целом.

1.2.3 Реакторы совмещенного типа

У реакторов совмещенного типа, как можно догадаться, 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 цилиндрическую 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.

1.2.4 Реакторы совмещенного типа в открытой воздушной среде

В настоящее время плазмохимические реакторы становятся все более востребованными как в синтезе нанодисперсных материалов, так и в переработке полимеров. Существующие реакторы имеют следующую конструкцию (рисунок 3) [8].

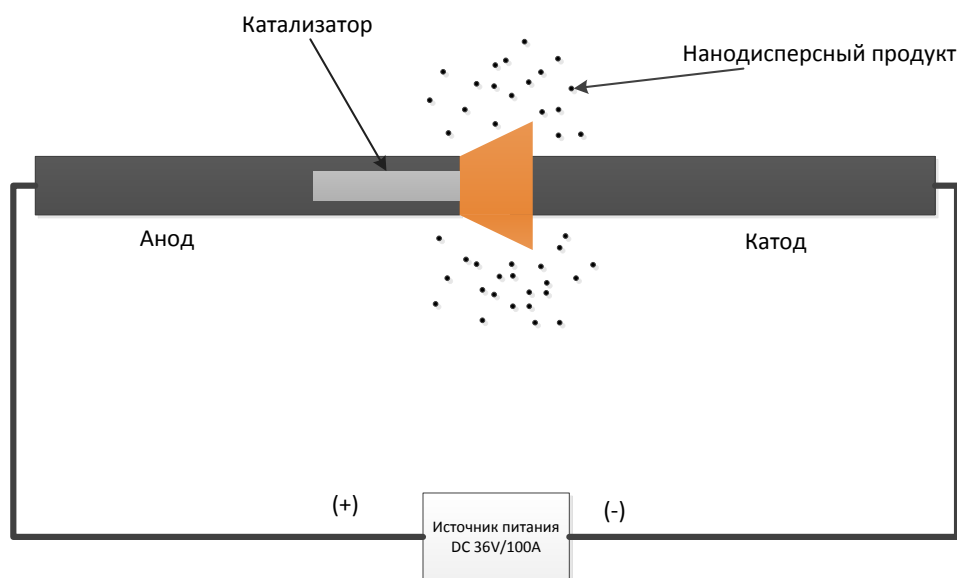


Рисунок 3 – Типовая конструкция реакторов совмещенного типа

Электроды могут быть как одинакового, так и разного диаметра, и формы, также может изменяться расположение электродов вертикально, или перпендикулярно. Кроме того, существуют системы с вращающимся анодом [9], с системой для закачивания газов в область образования дуги [10] или с созданием низкого давления [11].

1.3 Вывод по главе 1

У каждой из систем есть свои недостатки и преимущества, кроме того следует заметить, что определенная технология проявляет себя по-разному для синтеза тех или иных компонентов. Например, для работы с металлами лучше подходит система с горизонтальным расположением электродов. Согласно обзору литературы электродуговых реакторов, было отмечено, что большинство существующих реакторов не имеет автоматизированного управления, как и систем отображения информации о рабочем режиме.

Поскольку во многих системах используется ручное управление перемещением электродов, то это приводит к низкой повторяемости экспериментов.

Исходя из обзора существующих аналогов, на данный момент самыми малоизученными являются реакторы совмещенного типа в открытой воздушной среде. Несмотря на простоту конструкции, они имеют значительное преимущество в цене и скорости производства. Поэтому было принято решение по реализации реактора, работающего в открытой воздушной среде и последующее создание системы управления.

2 Проектирование системы управления плазмохимического реактора

2.1 Принцип работы системы

Система представляет из себя реактор с вертикальным расположением электродов, верхний анод представляет из себя графитовый стержень, а нижний катод графитовый тигель куда помещается порошок для реакции и катализации процесса синтеза. Для создания дуги необходим источник питания, а для управления процессом и снятия показаний необходимо определиться с объектом управления, контроллерным оборудованием, а также датчиками для определения рабочих параметров: тока и напряжения разряда. Общая схема изображена на рисунке 4.

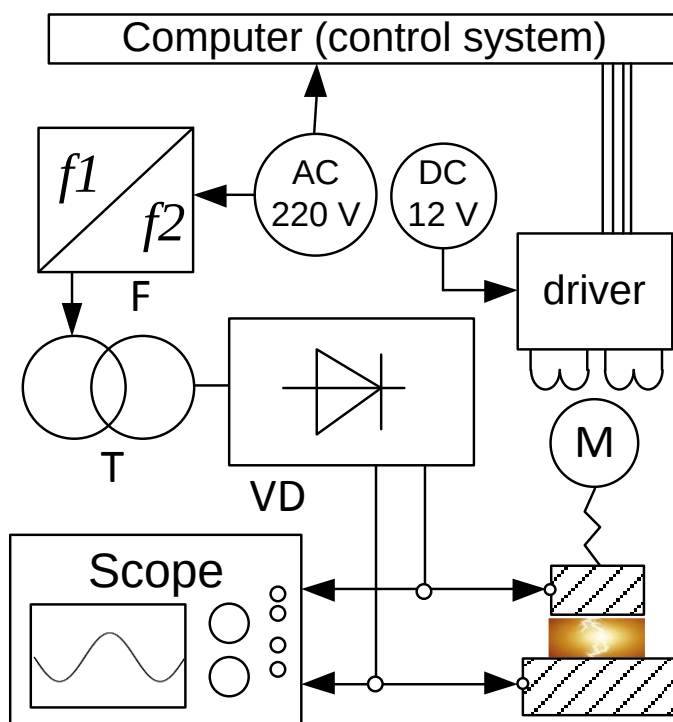


Рисунок 4 – Общая схема лабораторной установки

2.2 Выбор оборудования

2.2.1 Выбор исполнительного устройства

Управление приводом производится через драйвер, однако необходимо знать характеристики привода для точного управления. Было решено

использовать шаговый двигатель Nema 17, они применяются в автоматических анализаторах и спектрометрах, а также в 3D-принтерах, небольших станках с ЧПУ для фрезеровки, гравировки металлов, пластика, дерева. Шаговый двигатель Nema 17 представлен на рисунке 5. Так же ниже представлена таблица 1, в которой приведены характеристики шаговых двигателей Nema 17.



Рисунок 5 – Шаговый двигатель Nema 17

Таблица 1 – Характеристики шаговых двигателей NEMA 17 (FL42STH)

Параметр	Значение
Угловой шаг, град	1.8
Погрешность углового шага, град	$\pm 5 \%$ (полный шаг, без нагрузки)
Погрешность сопротивления обмоток двигателя, %	$\pm 10 \%$
Погрешность индуктивности, %	$\pm 20 \%$
Рабочая температура	от минус 20°C до 50°C
Сопротивление изоляции	$\geq 100 \text{ M}\Omega$, 500 VDC
Диэлектрическая прочность	500 VAC до одной минуты
Максимальное радиальное биение вала двигателя, мм	0.02 (при нагрузке 450 грамм)
Максимальное осевое биение вала двигателя, мм	0.08 (при нагрузке 450 грамм)
Максимальная допустимая радиальная нагрузка на вал	28 Н
Максимальная допустимая осевая нагрузка на вал	10 Н
Максимальный нагрев двигателя	80°C (при номинальном токе, 2 фазы)
Крутящий момент, кг×см	(1.58 ~ 4.4)
Ток фазы ШД, А	(0.31 ~ 1.68)

Как видно из таблицы полный оборот составляет 200 шагов. При помощи червячной передачи преобразуем вращательное движение в поступательное. После ряда замеров было выведено, что один оборот примерно

равен 0,8 см, значит один шаг 0,04 мм. Это достаточно малая величина, при движении один шаг в 1 мс, мы получим скорость:

$$\frac{4 * 10^{-5}}{10^{-3}} = 0,04 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Так как шаг очень маленький, а опрос датчика производится после каждого шага, вероятность того что в процессе движения графитовый стержень упрется и сломается крайне мала.

Кроме того, для управления шаговым двигателем необходимо выбрать драйвер. Поскольку основные принципы заложенные при создании системы — это сделать систему простой и бюджетной, то было решено использовать драйвер A4988.

Драйвер A4988 — предназначен для управления биполярным шаговым двигателем, работающим от напряжения (8 – 35) В и потребляющим до 2 А на каждую обмотку двигателя, драйвер представлен на рисунке 6.

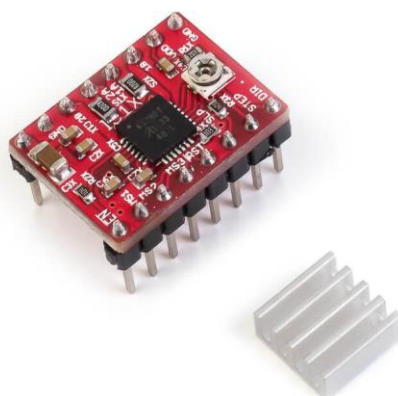


Рисунок 6 – Драйвер шагового двигателя A4988

Модуль A4988 имеет защиту от перегрузки и перегрева. Одним из параметров шаговых двигателей является количество шагов на один оборот 360°. Для шаговых двигателей Nema17, как уже описано ранее, это 200 шагов на оборот, то есть 1 шаг равен 1,8°. Драйвер A4988 позволяет увеличить это значение за счёт возможности управления промежуточными шагами и имеет пять режимов микрошага (1/1, 1/2, 1/4, 1/8 и 1/16).

2.2.2 Выбор управляющего оборудования

Выбор микроконтроллера. Для данной задачи необходим компактный микроконтроллер с объемом памяти не менее 512 байт, способный выполнять несложные задачи, а также желательно большой объем библиотек для дальнейшего расширения функционала. Кроме того, не менее важным критерием является цена, совместимость с персональным компьютером через стандартные интерфейсы, большой объем литературы, а также демонстрационную документацию для быстрого понимания работы функций.

Среди современных микроконтроллеров, самый распространенный и часто используемый является ATmega на платформе Arduino. В интернете есть множество видео и текстовой документации в котором производятся разборы команд и библиотек. Кроме того, у него достаточно низкая цена и большое сообщество.

Существует много разнообразных моделей Arduino, самые распространенные из них: Uno, Nano, Mega, Micro. Для данного проекта было решено использовать Nano, так как у него достаточно малые размеры, 14 цифровых входов/выходов и 8 аналоговых входов. В таблице 2 представлены характеристики Arduino Nano

Таблица 2 – Краткие характеристики Arduino Nano

Параметр	Значение
Микроконтроллер	Atmel ATmega168 или ATmega328
Рабочее напряжение (логический уровень)	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	(7 - 12) В
Входное напряжение (предельное)	(6 – 20) В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	8
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Флеш-память	16 Кб (ATmega168) или 32 Кб (ATmega328) при этом 2 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	1 Кб (ATmega168) или 2 Кб (ATmega328)
EEPROM	512 байт (ATmega168) или 1 Кб (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц
Размеры	1.85 см x 4.2 см

Как видим, микроконтроллер Arduino отлично подходит для данной задачи. Однако вывод данных и дополнительная нагрузка на данный микроконтроллер приводит к задержкам, что в свою очередь влияет на характеристики синтезируемого материала. Кроме того, с данным контроллером достаточно трудно будет реализовать SCADA систему и дальнейшее усовершенствование системы. Поэтому было принято решение добавить дополнительный контроллер, который бы позволил реализовать все запланированные функции. Конечно отказываться от Arduino совсем не имеет смысла, так как он имеет значительные преимущества:

1. в лабораторных условиях данный микроконтроллер зарекомендовал себя как отличное решение;
2. имеется огромная поддержка сообщества, что ускоряет разработку проекта;
3. возможность взаимодействия с другими контроллерами.

2.2.3 Выбор датчика тока

Следующим важным элементом является датчик тока, так как, не зная параметров эксперимента невозможно будет сделать выводы. Кроме того, при запуске у нас наблюдается повышение значения силы тока, что позволит нам определить приблизительный момент образования плазмы. В дальнейшем придется решить это допущение, однако на данном этапе это не является ключевым параметром.

Современные датчики тока подразделяются на следующие типы:

1. резистивные датчики (токовые шунты);
2. датчики тока на эффекте Холла;
3. трансформаторы тока;
4. волоконно-оптические датчики тока (ВОДТ) на эффекте Фарадея;
5. пояс Роговского;
6. токовые клещи.

Достоинства и недостатки различных типов датчика тока определяют области их применения. В промышленности наиболее часто применяются первые четыре типа датчиков тока. Анализ характеристик таких датчиков тока проведен только для низкого (до 1 кВ) напряжения, так как блок питания электродугового реактора вписывается в эти границы. Характеристики датчиков представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Номинальное напряжение до 1 кВ

Характеристика	Трансформатор тока	Резистивный датчик тока	Датчик тока на эффекте Холла
Диапазон рабочих температур, С	от минус 45 до 50	от минус 40 до 60	от минус 40 до 150
Номинальное напряжение, кВ	до 0,66	до 1	до 6
Номинальные токи, А	5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000	0,3; 0,5; 0,7; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7,5; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 500; 600; 1000	открытого типа: от 57 до 950 компенсационного типа: от 5 до 1200
Класс точности	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 1	0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5	от 0,1 до 0,8
Масса, кг	от 0,5 до 170	от 0,1 до 35	до 1
Время эксплуатации, года	30	15	20
Рабочая частота	50, 60 Гц	> 500 кГц	открытого типа: <100 кГц компенсационного типа: >1 МГц

На напряжение до 1 кВ (таблица 3) применяются 3 типа датчиков тока:

1. резистивные датчики;
2. датчики тока на эффекте Холла;
3. трансформаторы тока.

Главным недостатком трансформатора тока является измерение только переменных токов промышленной частоты, поэтому его невозможно использовать в данной системе. Резистивный датчик тока необходимо подключать непосредственно в цепь измерения, что может привести к потере мощности. Датчик тока на основе эффекта Холла обладает рядом преимуществ,

которые заключаются в возможности измерения как постоянных, так и переменных токов, и малых размерах. К их главным достоинствам следует отнести отсутствие вносимых с систему потерь мощности, широкий диапазон частот. Недостатком является необходимость внешнего источника питания и зависимость от температуры.

Для реализации системы обратной связи по току электродугового ректора постоянного тока было целесообразно использовать аналоговый датчик Холла. В первую очередь из-за его способа монтажа: достаточно просто пропустить проводник через постоянный магнит, запитать датчик и уже можно снимать показания. Во-вторых, этот датчик сравнительно небольшого размера. В-третьих, он вполне удовлетворяет проводимым замерам – источник тока около 160 А.

Под высказанные выше требования, подошел датчик тока Honeywell CSLA2DJ. Его характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики датчика тока Honeywell CSLA2DJ

Характеристики продукта	
Тип датчика	на основе эффекта Холла
Тип измеряемого тока	постоянный или переменный
Диапазон измеряемого тока	от 0 до 225 А
Выходной сигнал	напряжение
Чувствительность	(8.7 ± 0.6) мВ
Ток питания	20 мА максимум
Выходное напряжение	$U_{\text{питания}}/2 \pm 2 \%$
Напряжение питания	от 6 до 12 В
Погрешность (%/°C)	± 0.02
Время отклика	3 мкс
Рабочая температура	от минус 25 до 85 °C
Число пинов	3

На рисунке 7 приведены размеры датчика Холла, его выводы под питание (+ и -) и вывод под снятие показаний (0).

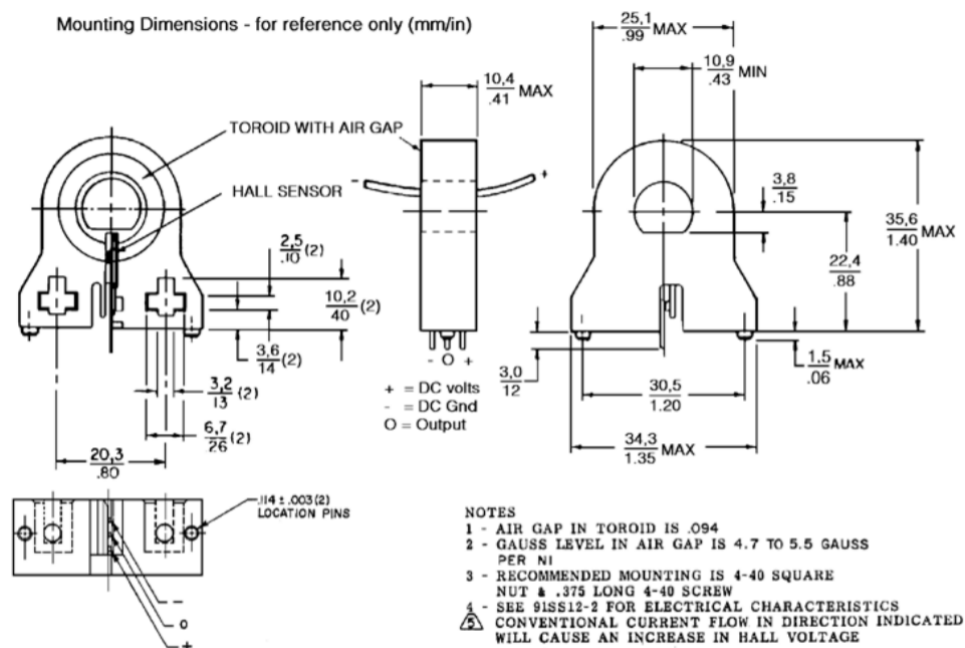


Рисунок 7 – Датчик тока Honeywell CSLA2DJ

Для реализации процессов управления установкой потребовалась внедрить в реактор два независимо работающих датчика тока – один датчик тока управлял режимом запуска установки, второй выполнял измерения. Соответственно, первый был подключен к Arduino, а второй к осциллографу.

2.3 Вывод по главе 2

В ходе выполнения данной работы было выбрано оборудование для сборки и реализации проекта. Ключевыми параметрами при выборе компонентов были: дешевизна, простота и популярность, так как работать с оборудованием, на котором до этого никто не работал достаточно трудоемкая и долгая работа. Поэтому в качестве контроллера было решено взять Arduino очень популярная платформа на которой сможет работать каждый, кроме того он поддерживает большое количество оборудования. В качестве исполнительного устройства был использован шаговый двигатель Nema 17 и драйвер A4988 достаточно бюджетное решение которое часто используется в 3D принтерах кроме того данное оборудование, не смотря на свою цену, имеет хорошую точность и есть много различных данных по работе с ним. Датчик тока, пожалуй, самый капризный элемент системы, если шаговый двигатель

пропустит пару шагов и будет стоять на месте, то это не является большой проблемой так как всегда можно будет определить реальное состояние системы по датчикам, поэтому датчик CSLA2DJ не является бюджетным, но обеспечивает снятие показаний с высокой точностью и низким временем отклика.

Таким образом ожидается высокая точность и надежность данной системы, кроме того, благодаря подобранному оборудованию разработка программного обеспечения для данной системы не будет слишком трудоемкой работой.

3 Реализация системы управления плазмохимического реактора

3.1 Описание системы

Лабораторная установка, разработанная в ходе выполнения данной работы, состоит из силового источника питания с диапазоном рабочих токов (20 - 200) А, подсоединенного непосредственно через силовые кабели к графитовым электродам, между которыми поджигается дуговой разряд постоянного тока. Рабочие параметры, а именно, ток и напряжение разряда регистрировались посредством снятия напряжения с омического делителя напряжения и снятия тока при помощи датчика Холла. Все эти показания выводились на цифровой осциллограф. По полученным осциллограммам можно довольно точно определить время горения разряда, динамику изменения напряжения и тока разряда во времени. Чтобы процесс генерации электродуговой плазмы был стабилен и в пределах заданных вольтамперных характеристиках горения разряда, требуется стабилизация разрядного промежутка.

Исходя из поставленной задачи, потребовалось составить принципиальную схему управления, алгоритм и программу. Управление процессами, проводимыми в исследовании, выполнялись на основе компактной платы Arduino Nano с микроконтроллером ATmega328. В системе, согласовано с контроллером, работает драйвер шагового двигателя типа A4988, питающий двигатель Nema 17 линейного привода. В схему введены два микропереключателя для определения границ перемещения рабочего органа электрода на установке, операторская кнопка запуска, шаговый двигатель NEMA 17, драйвер двигателя A4988, и датчики тока и напряжения. Разработанная принципиальная схема представлена на рисунке 8.

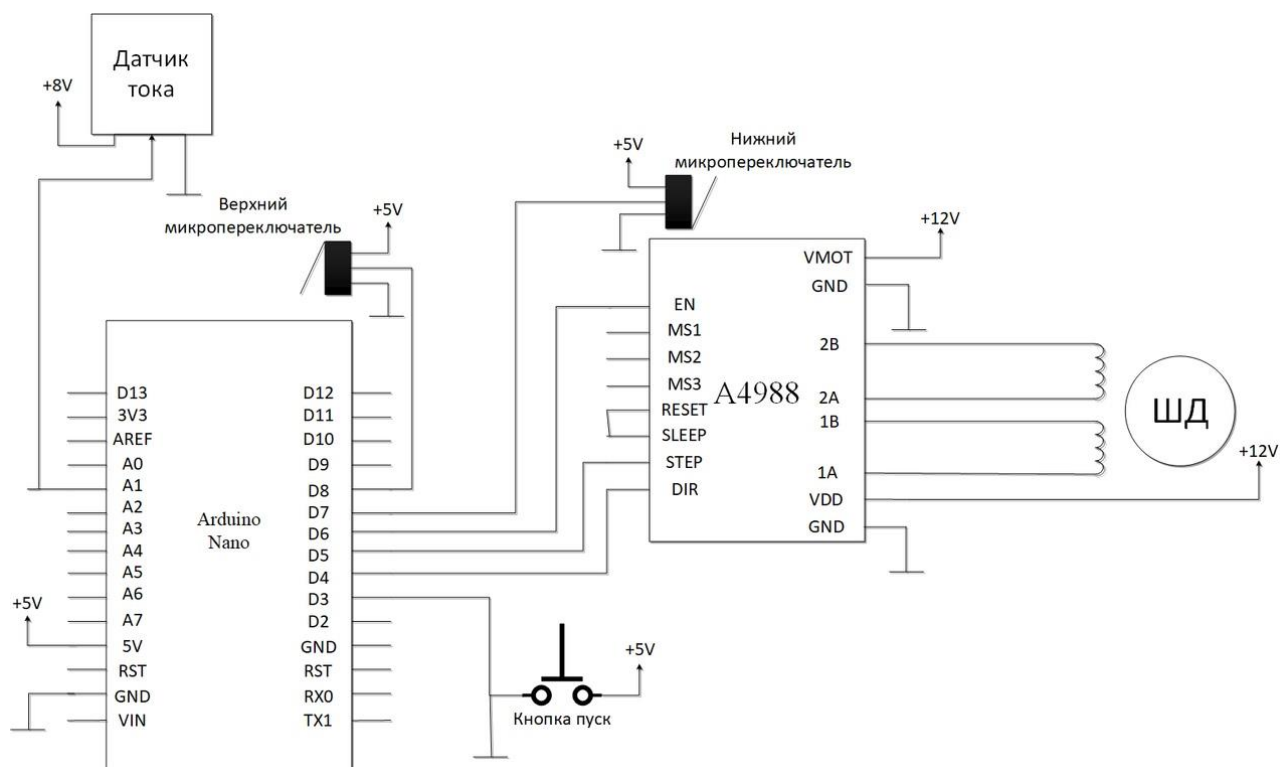


Рисунок 8 – Принципиальная схема установки

3.2 Алгоритм работы

На рисунке 9 приведена блок-схема программы, которую исполняет микроконтроллер.

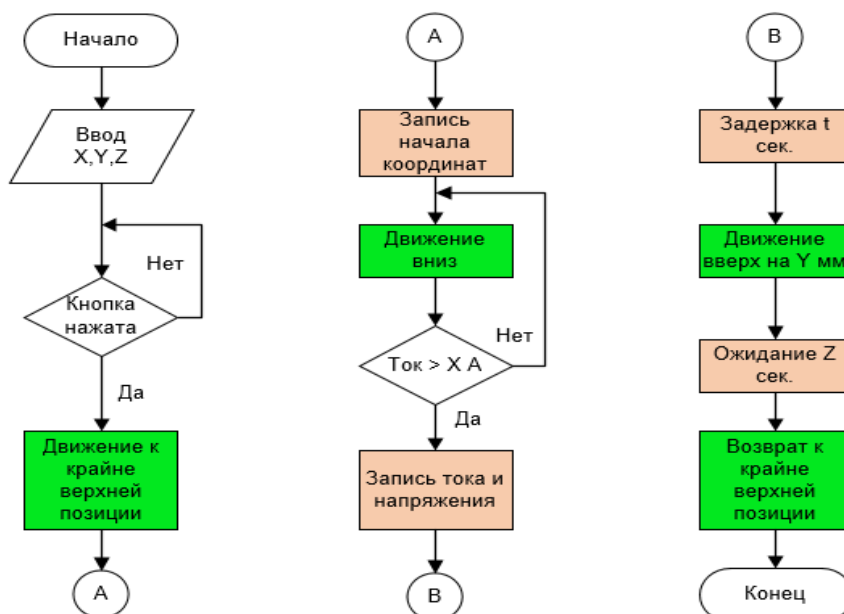


Рисунок 9 – Блок-схема программы

Оператору требуется нажать кнопку «Пуск» для приведения программы в действие. После запуска, начинается перемещение шаговым двигателем

рабочего органа линейного привода с закрепленным на нем анодом в крайне верхнее положение. После этого, анод начинает опускаться с предустановленной скоростью до момента, когда сила тока в силовой цепи, измеряемая при помощи датчика Холла, превысит заданную в программе величину тока. Далее исполняется функция прогрева электродов протекающим через них током, реализованная в виде задержки в алгоритме программы. От функции прогрева зависит стабильность горения разряда при работе установки.

При отсутствии функции по времени задержки инициирование горения разряда происходит с определенной долей вероятности, исходя из числа успешных экспериментов, проведенных с установкой и неудачных, вероятность инициирования горения разряда при нулевом времени задержки составила менее 50 %. Само значение времени задержки между событиями соприкосновения анода и формирования разрядного промежутка, посредством перемещения анода в обратном направлении от катода, которое позволяло поддерживать стабильное инициирование разряда определялось экспериментально для различных видов и конструкций электродов. Затем производится движение назад на заданное расстояние с заданной скоростью, для образования разрядного промежутка. При формировании величины разрядного промежутка, при отдалении анода от катода, координата рабочего органа привода поддерживается на заданном значении в течение предварительно заданного промежутка времени. Выполнив все описанные функции, анод, закрепленный на рабочем органе линейного привода, приводится в крайне верхнее положение, подготавливая установку к последующим экспериментам.

3.3 Испытание системы

Следующим шагом после реализации предыдущих пунктов является испытание системы. Необходимо выяснить, выполняет ли сконструированная система установленные задачи. Результат работы системы представлен на рисунке 10.

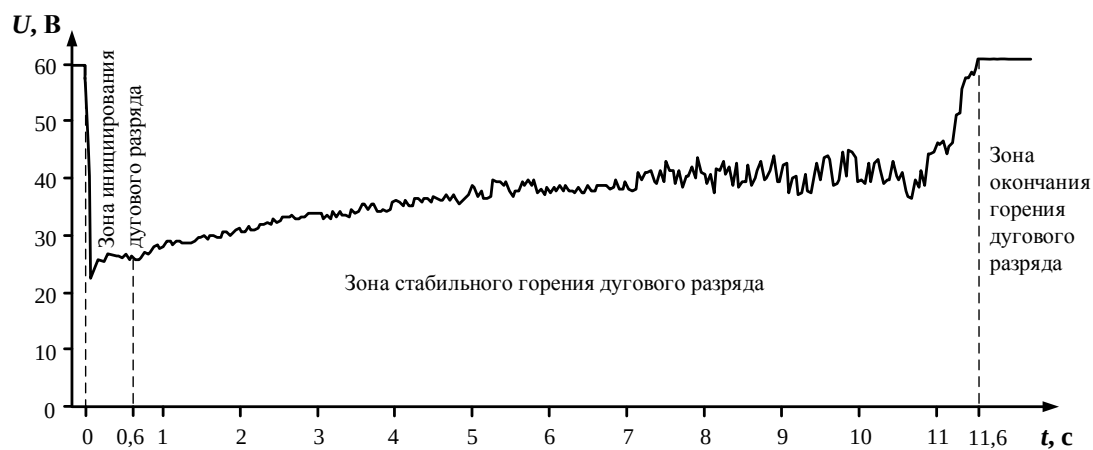


Рисунок 6 – Показания датчика напряжения во время работы системы

Как можно увидеть по рисунку, осциллограммы имеют приблизительно одинаковый вид, что говорит о том, что система имеет высокую повторяемость. Для более точного результата необходимо провести анализ полученных порошков.

Как можно видеть на графике данных с Arduino гораздо меньше шумов, и возможно проще аппроксимировать кривую для построения математических моделей. Также данные снимаются только на этапе поддержания дуги, что является преимуществом и недостатком, так как можно построить математическую модель непосредственно процесса, но при этом показания во время инициации дуги позволят более точно подобрать коэффициенты для выявления оптимальных параметров синтеза (перефразирование). Не менее важным моментом является то что на Arduino приходит очень мало точек, что увеличивает погрешность. В результате мы имеем только общее представление о процессе, и для компенсации данного недостатка можно увеличить частоту дискретизации.

Однако было замечено что вывод данных вызывает задержки и порой фактическое время синтеза отличалось от заданного на 1 - 2 секунды, что влияет на характеристики синтезируемого материала. Кроме того, при использовании электродов диаметром меньше 8 мм необходимо уменьшить скорость реверса. В результате появилась необходимость изменять код программы и решать возникшие в ходе работы проблемы.

3.5 SCADA система

Изменение кода лишь частично решает проблемы. Вывод данных в монитор порта создает самые больше задержки, как и чтение аналоговых сигналов. Поэтому было принято решение передать работу с данными более производительному процессору. Данная практика используется во многих автоматизированных системах, когда управление процессом производится простым контроллером, а обработка данных происходит на более производительном оборудовании. Было решено использовать Raspberry Pi 3, так как практически любой ПК или ноутбук вышел бы намного дороже, кроме того, Raspberry гораздо проще установить в шкаф, и он требует меньше мощности для своей работы. Таким образом решаются сразу несколько проблем:

- обработка данных и построение вольтамперных характеристик;
- создание SCADA системы которая позволит управлять системой в рамках заранее заданных параметров и исключит возможность установки некорректных параметров (например, разрядный промежуток равный 0 или время прогрева электродов больше 10 секунд);
- создание тестового режима, где можно проверить состояние всех кнопок и датчиков перед стартом;
- возможность дальнейшего развития системы.

Работа с raspberry началась со скачивания дистрибутива для начинающих NOOBS который автоматически устанавливает и частично настраивает систему raspbian для использования. Дистрибутив был скачан с официального сайта raspberry. После установки была проведена предварительная настройка системы (обновление репозиторий и программных пакетов, разрешение передачи данных по I2C). После чего были предприняты попытки установить приложение OpenSCADA. Для установки этого пакета необходимо добавить в файл /etc/apt/sources.list репозиторий с приложением. Однако при попытке обновить базу данных система не позволяла добавить данное приложение из-за неверной подписи ключа. После многих попыток обойти эту проблему было решено использовать другое приложение – Rapid SCADA. Установка этого приложения прошла успешно, однако оно имело свои недостатки. Во-первых, приложение использует Modbus протокол, это означало что необходимо использовать дополнительные переходники и возможны дополнительные сложности и проблемы. Во-вторых, редактирование и создание визуальных форм производиться на ПК, после чего файлы копируются на raspberry, это создает трудности для отладки. В-третьих, эта SCADA работает в браузере, что сильно затрудняет возможность использования приложения в скриптах. Все эти сложности и недостатки заставили поискать другие варианты. Последний вариант из готовых решений, программа CoDeSys. В интернете большинство инструкций о том, как связать

ПК и raspberry, после первой неудачной попытки установки было решено попробовать самостоятельно установить полную систему raspbian, так как на одном из сайтов приводилось примечание что одна из старых систем имеет дополнительное ПО для работы с различными ПЛК. После скачивания версии wheezy (от 07.05.15), была попытка установить, но ничего не запустилось.

Тогда была скачана и установлена последняя версия, однако никаких отличий от версии NOOBS, кроме процесса установки, не было замечено. Позднее выяснилось, что все действия необходимо выполнять на ПК, и SCADA открывается в браузере, хотя это и вызывает некоторые затруднения, CoDeSys является отличным и проверенным инструментом для выполнения подобных задач. Следует так же отметить, что данное программное обеспечение предназначено для работы с ПЛК и поддерживает написание программ, что в свою очередь позволяет снизить нагрузку на Arduino и использовать мощности raspberry для выполнения расчетов или дополнительных действий. При помощи инструкций была выполнена связь ПК и raspberry, после чего необходимо было добавить в сеть Arduino. После настройки сетевых параметров была написана простая программа для проверки работоспособности системы. Следующим шагом необходимо исключить ПК, для независимой работы системы. После настройки WEB визуализации, все заработало отлично. Соединение всех элементов представлено на рисунке 13.

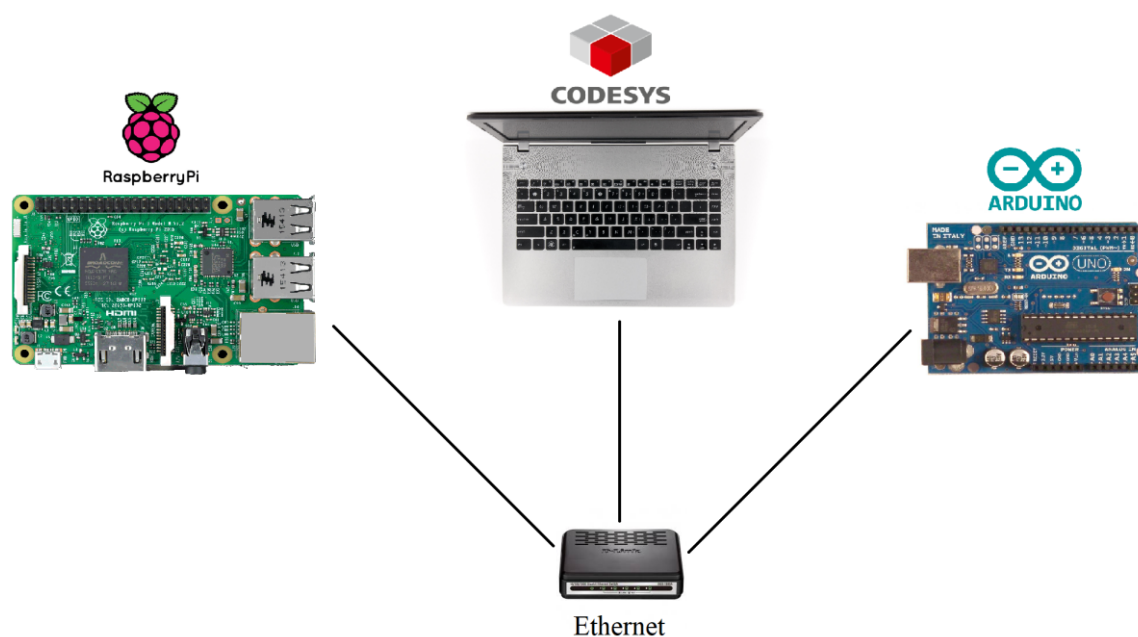


Рисунок 13 – Соединение блоков системы для передачи данных

В результате выполнения данной работы была создана SCADA система для управления установкой. Данная система упростила и сделала более понятными параметры для управления, кроме того появилась возможность тестирования системы и ее дальнейшее усовершенствование.

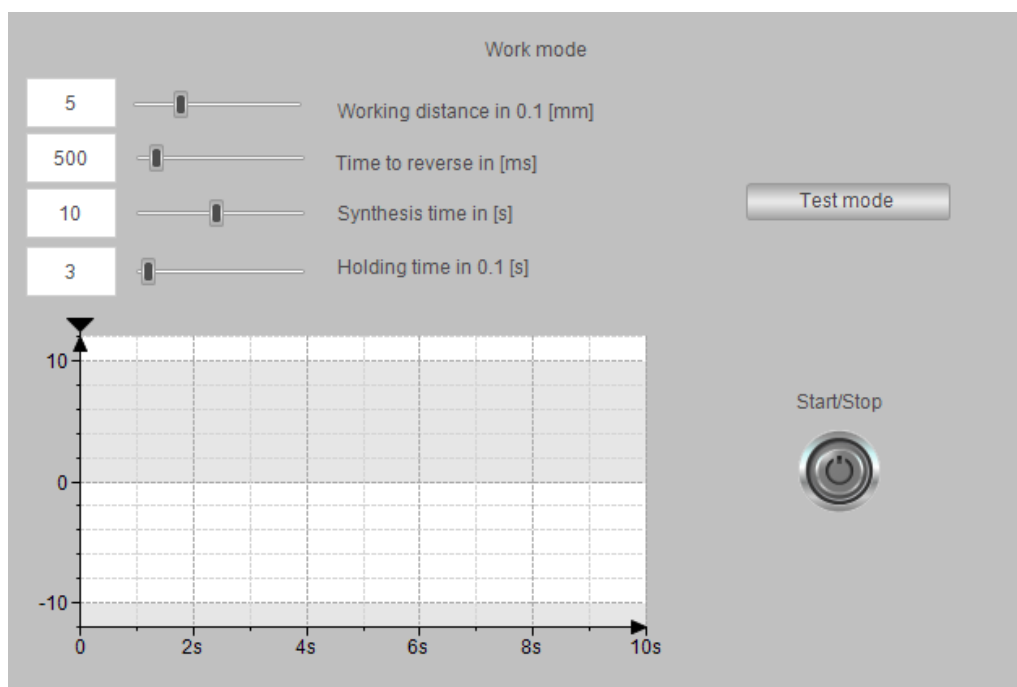


Рисунок 14 – Экспериментальная SCADA система (рабочий режим)

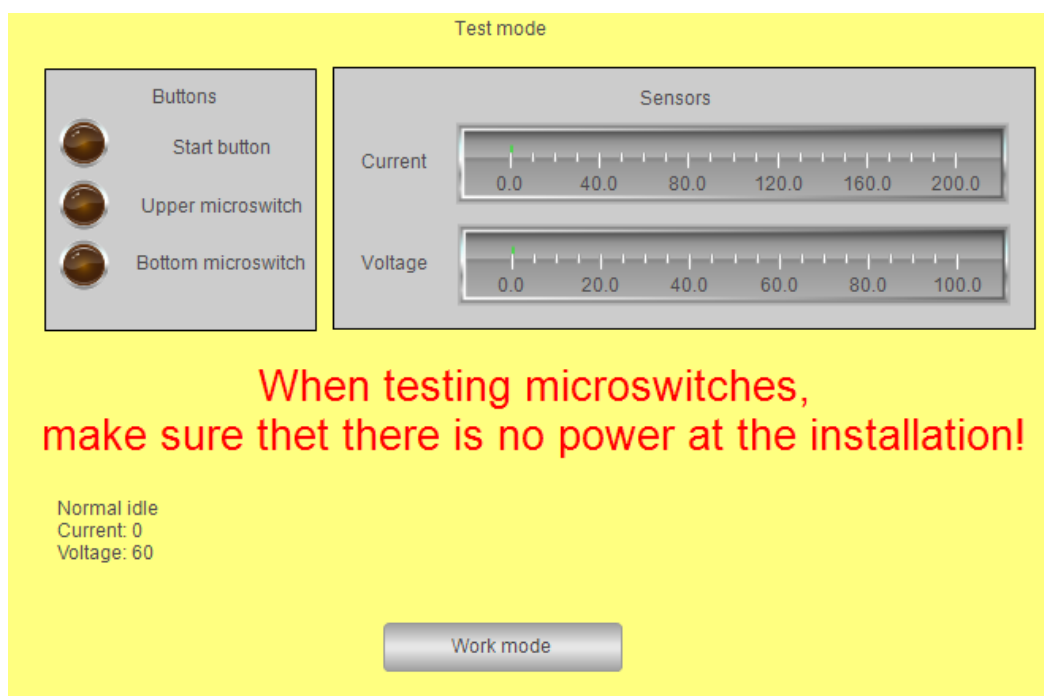


Рисунок 15 – Экспериментальная SCADA система (тестовый режим)

SCADA система, представленная на рисунках 14,15, является предварительным решением. Необходимо провести серию экспериментов с ее использованием для выявления недостатков и создания оптимального варианта.

3.6 Вывод по главе 3

В данной главе рассмотрена реализация системы управления плазмохимического реактора постоянного тока, а именно этапы разработки системы. Были изучены основные способы управления шаговыми двигателями, что позволяет управлять положением электрода. В ходе работы были изучены способы реализации SCADA системы, а также была реализована передача данных с датчиков на экран без промежуточного перевода данных из текста в график.

Кроме того, был создан тестовый режим, который позволяет обнаружить неполадки в системе до ее пуска.

Заключительным этапом является проверка системы на повторяемость проводимых экспериментов. В результате трех контрольных опытов было установлено, что система имеет очень высокую повторяемость, что видно из осциллограмм.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Данный раздел определяет оценки коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и формирование бюджета научных исследований, определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Научно-исследовательская работа направлена на разработку системы управления плазмохимического реактора постоянного тока для получения карбида кремния.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследований являются предприятия, заинтересованные в использовании нанодисперсных материалов в своей продукции, кроме того данный реактор позволяет перерабатывать отходы, согласно исследованиям, плазменная переработка отходов является экологически чистой и позволяет перерабатывать практически любые виды твердых бытовых отходов.

В таблице 5 приведена сегментация рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности. Анализ рынка был проведен на основе фирм-производителей Westinghouse Plasma Corp (США), adaptiveARC (США), OCSiAl (Россия), FirstNano (США).

Таблица 5 – Карта сегментирования

Критерий		Направление деятельности	
		Синтез нанотрубок	Плазменная утилизация отходов
Размер	Крупные	OCSiAl	Westinghouse Plasma Corp
	Средние	FirstNano	adaptiveARC
	Мелкие		

Таким образом, из карты сегментирования видно, что сегмент рынка по синтезу нанотрубок и плазменной утилизации отходов для мелких предприятий свободен. Кроме того, нет компаний, которые ведут разработки в обеих направлениях.

4.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) это инструмент измерения характеристик, который описывает качество новой разработки, а также ее перспективность на рынке. Технология позволяет принимать решение о целесообразности вложения капитала в НИР. Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов. Оценочная карта представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
Показатели оценки качества разработки					
1.Эрозия катода	0,09	75	100	0,75	6,75
2.Повторяемость процессов	0,12	97	100	0,97	11,64

Продолжение таблицы 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

3.Размер частиц	0,11	95	100	0,90	10,45
4.Стабильность дуги	0,10	94	100	0,94	9,4
5.Масштабируемость разработки	0,05	78	100	0,83	3,9
6.Безопасность	0,07	92	100	0,92	6,44
7.Объемы производства	0,04	97	100	0,97	3,88
8.Предоставляемые возможности	0,09	98	100	0,98	8,82
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1.Конкурентоспособность	0,10	76	100	0,76	7,6
2.Цена	0,09	89	100	0,89	8,01
3.Перспективность рынка	0,10	93	100	0,93	9,3
4.Уровень проникновения на рынок	0,04	91	100	0,91	3,64
Итого	1				89,83

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \%,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая. Полученное значение P_{cp} составляет

89,83, что свидетельствует о том, что такая разработка считается перспективной.

4.3 SWOT-анализ

Для исследования внутренних и внешних факторов, оценке рисков и конкурентоспособности был проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта – SWOT анализ. Результаты SWOT-анализа приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1. Низкая стоимость. С2. Использование новой технологии. С3. Простота конструкции. С4. Охват нескольких сегментов рынка.	Слабые стороны: Сл1. Отсутствие фундаментальных знаний в области плазменной химии. Сл2. Отсутствие опыта внедрения на предприятия. Сл3. Отсутствие производственных испытаний.
Возможности: В1. Рост интереса к нанодисперсным материалам. В2. Исследования в области плазменной химии. В3. Узкая направленность разработок конкурентов. В4. Использование для синтеза различных материалов. В5. Быстрая перестройка установки.	Низкая стоимость и возможность быстрой перестройки установки в случае увеличения требований безопасности производств позволит быстро увеличить объем прибыли, расширить границы сбыта и клиентской базы, так как предприятиям будет необходимо быстро и с минимальными затратами соответствовать новым требованиям. Так как разработки конкурентов имеют узкую специализацию, а данная установка имеет больший функционал, то данная разработка представляет больший интерес, поскольку компании заинтересованы в расширении влияния на рынок, а научные сообщества в возможности проведения большего количества экспериментов.	Не смотря на отсутствие фундаментальных исследований, установка является достаточно multifunctional, что в свою очередь позволяет проводить различные эксперименты и изучать данную область. Рост количества предприятий, где заинтересованы в использовании материалов с нанодисперсным покрытием и увеличение проблем, связанных с утилизацией отходов позволяют получить опыт внедрения и произвести достаточное количество производственных испытаний. Для того, чтобы соответствовать новым требованиям безопасности, функциональные возможности данной системы позволяют заменять оборудование или программный код, вместо полной замены системы.

Продолжение таблицы 7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

Угрозы: У1. Снижение стоимости разработок конкурентов У2. Распространение технологии. У3. Появление новых технологий.	Благодаря низкой стоимости и простоте конструкции, несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, разрабатываемая система может оказаться для предприятия более выгодной. Также, за счет раннего выхода на рынок, есть возможность уверенно закрепиться и захватить влияние в различных сегментах.	Так как данные технологии еще не имеют повсеместного распространения и находятся на стадии исследований, но уже сейчас используются для решения проблем, существует вероятность охвата других сегментов рынка, а новые технологии будут находиться только на стадии исследования. Кроме того вероятность того, что новые технологии будут радикально лучше, крайне мала.
---	--	--

Таким образом, благодаря своим сильным сторонам проект может реализовать все свои возможности. Низкая стоимость и энергоэффективность технологии позволяют использовать практически все возможности для развития разработки. С появлением первых клиентов такие слабые стороны, как отсутствие опыта внедрения на предприятия и отсутствие производственных испытаний будут устранены.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 Структура работы в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для реализации проекта необходимы исполнители в лице руководителя и инженера. Перечень этапов, работ и исполнителей приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания - ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Теоретические исследования	2	Обзор научно-технической литературы	Инженер
	3	Изучение существующих систем	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Проведение ОКР			
Разработка и проектирование системы	5	Сборка и отладка работы блока управления реактора	Инженер
	6	Апробирование реактора на реальных экспериментах	Руководитель, инженер
	7	Создание и внедрение SCADA	Инженер
	8	Тестирование и отладка	Руководитель, инженер
	9	Оценка полученных результатов	Руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	Инженер
	11	Составление пояснительной записки	Инженер

4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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 используется следующая формула:

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

где $t_{\text{ож}i}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

$t_{\text{max}i}$ — 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. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

Наиболее удобной и наглядной формой представления графика проведения работ является 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:

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

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22, \quad (4)$$

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 9.

Таблица 9 – 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
Составление и утверждение технического задания	5	3	8	6	6,2	4,2	3,1	2,1	4	3
Обзор научно-технической литературы		14		28		19,6		19,6		24
Изучение существующих систем		4		6		4,6		4,6		6
Календарное планирование работ по теме	1	1	4	4	2,2	2,2	1,1	1,1	1	1
Сборка и отладка работы блока управления реактора		15		28		20,2		20,2		25
Апробирование реактора на реальных экспериментах	7	5	14	10	9,8	7	4,9	4,5	6	5
Создание и внедрение SCADA		18		32		23,6		23,6		29
Тестирование и отладка	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2	2
Оценка полученных результатов	1		4		2,2		2,2		3	

Продолжение таблицы 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта		5		12		7,8		7,8		10
Составление пояснительной записки		7		14		9,8		9,8		12
Итого							12,9	94,9	16	117

4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

На основе полученной таблицы строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Календарный план-график выполнения проекта

№ раб от	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				февр.			март			апр.			май			июнь					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания	Руков., инж.	4, 3																		
2	Обзор научно-технической литературы	Инженер	24																		
3	Изучение существующих систем	Инженер	6																		
4	Календарное планирование работ по теме	Руков., инж.	1, 1																		
5	Сборка и отладка работы блока управления реактора	Инженер	25																		
6	Апробирование реактора на реальных экспериментах	Руков., инж.	6, 5																		
7	Создание и внедрение SCADA	Инженер	29																		
8	Тестирование и отладка	Руков., инж.	2, 2																		
9	Оценка полученных результатов	Руководитель	3																		
10	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта	Инженер	10																		
11	Составление пояснительной записки	Инженер	12																		

 – руководитель

 – инженер

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{рас}xi}, \quad (5)$$

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

$N_{\text{рас}xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида;

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед.,руб.	Сумма, руб.	
		Исп.1	Исп.2		Исп.1	Исп.2
Ноутбук ASUS X550C	Шт.	1	1	38415	38415	38415
Микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model B+	Шт.	0	1	3950	0	3950
Коммутатор TP-LINK TL-SF1005D	Шт.	1	1	450	450	450
7" IPS дисплей для Raspberry Pi	Шт.	0	1	3690	0	3690
Источник питания Condor Colt 220	Шт.	1	1	7120	7120	7120
Осциллограф TBS1052B	Шт.	1	1	46000	46000	46000
Датчик тока Honeywell CSLA1DJ	Шт.	2	2	3330	6660	6660
Кабель КГ 1х16	Шт.	3	3	103	309	309
Магнитный пускатель 25 А	Шт.	1	1	600	600	600
Вводной автомат 32 А	Шт.	1	1	100	100	100
Кнопки: пуск, стоп, разблокировка, аварийный стоп	Шт.	4	4	259	1036	1036

Продолжение таблицы 11 – Материальные затраты

Твердотельное реле	Шт.	1	1	750	750	750
Контроллер Arduino Mega	Шт.	2	2	890	1780	1780
Стеклотекстолит 5 мм (980х980)	Шт.	9,4	9,4	154,46	1451,93	1451,93
Стеклотекстолит 1 мм (980х980)	Шт.	2	2	318,01	636,02	636,02
Провод монтажный 0,5 кв	Шт.	20	20	22	440	440
Дин-рейка	Шт.	1	1	125	125	125
Кнопка Пуск (старт программы)	Шт.	1	1	33	33	33
Провод гибкий монтажный	Шт.	20	20	25	500	500
Провод гибкий двужильный	Шт.	2	2	65	130	130
Преобразователь 220 АС - 5 DC	Шт.	2	2	590	1180	1180
Провода мама-папа	Шт.	1	1	240	240	240
Провода папа-папа	Шт.	1	1	240	240	240
Ethernet шилд w5100	Шт.	2	2	500	1000	1000
Провода Ethernet	Шт.	3	3	200	600	600
Защитное стекло Хамелеон	Шт.	1	1	2600	2600	2600
Фанера 6 мм, лист	Шт.	1	1	400	400	400
Болтики под шестигранник М3 и М6 с гайками и шайбами	Шт.	50	50	10	500	500
Уголки для крепления под М3 и под М6	Шт.	10	10	20	200	200
Всего за материалы					113495,95	121135,95
Транспортно-заготовительные расходы (3%)					3404,88	3634,08
Итого					116899,83	124769,03

4.5.2 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:

$$З_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (6)$$

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

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

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

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

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

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

Баланс рабочего времени приведен в таблице 12.

Таблица 12 – 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:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (9)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

Так как работа над системой связана с угрозой для жизни и является вредным производством, $k_{\text{пр}}$ (премиальный коэффициент) и $k_{\text{д}}$ (коэффициент доплат) равны 0,3 и 0,15 соответственно.

Расчет основной платы представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33664	-	-	1,3	43763,2	1813,3	12,9	23391,57
Инженер	12664	-	-	1,3	16463,2	682,14	94,9	64735,09
Итого:								88126,66

4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимается равным 0,12. Расчеты дополнительной заработной платы представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{осн}}$, руб.	$k_{\text{доп}}$	$З_{\text{доп}}$, руб.
Руководитель	23391,57	0,12	2806,99
Инженер	64735,09	0,12	7768,21
Итого:			10575,20

4.5.4 Отчисление во внебюджетные фонды

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

Расчет отчислений во внебюджетные фонды ведется по формуле:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (11)$$

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

Расчет отчислений приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная з/п, руб.	Дополнительная з/п, руб.	Коэффициент отчислений	Отчисления
Руководитель	23391,57	2806,99	0,271	7099,81
Инженер	64735,09	7768,21		19648,39
Итого				26748,20

4.6 Накладные расходы

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Накладные расходы определяются по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, 16 %.

Получим:

$$З_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (88126,66 + 10575,20) = 15792,30 \text{ руб}$$

Таким образом, накладные расходы составили 15792,30 рублей.

4.7 Прямые затраты

В этих расходах нужно посчитать затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Для этого нужно узнать мощность, время использования оборудования и рассчитать затраты.

Стоимость 1 кВт – составляет 5,8 руб.

Средняя мощность, потребляемая электрооборудованием во время работы, – 241 Вт.

Время использования электрооборудования составляет 696 часов.

Тогда затраты на электроэнергию составят:

$$З_{\text{эн}} = 0.241 \cdot 696 \cdot 5,8 = 872.87 \text{ руб.}$$

Таким образом, прямые расходы составили 872,87 рублей.

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 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	
	Исп.1	Исп.2
1. Материальные затраты НТИ	116899,83	124769,03
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	88126,66	88126,66
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10575,20	10575,20
4. Отчисление во внебюджетные фонды	26748,20	26748,20
5. Накладные расходы	15792,30	15792,30
6. Прямые расходы	872,87	872,87
7. Бюджет затрат НТИ	259015,06	266884,26

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального финансового показателя, определяемого по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (13)$$

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.

$$I_{\text{исп1}} = \frac{259015,06}{266884,26} = 0,97 \quad (14)$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{266884,26}{266884,26} = 1 \quad (15)$$

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

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i \quad (16)$$

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 – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Сравнительный анализ приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1	Исп. 2
Простота эксплуатации	0,15	4	5
Ремонтопригодность	0,14	5	5
Надежность	0,16	4	4
Энергоэкономичность	0,16	4	4
Помехоустойчивость	0,18	5	5
Безопасность	0,14	4	5
Потребность в ресурсах памяти	0,07	4	4
ИТОГ	1	30	32

$$I_{\text{р-исп1}} = 0,15 \cdot 4 + 0,14 \cdot 5 + 0,16 \cdot 4 + 0,16 \cdot 4 + 0,18 \cdot 5 + 0,14 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 = 4,32$$

$$I_{\text{р-исп2}} = 0,15 \cdot 5 + 0,14 \cdot 5 + 0,16 \cdot 4 + 0,16 \cdot 4 + 0,18 \cdot 5 + 0,14 \cdot 5 + 0,07 \cdot 4 = 4,61$$

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

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр}}} = \frac{4,32}{0,97} = 4,45 \quad (17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\Xi_{\text{ср}}$):

$$\Xi_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} = \frac{4,45}{4,61} = 0,96 \quad (18)$$

Результаты расчета показателей сведены в таблицу 18.

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработок

Показатель	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель	0,97	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,32	4,61
Интегральный показатель эффективности	4,45	4,61
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	$\Xi_{12}=0,96$	

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

4.10 Вывод по главе 4

В результате проведения исследования по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены показатели затрат научно-исследовательской работы.

Также была создана карта сегментирования, из анализа которой было выявлено, что сегмент рынка по синтезу нанотрубок и плазменной утилизации отходов для мелких предприятий свободен.

Помимо этого, была составлена оценочная карта. Из-за некорректности сравнения мелких и крупных предприятий, а также отсутствия аналогов, была использована технология QuaD. Из оценочной карты был сделан вывод о том, что разрабатываемая система считается перспективной.

Были определены сильные и слабые стороны системы, ее угрозы и возможности, и исходя из этих характеристик были разработаны 4 стратегии.

Было произведено планирование научно-исследовательских работ.

В конце была проведена сравнительная оценка различных вариантов исполнения системы, и было выяснено, что, исходя из полученных данных сравнения финансовой и ресурсной эффективности различных вариантов исполнения, несколько более эффективным является второй 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 плазмохимическим реактором постоянного тока. В состав системы входят: шаговый двигатель, твердотельное реле, трансформаторы напряжения, силовой источник питания, осциллограф, датчики, контроллер и драйвер.

Потенциальными потребителями проектного решения являются предприятия, производящие нанодисперсные материалы. Также данную систему можно использовать для утилизации отходов. Управление реактором должно осуществляться за счет перемещения верхнего электрода до соприкосновения двух графитовых электродов между которыми поджигается дуговой разряд постоянного тока, управление системой производится с помощью программы.

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 01.04.2019), 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 [12].

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 [12].

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 [13]:

- 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°.

5.2 Производственная безопасность

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 19 [14].

Таблица 19 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Вид работы	Нормативные документы
1.Отклонение показателей микроклимата	Эксплуатация оператором системы управления плазмохимического реактора постоянного тока	1. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2.Повышенная яркость света		2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
3.Повышенный уровень шума на рабочем месте		3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки".
4.Термическая опасность		4. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		5. ГОСТ 12.1.030-81 (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Микроклимат

Основные виды работ, выполняемыми оператором, по степени физической тяжести, можно отнести к категории легких работ. В таблице 20 приведены оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для оператора [15].

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, С ⁰	Температура поверхностей, С ⁰	Относительная влажность	Скорость движения
-------------	-------------------------------------	--	-------------------------	-------------------

			воздуха, %	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.

Повышенная яркость света

Дуговой разряд постоянного тока сопровождается мощной лучистой и тепловой энергией. Тепловая энергия способна вызвать поражение глаз и ожоги незащищенных частей тела. Яркость электрической дуги превышает 1600 стильб. Нормальное зрение человека способно воспринимать безболезненно яркость не более одного стильба.

Вредное воздействие оказывает не только видимые световые лучи, но и невидимые лучи. Они вызывают воспаление слизистой оболочки глаза, если действуют в течении (10 – 30) с. на расстоянии до 1 м. от источника излучения, а более 30 с. – до 5 м. Результат действия – резкая боль в глазах, светобоязнь, электроофтальмия. На незащищенных частях тела лучистая и тепловая энергия вызывает покраснение и ожоги различной степени, в зависимости от расстояния до источника излучения.

Для защиты лица оператора во время выполнения синтеза закрывается щитком, в смотровое отверстие которого вставлен светофильтр по ГОСТ 12.4.080-79. Защита от инфракрасного излучения может быть обеспечена сокращением времени пребывания в зоне воздействия теплового излучения.

Повышенный уровень шума на рабочем месте

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 дБ), 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 дБ [16].

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.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Напряжение – это величина, характеризующая силу электрической энергии при движении электрического заряда.

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 [17].

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.

Термическая опасность

Температура — это физическая величина, характеризующая степень нагретости тел.

Тепловым излучением называется процесс, при котором теплота излучения распространяется в основном в форме инфракрасного излучения с длиной волны около 10 мм. Источниками тепловых излучений являются все тела, нагретые до температуры выше температуры окружающей среды. В условиях производства источниками тепловых излучений могут быть электроды.

Основные последствия термических опасностей для данного объекта исследования:

- ожоги;
- возгорание одежды;

Для защиты от термического воздействия необходимо использовать специальную одежду согласно ГОСТ Р 12.4.234-2012.

При работе с системой оператор находится в непосредственной близости от реакционной зоны, поэтому необходимо соблюдать технику безопасности:

- избегать контакта с раскаленной поверхностью;
- производить замену электродов убедившись в том, что электроды имеют низкую температуру, а система обесточена.

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

Для обеспечения снижения влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих, а также для обеспечения безопасности технологического процесса и эксплуатации оборудования были разработаны следующие решения и мероприятия.

Общие мероприятия по снижению влияния опасных и вредных факторов:

- регламентация продолжительности пребывания в помещении;
- сокращение время пребывания в зоне воздействия теплового излучения;
- использование изоляционных экранов для защиты от теплового излучения;
- использование звукопоглощающих материалов;
- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- блокировка дверцы реактора во время его работы.

Индивидуальные мероприятия по снижению влияния опасных и вредных факторов:

- проведение инструктажа по технике безопасности;
- использование средств индивидуальной защиты (спецодежда, перчатки, маска, наушники).

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» [17] помещения принято делить на три класса:

- первый класс - "помещения без повышенной опасности";
- второй класс - "помещения с повышенной опасностью";

- третий класс - "особо опасные помещения".

Поскольку в помещении отсутствует сырость, высокая температура, токопроводящие полы, токопроводящая пыль, химическая среда, то оно имеет первый класс опасности поражения электрическим током.

По пожарной и взрывопожарной опасности, согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [18], 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), а также вещества в раскаленном состоянии, категория производственного помещения – Г (умеренная пожароопасность).

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 [19]. Для эффективного разделения на части используют два вида обработки:

- механическая;
- гидрометаллургическая.

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 [20].

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

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 разделу социальная ответственность

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 и движущие механизмы. Были описаны мероприятия по снижению уровней воздействия данных факторов.

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 результате выполнения данной работы была собрана рабочая система для проведения плазмохимических опытов. На данной установке уже регулярно проводятся десятки опытов по получению и изучению нанодисперсных материалов таких как: карбид кремния, карбид титана, карбид вольфрама и других. При анализе полученных порошков было выявлено, что система имеет высокую повторяемость экспериментов, так как при одинаковых условиях и параметрах синтеза были получены примерно одинаковые порошки, а это значит, что главная задача была выполнена успешно. Так же следует отметить, что в ходе выполнения работы были получены два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ (приложение А, Б) и было написано несколько статей.

Список литературы

1. Wu R., Zhou K., Yue C.Y., Wei J., Pan Y. Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials // *Progr. Mater. Sci.* - 2015. – № 72, P. 1-60.
2. Андриевский Р.А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура, свойства // *Успехи химии.* – 2009. – № 78. – С. 889-900.
3. Pichon T., Barreteau R., Soyris P., Foucault A., Parenteau J.M., Prel Y. CMC thermal protection system for future reusable launch vehicles: Generic shingle technological maturation and tests // *Acta Astronautica.* – 2009. – №. 65. – P.165 –176.
4. Leleu F., Ph. Watillon, Moulin J., Lacombe A., Ph. Soyris. The thermos-mechanical architecture and TPS configuration of the pre-X vehicle // *Acta Astronautica.* – 2005. – № 56. – P. 453 – 464.
5. Agarwal S., Sarkar S., Das M., Dixit A. Tribo-mechanical characterization of spark plasma sintered chopped carbon fibre reinforced silicon carbide composites // *Ceramics International.* – 2016. – №. 42. – P.18283-18288.
6. Y. Saito, T. Matsumoto, K. Nishikubo. Encapsulation of tic and hfc crystallites within graphite cages by arc discharge // *Carbon.* - 1997. - Vol. 35, N 12. – P 1757-1763.
7. Б.И. Михайлов Электродуговые плазмохимические реакторы раздельного, совмещенного и раздельно-совмещенного типов // *Теплофизика и аэромеханика*, 2010, том 17, № 3
8. Joseph Berkmans A, Jagannatham M, Rohit Reddy D, Prathap Haridoss Synthesis of thin bundled single walled carbon nanotubes and nanohorn hybrids by arc discharge technique in open air atmosphere. // *Diamond and Related Materials* 55 - February 2015

9. Ravi Joshi, Jörg Engstler, P. Kesavan Nair, Prathap Haridoss, Jörg J. Schneider. High yield formation of carbon nanotubes using a rotating cathode in open air. // Journal of Nanoscience and Nanotechnology 5(5):747-52 - June 2005
10. Ghanshyam Tripathi, Balram Tripathi, M. K. Sharma, Y. K. Vijay, Amreesh Chandra, I. P. Jain. A comparative study of arc discharge and chemical vapor deposition synthesized carbon nanotubes. // Fuel and Energy Abstracts 37(4) - January 2011
11. Jiang Zhao, Yanjie Su, Zhi Yang, Liangming Wei, Ying Wang, Yafei Zhang. Arc synthesis of double-walled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties. // Carbon 58:92-98 - February 2013
12. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12. 2001 г. № 197–ФЗ (ред. от 01.04.2019 г.). – М., 2015. – 123 с.
13. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.
14. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 16 с.
15. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – М: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 49 с.
16. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. – М: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 9 с.
17. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Сибирское университетское издательство, 2011. – 464с.
18. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – М., 2016. – 98с.

19. ООО "Московская утилизирующая компания" [Электронный ресурс] / Утилизация печатных плат и электроники // URL: <https://www.fpk-service.ru/utilizaciya-plat.html> – Дата обращения 28.05.2019.

20. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения (с Изменением N 1). – М: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 9 с.

Приложение А

(обязательное)

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018664326

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2018664326

**Управление системой позиционирования электродов
дугового плазмохимического реактора постоянного тока**

Правообладатель: *федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический
университет» (RU)*

Авторы: *Пак Александр Яковлевич (RU),
Герасимов Роман Дмитриевич (RU)*

Заявка № **2018661723**
Дата поступления **25 октября 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **14 ноября 2018 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение Б

(обязательное)

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018665589

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018665589

**Управление и мониторинг режимов работы дугового
плазмохимического реактора постоянного тока**

Правообладатель: *федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический
университет» (RU)*

Авторы: *Пак Александр Яковлевич (RU), Герасимов Роман
Дмитриевич (RU), Болотникова Ольга Александровна (RU)*

Заявка № **2018663270**
Дата поступления **27 ноября 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **06 декабря 2018 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев