

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.04.02 Технологии водородной энергетики

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Получение материалов в плазме сильноточного разряда для использования в технологиях водородной энергетики
УДК <u>533.93:537.527:620.92</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Брода Светлана Васильевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Герасимов Дмитрий Юрьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Сурков Михаил Александрович	к.т.н.		

**Результаты освоения образовательной программы по направлению
13.04.02 Технологии водородной энергетики**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
<i>Общие по направлению подготовки</i>		
Р1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 20.026, 20.035, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
Р2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности..	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4,5; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
Р3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2,3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 20.003, 20.026, 20.035, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
Р4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
Р5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС ВО (УК-5, ОПК-4; ПК- 4-6), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 20.026, 20.035, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180

По профилям подготовки		
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС ВО (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 20.026, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 20.035, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-21, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 20.026, 20.035, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 20.003, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.180

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.04.02 Технологии водородной энергетики

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Сурков М.А.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ7В	Брода Светлана Васильевна

Тема работы:

Получение материалов в плазме сильноточного разряда для использования в технологиях водородной энергетики

Утверждена приказом директора (дата, номер)

15.01.2019г. №122/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является коаксиальный магнитоплазменный ускоритель и синтезируемый с его помощью порошковый материал оксид меди.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;

1. Синтезировать мелкодисперсный порошок оксида меди плазмодинамическим методом.
2. Изучить фазовый состав, а также микроструктуру полученного образца.
3. Исследовать фотокаталитические свойства нанопорошка.

<i>содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Старший преподаватель ООД ШБИП, Атепаева Наталья Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Подопригора Игнат Валерьевич
Раздел на иностранном языке	Доцент ОИЯ ШБИП, к.ф.н. Токмашев Денис Михайлович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Глава 1 – Литературный обзор	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.01.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Герасимов Дмитрий Юрьевич.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Брода Светлана Васильевна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.04.02 Технологии водородной энергетики

Уровень образования магистратура

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:		
Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2019 г.	Раздел «Обзор литературы» и раздел «Объект и методы исследования», подбор литературы, проведение теоретических обоснований	15
25.03.2019 г.	Раздел «Расчеты и аналитика», получение наноразмерного порошка оксида меди с помощью КМПУ	20
08.04.2019 г.	Раздел «Расчеты и аналитика», исследование фотокаталитической активности наноразмерного порошка оксида меди, оформление результатов	25
22.04.2019 г.	Разработка раздела на иностранном языке	15
20.05.2019 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
30.05.2019 г.	Оформление и представление диссертации	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Герасимов Дмитрий Юрьевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Сурков Михаил Александрович	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ7В	Брода Светлане Васильевне

Школа	ИШЭ	Отделение школы	ОЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Технологии водородной энергетики

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Оксид меди, полученный с помощью КМПУ. Установка расположена в лаборатории корпуса 11А ТПУ. Области применения: – производство стекла и эмалей; – для обнаружения восстановительных свойств веществ; – получение водорода;
--	--

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.	– № 426-ФЗ от 28.12.2013 г. – ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ – Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 г. N 1/29
1. Производственная безопасность: 2.1. Анализ вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ воздействия на исследователя ряда физических факторов: – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; – отклонение показателей микроклимата; – движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	Использование оксида меди не только в водородной энергетике, но и для очистки воды и воздуха.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС - пожары, взрывы и удары молнией; типичная ЧС – пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Брода Светлана Васильевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ7В	Брода Светлане Васильевне

Школа	ИШЭ	Отделение школы	ОЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Технологии водородной энергетики

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материальные затраты принимаются на уровне средних цен по городу Томску. Оклад руководителя – 26300 руб.; оклад инженера – 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент доплат $k_d=0.3$, Коэффициент премий $k_n=0.33$, Районный коэффициент $k_p=1.3$.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	В соответствии с Налоговым кодексом РФ отчисления во внебюджетные фонды в 2019 году составляют 28%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ, SWOT - анализ, оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Формирование цели и результат проекта, организационной структура проекта, ограничений и допущений проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление этапов работ НТИ, составление календарного плана разработки.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка ресурсоэффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Иерархическая структура работ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Брода Светлана Васильевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 102 страниц, 24 рисунка, 15 таблиц, 39 источников, 2 приложений.

Ключевые слова: оксид меди, ультрадисперсная частица, нанопорошок, коаксиальный магнитоплазменный ускоритель, плазмодинамический синтез, фотокатализ, трехэлектродная ячейка, ширина запрещенной зоны.

Объектом исследования является порошок оксида меди.

Цель работы – получение ультрадисперсного оксида меди плазмодинамическим методом синтеза, обладающего фотокаталитическими свойствами для получения водорода.

Методология проведения работы: в ходе выполнения магистерской диссертации были изучены существующие методы получения оксида меди, изучены его физико-химические, оптические, электрические и магнитные свойства, произведен синтез ультрадисперсного порошка меди плазмодинамическим методом, а также исследованы фотокаталитические свойства нанопорошка.

Степень внедрения: лабораторная установка.

Область применения: фотокаталитические процессы, в технологии изготовления ячеек для солнечных батарей, в литиевых батареях, газочувствительных элементах и т.д.

Значимость работы: Результаты исследования, направленные на создание новых относительно дешевых и высокоэффективных композиционных фотокаталитических систем активных во всем спектре солнечного излучения, имеют высокую актуальность. Полученный порошок оксида меди является перспективной альтернативой уже имеющимся и изученным фотокатализаторам.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

XRD – X-ray Diffraction (дифракция рентгеновского излучения)

SEM – scanning electronic microscopy (сканирующая электронная микроскопия)

КМПУ – коаксиальный магнитоплазменный ускоритель

ЕНЭ – емкостной накопитель энергии

ГИТ – генератор импульсов тока

БРИ – блок розжига игнитронов

ЭВП – электровзрывающиеся проводники

КР – камера-реактор

КФПС – канал формирования плазменной структуры

Введение

Среди большого количества функциональных наноматериалов объектом исследования был выбран наноразмерный порошок оксида меди CuO, представляющий большой интерес вследствие наличия комплекса особых свойств, а также многочисленных практических применений.

Оксид меди представляет собой полупроводниковый металл с уникальными оптическими, электрическими и магнитными свойствами, он используется в печатной электронике, для придания медицинским материалам биоцидных свойств, в технологии изготовления ячеек для солнечных батарей, в литиевых батареях, фотохимическом расщеплении воды, газочувствительных элементах. Наноразмерные соединения оксида меди могут быть получены разными методами, например, высокотемпературный процесс окисления, электрический взрыв проводников, электролиз Cu с использованием переменного тока промышленной частоты. В НИ ТПУ разработан метод плазмодинамического синтеза на основе импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ), с помощью которого возможно получение нанодисперсного CuO. Преимущества данного метода следующие: возможность реализации процесса в течение короткого промежутка времени, высокие достигаемые температуры и, соответственно, высокие скорости охлаждения.

Целью диссертационной работы является получение ультрадисперсного оксида меди плазмодинамическим методом синтеза, обладающего фотокаталитическими свойствами для получения водорода.

Для достижения поставленной цели в работе выдвинуты следующие задачи:

1. Синтезировать мелкодисперсный порошок оксида меди плазмодинамическим методом.
2. Изучить фазовый состав, а также микроструктуру полученного образца.
3. Исследовать фотокаталитические свойства нанопорошка.

Оглавление

Введение.....	13
Глава 1. Литературный обзор.....	14
1.1 Свойства наночастиц оксида меди	14
1.1.1 Физико-химические свойства	14
1.1.2 Фотокаталитические свойства.....	16
1.2 Методы получения ультрадисперсных частиц.....	17
1.2.1 Электрический взрыв проводника.	18
1.2.2 Высокотемпературный процесс окисления.....	18
1.2.3 Использование переменного тока для получения оксидов металлов... ..	19
1.2.4 Плазмодинамический метод.....	20
1.3 Применение оксида меди.....	21
1.3.1 В солнечных батареях	22
1.3.2 Фотоэлектрохимическое расщепление воды.....	22
1.3.3 Газочувствительные элементы.....	23
1.3.4 В литиевых батареях.....	24
Глава 2. Устройство и принцип действия экспериментального стенда на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя.....	24
2.1 Генератор импульсов тока ГИТ-720.....	24
2.1.1 Пульт управления и регистрации.....	27
2.1.2 Зарядное устройство.....	29
2.1.3 Секции ёмкостного накопителя, система запуска и разрядный контур. ..	29
2.2 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель.....	31
2.3. Методология	35
2.3.1. Регистрация и обработка осциллограмм.....	35
Глава 3. Методы исследования и обработка результатов.....	40
3.1 Процесс протекания плазмодинамического синтеза.....	40
3.2 Методы исследования продукта плазмодинамического синтеза.....	42
3.2.1 Рентгенофазовый анализ (РФА).....	42
3.2.2 Метод сканирующей электронной микроскопии (SEM).....	45

3.2.3 Метод трехэлектродной ячейки для исследования фотокаталитических свойств оксида меди.....	47
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
4.1 Концепция проекта	54
4.1.1 Экспертная оценка методов получения.....	55
4.1.2 SWOT-анализ.....	57
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	59
4.2 Инициация проекта и разработка устава научно-технического проекта ..	60
4.2.1 План проекта (диаграмма Ганта).....	60
4.2.2 Бюджет исследования.....	62
4.2.3 Организационная структура проекта.....	66
4.2.4 Матрица ответственности.....	66
4.3 Оценка ресурсоэффективности исследования.....	68
Глава 5. Социальная ответственность.....	70
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	71
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	71
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	71
5.2 Производственная безопасность.....	72
5.2.1 Анализ вредных производственных факторов	73
5.3 Экологическая безопасность.....	79
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80
Заключение.....	84
Список используемой литературы	85
Приложение А.....	89
Приложение Б.....	101

Глава 1. Литературный обзор

1.1 Свойства наночастиц оксида меди

1.1.1 Физико-химические свойства

В литературе представлено огромное количество данных, описывающих размерный эффект, который обуславливает изменение физических и химических свойств при изменении размеров частиц. Наноразмерный эффект является особенно важным для гетерогенного катализа, поскольку обуславливает появление или, как правило, усиление каталитических свойств. По сравнению с массивными частицами для мелкодисперсных частиц оксида меди характерно появление новых как физических, так и химических свойств, включая усиление каталитической активности.

Наноразмерные частицы CuO, в первую очередь характеризуются аномальными магнитными свойствами. Так в работе [1] авторы показали, что частицы CuO с размерами 25 нм обладают повышенным значением коэрцитивности и магнитных моментов. Сдвиг петли магнитного гистерезиса объяснили присутствием некомпенсируемых спинов из-за высокой удельной поверхности таких частиц. В работе [2] было установлено, что магнитные свойства наночастиц CuO зависят не только от их размера, но также и от морфологии. Авторы наблюдали линейную зависимость магнитной восприимчивости от размеров частиц CuO в диапазоне от 13 до 33 нм, что также объясняли некомпенсируемыми поверхностными спинами.

В литературе также отмечается усиление электрохимических свойств при переходе от микро- к нано- размерам оксида меди(II) [3]. Авторы использовали наночастицы CuO в диапазоне размеров от 10 до 100 нм в качестве материала для анодов Li-ионных батарей. При этом была обнаружена зависимость разрядной емкости батареи от размеров частиц CuO при первой и второй зарядках.

Также сильно изменяются оптические свойства наночастиц оксида меди по сравнению с массивным CuO. В работе [4] исследовали изменение ширины запрещенной зоны в зависимости от размеров частиц. В статье описан красный

сдвиг не прямых переходов и синий сдвиг прямых переходов с уменьшением размера частиц CuO. Красный сдвиг был связан с повышением плотности дефектов для малых частиц, в то время как синий сдвиг был объяснен на основе эффекта квантового ограничения.

Химические свойства также изменяются в зависимости от размера, в том числе и, термическая стабильность. Однако на этот счет в литературе представлены противоречивые данные.

В работе [5] на предмет термической стабильности в кислороде были изучены наночастицы CuO с размерами 9,12 и 15 нм. Было установлено, что с уменьшением размера стабильность оксида меди(II) действительно падает. Тем не менее, даже частицы с 9 нм распадались до Cu₂O только при температурах выше 800° С.

Физико-химические характеристики наночастиц отражаются и на их каталитических свойствах. Наноразмерный CuO, в силу высокой способности адсорбировать кислород, проявлял активность в реакции окисления CO уже при 70 С, подчеркивая низкотемпературную активность наночастиц, так как массивный оксид меди не взаимодействует с CO ниже 200 С. Низкотемпературная каталитическая активность наноразмерных частиц также была обнаружена в работах [6,7]. При этом, зачастую, столь высокая активность объясняется высокой величиной удельной поверхности. Однако, на основании представленных в текущем разделе литературных данных можно полагать, что электронная структура, адсорбционные свойства, структурные характеристики наноразмерных и массивных частиц CuO отличаются значительно, что должно приводить к различному характеру окислительно-восстановительных процессов на их поверхности и в их объеме. Таким образом, отличия каталитических свойств не могут быть объяснены в рамках вариации только удельной поверхности. Свойства наночастиц оксида меди, в том числе и каталитические, на сегодняшний день являются малоизученными, а представленные результаты несистематичными и, порой, противоречивыми.

При этом природа высокой активности наночастиц в низкотемпературной области до сих пор остается неясной.

1.1.2 Фотокаталитические свойства

Fe_2O_3 , CuO , TiO_2 , ZnO , MgO и CaO являются наиболее изученными и вероятными кандидатами на роль фотокатализаторов, а также SiO_2 и Al_2O_3 , что связано с их уникальными фотохимическими свойствами и легкой доступностью. Данные фотокатализаторы проявляют активность даже при воздействии относительно мягкого светового излучения, включая кванты видимого света (его спектральный диапазон 370-700 нм) (таблица 1).

Таблица 1 - Ширина запрещенной зоны E_g и красная граница λ_0 собственного поглощения для типичных оксидов-полупроводников и оксидов-изоляторов, которые могут служить абиогенными фотокатализаторами или фотоадсорбентами

Оксид	E_g , эВ	λ_0 , нм
NiO	0,93	1340
CuO	1,7	735
CdO	2,1	595
Fe_2O_3	2,2	570
TiO_2	3,0	420
ZnO	3,2	390
MgO	7,2	178
SiO_2	8,6	145
Al_2O_3	9,0	138

Оксида меди (II) является подходящей альтернативой наночастицам диоксида титана, так как имеет относительно низкую стоимость, доступность и легкость в получении. В сравнении с TiO_2 основным преимуществом является то, что CuO может поглотить всю видимую область (ширина запрещенной зоны около 1,2-1,7 эВ), что расширяет область работоспособности данного материала.

Фотокаталитические свойства ярче всего выражены у наночастиц оксида меди пластинчатой формы. Однако в настоящее время для получения наночастиц оксида меди указанной морфологии применяют дорогостоящие

гидротермальные или электрохимические методы. По этой причине существует потребность в поиске новых экономических и энергоэффективных технологий, получения фотокаталитически активных наночастиц оксида меди и композитов на его основе.

В одном из исследований оценивалась каталитическая активность синтезированных наноструктур CuO, путем контроля, солнечного света, в качестве реагента разложением подвергался метилен синий (methylene blue). Эксперименты показали, что на скорость фотокаталитического разложения метилена синего влияет соответствующая морфология, так для сферической, везикулярной, пластинчатой и тромбоцитоподобной морфологий соответственно были найдены равными 72,57%, 93,48%, 49,71% и 95,71% в соответствии с кинетикой первого порядка. Различная морфология привела к различной фотокаталитической активности [8].

1.2 Методы получения ультрадисперсных частиц

На сегодняшний день существует достаточно большое количество методов получения оксида меди: высокотемпературный процесс окисления, электрический взрыв проводников, электролиз Cu с использованием переменного тока промышленной частоты. Одним из перспективных методов синтеза нанодисперсных материалов является получение в высокоскоростной импульсной струе плотной электроэрозионной плазмы. Метод плазмодинамического синтеза на основе импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ), с помощью которого возможно получение нанодисперсного CuO.

1.2.1 Электрический взрыв проводника.

Электрический взрыв проводника в инертной атмосфере (азот, аргон или ксенон) представляет собой резкое изменение физического состояния металла в результате интенсивного выделения энергии при пропускании через него импульсного тока большой плотности [9,10]. На стадии взрыва металл перегревается выше температуры плавления, при этом часть материала

проволочки испаряется, а часть разлетается в виде жидких капель. Из первой фазы за счет процесса конденсации в потоке быстрорасширяющегося пара образуются частицы очень малого размера. Таким образом, диапазон размеров частиц формируется как за счет конденсации (более мелкие частицы), так и за счет диспергирования (более крупные частицы) [11]. Соотношение этих компонентов зависит от характера разрушения проводника, которое определяется процессом введения энергии во взрывающийся проводник.

Ультрадисперсные частицы оксидов металлов получены в кислородсодержащей среде.

Электровзрывные порошки в зависимости от условий получения содержат 85-95% целевого металла (остальную часть составляют в основном оксиды и сопутствующие металлосодержащие примеси). Электровзрывные порошки устойчивы при длительном хранении на воздухе, реакционноспособны и взаимодействуют с органическими реагентами значительно эффективнее, чем обычные.

1.2.2 Высокотемпературный процесс окисления

Известно, что при окислении меди образуются оксиды Cu_2O и CuO , соотношение которых в продуктах реакции определяется внешними условиями, состоянием и чистотой металла. Поскольку эти оксиды в значительной мере различаются по структуре, термической устойчивости, степени нестехиометричности состава, механизм процесса окисления меди достаточно сложен, влияние размерного фактора на закономерности протекания реакции систематически не изучено [12]. Достаточно подробно исследован процесс высокотемпературного окисления компактной меди при различных парциальных давлениях кислорода [13, 14]. Известно, что ниже некоторого предельного значения парциального давления кислорода ($\sim 13,3$ кПа [14]) при окислении металлической меди оксид CuO не образуется, единственным продуктом реакции при этом является Cu_2O . Поскольку P_{O_2} в воздухе составляет 21,28 кПа, окисление меди в воздухе протекает с образованием оксидной пленки сложного состава. Плотность и сплошность слоя окалины

определяется соотношением Cu_2O и CuO . По Пиллингу и Бедворту [15], слой CuO обладает большим пассивирующим действием по сравнению с Cu_2O , поскольку является более плотным. В [14] показано, что область существования CuO в воздухе лежит в интервале температур 250...1000 °С. При понижении P_{O_2} этот интервал сужается. При $P_{\text{O}_2} < 0,133$ Па и $t > 700$ °С общая скорость окисления меди весьма мала [14]. Известно, что оксид CuO образуется при последующем окислении Cu_2O , при этом существует определенная критическая толщина слоя Cu_2O на поверхности металла, выше которой образование пленки CuO возможно. Толщина этой пленки при $P_{\text{O}_2} = \text{const}$ определяется временем протекания процесса и температурой. В атмосфере воздуха при $t < 150$ °С CuO в составе оксидного слоя на поверхности меди практически отсутствует, его содержание проходит через максимум при 300...500 °С [13]. Для случая высокотемпературного окисления меди (при ~1000 °С) при $P_{\text{O}_2} \approx 100$ кПа расчеты по теории Вагнера дают соотношение толщины слоев $\text{Cu}_2\text{O}:\text{CuO}$ равное 2500. Судя по данным [14], при $t < 750$ °С и P_{O_2} ниже атмосферного массовая доля CuO в оксидном слое не превышает 4 %; при повышенном P_{O_2} содержание CuO может достигать 10 % при $t > 800$ °С содержание CuO практически не зависит от давления.

1.2.3 Использование переменного тока для получения оксидов металлов

Изучение кинетических закономерностей окисления металлов и состав эксплуатационных характеристик продуктов электролиза исследуется электрохимическим окислением металлов с использованием переменного тока. [16,17,18].

Продукты переменного тока окисления металлов характеризуются большой площадью удельной поверхности, высокоразвитой пористой структурой, образованной преимущественно мезопорами, высокой термостойкостью.

Использование переменного тока дает возможность получать материалы на основе оксидов двух металлов в результате одновременного электрохимического окисления разных металлов. Это исключает загрязнение

оксидов продуктами разрушения «инертных» электродов, а также упрощает регенерацию или утилизацию электролитов, не содержащих соли металлов.

Кроме того, использование переменного тока промышленной частоты для получения оксидов металлов позволяет упростить аппаратное оформление процесса синтеза вследствие отсутствия выпрямителя переменного тока.

1.2.4 Плазмодинамический метод

Плазмодинамический метод синтеза имеет существенное преимущество, в отличие от остальных методов – время проведения.

Данный метод синтеза CuO реализуется в системе, основным составляющим которого является импульсный сильноточный высоковольтный коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ) с медными электродами, схема которого представлена на рисунке 1.3.

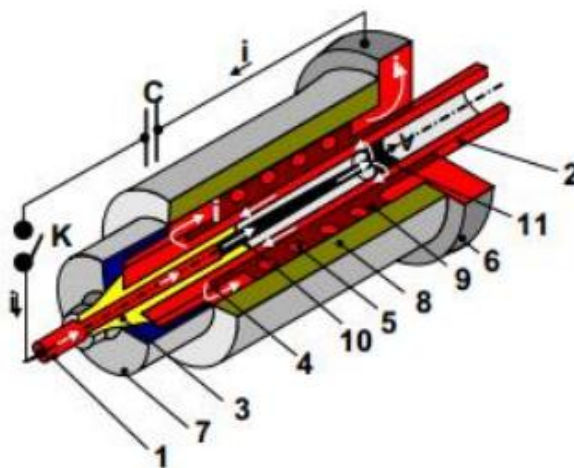


Рисунок 1.2 – Конструкция КМПУ: 1 – центральный электрод, 2 – электрод – ствол, 3 – изолятор центрального электрода, 4 – контактный цилиндр, 5 – соленоид, 6 – контактный фланец, 7 – обойма, 8 – корпус, 9 – изоляция, 10 – плазменный жгут–Z–пинч, 11 – круговая плазменная перемычка

Главными элементами конструкции являются: ускорительный канал, выполненный из медной трубы; центральный электрод, представляющий из себя металлическую шпильку с медной вставкой. Принцип действия данной установки заключается в следующем. При замыкании ключа происходит самопробой межэлектродного промежутка, образуется дуговой разряд с круговой плазменной перемычкой. Далее под действием магнитного поля

плазменная структура ускоряется и вытягивается вдоль ствола, при этом происходит наработка материала (прекурсора) с поверхности медного ускорительного канала – электроэрозия. Ускоренная плазменная струя выбрасывается в камеру – реактор, заполненную воздухом при давлении $P=1,0$ атм. Электропитание ускорителя осуществлялось от емкостного накопителя при зарядном напряжении $U_{зар}=3,0$ кВ и ёмкости конденсаторов $C=19,2$ мФ, что соответствует энергии $W=86$ кДж.

1.3 Применение оксида меди

Оксиды меди (II) широко используются как антибактериальные продукты в различных установках, например, печатной электронике, защите древесины, высокоскоростного транспорта, для придания медицинским материалам биоцидных свойств. Благодаря высокой емкости и безопасности для окружающей среды, наноструктуры CuO были изучены в качестве нового класса анодных материалов для аккумуляторных литий-ионных батарей и в качестве электродных материалов для суперконденсаторов.

Обладая уникальными электрическими свойствами и высокой концентрацией носителей заряда при относительно низком тепловом излучении, они также могут быть использованы в качестве поглощающего слоя в солнечных батареях.

Кристаллические структуры CuO обладают узкой шириной запрещенной зоны, давая полезные фотокаталитические или фотоэлектрические свойства. Естественное содержание меди в земной коре делает возможным крупномасштабное изготовление фотоэлектрода CuO .

Последние исследования показали, что нанокристаллы CuO являются эффективными катализаторами для реакции окисления углерода и азота.

CuO широко используют при производстве стекол и эмалей зеленого и синего цвета. Кроме того, пленки оксидов меди нашли широкое применение в электронике в качестве чувствительных слоев газовых сенсоров для датчиков аммиака NH_3 , оксида азота NO_2 и сероводорода H_2S .

В области энергосбережения переносящие энергию жидкости, заполненные наночастицами CuO, могут улучшить вязкость жидкости и повысить теплопроводность.

1.3.1 В солнечных батареях

Оксиды меди также представляют интерес благодаря их потенциальному применению в технологии изготовления ячеек для солнечных батарей. CuO является прямозонным полупроводником, поэтому он обладает высокой оптической поглощающей способностью в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Нетоксичность и наиболее экономичный коэффициент производственного процесса могли бы сделать оксид меди альтернативой кремния, который в основном используется для производства солнечных элементов. Следовательно, тонкие пленки оксидов меди могут быть использованы для изготовления солнечных ячеек и фотоприемников [19].

Себестоимость производства солнечных ячеек можно существенно удешевить благодаря замене дорогостоящих редкоземельных металлов на распространенные в природе компоненты на основе меди и цинка.

1.3.2 Фотоэлектрохимическое расщепление воды

Фотоэлектрохимическое расщепление воды для производства «солнечного» водорода представляет собой одну из главных задач по выработке энергии, свободной от углерода. Однако нет известных полупроводниковых материалов с соответствующей шириной запрещенной зоны, крайними положениями полос и водной стабильностью, необходимыми для расщепления солнечной воды. Оксид меди является привлекательным материалом из-за нетоксичности, изобилия его составных элементов и имеет ширину запрещенной зоны около 1,2-1,9 эВ с краями полосы, разделяющими потенциал восстановления и окисления воды. Синтезированный CuO является полупроводником p-типа благодаря акцепторным состояниям, возникающим из-за вакансий меди. Оксид меди может потенциально действовать как эффективный фотокатод для выделения водорода. Однако положение

валентной зоны находится чуть ниже потенциала выделения кислорода, и это будет означать меньшую движущую силу для выделения кислорода.

1.3.3 Газочувствительные элементы

В последние годы научные исследования проводятся в области разработки материалов, которые используются для датчиков, контролирующих состав атмосферного воздуха. Особый интерес уделяется пленкам оксидов металлов в сенсорах газов резистивного типа, где оксиды меди обладают преимуществом перед другими оксидами. Такими преимуществами являются низкая стоимость материалов, химическая стойкость в условиях газов, а также простота изготовления таких пленок. Для чувствительного слоя в сенсорах газа есть ряд важных параметров, таких как селективность газов, ширина диапазона чувствительности, время отклика, стабильность электрических характеристик во времени. Необходимые параметры в пленках оксида меди достигаются путем подбора технологического цикла в соответствующем методе изготовления [20].

В работе [21] исследовали газочувствительность пленок CuO , полученных золь-гель методом. Предварительные результаты газового тестирования показали, что при применении в качестве электродного материала для высокотемпературных электрохимических газовых датчиков на основе термобарьерного покрытия, полученный результирующий датчик был не только чувствительным, но и селективным по отношению к NO_2 . Несмотря на долговременные проблемы стабильности подобных датчиков, сенсор на синтезированном CuO после трех недель работы поддерживал предпочтительную селективность по NO_2 .

1.3.4 В литиевых батареях

Оксид меди был указан в качестве подходящего соединения для катодов в литиевых батареях, а в последнее время в качестве альтернативных материалов для анодов в литий-ионных батареях. Реакция лития с этими материалами не может быть классифицирована как классическая реакция интеркаляции, так как

она способствует полной перестройке оксидной структуры. В результате реакции с литием исходные частицы расщепляются на более мелкие, а металлическая медь агломерируется в виде включений металлов в системе. В процессе образуется Li_2O . Удивительно, но реакции вполне обратимы, и исходный оксид можно частично восстановить.

Наночастицы CuO тонких пленок осаждались реактивным распылением на постоянном токе при малой мощности, и исследовалось электрохимическое поведение, связанное с реакциями лития. Образцы, нанесенные на нагретые подложки, были аморфными и демонстрировали наилучшее поведение емкости. Достигнутые значения демонстрируют потенциальную возможность использования этих материалов в литийионных микробатареях [22].

Глава 2. Устройство и принцип действия экспериментального стенда на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя

Эксперименты по получению ультрадисперсного порошка оксида меди проводились на базе модифицированного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ), питаемого от генератора импульсов тока (ГИТ-720).

2.1 Генератор импульсов тока ГИТ-720

ГИТ-720 представляет собой батареи конденсаторов, включенные параллельно и коммутируемые игнитронами. На рисунке 2.1 представлена упрощенная принципиальная электрическая схема накопителя энергии. Основные технические характеристики установки приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики установки ГИТ-720

Позиция	Значение
Количество секций/игнитронов, шт	18
Общее количество конденсаторов, шт	288
Марка конденсаторов	ИС5–200
Номинальное напряжение, U_n , кВ	5,0
Максимальная накопленная энергия, W_c , кДж	720

Марка игнитронов	ИРТ-6
------------------	-------

Генератор импульсов состоит из следующих блоков, представленных на рисунке 2.1: пульта управления и регистрации, представляющие из себя панели, на которые выведены управление тиристорным регулятором, питанием, лампы сигнализации и индикатором тока заряда РА. Контроль уровня заряда производится по показаниям вольтметров PV1, индивидуального для каждой секции и включенного через делитель напряжения на сопротивлениях R2 и R3. Высоковольтное зарядное устройство представляет собой тиристорный регулятор, с которого питание подаётся на повышающий трансформатор Т через плавкие предохранители F1 и выключатель SA2. Для получения пульсирующего постоянного тока используется мостовой выпрямитель на диодах VD1...VD24 включенных последовательно в группы по 6 диодов. Далее производится заряд конденсаторов C1...C16 секций ёмкостного накопителя через зарядное сопротивление R1 и предохранитель F4. Для обеспечения заряда необходимо,

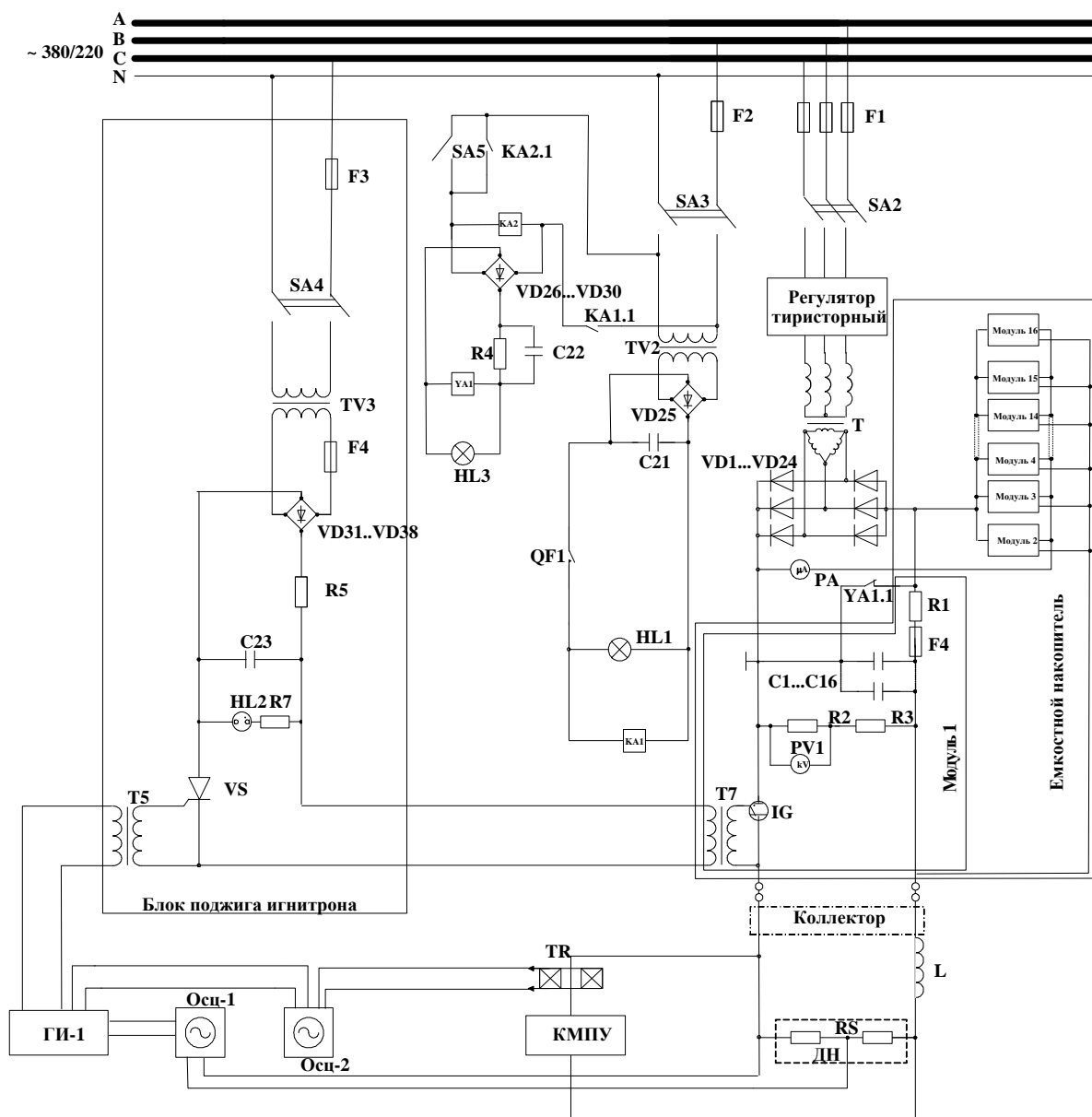


Рисунок 2.1 – Упрощенная принципиальная электрическая схема экспериментального стенда

чтобы аварийный короткозамыкатель YA1.1 был разомкнут. В случае аварии, или наличия остаточного напряжения на обкладках конденсаторов их разряд осуществляется через сопротивление R1.

Для осуществления коммутации ёмкостного накопителя на нагрузку установлен игнитрон IG, запускаемый через развязочный трансформатор T7. Для запуска игнитронов предназначен блок розжига игнитронов (БРИ). БРИ состоит из однофазного повышающего трансформатора VT3, включенного через предохранитель F3. Далее питание подаётся на диодный мост

VD31...VD38 через предохранитель F4. Далее через зарядное сопротивление R5 происходит заряд конденсатора C23. Для контроля заряда конденсатора используется ионная лампа HL2, включенная через сопротивление R7. При подаче сигнала запуска через согласующий трансформатор T5 на тиристор VS происходит разряд ёмкости C23 на согласующий трансформатор T7. Импульс управления от генератора импульсов ГИ-1 поступает на согласующий трансформатор T5 шести БРИ, далее каждый БРИ, через согласующий трансформатор T7 производит запуск четырёх игнитронов.

В установке предусмотрена система защиты от проникновения на испытательную площадку, которая представляет собой концевой выключатель QF1, установленный на двери испытательной площадки. Так же на двери установлен плафон с лампой HL1 красного свечения, для сигнализации о наличии напряжения. Параллельно с лампой сигнализации включен контактор КА1. Питание контактора и лампы сигнализации осуществляется через трансформатор TV2, диодный мост VD25 и ёмкостный фильтр C21. Контактор КА1 контактом КА1.1 управляет питанием контактора КА2. При открытой двери запуск контактора КА2 невозможен.

Контактор КА2 с помощью подхватывающего контакта КА2.1 остаётся в сработавшем положении, после нажатия кнопки SA5. Обеспечивая при этом питание аварийного короткозамыкателя YA1. Питание осуществляется на постоянном токе через сопротивление R4 и фильтр C22. Сигнальная лампа HL3 выведена на панель управления установкой и дублирует показания лампы HL1.

Для регистрации экспериментальных данных используется делитель напряжения RS и трансформатор Роговского TR. Экспериментальные данные регистрируются цифровыми осциллографами.

2.1.1 Пульт управления и регистрации

На рисунке 2.2 представлен внешний вид пульта управления и регистрации, на котором отмечены блок заряда конденсаторов 1, индикаторы зарядного напряжения 2, ГИ-1 3 и приборы регистрации 4.

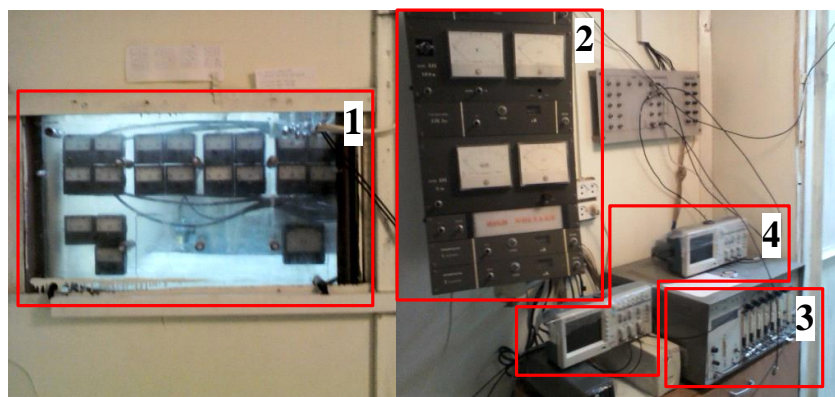


Рисунок 2.2 – Пульт управления и регистрации

Блок заряда конденсаторов обеспечивает ручное управление плавным зарядом конденсаторов, а так же реализует элементы защит и блокировок. На панели блока размещены тумблер подачи напряжения питания SA3 и тумблер SA5 управления электромагнитной блокировкой. Тумблер включения электромагнитного пускателя, обеспечивающего подачу напряжения на силовую часть тиристорного регулятора зарядного устройства. Так же на панели установлена ручка регулирования зарядного тока, которая управляет тиристорным регулятором. Контроль зарядного тока производится по имеющемуся на панели измерительному прибору РА. При подаче питания на пульт управления производится включение световой сигнализации на пульте (надпись высокое напряжение) HL3 и красного фонаря над ограждением испытательной площадки HL1.

Для запуска эксперимента используется ГИ-1, который обеспечивает синхронную подачу импульсов запуска на БРИ через согласующий трансформатор Т5.

Регистрация электрических параметров опыта производится цифровыми осциллографами Tektronix TDS 2012B или Tektronix TDS 1012B, питающимися через бесперебойные источники питания.

2.1.2 Зарядное устройство

На рисунке 2.3 приведен внешний вид элементов зарядного устройства.

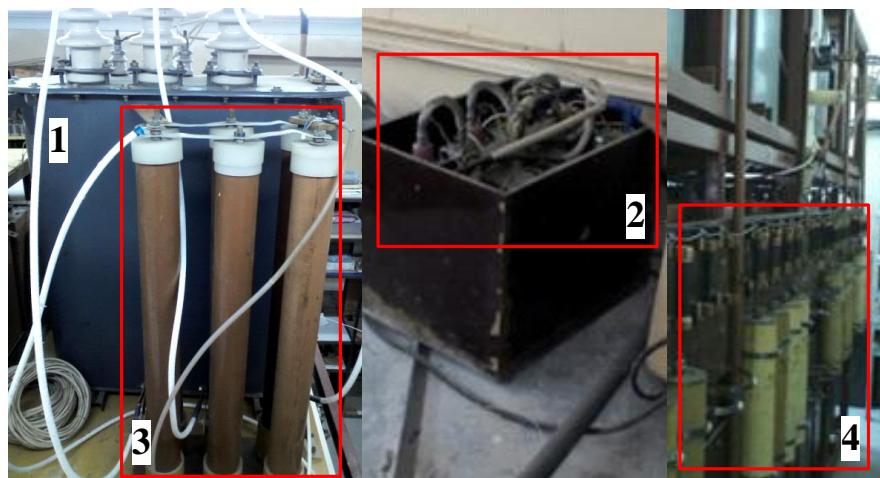


Рисунок 2.3 – Внешний вид зарядного устройства

Зарядное устройство выполнено на основе трехфазового силового трансформатора 1 марки ТМ–160–10/0,4, включаемого после тиристорного регулятора 2. Высокое напряжение с трансформатора подается на диодный мост 3 и через зарядные сопротивления 4, смонтированные на задней части установки. Первичное напряжение от сети 0,4 кВ подается на тиристорный регулятор, с выхода которого на первичные обмотки повышающего трансформатора. Тиристорный регулятор позволяет обеспечивать на выходе выпрямителя напряжение до 5 кВ. Величина зарядного тока контролируется амперметром, смонтированным на панели управления зарядным устройством. Мощность зарядного устройства 160 кВт.

2.1.3 Секции ёмкостного накопителя, система запуска и разрядный контур

Ёмкостный накопитель энергии представляет собой 18 секций, размещённых на стеллажах. Секции набраны из 16 конденсаторов ИС5-200 (импульсные с саволовой изоляцией, напряжение 5 кВ, емкость 200 мкФ). Таким образом, общая емкость конденсаторов накопителя составляет 57,6 мФ. Что при напряжении 5 кВ обеспечивает накопление 720 кДж энергии.

На рисунке 2.4 приведен внешний вид частей секции ёмкостного накопителя: передней панели со смонтированным игнитроном 1, БРИ 2,

согласующего трансформатора Т5 3, импульсные трансформаторы Т7 4 и конденсаторов 5.

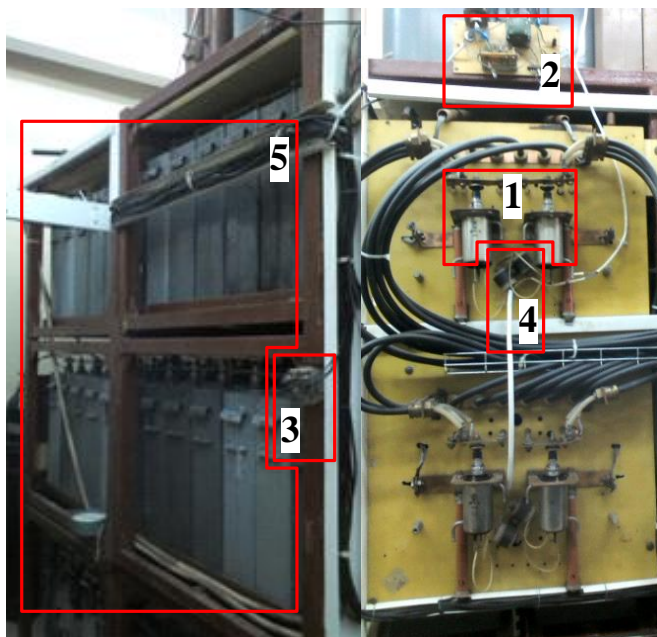


Рисунок 2.4 – Секция ёмкостного накопителя

Каждая секция коммутируется индивидуальным игнитронным разрядником марки ИРТ-6. По паспортным данным для режима работы игнитрона с током 200 кА при длине импульса 20 мкс игнитрон может пропустить до 30 Кл электричества. В данной установке при заряде конденсаторов до напряжения 5 кВ токе до 25 А

Секции ёмкостного накопителя объединены в группы по четыре, запуск которых осуществляется одним БРИ. Игнитроны поджигаются высоковольтным импульсом (до 15 кВ) через индивидуальный импульсный трансформатор, первичные низковольтные обмотки которых соединены последовательно и питаются от БРИ. Время срабатывания БРИ около 10 мкс, а время разброса срабатывания игнитронов не превышает 1 мкс.

Разрядный контур состоит из параллельно включенных коаксиальных кабелей марки РК-50-13-17, по 6 на секцию. Кабель данной марки разработан для обеспечения минимальной индуктивности. Между собой конденсаторы соединены экранирующей оболочкой вышеприведённого кабеля. Все кабели сведены в секционированный сборный коллектор так, что на одну секцию

разряжаются игнитроны, запускаемые от одного БРИ.

Использование секционной схемы ГИТ-720 позволяет обеспечить варьирование импульса тока по длительности, напряжению и току в широких пределах. Кроме того установка может работать как генератор четырёх следующих с задержкой импульсов, а так же обеспечивать питание четырёх независимых потребителей.

2.2 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель

Используемый в данной работе КМПУ представляет собой усовершенствованный вариант ранее известного устройства, на которое получен патент РФ [19]. На рисунке 2.5 представлено схематическое строение КМПУ, на котором обозначены основные элементы конструкции и объяснен принцип действия. Устройство КМПУ представлено на рисунке 2.6.

Конструктивно КМПУ, рисунок 2.5, можно разделить на два узла: классический Z-пинч ускоритель элементы 1, 2, 3, 6 [19] (далее пинчер), и внешнюю индукционную систему (далее индуктор), элементы 3, 4, 5, 7. При этом индуктор устанавливается стационарно, а пинчер является сменным узлом, так как его элементы подлежат быстрому износу.

Пинчер является расходным материалом, поэтому изготовление его элементов и сборка производились на этапе подготовки эксперимента. Более подробно строение КМПУ представлено на рисунке 2.6. Центральный электрод представляет собой стальную шпильку М20, с одного торца которой ввернута медная шпилька меньшего диаметра. На полученную заготовку наворачивается цельная центральная часть изолятора, изготовленная из толстых листов стеклотекстолита с резьбой внутри. Наворачивание производится на эпоксидную смолу для обеспечения прочности. Далее из стеклотекстолита и эпоксидной смолы формируются хвостовой изолятор и КФПС. После застывания излишки стеклотекстолита удаляются на токарном станке. В канал КФПС монтируются электровзрывающиеся проводники (ЭВП) и засыпается кристаллический кремний. Электрод-ствол надвигается на изолятор

центрального электрода, где обеспечивается электрический контакт ускорительного канала и ЭВП).

Пинчер вставляется в индуктор и фиксируется крепление пинчера.

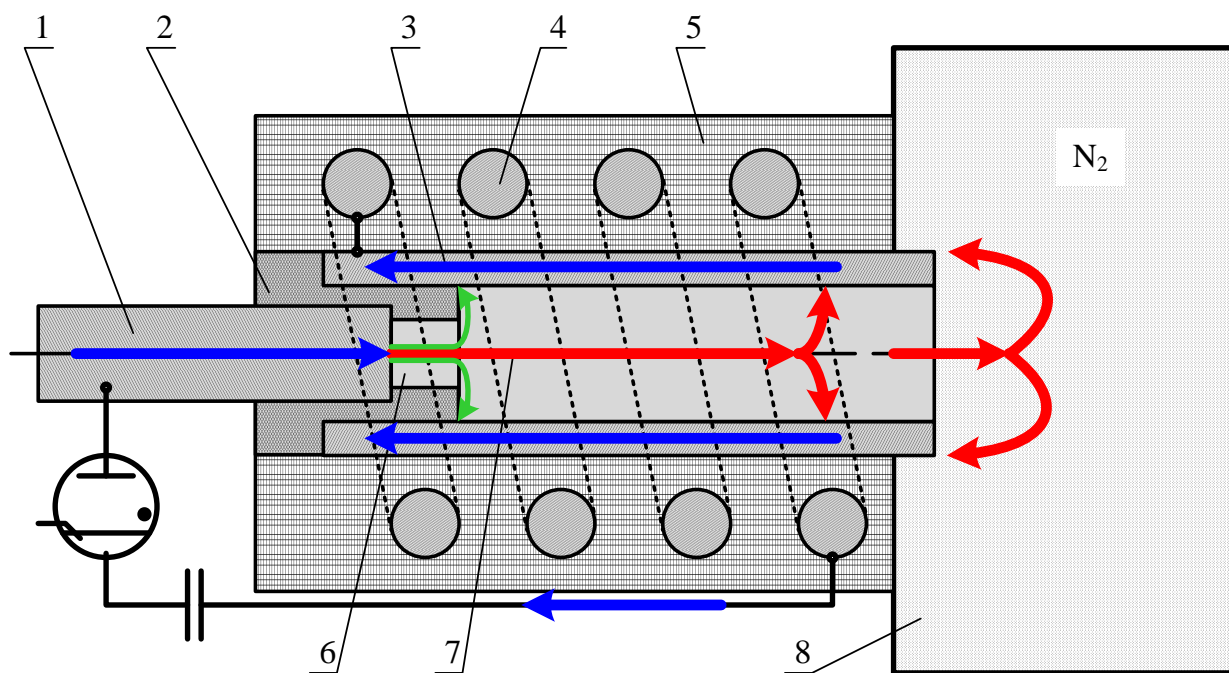


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема КМПУ:

1 центральный электрод; 2 изолятор центрального электрода; 3 медный электрод-ствол; 4 индуктор; 5 корпус; 6 канал формирования плазменной структуры; 7 плазменная структура; 8 камера-реактор

Индуктор изготовлен из нержавеющей стали и представляет собой трубу, в которой прорезаны сквозные пропилы для формирования четырёх витков индуктора, с одного края трубы приварен контактный фланец, а с другого нарезана контактная резьба. Зазоры между витками залиты компаундом. Со стороны контактной резьбы установлена изоляционная плита из стеклотекстолита.

Для обеспечения жёсткости конструкции с внутренней и наружной сторон индуктора устанавливаются корпус 5, рисунок 2.5. Для предотвращения разрушения индуктора вдоль оси – растягиванию – контактный фланец и изоляционная плита стянуты стальными шпильками,

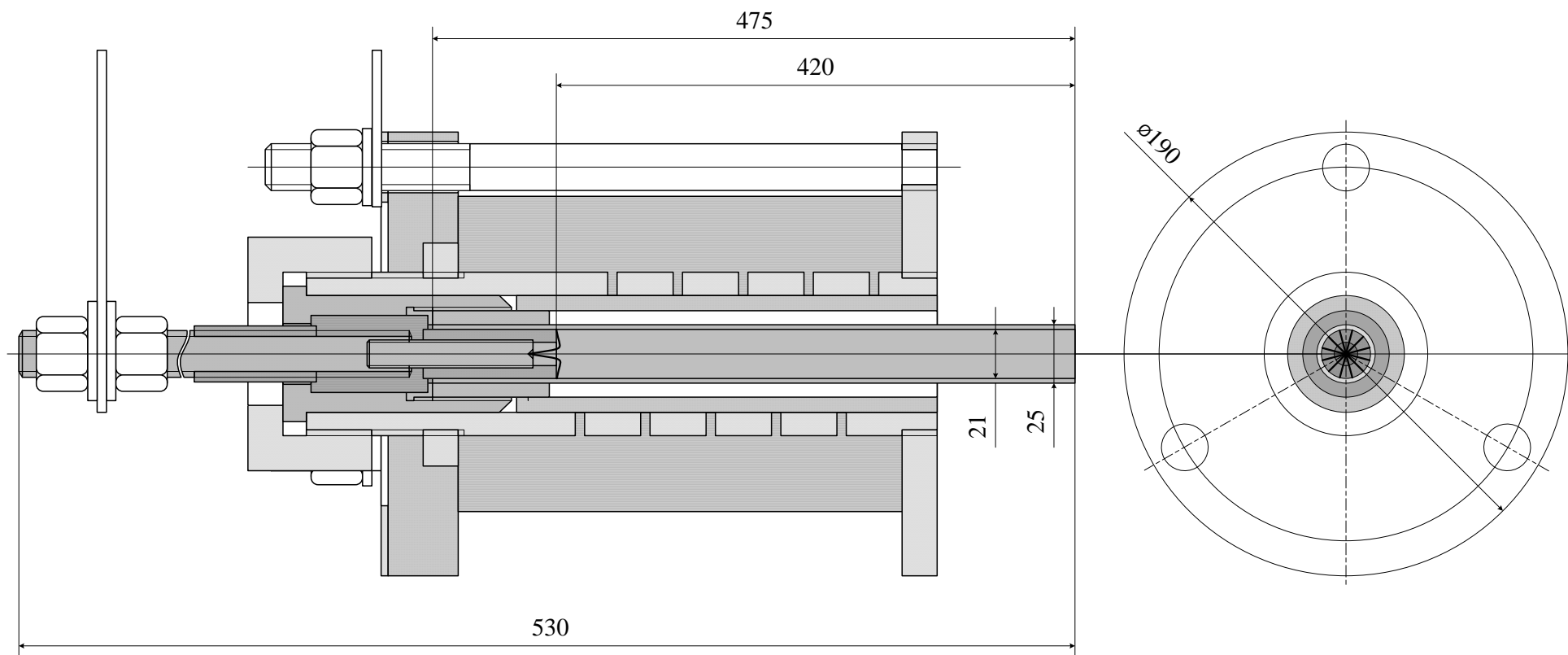


Рисунок 2.6 – Устройство КМПУ

которые так же являются токопроводами.

Использование ЭВП обеспечивает начальное формирование конфигурации сильноточного разряда типа Z-пинч с круговой плазменной перемычкой.

В собранном виде КМПУ представляет собой последовательно соединенные, установленные коаксиально пинчер и индуктор. Движение тока указано на рисунке 2.5 стрелками. При этом конец центрального электрода соответствует началу первого витка индуктора, а индуктор подключён таким образом, чтобы направление магнитного поля совпадало с направлением движения плазменной структуры.

В процессе работы через КМПУ производится электрический разряд установки ГИТ-720. При протекании тока через ЭВП происходит их электрический взрыв и зажигание сильноточного электрического разряда (плазменной структуры). Плазменная структура состоит из расплавленного пятна – места начала электрической дуги, жгута, направленного по оси Z, и плазменной перемычки, замыкающейся на электрод-стволе. При этом находящийся в КФПС кристаллический кремний так же подвергается электрической эрозии. Кроме того, протекающий ток наводит собственное магнитное поле, как плазменной структурой, так и индуктором. Вследствие этого наведённое плазменной структурой магнитное поле обуславливает силу Лоренса, разгоняющую плазменную перемычку. Магнитное поле соленоида обеспечивает стабилизацию в пространстве плазменного жгута по оси Z и его сжатие.

Для обеспечения электрической изоляции токопроводящих частей КМПУ монтируется на стеклопластиковую крышку камеры-реактора. Питание КМПУ осуществляется через сборный коллектор от ГИТ-720. Параметры эксперимента можно варьировать, изменяя диаметр медного электрод-ствола и его длину, количество заложенного к КФПС кристаллического кремния, количеством и параметрами подведённой энергии и давлением азота в камере-реакторе. Для устранения примесей в камере-реакторе заполнение азотом

проводилось два раза, по следующей схеме: вакуумирование – закачка азота – вакуумирование – окончательная закачка. Использование такой схемы закачки позволяет достичь содержания примесей в азотной атмосфере на уровне, близком к примесям газа в баллоне.

Фотография шинной сборки, которой КМПУ подключается к разрядному контуру установки ГИТ-720 приведена на рисунке 2.7. На рисунке так же видны трансформатор Роговского 1 и место крепления делителя напряжения 2.

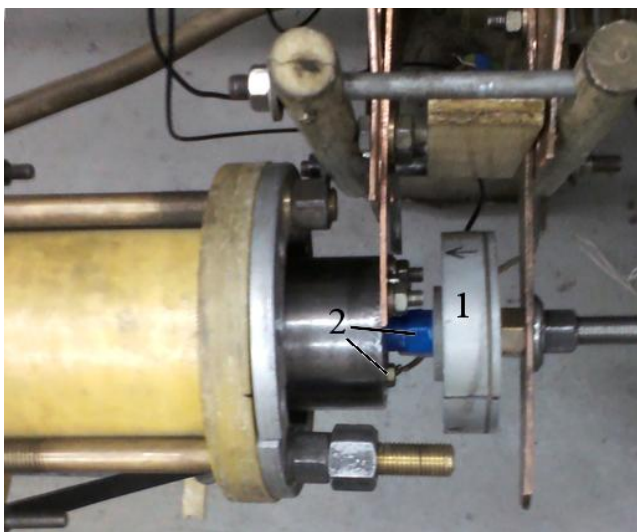


Рисунок 2.7 – Внешний вид смонтированного КМПУ

2.3. Методология

2.3.1. Регистрация и обработка осциллограмм

Для регистрации электрических параметров экспериментов, рабочего тока $i(t)$ и напряжения на электродах пинчера $u(t)$, использовались трансформатор Роговского и омический делитель напряжения.

Рассмотрим принцип действия трансформатора Роговского, изображенного на рисунке 2.8. Магнитное поле, создаваемое изменяющимся во времени током $i_1(t)$, индуцирует в охватывающей токовую часть катушке напряжение $u_1(t)$, пропорциональное изменению тока $\frac{di_1(t)}{dt}$. Если к такой катушке подключить интегрирующую цепь, то на выходе получим сигнал $u_M(t)$, пропорциональный искомому $i_1(t)$, поэтому трансформатор Роговского предназначена для измерения меняющихся во времени токов и их производных.

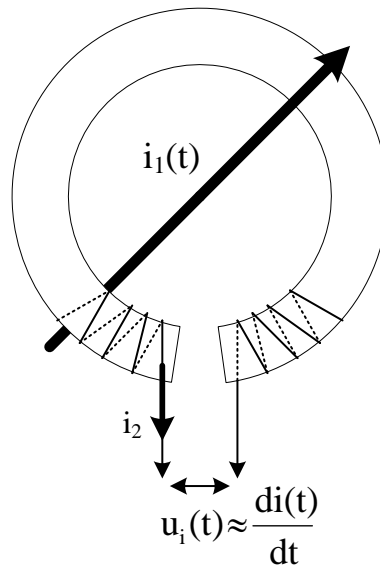


Рисунок 2.8 – К принципу действия трансформатора Роговского.

Рассмотрим принцип действия на основе закона полного тока

$$\oint_C \mathbf{B} ds = \mu \mathbf{I}.$$

Линейный интеграл магнитной индукции берётся по замкнутой кривой C , которая может проходить любым образом.

Если представить, что по кривой C длиной l , охватывающей проводник с током, намотана катушка с числом витков n , с одинаковым шагом Δl и площадью сечения катушки s , то при изменении магнитного поля $\frac{dB}{dt}$ в катушке индуцируется напряжение

$$u_1(t) = s \sum_{\sigma=1}^n \frac{dB_{\sigma}}{dt},$$

где B_{σ} – составляющая магнитного поля в витке σ , перпендикулярный к поверхности этого витка. Для достаточно малых значений Δl интеграл по замкнутому контуру можно приближённо заменить суммой

$$\sum_{\sigma=1}^n B_{\sigma} \Delta l = \mu i_1.$$

Из этих уравнений получим выражение для индуцированного напряжения

$$u_1(t) = \frac{\mu n s}{1} \frac{di_1}{dt} = M \frac{di_1}{dt}.$$

Коэффициент пропорциональности M — это взаимдуктивность между измерительной катушкой и цепью тока, он характеризует влияние тока в измерительной цепи, на первичную измеряемую цепь. Так как размер катушки ничтожно мал, по сравнению с объёмом пространства, заполненного магнитным полем измеряемого тока, то в большинстве случаев им можно пренебречь. Число витков выбирается таким образом, чтобы интеграл по замкнутому контуру, в пределах требуемой точности можно было заменить суммой.

Далее необходимо преобразовать сигнал $u_1(t)$ с помощью LR- или RC-контура, представляющего из себя простейший интегратор, или использовать измерительный усилитель, обладающий хорошими интегрирующими свойствами, к виду $u_M(t)$.

В данном случае был использован, изображённый на рисунке 2.9, RC-контур.

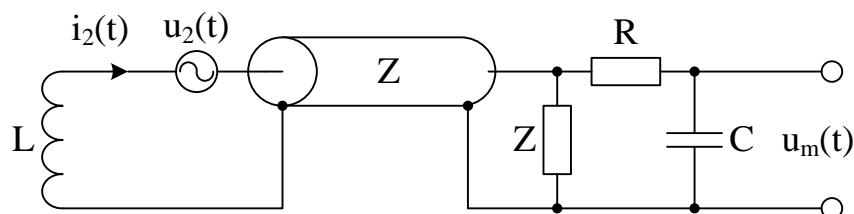


Рисунок 2.9 – Схема применяемого RC контура

Данная схема имеет верхнюю предельную частоту, обусловленную нагрузкой катушки конечным волновым сопротивлением Z , и нижнюю предельную частоту, при которой интегрирующий элемент ещё имеет интегрирующие свойства. Для нижней предельной частоты справедливо равенство

$$\frac{1}{\omega C} \ll R,$$

а для верхней предельной частоты

$$\omega L \ll Z.$$

При выполнении этих неравенств имеем

$$u_M(t) = \frac{1}{RC} \int u_1(t) dt = \frac{M}{RC} i_1(t).$$

Следовательно, на выходе интегрирующего устройства имеем величину, пропорциональную измеряемой. Точный подбор и качественное выполнение сборки и монтажа позволяет получить трансформатор Роговского с точностью измерения порядка $\pm 5\%$.

Для экранирования сторонних электрических (но не магнитных) полей трансформатор Роговского помещён в алюминиевый корпус. Корпус выполнен в виде кольца с углублением, закрываемом крышкой. Для предотвращения образования короткозамкнутого витка корпус и крышка имеют прорезь.

Выбор такого типа трансформатора тока обусловлен тем, что такие датчики могут регистрировать ток с высокими нарастающими и спадающими фронтами, а так же обеспечивают надёжную электрическую изоляцию высоковольтной части установки от цепей измерительных приборов. К недостаткам относится невозможность измерения постоянной составляющей тока, а так же высокую чувствительность к внешним помехам (сварочные работы), не смотря на принятые меры по их минимизации. Для регистрации токовой зависимости трансформатор Роговского подключён к электронному осциллографу Tektronix TDS 2012B или Tektronix TDS 1012B через коаксиальный кабель. Запуск осциллографа производится от измеряемого сигнала.

Применяемые омические делители напряжения состояли из трёх последовательно соединённых сопротивлений: $R_1 \approx R_3$, $R_1 > R_2$. Измерение производилось на среднем сопротивлении. Выбор такой схемы делителя напряжения обусловлен необходимостью максимально надёжно изолировать высоковольтную часть от цепей измерения. При регистрации быстроменяющихся сигналов напряжения большое влияние на качество измеренного значения оказывает ёмкостная составляющая сопротивлений, а так же волновое сопротивление соединительного кабеля. Поэтому для реализации

делителя напряжения выбраны керамические сопротивления марки ТВО с минимальным ёмкостным сопротивлением (порядка 50 пФ). Для регистрации напряжения используется коаксиальный кабель, подключённый к осциллографу Tektronix TDS 2012B или Tektronix TDS 1012B. Запуск осциллографа производится от измеряемого сигнала. Приведённые модели осциллографов имеют встроенные компенсаторы активного и волнового сопротивлений.

Обработка осциллограмм происходила на ЭВМ с использованием ПО MS Excel 2010 и MS Visio 2010. Массивы данных приводились к требуемому формату, корректировались для устранения наводок. По полученным данным строились графики зависимостей сопротивления $R(t)$, мощности $P(t)$ и подведённой энергии $W(t)$ от времени, рассчитанные по следующим формулам

$$R(t) = \frac{u(t)}{i(t)},$$

$$P(t) = u(t) \cdot i(t),$$

$$W(t) = \int_0^t P(t) dt.$$

Глава 3. Методы исследования и обработка результатов

3.1 Процесс протекания плазодинамического синтеза

Процесс проведения эксперимента начинается с зарядки емкостного накопителя до требуемой величины напряжения $U_{ЗАР}$. После замыкания контура, посредством управляемых разрядников, по контуру протекает ток разряда конденсаторных батарей, в которых была накоплена энергия. Нагрузка представляет собой индуктивный характер.

Момент замыкания ключа соответствует времени $t=0$ на развёртках осциллограмм напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$, представленных на рисунке 3.1.

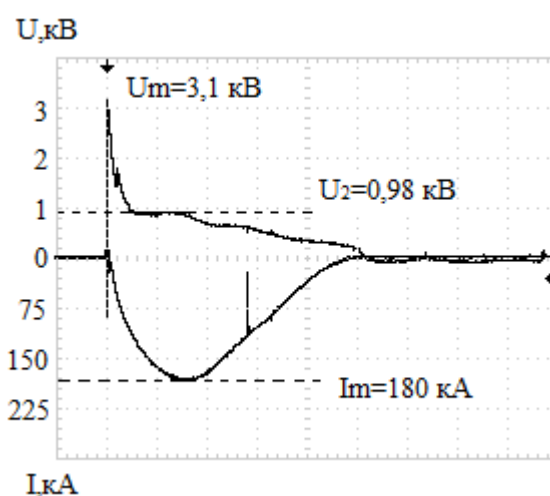


Рисунок 3.1 – Осциллограмма напряжения дуги и тока разряда

После разрядки ЕНЭ происходит формирование потока плазмы, за счет пробоя межэлектродного промежутка. Через плазменный поток протекает ток I через центральный электрод и электрод-ствол. За счет протекания тока через проводник возникает магнитное поле, взаимодействующее с полем тока, который протекает по плазменной перемычке, и создает силу F , которая направлена в противоположенную сторону мест подвода тока к электродам. Так как ток распределяется в среде, что на единицу объема действует сила: $\vec{j} \times \vec{B}$, тогда для определения силы действующей на весь объем необходимо взять интеграл по объему A :

Данная сила направлена перпендикулярно к направлению протекания тока и силовым линиям магнитного поля. Токовая петля плазменной перемычки стремится к расширению, а именно к увеличению линейных

размеров и к увеличению скорости распространения в коаксиальной системе. Самоудлиняющийся пинчующийся разряд, представляющий собой плазменный шнур, передвигается вдоль УК. То есть, за счет действующих одновременно электродинамических (кондукционный и индукционный) и электротермических механизмов происходит процесс преобразования электромагнитной энергии в кинетическую энергии плазмы.

Во время истечения и ускорения плазмы в УК происходит электроэрозионный износ медной поверхности за счет высоких температур в местах замыкания дуги на поверхности УК. Далее материал, наработанный с поверхности УК, находясь в токовой оболочке разряда претерпевает изменение состояния из твердого в плазменное и, при токах равных 105 А, ускоряется до скоростей равных несколько километров в секунду в виде плазменной электроэрозионной струи.

Процесс плазмодинамического синтеза оксида меди протекает в скачке уплотнения головной ударной волны сверхзвуковой плазменной струи.

С фронтовой поверхности уплотнения головной ударной волны плазменной струи, истекающей со сверхзвуковой скоростью, происходит распыление продукта синтеза (CuO) в жидкой фазе, а затем протекает процесс кристаллизации ультрадисперсных частиц и их охлаждения. Размеры кристаллов зависят от условий охлаждения и закалки продукта, т.е. от начальной температуры и плотности среды, а также важна скорость распространения плазменной струи в пространстве камеры-реактора.

На рисунке 3.2 представлен фотоснимок КР после проведения эксперимента, на котором виден распыленный и осажденный порошок CuO по стенкам камеры.



Рисунок 3.2 – Камера-реактор после проведения эксперимента

3.2 Методы исследования продукта плазмодинамического синтеза

Спустя некоторое время после проведения испытания и полного осаждения ультрадисперсных частиц производилось вскрытие камеры-реактора и сбор продукта синтеза.

Синтезированный продукт плазмодинамического синтеза исследовался без предварительной подготовки следующими методами.

3.2.1 Рентгенофазовый анализ (РФА)

Рентгенофазовый анализ позволяет идентифицировать различные фазы кристаллических веществ в составе при рассеивании монохроматического рентгеновского излучения на кристаллической решетке фазы.

Каждая фаза какого-либо вещества обладает индивидуальной кристаллической структурой и может быть охарактеризована уникальным, присущим только ей набором межплоскостных расстояний. Рентгеновские лучи, проходя через вещество с кристаллической структурой, рассеиваются электронными оболочками его атомов, которые будут при этом являться вторичными источниками волн рентгеновских лучей. Соответственно интенсивность этих волн и будет определять интенсивность дифракционных

максимумов на дифракционной картине. Если вещество имеет в своем составе несколько фаз, то рентгенограмма будет представлять собой совокупность дифракционных максимумов кристаллических решеток всех фаз. Следовательно, наличие дифракционных пиков в рентгенограмме какого-либо поликристаллического вещества позволяет идентифицировать находящиеся в нем фазы, а так же определить пространственную ориентацию их кристаллической решетки.

Для получения рентгенограммы полученных веществ используется рентгеновский дифрактометр. Конструктивно данное устройство состоит из нескольких основных элементов: источника излучения (рентгеновской трубки), детектора рентгеновского излучения, монохроматических фильтров и гониометра [23].

Исследования фазового состава и кристаллической структуры полученного порошка проводился методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) на дифрактометре Shimadzu XRD 7000 (CuK α - 50 излучение). Анализ полученных дифрактограмм производился с помощью программно комплекса PowderCell 2.4 с использованием базы структурных данных PDF4+.

В настройках программы уточнялся материал катода рентгеновской трубки. Далее загружалась дифрактограмма полученного образца и, с помощью баз данных PDF2 и PDF4+, начинался последовательный поиск состава образца [44]. В первую очередь учитывался примерный химический состав на основании исходных веществ, участвовавших в синтезе. Если в рентгенограмме не найдено первых 3-4 наиболее интенсивных пика предполагаемой фазы, это означает отсутствие данной фазы в образце. После того, как все пики рентгенограммы закрыты предполагаемыми фазами, начинается автоматический расчет программы с разложением рентгенограммы образца и предполагаемых фаз в ряд Фурье и последовательным сравнением и подбором коэффициентов ряда. В результате расчетов появляется информация о фазовом и количественном составе образца, а так же о размерах полученных частиц.

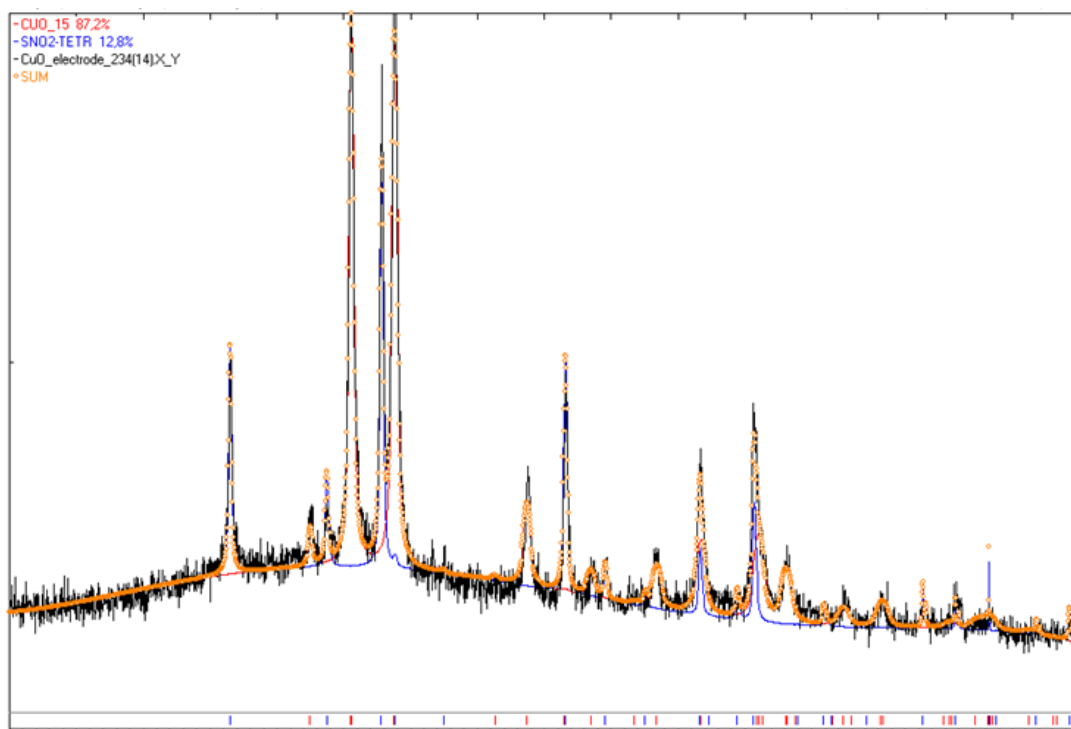


Рисунок 3.3 – Фазовый и количественный состав продукта синтеза

На рентгенограмме отчетливо видно пики почти разной интенсивности. Эти пики соответствуют нахождению оксида меди в фазе CuO. Так же на рентгенограмме можно наблюдать пики оксида олова (SnO_2) из-за нанесения нанодисперсного порошка на стекло, покрытое проводящим слоем данного оксида, для дальнейшего исследования.

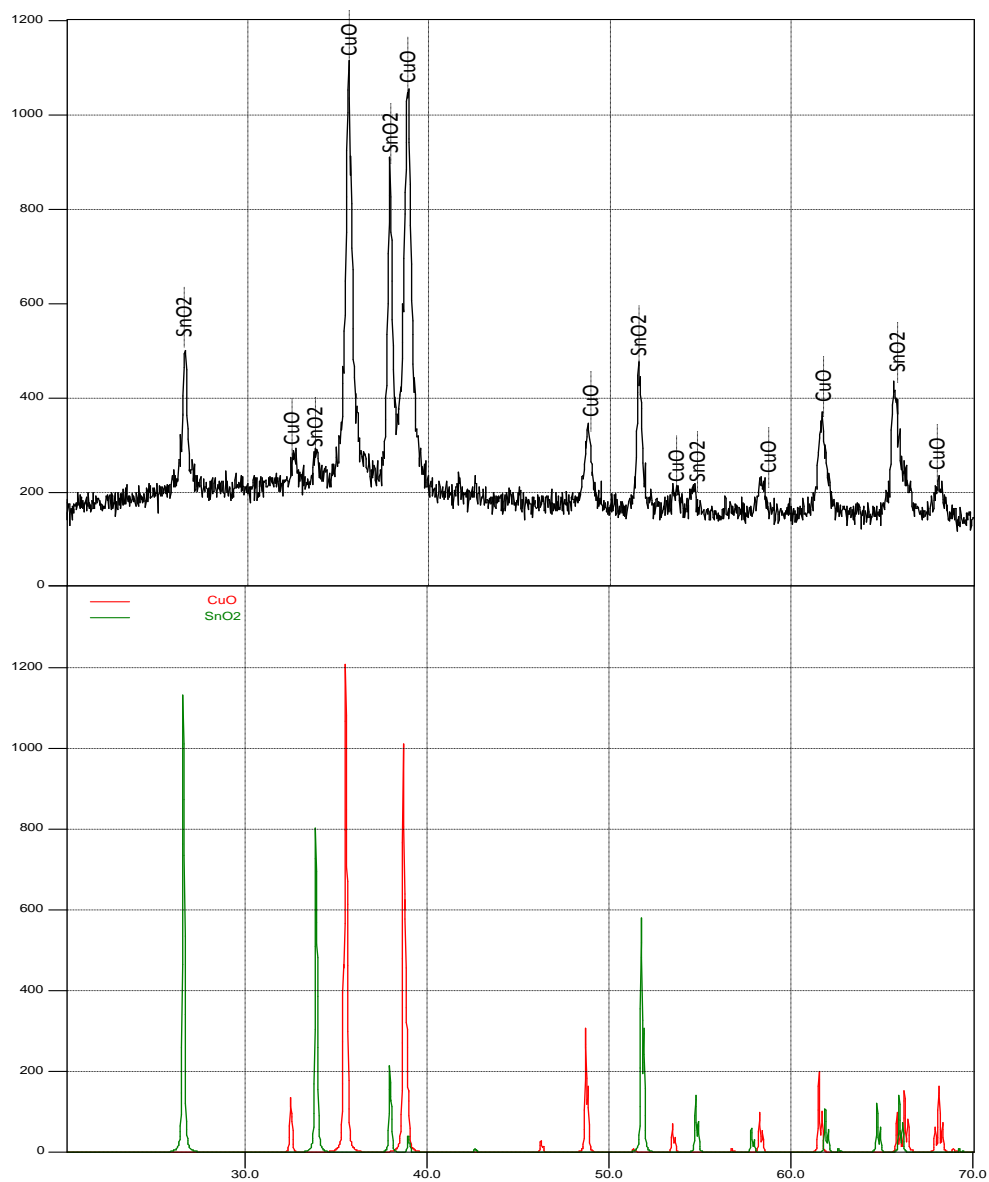


Рисунок 3.4 – Рентгеновская дифрактограмма продукта синтеза

3.2.2 Метод сканирующей электронной микроскопии (SEM)

Сканирующий электронный микроскоп — это прибор, предназначенный для получения увеличенного изображения объекта путем сканирования по объекту сфокусированным пучком электронов и регистрации детектором сигнала, возникающего в результате взаимодействия электронов с веществом.

На рисунке 3.5 представлена принципиальная схема сканирующего электронного микроскопа. Она включает в себя источник электронов, оптическую систему для фокусировки электронов и сканирования (электронную колонну), камеру с образцом и детекторы для регистрации

сигнала, а также систему откачки, необходимую для создания вакуума в микроскопе. Необходимым условием является вакуум в пушке, колонне и камере микроскопа, так как в воздухе электрон не сможет долететь от источника до образца из-за столкновений с молекулами воздуха на своем пути.



Рисунок 3.5 – Принципиальная схема СЕМ

Испускаемые катодом электроны, проходя через систему электронной оптики, фокусируются и ускоряются в направлении образца. Детектор регистрирует эмиссию вторичных электронов в процессе сканирования сфокусированным пучком по поверхности образца. Таким образом, на систему сбора данных поступает информация о координатах пучка на образце и величине сигнала с детектора. При построении изображения каждой точке образца приписывается яркость пропорциональная величине сигнала, измеренного в момент, когда пучок находился в этой точке.

Микроструктура, размер и форма частиц полученных материалов анализировалась методами сканирующей электронной микроскопии (SEM) с использованием микроскопа Quanta 200 3D с приставкой энергодисперсионного анализа (EDAX) и Hitachi TM3000, и просвечивающей электронной микроскопии (TEM), в том числе высокого разрешения (HRTEM) на микроскопах Philips CM12 и Jeol JEM2100F соответственно.

На рисунке 3.6 представлены снимки поверхности оксида меди при разном разрешении. В нашем случае синтезированный продукт имеет

достаточно широкий диапазон распределения частиц по размерам, от микрометров до нанометров. Данный факт объясняется тем, что система синтеза является импульсной и параметры определяющие размеры изменяются в широком диапазоне. Так в хвостовой части импульсной плазменной струи температура и плотность плазмы снижается, что приводит к формированию крупной фракции.

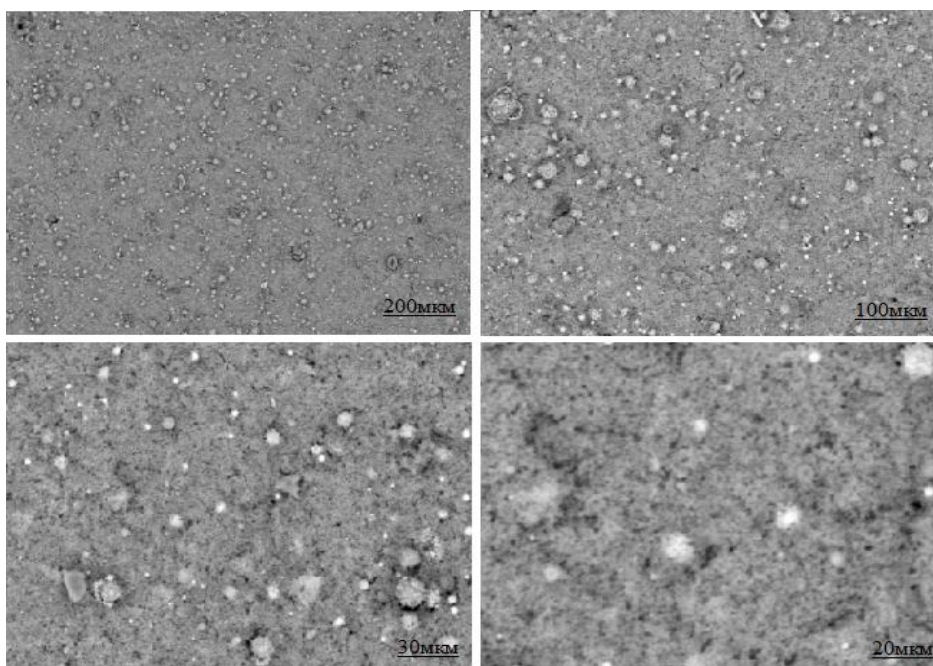


Рисунок 3.6 – SEM-снимки поверхности оксида меди

3.2.3 Метод трехэлектродной ячейки для исследования фотокаталитических свойств оксида меди.

Установка для проведения электрохимических измерений состоит из трех частей: электрохимической ячейки, блока подачи света (БПС) и измерительной аппаратуры. Электрохимическая ячейка – специальный сосуд или совокупность сосудов, которые содержат исследуемую электрохимическую систему и позволяют осуществить комплекс операций, необходимый для ее изучения. БПС регулирует подачу света на рабочий электрод в электрохимической ячейке. Лампа излучает свет, близкий по спектру к солнечному излучению. Измерения проводились на потенциостате.

В этом методе в электрохимическую ячейку помимо двух токовых электродов вводится еще один потенциальный, называемый электродом

сравнения (Ag/AgCl). Этот электрод располагают максимально близко к тому электроду, на котором протекает исследуемый процесс, при этом последний называют рабочим электродом (CuO). Для его поляризации используется так называемый вспомогательный электрод (Pt). В данном методе измеряется разница потенциалов между рабочим и вспомогательным электродом

Трехэлектродная электрохимическая ячейка (рис.) была сконструирована так, чтобы объемы вспомогательного, рабочего и электрода сравнения были разделены. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод Ag/AgCl, электролитом служил раствор 0,5 М Na₂SO₄. В качестве вспомогательного электрода использовали платину Pt. Исследуемый образец наносился на стекло, покрытое проводящим слоем оксида олова, чтобы полученный оксид оседал на стекло. С помощью протообменной мембраны разделяли катодное и анодное пространство. Присутствие кислорода, растворенного в исследуемом растворе, искажает результаты измерений, раствор насыщают очищенным от следов кислорода инертным газом (N₂).

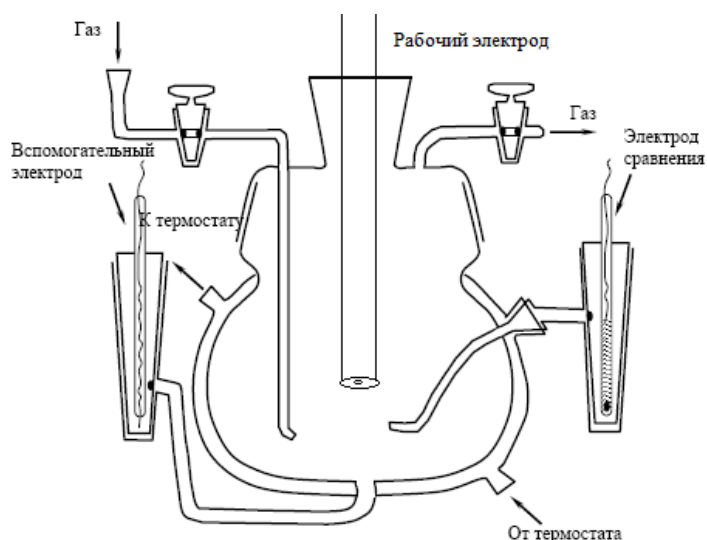


Рисунок 3.7 – Трехэлектродная жидкостная ячейка

Для проведения точных измерений необходимо правильно подготовить рабочий электрод. FTO стекло помещаем в стакан 150 мл с 50 мл изопропилового спирта, затем ставим в ультразвуковую ванну на 10 мин при частоте 28 кГц. После высушиваем феном при температуре 150 С. С ацетоном

продельваем тоже самое. Смешав 50 мл ацетона + 0,1 г полученного нанопорошка CuO + 2 шарика йодина диспергируем данный раствор в ультразвуковой ванне 3 мин при частоте 40 кГц. Затем наносим раствор на подготовленное FTO стекло 4 слоя по 1 минуте. Остатки ацетона удаляем при помощи отжига в печи в течение двух часов при $T=300$ С. Отожженные образцы покрываем эпоксидным клеем Geliahao 302 так, чтобы исследуемая поверхность составляла 1см^2 . Сушим 24 часа. На рисунке 3.8 представлены электроды, прошедшие все стадии подготовки и готовые к использованию.

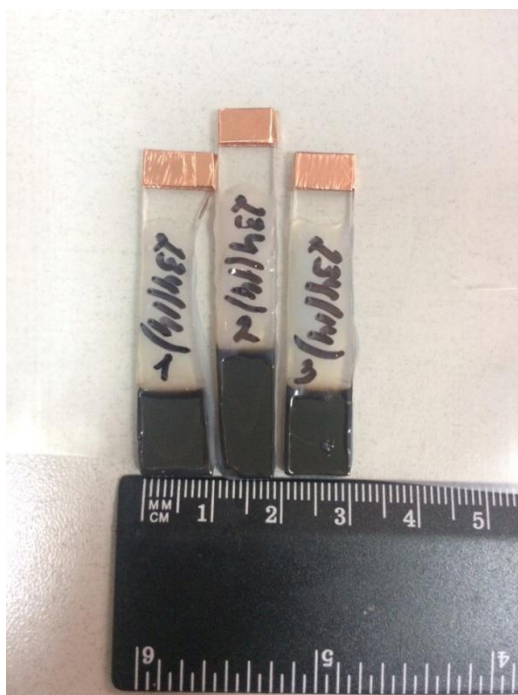


Рисунок 3.8 – рабочие электроды (CuO)

1. Снятие характеристики OCP-Time.

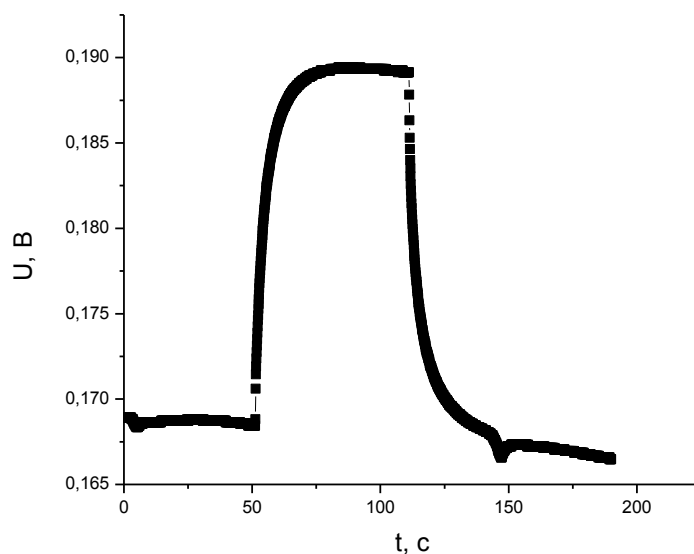


Рисунок 3.9 – Характеристика OCP-Time для CuO

При воздействии света на рабочий электрод его потенциал относительно электрода сравнения увеличивается и составляет порядка 0,19 В, после прекращения подачи света потенциал восстанавливается до прежнего уровня. Следовательно, исследуемый материал имеет р-тип проводимости.

2. Снятие LSV - характеристик.

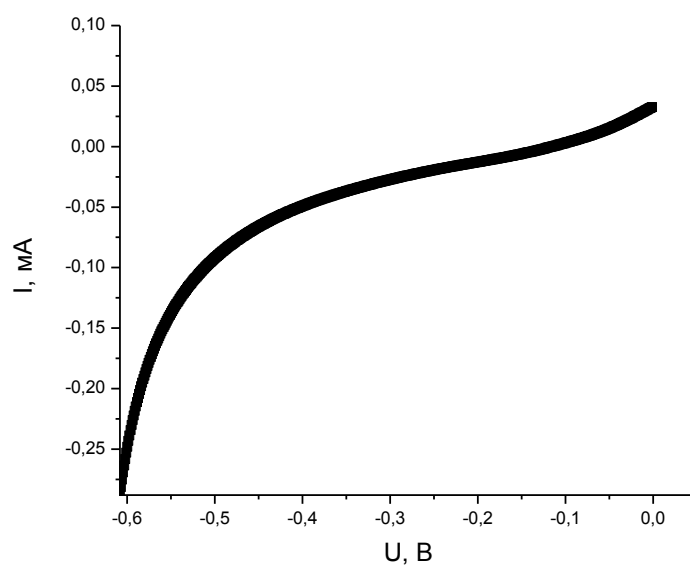


Рисунок 3.10 – Характеристика LSV без воздействия света для CuO

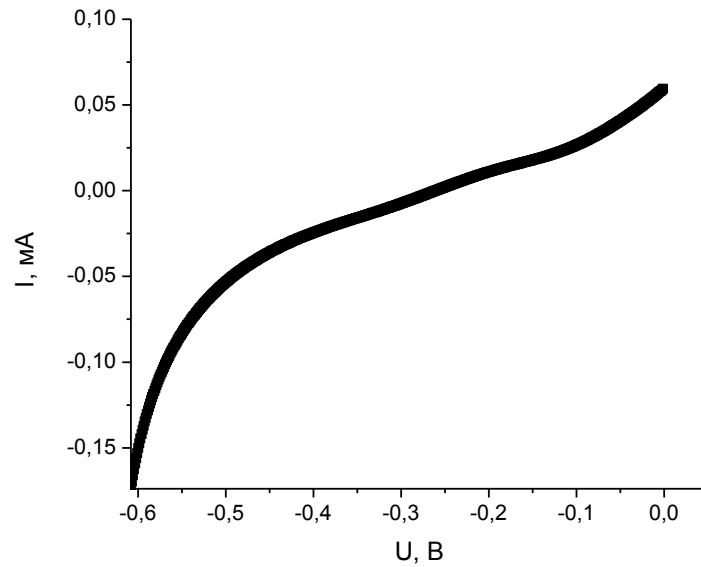


Рисунок 3.11 – Характеристика LSV со светом для CuO

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что при подаче света на исследуемый образец возникает фототок, который при увеличении приложенной разности потенциалов также увеличивается. Оптимальным напряжением для проведения фотокаталитического расщепления воды является 0,5-1 В. Дальнейшее увеличение напряжения нецелесообразно, так как КПД процесса значительно снижается и эксперимент выходит в область электрокатализа.

3. Снятие характеристик $I(t)$.

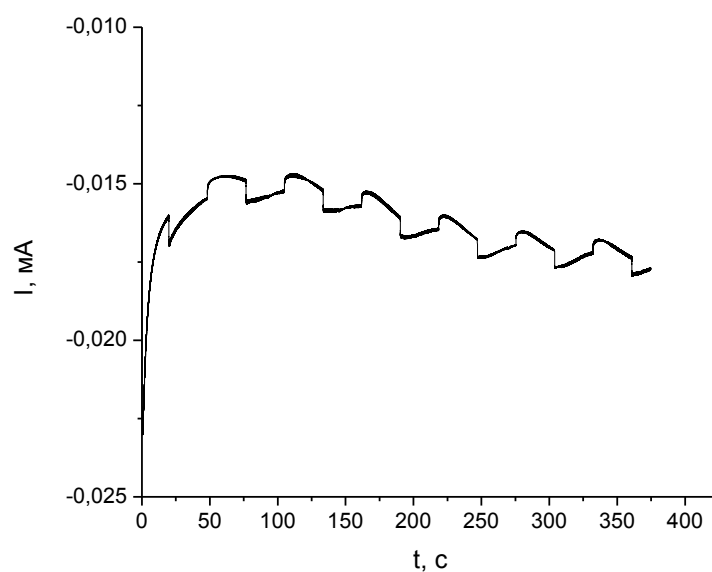


Рисунок 3.12 – Характеристика $I(t)$ для CuO

По данным характеристикам можно сделать вывод, что выбранный ультрадисперсный порошок оксида меди обладает свойствами фотокатализатора, так как при облучении фотоанода ультрафиолетовым светом возникает фототок.

Меньшая фотоактивность порошков, синтезированных с помощью КМПУ, может быть обусловлена неравномерным распределением частиц исследуемого материала по размеру.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На сегодняшний день проблема поиска и использования новых источников энергии стоит весьма актуально. Наиболее перспективным в данном направлении является использование возобновляемых источников энергии, а именно энергии солнца, ветра, водных источников, геотермальных ресурсов, а так же энергии химических реакций различных веществ.

Последний из источников лег в основу водородной энергетики, одной из наиболее инновационных отраслей современной энергетики. Данной отрасли присущи огромные плюсы, но весьма глобальным фактором, тормозящим развитие и интеграцию водородной энергетики, является то, что энергетические затраты на получение кислорода и водорода превышают энергетический выход электрохимической реакции. В связи с этим постоянно ведется поиск новых энергоэффективных способов получения кислорода и водорода для нужд водородной энергетики.

Целью данного раздела является определение перспективности, эффективности и целесообразности проведения научного исследования посредством качественного анализа исследования, а также проведение временного и экономического планирование исследовательской работы.

4.1 Концепция проекта

Основным этапом реализации диссертации является получение материала (оксида меди), обладающего высокой фотокаталитической активностью.

Основные цели осуществления данного проекта:

- Разработка метода получения ультрадисперсного оксида меди;
- Оптимизация параметров метода получения для создания материала с высокой фотокаталитической активностью;
- Получение ультрадисперсного оксида меди с высокой фотокаталитической активностью;
- Реализация материала потребителям для использования в технологиях водородной энергетики, устройствах очистки и обеззараживания, а так же для создания продукции с заданными свойствами (производство стекла и эмалей и др.).

Факторами макросреды для данного проекта будут являться следующие:

1. Экономический – слаборазвитый и монополизированный рынок фотокаталитически активного ультрадисперсного оксида (в отличие от пигментного).
2. Политический – политика государства в области инноваций и поддержки малых предприятий.
3. Научно-технический – создание новых и выделение перспективных отраслей науки и техники может оказывать существенное влияние на реализацию проекта.
4. Социальный фактор – недостаточная информированность потенциальных потребителей о возможностях применения CuO.

Факторы микросреды:

- Поставщики – **ООО Научно-производственная «Камская химическая компания»** (поставка меди), **ООО «Промметалл»** (поставка для узлов установки с КМПУ).

– Потребители – предприятия и научные организации, специализирующиеся на производстве устройств с использованием фотокаталитически активных материалов.

– Конкуренты – «**Hongwu International Group Ltd**» (Один из наиболее успешных промышленных производителей фотокаталитически активного оксида меди, который уже долгое время является эталоном в научных и опытно-конструкторских работах), а так же множество небольших полупромышленных производителей.

4.1.1 Экспертная оценка методов получения

Экспертная оценка представляет собой весьма важный инструмент определения сильных сторон проекта. На общую привлекательность продукции оказывает свое влияние множество различных факторов, поэтому для выявления наиболее значимых аспектов продукции, а так же ее конкурентоспособности необходимо произвести экспертную оценку непромышленных методов получения ультрадисперсного оксида меди.

Таблица 4.1 – Экспертная оценка методов получения CuO

	Методы получения	Факторы конкурентности							
		Чистота	Необходимое соотношение фаз	Энергозатраты	Скорость протекания	Масса	Экологичность	Безопасность	Итого
1	Плазмодинамический	9	7	10	10	3	10	9	58
2	Окисление в диффузном пламени	7	8	5	7	7	7	6	47
3	Газофазный гидролиз	7	8	7	7	6	6	6	47
4	Неравновесный плазмохимический	8	6	9	10	4	7	6	50
5	Сульфатный	7	8	6	6	10	5	7	49
	Значимость фактора	8	5	6	4	5	3	5	36
	Коэффициент	0,222	0,138	0,167	0,111	0,138	0,083	0,138	
Факторы с учетом коэффициентов значимости									
1	Плазмодинамический	1,998	0,966	1,67	1,11	0,414	0,83	1,242	8,23
2	Окисление в диффузном пламени	1,554	1,104	0,835	0,777	0,966	0,581	0,828	6,645
3	Газофазный гидролиз	1,554	1,104	1,169	0,777	0,828	0,498	0,828	6,758
4	Неравновесный плазмохимический	1,776	0,828	1,503	1,11	0,552	0,581	0,828	7,178
5	Сульфатный	1,554	1,104	1,002	0,666	1,38	0,415	0,966	7,087

На основании экспертной оценки нескольких методов с учетом коэффициентов значимости можно выделить однозначного лидера – плазмодинамический метод получения ультрадисперсного оксида меди, который и лежит в основе данного проекта. Однако есть позиции, по которым данный метод имеет весьма низкую оценку – это масса синтезируемого вещества, а так же соотношение полученных фаз оксида меди.

4.1.2 SWOT-анализ

Данный анализ является важным элементом маркетингового исследования. Суть данного метода состоит в определении внутренних преимуществ и недостатков проекта, внешних угроз и благоприятных возможностей для развития, а так же в выявлении взаимосвязей между данными критериями. Результаты анализа представлены в таблице 6.2.

Прорабатывая внутренние слабости, можно сказать, что их негативные последствия для проекта возможно минимизировать путем выработки нескольких мероприятий, в числе которых:

1. Пополнение штата проектной команды квалифицированными экономистами и маркетологами для выработки стратегии развития и разработки рекламной компании.

2. Привлечение инвесторов для реализации проекта, обновления производственного оборудования, а так же создания промышленной установки для увеличения объемов выпускаемой продукции (при этом конструирование установки возможно без привлечения дополнительных работников извне).

Касательно внешних угроз проекта можно сказать, что не все аспекты могут контролироваться командой проекта, но риски проекта, связанные с потенциальными внешними угрозами, возможно минимизировать, предпринимая некоторые меры, к примеру незнание потенциальных потребителей о продукте можно снизить посредством рекламы в специализированных изданиях, а так же принимая участие на форумах и конференциях, посвященных этой проблеме.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ проекта

Сильные стороны	Слабые стороны
Потенциальные внутренние преимущества (S)	Потенциальные внутренние слабости (W)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Большой опыт 2. Высоккоквалифицированный персонал 3. Высокое качество продукции 4. Простота метода синтеза 5. Быстродействие 6. Энергоэффективность, экологическая безопасность 7. Инновационные технологии, наличие патентов 8. Низкая себестоимость 9. Сплоченный коллектив 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаток оборотных средств 2. Отсутствие в составе проектной команды маркетологов и экономистов 3. Отсутствие стратегии развития 4. Неизвестная торговая марка 5. Отсутствие автоматизированной производственной линии 6. Малые объемы получаемой продукции 7. Долгий срок эксплуатации оборудования
Потенциальные внешние благоприятные возможности (O):	Потенциальные внешние угрозы (T):
<ol style="list-style-type: none"> 1. Уникальность продукта синтеза 2. Новизна метода синтеза 3. Открытие, освоение и развитие рынка наноразмерного SiC 4. Гипотетический интерес компаний, специализирующихся на производстве продукции из карбида кремния 5. Государственная поддержка научно-технических проектов в области нанотехнологий 6. Стремительный рост рынка карбида кремния 	<ol style="list-style-type: none"> 7. Монополизированность мирового рынка 8. Неразвитость российского рынка 9. Отсутствие просвещенности компаний-покупателей в области нанотехнологий 10. Отсутствие экономических проектов со стороны государства 11. Недостаточное внимание СМИ к проблеме синтеза SiC 12. Отсутствие стандартов качества для наноматериалов (ГОСТ, нормы и др.)

Отсутствие экономических проектов, посвященных данной тематике можно возместить льготами и программами развития малых предприятий в наукоемких областях в различных государственных и негосударственных фондах и бизнес-инкубаторах.

4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Необходимо оценить уровень знаний для реализации НТИ и степень её готовности к выходу на рынок. Для этого нужно заполнить форму в таблице 4.4.

Таблица 6.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности	Уровень знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3	Определены отрасли и технологии для предложения на рынке	5	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10	Разработана стратегия реализации научной разработки	2	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
Итого баллов		33	42

Таким образом, перспективность коммерциализации научной разработки средняя. Данный факт объясняется недостаточным наличием компетенций разработчика в сфере коммерциализации технических исследований. Для восполнения указанного недостатка рекомендуется повысить квалификацию разработчика в данной сфере или добавить в рабочую группу эксперта по вопросам продвижения разработки на рынок.

4.2 Инициация проекта и разработка устава научно-технического проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта.

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

4.2.1 План проекта (диаграмма Ганта)

Реализация любого проекта связана с проведением комплекса работ различной степени важности и сложности. Некоторые работы имеют первостепенное значение, некоторые могут выполняться параллельно, некоторые могут производиться только после выполнения определенных операций. Для распределения бюджета, материалов, рабочей силы по длительности реализации всего проекта необходимо составление календарного плана проекта. Успешная реализация данного проекта связана с выполнением 20 основных работ, указанных в таблице 6.4.

Таблица 4.4 – Календарный план выполнения работ

№ п/п	Наименование работ	Стоимость, тыс. руб.	Количество человек	Срок выполнения, дней
1	Исследование рынка	10,5	3	7
2	Модернизация технологической установки	300	10	30
3	Составление бизнес-плана	8	2	4
4	Работа с инвесторами	28	1	14
5	Регистрация предприятия	15	2	9
6	Поиск дополнительного персонала	7	1	7
7	Поиск поставщиков оборудования	20	2	10
8	Расширение производственного помещения	6000	2	14
9	Рекламная кампания	2300	2	120
10	Наем дополнительного персонала	1,5	1	3
11	Закупка оборудования	10000	4	12
12	Отделка помещения	400	5	20
13	Монтаж оборудования	900	20	30
14	Акт сдачи – приема	2	1	3
15	Отладка системы	48	4	12
16	Исследование и анализ продукта	150	5	20
17	Автоматизация системы	150	10	15
18	Выход на производственные мощности	450	15	30
19	Поиск покупателей	30	2	30
20	Заключение договоров	7	2	7

На основе календарного плана проекта построена диаграмма Ганта (Приложение А), которая наглядно показывает следование выполнения этапов дипломного проектирования, исходя из отведенных сроков.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

4.2.2 Бюджет исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по следующим статьям:

- материальные затраты;
- амортизационные отчисления;
- основная заработная плата инженера и руководителя;
- дополнительная заработная плата инженера и руководителя;
- отчисления, поступающие во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

1. Расчет материальных затрат

К материальным затратам относят дополнительные затраты на вспомогательные устройства, информационные носители, канцелярские принадлежности и т.д.

Таблица 4.5 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена, руб.	Затраты (З _м), руб.
Ручка	3	70	210
Калькулятор	1	450	450
Пачка бумаги формата А4	1	300	300
Папка	1	100	100
Картридж ч/б	1	450	450

Итого		1510
-------	--	------

2. Амортизационные отчисления

В ходе НТИ для проведения расчётов, оформления отчётов использовался компьютер. Следовательно, необходимо определить величину амортизационных отчислений компьютера. Амортизация по оргтехнике рассчитывается линейным методом:

$$H_A = \frac{1}{n} \cdot 100 \% = \frac{1}{3} \cdot 100 \% = 33,33 \% ;$$

$$A = 67600 \cdot \frac{H_A}{100} \cdot \frac{T_{\text{раб.дн}}}{365} = 67600 \cdot \frac{33,33}{100} \cdot \frac{121}{365} = 7395,2 \text{ руб.}$$

где H_A – годовая норма амортизации по компьютеру, %; n – срок полезного использования компьютера в бухгалтерском учёте; $T_{\text{раб.дн}}$ – количество дней использования компьютера.

3. Полная заработная плата исполнителей НТИ

Расход по заработной плате формируется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, составляет 15% от $Z_{\text{осн}}$.

Основная заработная плата определяется по выражению:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p;$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата; T_p – суммарная длительность работ, выполняемая работником.

Среднедневная заработная плата найдём как:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D},$$

где Z_M – заработная плата работника за 1 месяц; M – количество месяцев работы без учёта отпуска (для 5-рабочей недели и отпуске в 24 рабочих дня $M=11.2$, а для 6-рабочей недели и отпуске в 48 рабочих дней $M=10.4$);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала (определяется за вычетом выходных, праздничных и отпускных дней).

Заработная плата работника за 1 месяц рассчитывается по формуле:

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

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, 0,33; k_p – районный коэффициент, возьмём его усреднённое значение 1,3.

Размер заработной платы по тарифной ставке рассчитывается по формуле:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T,$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника; k_T – тарифный коэффициент в зависимости от ставки.

Исходя из вышеупомянутого заработная плата руководителя НТИ равна:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,33) \cdot 1,3 = 55729,7 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{55729,7 \cdot 10,4}{365 - 66 - 56} = 2385,14 \text{ руб}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 2385,14 \cdot 28 = 66783,9 \text{ руб};$$

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 66783,9 + 0,15 \cdot 66783,9 = 76801,5 \text{ руб.}$$

По аналогичному принципу зарплата инженера НТИ:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,33) \cdot 1,3 = 36023 \text{ руб};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{36023 \cdot 10,4}{365 - 66 - 56} = 1541,7 \text{ руб},$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1541,7 \cdot 141 = 214383,2 \text{ руб};$$

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 214383,2 + 0,15 \cdot 214383,2 = 249990,7 \text{ руб.}$$

4. *Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)*

Данная статья расходов бюджета НТИ формируется за счёт обязательных отчислений, пенсионному фонду (ПФ), фонду обязательного медстрахования (ФФОМС) и фонду социального страхования (ФСС) от затрат на оплату труда работников.

Величина взносов во внебюджетные фонды:

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

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

Согласно Налоговому кодексу РФ для учреждений, осуществляющих научные исследования и разработки, отчисления на социальные цели в 2019 году составляют 28 % (20% – отчисления в ПФР, 2.9% – в ФСС и 5.1% – в ФФОМС).

Тогда отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (281167,1 + 42175,1) = 97002,6 \text{ руб.}$$

5. Накладные расходы

В статье накладные расходы учитываются прочие затраты организации, которые не включены в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, мобильной связи, сети интернет, печать и ксерокопирование материалов исследования. Их значение определяется как:

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}} &= З \cdot k_{\text{нр}} = (А + З_{\text{м}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\ &= (1510 + 7395,2 + 281167,1 + 42175,1 + 97002,6) \cdot 0,16 = 68680 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где $k_{\text{нр}}=0,16$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

6. Формирование сметы технического проекта

Рассчитанные значения затрат НТИ – основа для формирования бюджета проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта.

Бюджет НТИ приведён в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи бюджета НТИ	Сумма, руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	1510	0,3
2. Амортизация	7395,2	1.5
3. Затраты по заработной плате исполнителей	323342,2	64.9
4. Взносы во внебюджетные фонды	97002,6	19.5
5. Накладные расходы	68680	13.8
Итого	497930	100

Смета затрат на разработку НТИ составляет 497930 руб, из которых почти две трети (64,9 %) уходит на оплату труда руководителя и инженера.

4.2.3 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта – это временная организационная структура, созданная для повышения качества управления и взаимодействия в проекте путем определения и визуализации процессов взаимодействия как между внутренними, так и с внешними участниками проекта. Организационная структура данного проекта представлена на рисунке 6.1.

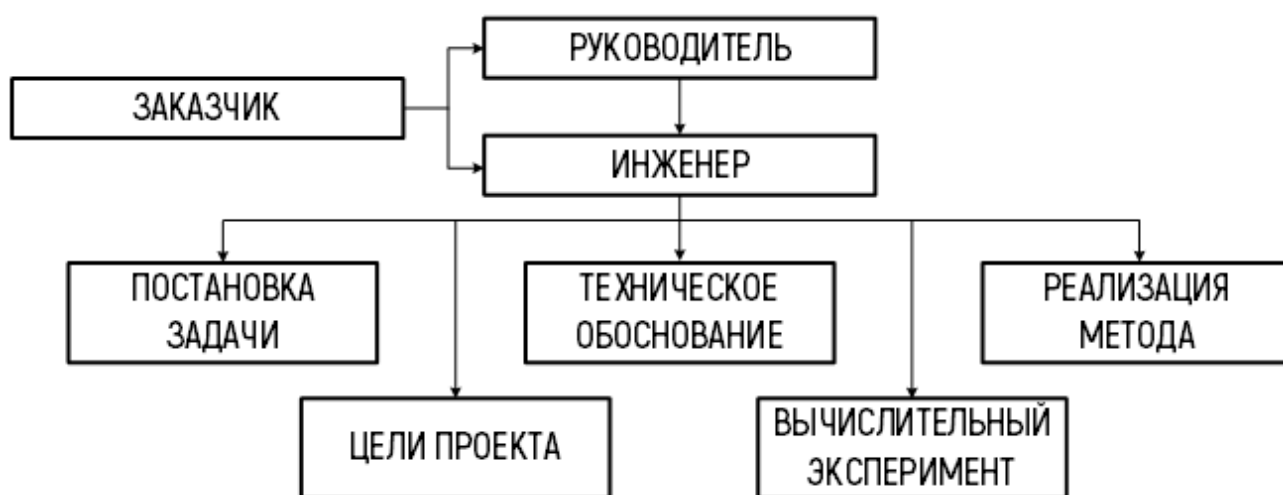


Рисунок 4.1 – Организационная структура проекта

4.2.4 Матрица ответственности

Матрица ответственности устанавливает степень ответственность каждого участника проектной команды за выполнение отдельных этапов и задач проекта.

При составлении матрицы ответственности проекта используют, например, методику RACI, которая является удобным и наглядным средством планирования ответственности членов проектной команды при выполнении задач на каждом из этапов проекта.

Термин RACI (или ARCI) является аббревиатурой:

Ответственный (O) – полностью отвечает за исполнение этапа/задачи, вправе принимать решения по способу реализации. В качестве ответственного за задачу может назначаться только один человек.

Исполнитель (И) – исполняет задачу, не несет ответственность за выбор способа её решения, но отвечает за качество и сроки реализации. У каждой задачи должен быть хотя бы один исполнитель.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта.

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Таблица 4.7 – Матрица ответственности проекта

№ п/п	Этапы проекта	Заказчик	Руководитель	Инженер
1	Формирование технического задания	И	У	
2	Создание календарного плана работы	У	О	И
3	Анализ отечественного и зарубежного опыта.	У	О	И
4	Изучение теоретического материала			О
5	Выполнение вычислительного эксперимента		С	О
6	Формализация метода и его проверка на реальной модели		С	О
7	Формирование выводов по полученным результатам	У	С	О
8	Выполнение отчёта о проделанной работе	У	С	О

4.3 Оценка ресурсоэффективности исследования

Ресурсоэффективность определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Сравнительный анализ характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Надежность	0,25	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5
Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4
Масштабируемость	0,25	5
Гибкость	0,2	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого научно-исследовательского проекта:

$$I_p = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,6.$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает достаточно неплохой результат (4,6 из 5), что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

Заключение

В данном разделе магистерской диссертации подробно был составлен план выполнения работы, произведена экспертная оценка методов получения CuO, а также продолжительность выполнения работ в рабочих в календарных днях. Рассчитана стоимость затрат НИИ, который учитывает материальные затраты, амортизационные отчисления, накладные расходы, отчисления во внебюджетные страховые фонды и расходы на заработные платы исполнителей исследовательской работы.

Выполнен комплексный SWOT - анализ научно-исследовательского проекта, на основе которого сделаны выводы о перспективности проведения и инвестиций в НИИ.

Ожидаемый эффект от проекта заключается в том, что результаты, полученные при выполнении диссертации, могут быть использованы при разработке методических указаний по получению оксида меди с необходимыми фотокаталитическими показателями.

Глава 5. Социальная ответственность

Целью раздела «Социальная ответственность» является создание оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышение его производительности, сохранение работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

Объектом исследования магистерской диссертации является наноразмерный порошок оксида меди, полученный с помощью КМПУ (коаксиального магнитоплазменного ускорителя) с необходимыми фотокаталитическими свойствами для дальнейшего применения в производственных целях.

Основным инструментами для получения и анализа наноразмерного порошка является КМПУ с емкостным накопителем энергии (ЕНЭ), персональный компьютер (ПК), фотокаталитическая установка стационарного типа с ультрафиолетовым (УФ) источником излучения. Данные приборы подвергают человека воздействию вредных и опасных производственных факторов, таких как шум, вибрация, электромагнитное излучение, поражение электрическим током и др.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на [24]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Установка КМПУ размещена в лаборатории корпуса 11А ТПУ.

Управление КМПУ осуществляется с рабочего места оператора. К работе оператором допускаются лица, прошедшие вводный и первичный на рабочем месте инструктажи по охране труда, освоившие безопасные методы ведения работ и прошедшие проверку знаний требований охраны труда. Оператор, работающий на установке должен обладать знаниями [25]:

- общие устройства и назначение отдельных частей установки;
- порядок пуска и останова оборудования, на котором он работает;
- правила и нормы охраны труда, техники безопасности и производственной санитарии;
- приемы оказания первой помощи пострадавшим.

Эксплуатация КМПУ сопровождается шумом, превышающим допустимые уровни, поэтому при организации рабочего места должны быть приняты меры по снижению уровня шума:

– участок, где эксплуатируется установка, должен иметь шумопоглощающее ограждение;

Испытания и измерения проводятся бригадами в составе не менее 2-х человек, так как установка рассчитана на токи порядка 10^5 А.

5.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»[26].

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал при выполнении работ, связанных с получением и исследованием свойств оксида меди представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Ра зработка	Из готовлен	Эк сплуатац	
1. Отсутствие или недостаток естественного освещения, недостаточное освещение рабочего места				СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [27]
2. Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте				ГОСТ 12.1.003-2014 [28] ГОСТ 12.1.012-2004 [29]
3. Отклонение показателей микроклимата				ГОСТ 12.1.005-88 [30] СанПиН 2.2.4.548-96 [31]
4. Движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования				ГОСТ 12.2.062-81 [32]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека				ГОСТ 12.1.038-82 [33] ГОСТ 12.4.011-89 [34]

5.2.1 Анализ вредных производственных факторов

1. Отсутствие или недостаток естественного освещения, недостаточное освещение рабочей зоны.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с [27].

Правильно спроектированное и выполненное освещение на рабочем месте, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности. Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное.

Недостаточное освещение может исказить, получаемую визуальным путем, информацию. Плохое освещение утомляет не только зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Неправильное освещение рабочей зоны может стать причиной производственного травматизма.

Для обеспечения благоприятных условий труда оператора, при проведении экспериментов на установке КМПУ, исключаящих быстрое утомление зрения, возникновения профессиональных заболеваний, несчастных случаев и способствующих повышению производительности труда и качества продукции, осветительные установки должны удовлетворять определенным требованиям [35]:

- Создавать на рабочей поверхности освещенности, соответствующую характеру зрительной работы, не ниже установленных норм.
- Обеспечивать достаточную равномерность распределения яркости на рабочей поверхности и в пределах окружающего пространства.
- Ограничивать прямую и отраженную блескость в поле зрения.
- Не создавать на рабочей поверхности резких и глубоких теней (особенно движущих).
- Обеспечивать постоянную освещенности во времени.
- Ограничивать глубину пульсации освещенности при использовании газоразрядных ламп, питаемых от сети переменного тока 50 Гц.

- Создавать свет необходимого спектрального состава, что особенно важно для обеспечения правильной цветопередачи в формных и печатных цехах, на контроле готовой продукции цветной печати, а в отдельных случаях – для усиления цветовых контрастов.

- Не создавать опасных и вредных производственных факторов. Следует исключать или сводить до минимума шум, тепловые выделения, опасность поражения током, пожар, и взрывоопасность светильников.

- Они должны быть надежны, удобны, просты в эксплуатации, экономичны и эстетичны.

Рабочее освещение обязательное во всех помещениях и на освещаемых территориях строительных площадок и участков, где выполняются те или иные работы; величина не менее 300 лк. Для защиты органов зрения применяются различные защитные очки, щитки, шлемы. Данные средства защиты должны защищать органы зрения от ультрафиолетового и инфракрасного излучений, повышенной яркости и ряда других факторов.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [36]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м². Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20. Согласно [36] нормы на освещение для оператора поста управления берутся для производственных помещений. Эти нормы представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Нормы на освещение для оператора

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		Естественное освещение КЕО _{ен} , % при боковом
			Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент пульсации К _п , %	
Различение объектов высокой точности	Б	1	300	15	1,0

2. Повышенный уровень шума и вибраций на рабочем месте.

Шум

При длительном воздействии шума на организм происходит снижение остроты зрения, ухудшение слуха или его потеря, повышение кровяного давления, ухудшение внимания. Сильный продолжительный шум может вызвать функциональные изменения сердечнососудистой и нервной систем.

Для исследуемого объекта (синтез и пункт управления) основными источниками шумов являются производственное оборудование (внешние источники) и оборудование поста управления (внутренние источники). ПДУ шума для объектов типа поста управления нормируются ГОСТ 12.1.003-2014 и СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Значения ПДУ согласно этим документам представлены в таблице 5.3 (для постоянных шумов)

Таблица 5.3 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

Р абочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	1 ²⁵	50	00	000	000	000	000	
П у	83	7 ⁴	8	3	0	8	5	4	65

Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим производственный контроль (измерения и оценка). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия по защите от действия шума (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

Вибрация

Длительное воздействие высоких уровней вибрации на организм рабочего персонала может приводить к преждевременному утомлению, снижению производительности труда, а так же к развитию профессиональных болезней.

Вибрация по способу передачи на человека может быть разделена на две большие категории: на общую (передается на тело человека через опорные

поверхности) и локальную (передается на контактирующие с вибрирующей поверхностью рабочего стола руки, ноги, предплечья сидящего или стоящего человека) [37].

При выполнении диссертации с использованием соответствующих приборов (КМПУ с ЕНЭ, ПК, ультразвуковая ванна) исполнитель подвергался воздействию локальной вибрации. При этом в зависимости от прибора, длительность воздействия, а так же величины характеризующие вибрацию могли варьироваться. При работе КМПУ с ЕНЭ и ультразвуковой ванны амплитуда виброперемещений наибольшая, однако, время воздействия изменялось в пределах от 30 секунд до 2 минут. При этом наиболее эффективной мерой защиты от вредного воздействия вибрации на человека в отсутствие специализированных виброзащитных средств является защита временем, то есть дробление времени работы с приборами на части с перерывами.

3. Условия микроклимата

Микроклимат в помещениях, где производятся работы, является очень важным фактором, который влияет на работоспособность персонала, а так же качества выполняемых работ на протяжении всего рабочего времени. Согласно [38] работы, необходимые для выполнения магистерской диссертации относятся к Ia и IIa категориям работ по уровню энергозатрат. Учитывая, что работы производились в холодный и теплый периоды года, а сами работы связаны с нервно-эмоциональным напряжением. В таблице 5.4 указаны оптимальные условия микроклимата для поддержания высокого уровня работоспособности на рабочем месте.

Таблица 5.4 – Оптимальные условия микроклимата на рабочем месте

Период года	Категории работ	Относительная влажность, % воздуха	Температура воздуха, С	Температура поверхностей, С	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	60-40	22-24	21-25	0,1
	IIa	60-40	19-21	20-24	0,2
Теплый	Ia	60-40	23-25	22-26	0,1

	Па	60-40	20-22	21-25	0,2
--	----	-------	-------	-------	-----

Если оптимальные микроклиматические показатели не могут быть выполнены, то для обеспечения безопасных условий труда установлены допустимые условия микроклимата, которые могут способствовать снижению работоспособности и ухудшению самочувствия, но не вызывают нарушения состояния здоровья рабочего персонала. Если же и оптимальные, и допустимые условия микроклимата не выполняются, то, в целях предотвращения вредного влияния микроклимата на организм человека, необходимо использование защитных мероприятий, таких как спецодежда, системы кондиционирования воздуха, использование помещений для отдыха и обогрева, а так же регламентация времени работы.

4. Движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования

КПМУ с ЕНЭ представляет наибольшую опасность с точки зрения опасности механического разрушения конструкций оборудования и травматизма персонала.

Прохождение по токоведущим частям установки импульсов тока порядка 100 кА создает большое по величине электродинамическое усилие, поэтому ошиновка коллектора перед началом эксперимента надежно закрепляется специальными приспособлениями во избежание разрыва или деформации, а материал корпуса КПМУ и его конструкция выбирались с учетом электродинамического воздействия.

Так как во время работы КПМУ формируется гиперскоростная плазменная структура, то материал боковых перегородок камеры-реактора, а так же все соединения (в том числе и герметизирующие) должны обладать необходимым запасом прочности.

Требования безопасности к применению ограждений в зависимости от расположения опасных элементов устанавливает стандарт ГОСТ 12.2.062-81 [32].

Лабораторное помещение разделено на зону с высоковольтным оборудованием и зону управления, отделенных между собой ограждением. Зона высоковольтного оборудования является потенциально опасной с точки зрения механического травматизма персонала, поэтому в здании предусмотрена специализированная защита. Запуск технологического процесса подразумевает отсутствие рабочего персонала в высоковольтной зоне, а так же посторонних лиц в помещении лаборатории. Рабочий персонал находится в специальной комнате со смотровым окном, выполненным из толстого оргстекла, в которой он может быть защищен от механического травматизма со всех сторон.

5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Практически все приборы (за исключением КМПУ с ЕНЭ), применяемые при выполнении ВКР, осуществляют электрическое питание от однофазной сети переменного тока промышленной частоты с напряжением 220 В.

Наиболее опасным с точки зрения электробезопасности среди всех использованных приборов является КМПУ с ЕНЭ. Технологический процесс построен таким образом, что напряжение данной электроустановки может изменяться от 0 до 5 кВ при величинах тока до 100 кА. Соответственно данное оборудование будет являться высоковольтным и сильноточным. Данная установка находится в специализированной лаборатории с доступом только квалифицированного персонала. Само помещение разделено на две основные зоны: зона с высоковольтным электрооборудованием и зона управления. Все токоведущие части установки не доступны для соприкосновения персоналом из зоны управления. Вход в зону с высоковольтным электрооборудованием осуществляется только во время технологической паузы, когда все силовое оборудование обесточено. Наличие напряжения в высоковольтной сети ЕНЭ контролируется с помощью киловольтметров в зоне управления. Вход в зону высоковольтного оборудования запрещен до тех пор, пока не произойдет полный разряд конденсаторных батарей через специальные сопротивления. Согласно ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ защита от прикосновения к частям

установки, нормально находящимся без напряжения, но оказавшимся под напряжением заключается в защитном заземлении корпусов электрооборудования и конструктивных металлических частей данной установки. Данное лабораторное помещение имеет вентиляцию, отопление и освещение в соответствии с существующими нормами.

5.3 Экологическая безопасность

Одним из наиболее интересных методов получения водорода и кислорода является разложение воды под действием солнечного излучения (фотолиз воды). Но для этого в качестве электрода должно быть использовано вещество, на поверхности которого под воздействием видимого и мягкого ультрафиолетового излучения появлялись вакантные заряды, реагирующие с контактирующими молекулами воды, то есть вещество, обладающее фотокаталитической активностью. В диссертации для этой цели использовался оксид меди. Данное соединение обладает приемлемой шириной запрещенной зоны, а так же является химически и биологически инертным.

Цель диссертации – синтезировать материал (оксид меди), обладающий высокой фотокаталитической активностью для применения его в фотолизе воды. Преимущества данной технологии очевидны: возможно получить водород и кислород для нужд водородной энергетики под воздействием солнечного излучения, минуя сложные и энергоемкие технологические процессы. Данный способ производства энергетического сырья является экологически чистым, так как здесь отсутствуют отходы, а продукты реакции являются экологически безопасными.

Синтез оксида меди с помощью КПМУ является безотходным, рабочими компонентами здесь являются медь, захваченный со стенок электрода плазменной струей, и воздушная атмосфера реактора. При синтезе распыленные частицы меди напрямую реагируют с воздушной атмосферой (преимущественно с кислородом) и на выходе получается дисперсный порошок CuO . Однако данный процесс является весьма энергоемким, так как в течении

нескольких сотен микросекунд выдается импульс энергии от десятка до семисот кДж.

При этом оксид меди, обладающий высокой фотокаталитической активностью, возможно использовать не только в технологиях водородной энергетики, но и для очистки воздушной атмосферы и воды от органических и неорганических загрязняющих веществ, а так же обеззараживания. Основными веществами, загрязняющими окружающую среду, являются SO₂, NO_x, CO, бензол, полициклические ароматические углеводороды.

На сегодняшний день уже существуют технологии комбинированной очистки и обеззараживания воздуха и воды с помощью ультрафиолетового излучения и фотокаталитической системы, которые показывают отличные результаты.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Перечень возможных ЧС на объекте исследования может быть достаточно широк. Ограничиваясь местоположением объекта и условиями его эксплуатации, можно представить следующие варианты ЧС:

- затопление;
- удар молнии;
- взрыв;
- пожар.

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС - пожар. Предусматриваемые при проектировании зданий и установок противопожарные мероприятия зависят прежде всего от пожарной или взрывопожарной опасности размещенных в них помещений. Помещения и здания в целом делятся по степени пожарной или взрывопожарной опасности на пять категорий в соответствии с НПБ 105-03. Данное помещение можно отнести к категории «Г»: негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы,

жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Основные причины пожаров: электрический ток (КЗ, перегрузка электрических установок, переходные сопротивления и искрения).

Причинами короткого замыкания могут быть: неправильный выбор сечения и марки кабелей приводов, износ и различные механические повреждения изоляции. Искрение происходит в момент разъединения находящихся под напряжением проводов соединительных частей.

Для предупреждения несчастных случаев при использовании электроприборов необходимо:

- обеспечить защищенность токоведущих частей оборудования;
- допускать к работе лиц, получивших необходимую квалификацию;
- использовать защитные заземления.

Во избежание пожаров от электрического тока необходимо, чтобы электрические сети и электрооборудование отвечали требованиям правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [39].

Пожарная безопасность на производстве обеспечивается следующими мероприятиями пожарной профилактики:

- организационные – противопожарный инструктаж, создание добровольных пожарных дружин и комиссий, разработка планов эвакуации;
- технические – соблюдение норм и правил при проектировании и строительстве зданий, соблюдение норм при выборе оборудования, устройство вентиляции и отопления, оснащение средствами пожаротушения;
 - режимные – запрещение курения в неустановленных местах;
 - эксплуатационные – своевременный ремонт оборудования.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение средств пожаротушения;
- эвакуация людей в случае пожара;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения.

Надёжная и безопасная работа электрооборудования обеспечивается в результате правильного его выбора, качества изготовления и регулярного проведения осмотров, профилактических испытаний и ремонтов. Поэтому имеет особое значение выполнения требований ПУЭ и ГОСТов при выборе электрооборудования.

В помещении площадью 50 м² согласно документу «Правила противопожарного режима в РФ» от 25.04.2012 г. необходимо иметь:

- 1 порошковый огнетушитель типа ОП–5;
- не менее 1 углекислотного огнетушителя типа ОУ–6;
- план эвакуации людей;
- средства пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре.

Каждый, обнаруживший пожар или загорание, обязан немедленно вызвать пожарную охрану по телефону 01 (сот. 101), а также при необходимости вызвать газоспасательную, медицинскую и другие службы. Информацию об очаге возгорания необходимо сообщить лицу ответственному за эвакуацию людей из здания. Если в помещении, где произошло загорание, находятся предметы, потеря которых может привести к серьезным финансовым затруднениям предприятия или к потере ценной информации, то нужно приступить к тушению очага пожара.

В каждом помещении назначен ответственный за эксплуатацию электрохозяйства, а обеспечение пожароопасной электроустановок и электросетей. В его обязанности входит:

- своевременное проведение профилактических осмотров и ППР;
- следить за правильностью выбора и применения оборудования;
- систематически контролировать состояние аппаратов, предохраняющих от отклонений в режимах работы;
- следить за наличием средств пожаротушения;
- организовать систему обучения и инструктаж по вопросам, обеспечения пожароопасной.

Меры пожарной безопасности:

- наличие необходимого количества выходов;
- пожарная сигнализация;
- организационно-технические мероприятия.

Выводы по разделу 5

В данном разделе были рассмотрены вопросы охраны окружающей среды и охраны труда, выявлены вредные факторы – повышенный уровень шума и вибрации, несоответствующий уровень освещения и несоответствующее состояние микроклимата; опасные – поражение электрическим током и возникновение пожара. Кроме того, были рассмотрены средства защиты от вредных и опасных факторов, учтены факторы защиты окружающей среды, так например, для обеспечения пожарной безопасности необходимо предусмотреть оборудование рабочих мест пожарной сигнализацией, планом эвакуации и углекислотными огнетушителями. Материал CuO с уникальными свойствами может быть использован в различных высокотехнологичных отраслях промышленности для снижения негативного антропогенного влияния на окружающую среду в виде загрязняющих воздух и воду отходов производства, а так же для развития экологически чистой водородной энергетики. Также в данном разделе были рассмотрены организационные вопросы обеспечения безопасности персонала при выполнении работ.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации было подробно рассмотрено получение мелкодисперсного порошка оксида меди плазмодинамический методом.

Рентгено-структурный анализ показал, что помимо основной фазы, в продукте имеется оксид олова SnO_2 . Его присутствие объясняется нанесением нанодисперсного порошка на стекло, покрытое проводящим слоем данного оксида, для дальнейшего исследования.

Снимки, полученные со сканирующего электронного микроскопа, свидетельствуют о достаточно плотной структуре образцов. На снимках можно увидеть нанопорошок оксида меди разного размера, это связано с неравновесными условиями при получении нанопорошка. В конце опыта происходит затухание плазмы и формируются более крупные частицы CuO .

Исследование фотокаталитической активности синтезированных образцов с помощью метода трехэлектродной ячейки позволило определить тип проводимости нанопорошка оксида меди и оценить его фотокаталитическую активность при действии на него света близкого по спектру к солнечному излучению. Выбранный ультрадисперсный порошок оксида меди обладает свойствами фотокатализатора.

На основании всех проведенных исследований можно сделать вывод о том, что полученные с помощью метода плазмодинамического синтеза образцы проявляют высокую фотокаталитическую активность под действием УФ и видимого излучения и являются перспективными для использования в технологиях водородной энергетики для получения водорода и кислорода при фотолизе воды.

Список используемой литературы

1. Karthik, K.; Jaya, N.V.; Kanagaraj, M.; Arumugam, S. Temperature-Dependent Magnetic Anomalies of CuO Nanoparticles//Solid Commun. – 2011. – V. 151. – 105. – P. 093901.
2. Rao, G.N.; Yao, Y.D.; Chen, J.W. Evolution of Size, Morphology and Magnetic Properties of CuO Nanoparticles by Thermal Annealing//J. Appl. Phys - 2009. - V. 105. - P. 093901
3. Waser, O.; Hess, M.; Guntner, A.; Novak, A.; Pratsinis, S.E. Size Controlled CuO Nanoparticles for Li-Ion Batteries//J. Power Sources - 2013. - V. 241. - P. 415-422.
4. Rehman, S.; Mumtaz, A.; Hasanain, S.K. Size Effects on the Magnetic and Optical Properties of CuO Nanoparticles//J. Nanopart. Res. - 2001. - V. 13. - P. 2497-2507.
5. Suzuki, K.; Tanaka, N.; Ando, A.; Takagi, H. Size-Selected Copper Oxide Nanoparticles Synthesized by Laser Ablation//J. Nanopart. Res. - 2012. - P. 14:863.
6. Qiu, G.; Dharmarathna, S.; Zhang, Y.; Opembe, N.; Huang, H.; Suib, S.L. Facile Microwave-Assisted Hydrothermal Synthesis of CuO Nanomaterials and Their Catalytic and Electrochemical Properties//J. Phys. Chem., C - 2012. - V. 116. - P. 468-477.
7. Zhou, M.; Gao, Y.; Wang, B.; Rozynek, Z.; Fossum, J.O. Carbonate-Assisted Hydrothermal Synthesis of Nanoporous CuO Microstructures and Their Application in Catalysis//Eur. J. Inorg. Chem. - 2010. - V. 5. - P. 729-734.
8. Facile synthesis of CuO nanomorphs and their morphology dependent sunlight driven photocatalytic properties <https://scihub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894712009035>
9. Назаренко О.Б., Тихонов Д.В. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 10. – С. 25–29

10. Jing X., Park J.H., Peters T.M., Thorne P.S. Toxicity of copper oxide nanoparticles in lung epithelial cells exposed at the air–liquid interface compared with in vivo assessment // *Toxicology in Vitro*. – 2015. – Vol. 29. – P. 502–511
11. Гарасько Е.В., Тесакова М.В., Чуловская А.С. и др. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. – 2008. – Т. 51. – № 10. – С. 116–119
12. Борисова Н.В., Суровой Э.П., Титов И.В. Закономерности изменения свойств пленок меди в процессе термообработки // *Известия Томского политехнического университета*. – 2006. – Т. 309. – № 1. – С. 86–90.
13. Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. – М.: *Металлургия*, 1965. – 428 с.
14. Хауффе К. Реакции в твердых телах и на их поверхности. Ч. 2. Пер. с нем. – М.: *Издательский центр «Издательство «ИТ»*, 1963. – 275 с.
15. Pilling N.B., Bedworth R.W. The oxidation of metals at high temperatures // *J. Inst. Met.* – 1923. – V. 29. – P. 529–591.
16. Коновалов, Д.В. Разработка процесса получения оксида цинка с помощью переменного тока промышленной частоты: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 117 с.
17. Коробочкин, В.В. Процессы получения нанодисперсных оксидов с использованием электрохимического окисления металлов при действии переменного тока: дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2004. – 273 с.
18. Ханова, Е.А. Разработка процесса получения диоксида титана с применением переменного тока промышленной частоты: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2004. – 108 с.
19. Influence of thermal annealing on microstructural, morphological, optical properties and surface electronic structure of copper oxide thin film / F. A. Akgul, G. Akgul, N. Yildirim, etc. // *Materials Chemistry and Physics*. 2014, iss. (№) 3. P. 987–995.
20. Разработка газочувствительного элемента на основе пленок оксидов меди для датчика аммиака // Т. А. Моисеева, Т. Н. Мясоедова, В. В. Петров и др. // *Инженерный вестник Дона*. 2014, вып. (№) 31.

21. The synthesis and gas sensitivity of CuO micro-dimensional structures featuring a stepped morphology / M. Breedon, S. Zhuiykov, N. Miura, etc. // Materials Letters. 2012, iss. (№) 82. P. 51–53.

22. Evaluation of copper oxide thin films as electrodes for microbatteries // E. A. Souzaa, R. Landersa, L. P. Cardosoa,, etc. // Journal of Power Sources. 2006, iss. (№) 155. P. 358–363.

23. Курзина И.А., Годымчук А.Ю., Качаев А.А. Рентгенофазовый анализ нанопорошков: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Отрасли nanoиндустрии. Области применения наноматериалов» для магистрантов, обучающихся по направлению 150600 «Материаловедение и технология новых материалов» / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) — Томск: Изд-во ТПУ, 2010.

24. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)

25. Постановление Минтруда России и Минобразования России от 13 января 2003 г. № 1/29 «Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций»

26. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015

27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий"

28. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

29. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

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

31. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (с Изменением N1)

32. ГОСТ 12.2.062-81 ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные (с Изменением N1)
33. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N1)
34. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
35. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
36. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
37. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
38. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
39. Приказ от 24 июля 2013 года N 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» (с изменениями на 15 ноября 2018 года)

Приложение А

(справочное)

Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ7В	Брода Светлана Васильевна		

Консультант ОЭЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Дмитрий Юрьевич	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Токмашев Денис Михайлович	к.ф.н.		

Introduction

Among the large number of functional nanomaterials, the nano-sized copper oxide CuO powder was chosen as the object of study, which is of great interest due to the presence of a complex of special properties, as well as numerous practical applications.

Copper oxide is a semiconductor metal with unique optical, electrical and magnetic properties, it is used in printed electronics to impart biocidal properties to medical materials, in the technology of manufacturing cells for solar batteries, in lithium batteries, photochemical splitting of water, and gas sensitive elements. Nanoscale compounds of copper oxide can be obtained by various methods, for example, high-temperature oxidation process, electrical explosion of conductors, electrolysis of Cu using alternating current of industrial frequency. NR TPU developed a method of plasmodynamic synthesis based on a pulsed high-current coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA), with which it is possible to obtain nanodispersed CuO. The advantages of this method are the following: the ability to implement the process within a short period of time, high achievable temperatures and, accordingly, high cooling rates.

The aim of the thesis is to obtain ultrafine copper oxide using a plasmodynamic synthesis method with photocatalytic properties for hydrogen production.

To achieve this goal in the work put forward the following tasks:

1. Synthesize fine powder of copper oxide by plasma-dynamic method.
2. To study the phase composition, as well as the microstructure of the obtained sample.
3. Investigate the photocatalytic properties of nanopowder.

Chapter 1. Literary Review

1.1 Properties of copper oxide nanoparticles

1.1.1 Physical and chemical properties

In the literature, the large quantity of data describing the size effect, which causes changes of its physical and chemical properties at modify the particle size. Nanoscale effect is especially important for heterogeneous catalysis, as causes the appearance or, usually, enhancing the catalytic properties. Compared to massive particles a fine particles of cuprous oxide characterized by the appearance of new physical and chemical properties, including enhancement of catalytic activity.

Nanoscale CuO particles are primarily characterized by anomalous magnetic properties. So in [1], the authors showed that CuO particles with a size of 25 nm have an increased value of coercivity and magnetic moments. The shift of the magnetic hysteresis loop was explained by the presence of uncompensated spins due to the high specific surface of such particles. In [2], it was found that the magnetic properties of nanoparticles CuO depend not only on their size, but also on morphology. The authors observed a linear dependence of the magnetic susceptibility on the particle size of CuO in the range from 13 to 33 nm, which was also explained by uncompensated surface spins.

The literature also noted increased electrochemical properties in the transition from micro to nano sizes copper oxide (II) [3]. The authors used nanoparticles CuO in the range of sizes from 10 to 100 nm as a material for anodes of Li-ion batteries. In this case, the dependence of the discharge capacity of the battery on the size of CuO particles was found during the first and second charge.

The optical properties of copper oxide nanoparticles also vary greatly as compared with massive CuO. In [4] the change in the width of the forbidden zone was investigated depending on the particle size. The article describes the red shift of indirect transitions and the blue shift of direct transitions with a decrease in the size of CuO particles. The red shift was associated with an increase in the density of defects for small parts, while the blue shift was explained on the basis of the quantum confinement effect.

Chemical properties also vary with size, including thermal stability. However, conflicting data are presented in the literature.

In [5], nanoparticles were studied for thermal stability in oxygen CuO with sizes 9, 12 and 15 nm. It was found that with decreasing size, the stability of copper (II) oxide actually decreases. However, even particles with 9 nm decayed to Cu₂O only at temperatures above 800° C.

The physicochemical characteristics of nanoparticles are reflected in their catalytic properties. Nanoscale CuO, due to its high ability to adsorb oxygen, was active in the oxidation of CO even at 70° C, emphasizing the low-temperature activity of the nanoparticles, since massive copper oxide does not interact with CO below 200 C. Low-temperature catalytic activity of nanoscale particles was also found in [6,7]. At the same time, often, such high activity is explained by the high value of specific surface. However, based on the literature data presented in the current section, it can be assumed that the electronic structure, adsorption properties, and structural characteristics of nano-sized and massive CuO particles differ significantly, which should lead to different in the nature of redox processes on their surface and in their volume. Thus, the differences in the catalytic properties cannot be explained within the framework of variation only of the specific surface. The properties of nanoparticles of copper oxide, including catalytic ones, are currently poorly understood, and the presented results are unsystematic and sometimes contradictory. At the same time, the nature of the high activity of nanoparticles in the low-temperature region still remains unclear.

1.1.2 Photocatalytic properties

Fe₂O₃, CuO, TiO₂, ZnO, MgO and CaO are the most studied and likely candidates for the role of photocatalysts, as well as SiO₂ and Al₂O₃, due to their unique photochemical properties and easy accessibility .These photocatalysts are active even when exposed to relatively soft light radiation, including visible light quanta (its spectral range is 370-700 nm) (table 1.1).

Table 1.1 - The width of the forbidden zone E_g and the red boundary λ_0 of its own absorption for typical semiconductor oxides and insulator oxides, which can serve as abiogenic photocatalysts as photobuds or photoadsorbents

Oxide	E_g , eV	λ_0 nm
Ni O	0.93	1340
Cu O	1.7	735
Fe ₂ O ₃	2.2	570
Ti O ₂	3.0	420
Zn o	3.2	390
Mg O	7.2	178
Si O ₂	8.6	145
Al ₂ O ₃	9.0	138

About copper oxide (II) is a suitable alternative to titanium dioxide nanoparticles, since it has relatively low cost, availability and ease of preparation. Compared with TiO₂ major advantage is that the CuO can absorb the entire visible region (bandgap of about 1.2 -1 7 eV), which region extends rabotos The ability of the material.

The photocatalytic properties are most pronounced for lamellar copper oxide nanoparticles. However, at present, expensive hydrothermal or electrochemical methods are used to obtain copper oxide nanoparticles of the indicated morphology. For this reason, there is a need to search for new economic and energy efficient technologies, to obtain photocatalytically active copper oxide nanoparticles and composites based on it.

In one study, the catalytic activity of the synthesized nanostructures was evaluated. CuO, by controlling sunlight, as a reagent, methylene blue (methylene blue). Experiments have shown that the rate photocatalytic decomposition of methylene blue is affected by the corresponding morphology, so for spherical, vesicular, lamellar and platelet-like morphologies, respectively, were found to be 72.57%, 93.48%, 49.71% and 95.71% according to kinetics of the first order. Different morphology led to different photocatalytic activity [8].

1.2 Methods for producing ultrafine particles

Today, there are quite a number of methods for producing copper oxide: the high temperature oxidation process, the electrical explosion of conductors,

electrolysis of Cu using alternating current of industrial frequency. One of the promising methods for the synthesis of nanodispersed materials is to obtain an electroerosive plasma in a high-speed pulsed jet. The method of plasmodynamic synthesis based on a pulsed high-current coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA), with the help of which it is possible to obtain nanodispersed CuO.

1.2.1 Electrical conductor blast.

An electrical explosion of a conductor in an inert atmosphere (nitrogen, argon, or xenon) is a dramatic change in the physical state of a metal as a result of an intense release of energy when a pulsed current of high density passes through it [9, 10]. At the explosion stage, the metal overheats above the melting point, with some of the wire material evaporating, and some of it scatter in the form of liquid droplets. From the first phase, due to the condensation process, very small particles are formed in the stream of rapidly expanding steam. Thus, the range of particle sizes is formed both by condensation (smaller particles) and dispersion (larger particles) [11]. The ratio of these components depends on the nature of the destruction of the conductor, which is determined by the process of introducing energy into the exploding conductor.

Ultrafine particles of metal oxides are obtained in an oxygen-containing medium.

Depending on the conditions of production, electric blasting powders contain 85-95 % of the target metal (the rest are mainly oxides and associated metal-containing impurities). Electroexplosive powders are stable during long-term storage in air, are reactive and interact with organic reagents much more efficiently than usual ones.

1.2.2 High-temperature oxidation process

It is known that, during the oxidation of copper, oxides of Cu_2O and CuO are formed, the ratio of which in the reaction products is determined by external conditions, the state and purity of the metal. Since these oxides differ significantly in structure, thermal stability, degree of nonstoichiometric composition, the mechanism of copper oxidation is rather complicated, the influence of the size factor on the regularities of the reaction flow has not been systematically studied [12]. The process

of high-temperature oxidation of compact copper at various oxygen partial pressures has been studied in detail enough [13, 14]. It is known that below a certain limiting value of the partial pressure of oxygen (~ 13.3 kPa [14]) during the oxidation of metallic copper, CuO does not form, the only reaction product is Cu_2O . Since P_{O_2} in air is 21, 28 kPa, the oxidation of copper in the air proceeds with the formation of an oxide film of complex composition. Density and continuity The scale layer is determined by the ratio of Cu_2O and CuO. According to Pilling and Bedworth [15], the CuO layer has a large passivating effect compared to Cu_2O , since it is more dense. In [1, 4], it was shown that the region of existence of CuO in air lies in the temperature range of $250 \dots 1000^\circ\text{C}$. With a decrease in P_{O_2} , this interval is narrowed. At $P_{\text{O}_2} < 0.133$ Pa and $t > 700^\circ\text{C}$, the total copper oxidation rate is rather low [14]. It is known that CuO oxide is formed during the subsequent oxidation of Cu_2O , and there is a certain critical thickness of the Cu_2O layer on the metal a surface, above which the formation of a CuO film is possible. The thickness of this film at $P_{\text{O}_2} = \text{const}$ is determined by the duration of the process and the temperature. In the atmosphere of air at $t < 150^\circ\text{C}$ CuO in the composition of the oxide layer on the copper surface is practically absent, its content passes through a maximum at $300 \dots 500^\circ\text{C}$ [1 3]. For the case of high-temperature oxidation of copper (at $\sim 1000^\circ\text{C}$) at $P_{\text{O}_2} \approx 100$ kPa, calculations according to the Vag theory, give the ratio of the thicknesses of Cu_2O : CuO layers equal to 2500. According to the data of [1, 4], at $t < 750^\circ\text{C}$ and P_{O_2} below the atmospheric mass, the mass fraction of CuO in the oxide layer does not exceed 4%; at elevated P_{O_2} , the CuO content can reach 10%; at $t > 800^\circ\text{C}$, the CuO content is practically independent of pressure.

1.2.3 Use of alternating current to obtain metal oxides

The study of the kinetic laws of the oxidation of metals and the composition of the operational characteristics of the products of electrolysis are investigated by electrochemical oxidation of metals using alternating current. [16, 17, 18].

Products variably - metal oxidation current characterized by a large specific surface area, highly porous structure, preferably formed by mesopores high heat resistance.

The use of alternating current makes it possible to obtain materials based on oxides of two metals as a result of the simultaneous electrochemical oxidation of different metals. This eliminates the contamination products oxides fracture "inert" electrodes, and also simplifies the recovery or disposal of electrolytes containing no metal salts.

In addition, the use of alternating current of industrial frequency for the production of metal oxides allows simplifying the instrumentation of the synthesis process due to the absence of an AC rectifier.

1.2.5 Plasma dynamic method

Plasmodynamic synthesis method has the significant advantage, in contrast to other methods and by - time of carrying.

This method of CuO synthesis is implemented in the system, the main components of which is a pulsed high-current high-voltage coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA) with copper electrodes, the circuitry of which is shown in Figure 1.1.

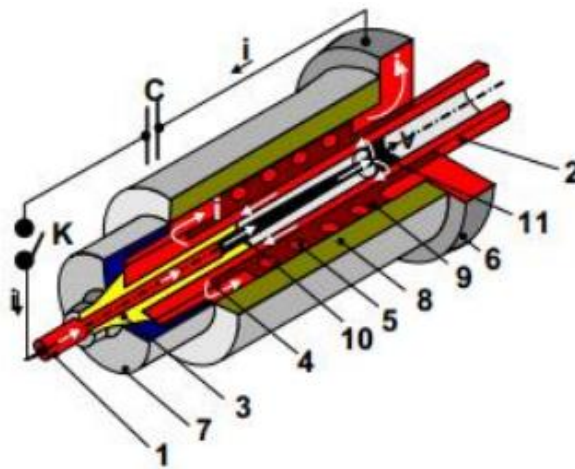


Figure 1.1 - CMPA design: 1 — central electrode, 2 — electrode – station, 3 — insulator of the central electrode, 4 — contact cylinder, 5 — solenoid, 6 — contact flange, 7 — yoke, 8 — housing, 9 — isolation, 10 –plasma bundle – Z- pinch, 11 - circular plasma bridge

The main structural elements are: an acceleration channel made of copper pipe; the central electrode, which is a metal stud with a copper insert. The principle of operation of this installation is as follows. When the key is closed, a self-breakdown

of the interelectrode gap occurs, an arc discharge with a circular plasma bridge is formed. Further, under the action of a magnetic field, the plasma structure is accelerated and pulled along the barrel, and material is being produced (precursor) from the surface of the copper accelerator channel - electroerosion. An accelerated plasma jet is ejected into the chamber — a reactor filled with air at a pressure of $P = 1.0$ atm. The power supply of the accelerator was carried out from a capacitive storage device at a charging voltage of $U_{zar} = 3.0$ kV and capacitance of capacitors $C = 19.2$ mF, which corresponds to the energy $W = 86$ kJ.

1.3 Copper oxide application

Copper (II) oxides are widely used as antibacterial products in various installations, for example, printed electronics, wood protection, high-speed transport, to impart biocidal properties to medical materials. Due to high capacity and environmental safety, CuO nanostructures were studied as a new class of anode materials for rechargeable lithium-ion batteries and as electrode materials for supercapacitors.

Possessing unique electrical properties and a high concentration of charge carriers with relatively low thermal radiation, they can also be used as an absorbing layer in solar batteries.

The crystal structure of CuO has a narrow band gap, giving useful photocatalytic or photoelectric properties. The natural content of copper in the earth's crust makes possible the large-scale production of a CuO photoelectrode.

Recent studies have shown that nanocrystals CuO are effective catalysts for the oxidation of carbon and nitrogen.

CuO is widely used in the manufacture of glasses and enamels in green and blue. In addition, copper oxide films have been widely used in electronics as sensing layers gas sensors for ammonia sensor NH_3 , NO_2 the nitrogen oxide and hydrogen sulfide H_2S .

In the field of energy saving, energy transfer fluids filled with nanoparticles CuO, can improve the viscosity of the liquid and increase the thermal conductivity.

1.3.1 The solar-powered

Copper oxides are also of interest due to their potential use in cell technology for solar cells. CuO is a direct-gap semiconductor, so it has a high optical absorption in the visible and near-infrared regions of the spectrum. Non-toxicity and the most economical coefficient of the production process could make copper oxide an alternative to silicon, which is mainly used for the production of solar cells. Consequently, thin films of copper oxides can be used to make solar cells and photodetectors [19].

The cost of producing solar cells can be significantly reduced by replacing expensive rare-earth metals with copper and zinc-based components that are common in nature.

1.3.2 Photoelectrochemical splitting of water

Photoelectrochemical splitting of water for the production of "solar" hydrogen is one of the main tasks for the production of carbon-free energy. However, there are no known semiconductor materials with a corresponding band gap, extreme positions of the bands, and water stability necessary for the splitting of solar water. Copper oxide is an attractive material due to its nontoxicity, the abundance of its constituent elements, and has a band gap of about 1.2-1.9 eV with strip edges dividing the reduction potential and oxidation of water. Synthesized Cu O is a p-type semiconductor due to acceptor states due to copper vacancies. Copper oxide can potentially act as an effective photocathode for hydrogen evolution. However, the position of the valence band is slightly below the oxygen release potential, and this will mean less driving force for oxygen release.

1.3.3 Gas Sensitive Elements

In recent years, research has been carried out in the development of materials that are used for sensors that control the composition of atmospheric air. Of particular interest is metal oxide films in gas sensors of the resistive type, where copper oxides have an advantage over other oxides. Such advantages are the low cost of materials, chemical resistance under gas conditions, as well as the ease of manufacture of such films. For the sensitive layer, gas sensors have a number of important parameters,

such as gas selectivity, sensitivity range width, response time, and electrical stability over time. The required parameters in copper oxide films are achieved by the selection of the technological cycle in the appropriate manufacturing method [20].

The gas sensitivity of CuO films obtained by the sol – gel method was studied in [21]. Preliminary results of gas testing showed that when applied as an electrode material for high-temperature electrochemical gas sensors based on a thermal barrier coating, the resulting sensor was not only sensitive, but also selective with respect to NO₂. Despite the long-term stability problems of such sensors, the sensor on the synthesized CuO, after three weeks of operation, maintained the preferred selectivity for NO₂.

1.3.4 In lithium batteries

Copper oxide was indicated as a suitable compound for cathodes in lithium batteries, and more recently as alternative materials for anodes in lithium-ion batteries. The lithium reaction with these materials cannot be classified as a classical intercalation reaction, since it contributes to the complete reorganization of the oxide structure. As a result of the reaction with lithium, the initial particles are split into smaller particles, and metallic copper agglomerates as metal inclusions in the system. In the process, Li₂O is formed. Surprisingly, the reactions are completely reversible, and the initial oxide can be partially reduced.

CuO nanoparticles of thin films were deposited by reactive sputtering at a constant current at low power, and the electrochemical behavior associated with lithium reactions was studied. Samples deposited on heated substrates were amorphous and showed the best behavior of the container. The achieved values demonstrate the potential use of these materials in lithium-ion microbatches [22].

Conclusion

In the course of the master's thesis, the preparation of a fine copper oxide powder by the plasmodynamic method was considered in detail.

X-ray structural analysis showed that in addition to the main phase, the product contains tin oxide SnO₂. Its presence is explained by the deposition of a nano-dispersed powder on glass coated with a conductive layer of this oxide for further investigation.

The images obtained from a scanning electron microscope indicate a fairly dense structure of the samples. In the pictures you can see the nanopowder of copper oxide of different sizes, this is due to non-equilibrium conditions when obtaining nanopowder. At the end of the experiment, plasma damping occurs and larger CuO particles are formed.

The study of the photocatalytic activity of the synthesized samples using the three-electrode cell method made it possible to determine the type of conductivity of the copper oxide nanopowder and to evaluate its photocatalytic activity under the action of light on it that is close in spectrum to solar radiation. The selected ultrafine copper oxide powder has the properties of a photocatalyst.

On the basis of all the studies conducted, it can be concluded that the samples obtained using the plasmodynamic synthesis method exhibit high photocatalytic activity under the action of UV and visible radiation and are promising for use in hydrogen energy technologies for producing hydrogen and oxygen during water photolysis.