

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Получение Au, Ag, Pt порошков методом электрического взрыва проводника

УДК 537.5:669.21/.23:621.762.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4TM72	Скобелев Егор Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник НПЛ ЧВ	Пустовалов Алексей Витальевич	кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделение социально- гуманитарных технологий	Кашук Ирина Владимировна	кандидат технических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код	Результат обучения
Общие по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»	
P1	Понимать и применять в профессиональной деятельности <i>основные принципы и методы</i> научно-технической деятельности, специфику научного мировоззрения, способы взаимодействия достижений науки и техники с другими областями духовной деятельности человека. Использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
P2	Использовать способы и принципы поиска, сбора, обработки научной и технической информации в развитии отрасли с использованием <i>современных информационных технологий</i> .
P3	<i>Применять иностранный язык</i> для академического и профессионального взаимодействия
P4	<i>Выполнять функции преподавателя</i> в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования
P5	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, реализовывать приоритеты собственной профессиональной деятельности.
P6	Использовать <i>углубленные теоретические и практические знания</i> , применять новые технологии для <i>решения инженерных задач</i> в области электроэнергетики и высоковольтной электротехники; понимать основные научные принципы проблем в своей предметной области.
P7	<i>Формулировать цели и задачи научных исследований</i> в соответствии с тенденциями и перспективами развития <i>высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областей науки и техники; Планировать, выполнять фундаментальные и прикладные работы поискового, теоретического и экспериментального характера; внедрять результаты исследований в производство; Уметь работать в научном коллективе в качестве члена команды, а также руководить командой.
P8	<i>Проектировать</i> конкурентоспособную наукоемкую продукцию в <i>сфере высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областях науки и техники; <i>Проводить технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; Применять на практике навыки и умения в <i>организации опытно-конструкторских работ</i> , использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
Профиль «Техника и физика высоких напряжений»	
P9	<i>Применять знания</i> физических и технологических основ генерирования высоких напряжений и сильных токов для <i>получения электрических и магнитных полей, электрических разрядов в диэлектриках</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.
P10	<i>Применять знания</i> физико-химических и технологических основ генерирования <i>мощных электронных, ионных пучков и потоков плазмы</i> для <i>модификации поверхности материалов, синтеза нанопорошков, обработки жидкостей и газов</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ72	Скобелев Егор Игоревич

Тема работы:

Получение Au, Ag, Pt порошков методом электрического взрыва проводника	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3829/с от 01.03.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2019 г.
--	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Проведение исследований ЭВП Au, Ag, Pt, и свойств получаемых частиц для подготовки исходного сырья при производстве припоев, катализаторов, в медицинской и ювелирной промышленности.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Применение нанопорошков 2. Методы получения нанопорошков. 3. Электрический взрыв проводника как метод получения металлических порошков. 4. ЭВП Au, Ag, Pt в среде He. 5. Исследование свойств порошков полученных в гелии. Дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность

	и ресурсосбережение», «Социальная ответственность».
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Разделы, выполненные на иностранном языке	Ажель Юлия Петровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Глава 2. Методика исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.01.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Скобелев Егор Игоревич		

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Уровень образования: магистр
 Отделение материаловедения
 Период выполнения 2018/2019 учебный год

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2019 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.01.2019	<i>Литературный обзор: области применения нанопорошков Au, Ag, Pt, методы получения нанопорошков и электрический взрыв проводника как метод получения металлических порошков.</i>	20
12.03.2019	<i>Расчетно-конструкторская часть: методика эксперимента</i>	20
29.04.2019	<i>Экспериментальная часть: ЭВП Au, Ag, Pt, исследование свойств порошков полученных в гелии.</i>	30
31.05.2019	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
31.05.2019	<i>Социальная ответственность</i>	10
31.05.2019	<i>Раздел, выполненный на иностранном языке</i>	10
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

СОСТАВИЛ:

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Младший научный сотрудник	Пустовалов Алексей Витальевич	кандидат технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	кандидат технических наук		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 108 страниц, 18 рисунков, 24 таблиц, 42 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВЗРЫВ ПРОВОДНИКА (ЭВП), НАНОПОРОШОК ЗОЛОТА, СЕРЕБРА, ПЛАТИНЫ, ДИСПЕРСНОСТЬ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ

Объектом исследования является нанопорошки золота, серебра и платины полученные методом электрического взрыва проводника в среде гелия.

Цель работы – исследовать процесс получения порошков Au, Ag, Pt металлов методом ЭВП, рассчитать энергетические характеристики взрыва, и определить физико-химические свойства, а именно морфологию, дисперсность, площадь удельной поверхности и фазовый состав получаемых нанопорошков

В ходе проделанной работы, методом электрического взрыва проводника, были получены порошки Au, Ag, Pt. Исследования показали что, при ЭВП данных проводников возможно получать металлически порошки с размером частиц от 10 до 160 нм. Установлен факт зависимости среднего размера получаемых частиц от температуры плавления металла. Исследования проводились по заказу ООО «Парфюмер» (г. Новосибирск) и ОАО «Красцветмет» (г. Красноярск).

Обозначения и сокращения

В настоящей работе использовались следующие сокращения:

ЭВП – электрический взрыв проводника;

НП – нанопорошок;

УДП – установка для получения нанопорошков методом электрического взрыва проводника;

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия.

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия;

Метод БЭТ – метод низкотемпературной адсорбции азота;

РФА – рентгенофазовый анализ;

e_c – энергия сублимации;

e/e_c – удельная энергия введенная в проводник;

e/e_d – удельная энергия дуговой стадии;

η – коэффициент передачи энергии от накопителя к проводнику.

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1. Методы получения нанопорошков.....	13
1.1. Механические методы	14
1.2. Химические методы.....	17
1.3. Физические методы.....	20
1.4. Электрический взрыв проводника.....	23
1.5. Применение нанопорошков	25
Глава 2. Методика исследования.....	28
2.1. Описание установки и параметров ЭВП	28
2.2. Процесс электрического взрыва проводника.....	30
2.3. Влияние газа на протекание процесса взрыва.....	32
2.4. Начальные параметры экспериментов.....	33
2.5. Расчет энергии вводимой в проводник и параметров контура	34
2.6. Анализ свойств порошков	36
2.6.1. Электронная микроскопия	37
2.6.2. Сканирующая электронная микроскопия.....	37
2.6.3. Измерение удельной поверхности.....	37
2.6.4. Рентгенофазовый анализ	38
Глава 3. Свойства нанопорошков Au, Ag, Pt полученных методом электрического взрыва проводника	39
3.1. Электрический взрыв Au проводника.....	39
3.2. Свойства полученного нанопорошка Au.....	41
3.3. Электрический взрыв Ag проводника и свойства полученного порошка	42

3.4. Электрический взрыв Pt проводника и свойства полученного порошка.	46
Вывод к главе.....	51
Глава 4. Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент.....	54
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	54
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	54
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений	56
4.1.3. SWOT – анализ	57
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	60
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	61
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	64
4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ	64
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	65
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	66
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	68
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	68
4.3.6 Накладные расходы.....	69
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	69
4.3.8 Оценка ресурсоэффективности проекта	70
Выводы по главе.....	71
Глава 5. Социальная ответственность.....	76
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
5.2 Производственная безопасность	78
5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды.....	79

5.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды.....	83
5.3 Экологическая безопасность.....	86
5.3.1 Защита атмосферы	87
5.3.2 Защита гидросферы.....	87
5.3.3 Защита литосферы.....	88
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
5.4 Заключение по разделу социальная ответственность	90
Заключение	92
Список используемых источников.....	93
Приложение А	98
CD-диск. Получение Au, Ag, Pt порошков методом электрического взрыва проводника	

Введение

Существенный рост качества продукции и улучшение производительности технологических процессов могут быть достигнуты с внедрением нанопорошков металлов и их различных соединений.

Перспективным методом получения нанопорошков является электрический взрыв проводника (ЭВП). Электрическим взрывом проводников называют явление взрывообразного разрушения металлического проводника при прохождении через него импульса тока очень большой плотности порядка $10^4 - 10^6$ А/мм² [1].

Метод электрического взрыва проводника, реализуемый на установке УДП, сконструированной в НПЛ «Чистая вода» ТПУ, позволяет получать нанопорошок высокого качества, экономичен с точки зрения энергозатрат, непрерывен, одностадийен, высокопроизводителен.

Нанопорошки драгоценных металлов Au, Ag, Pt обладают высокими электрическими, коррозионными и антибактериальными свойствами. В связи с этим нанопорошки драгоценных металлов находят широкое применение в электронике, медицине и ювелирной промышленности.

Получение нанопорошков драгоценных металлов и изучение их свойств является актуальной задачей, так как наблюдается востребованность в их применении.

Целью работы является исследование получения нанопорошков Au, Ag, Pt металлов методом ЭВП, расчет энергетические характеристики взрыва, и определение свойств морфология, дисперсность, площадь удельной поверхности и фазовый состав получаемых нанопорошков для подготовки исходного сырья в электронике, медицинской и ювелирной промышленности.

Согласно сформированной цели были поставлены следующие задачи:

1) Найти оптимальные режимы электрического взрыва для Au, Ag, Pt проводников.

2) Рассчитать энергетические характеристики режима ЭВП используемого при получении Au, Ag, Pt нанопорошков.

3) Исследовать морфологию, фазовый состав, дисперсность и площадь удельной поверхности полученных Au, Ag, Pt нанопорошков.

Глава 1. Методы получения нанопорошков

К настоящему времени для получения различных нанопорошков изобретено достаточно много различных методик. Их можно разделить по признаку изменения размеров частиц: методы, базирующиеся на измельчении исходного сырья и методы, в которых порошки образуются путем укрупнения частиц [2]. К первой группе относят методы распыления расплавов и механическое измельчение. Ко второй группе относятся: испарение с последующей конденсацией, плазмохимический синтез, химическое диспергирование, электроосаждение.

Наиболее объективной представляется классификация методов получения нанопорошков, в основе которых лежит природа процесса синтеза. При таком подходе методы получения ультрадисперсных материалов разделяют на механические, физические, химические [2-6].

В основу механических методов можно отнести воздействие больших деформирующих нагрузок, таких как прессования, давления, вибрации, трения и различные кавитационные процессы. Среди механических методов выделяются: механическое измельчение, центробежное распыление и электрогидродинамическое распыление расплавов.

К химическим относятся методы, основным диспергирующим этапом которых являются электролиз, термическое разложение или восстановление. Среди химических методов выделяют: химический синтез, плазмохимический синтез, электрохимическое окисление металлов, механохимический синтез, химическое восстановление, фотохимическое восстановление и пиролиз.

Физические методы получения порошков основываются на физических превращениях: конденсации, возгонке, испарении, резком нагреве или охлаждении. К физическим методам относятся такие, электродуговой нагрев, испарение твердого вещества пучком электронов и электрический взрыв проводника [1-6].

Исследования показали, что дисперсность, морфология и физико-химические свойства металлических наночастиц сильно зависят от условий получения. Следовательно, изучение методов получения нанопорошков при которых возможно контролировать размер, морфологию, и стабильность свойств нанопорошков является приоритетным направлением.

1.1. Механические методы

Центробежное распыление.

Представленный метод основан на центробежном растекании жидкости при попадании ее в центр вращающейся чаши. При достаточно высоких скоростях вращения чаши полученная пленка жидкого металла может быть весьма тонкой. При достижении края чаши происходит отрыв слоя жидкости в виде пленки. Исследования этого метода показали, что центробежное распыление характеризуется большой однородностью частиц порошка по размерам. Диаметр образующейся таким путем капли жидкого металла определяется скоростью вращения диска, например для получения порошка меди с частицами 1 мкм диск должен вращаться с частотой 24000 об/мин [7]. Производительность при вышеуказанных условиях составляет несколько килограмм в час. Ниже на рисунке 1.1 приведена часть схемы установки для центробежного распыления жидкого металла.

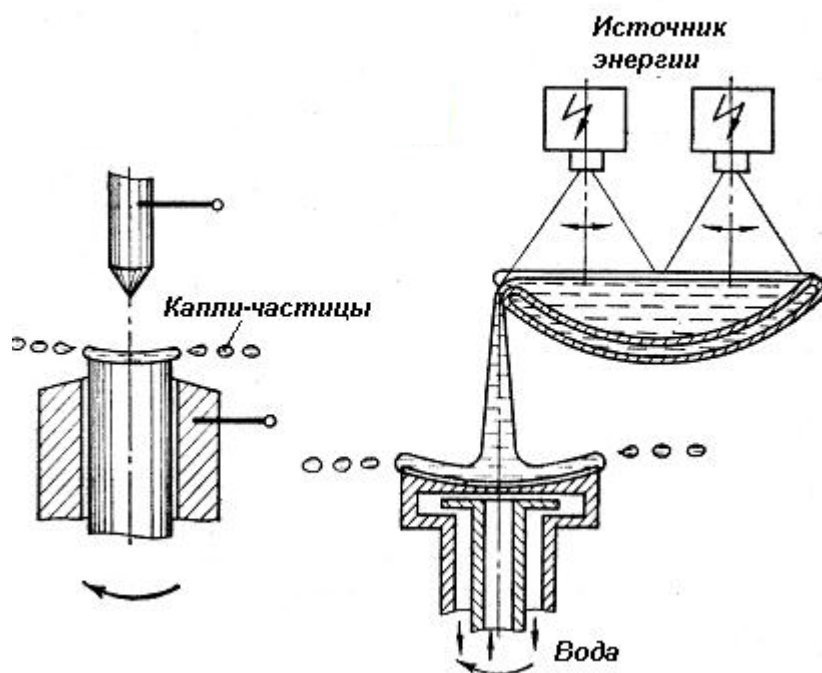


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема процесса центробежного распыления.

Технологии центробежной атомизации предполагает распыление расплава при попадании его на быстро вращающийся диск, либо с быстровращающейся цилиндрической заготовки, торец которой оплавливают посредством плазменной струи. Отмеченные недостатки центробежного распыления – это большие энергозатраты, высокая стоимость оборудования, сложность в эксплуатации, их применение становится рентабельно при изготовлении сложных, например, жаропрочных порошков.

Электрогидродинамическое распыление расплава.

В этом методе для распыления расплава используются электростатические силы. На рисунке 1.2 представлена принципиальная схема электрогидродинамического распыления расплава.

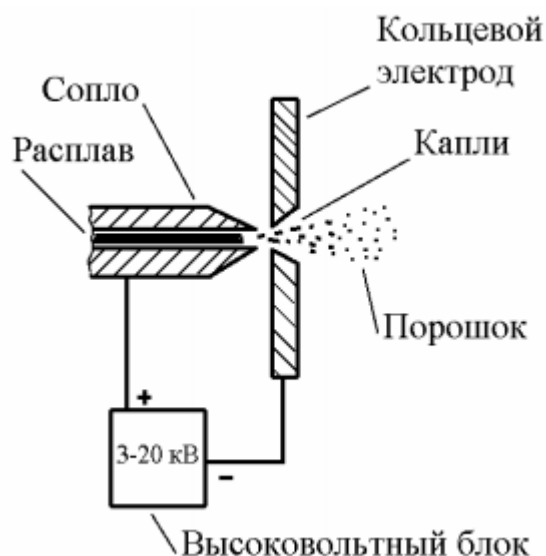


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема процесса электрогидродинамического распыления расплава.

Струя расплава подается в сопло с диаметром отверстия порядка 80 мкм, перед которым расположен кольцевой электрод. К нему прикладывается постоянное напряжение 3-20 кВ. В результате из сопла вылетают положительно заряженные мелкие капли расплава, образующие после охлаждения частицы порошка. Размер частиц в зависимости от материала и технологических параметров может составлять 100 нм – 10 мкм [8]. Недостатком этого метода является очень низкая производительность (2 г/ч с одного сопла).

Механическое измельчение.

Средние размеры частиц НП, получаемых механическим измельчением, составляют от 2 до 200 нм. Однако для всех типов агрегатов, в которых происходит механическое измельчение, существенной проблемой является загрязнение конечных продуктов примесями вследствие намола материала мелющих тел или поверхности аппаратов.

Одним из типичных примеров технологий является измельчение в дезинтеграторах, мельницах, атриторах, а также в других диспергирующих установках. Происходит это за счет раскалывания, раздавливания, истирания, распиливания, разрезания, удара или в совокупности комбинации этих действий [7]. Способ, обеспечивающий приемлемую производительность

(порядка нескольких килограммов в час) измельчение, впрочем, не приводит к получению очень мелких порошков, так как существует некоторые пределы измельчения, отвечающий достижению своеобразного равновесия между процессом агломерацией частиц и их разрушения.

1.2. Химические методы

Химический синтез.

Фотохимические и термические разложение соединений металлов и восстановление в растворе в присутствии стабилизаторов являются ведущими химическими способами получения нанопорошков металлов. Форму и размер (от нескольких ангстрем до нескольких микрон) частиц можно регулировать в широких пределах, варьируя только условия процесса, методы стабилизации и природу восстановителя, то есть, следовательно, и целенаправленно изменять их свойства. Частицы округленной формы для меди (100 – 200) нм получают при разложении солей металлов, а порошки в виде губки с размерами частиц (50 – 100) и (35 – 80) нм соответственно для никеля и кобальта [9]. В большинстве случаев термическое разложение металлоорганических соединений не дает возможность получения чистых нанопорошков металлов (в них присутствуют карбиды, оксиды, а также в ряде случаев еще и углерод в виде сажи).

Плазмохимический синтез.

Одним из хорошо освоенных методов получения нанопорошков является переконденсация металлов и их соединений или же синтез с использованием плазмы высокой или низкой температуры. Относительно процесс подразделяется на соответствующие стадии: подготовка начального сырья с частицами размером несколько микрометров, равномерная подача начального сырья, генерацией плазменной струи, плазмохимическим синтезом, а также улавливанием полезного продукта. К настоящему времени изобретены методы получения нанопорошков многочисленных керамических соединений (силицидов, карбидов, оксидов, а также нитридов), и их взаимных сложных

соединений и растворов (ферритов, шпинелей и карбонитридов) композиций различных соединений, в том числе и тугоплавких металлов кобальта, молибдена, тантала и вольфрама. Производительность данного способа достигает примерно (3 – 5) кг/час [7].

Частицы, синтезируемые плазмохимическим методом, монокристаллические (однородные) и имеют размеры от 10 до 100-200 нм [10]. Благодаря внедрению этой технологии получения порошков удалось обеспечить высокую скорость конденсации и образования нужных частиц с высокой производительностью.

Наличие высокой температуры в процессе синтеза позволяет изменять агрегатное состояние практически всех исходных продуктов до газообразной фазы с последующей обработкой, которая включает несколько стадий.

Процесс плазмохимического синтеза в электродуговом разряде осуществляется в результате испарения металла и последующего окисления частиц в кислородсодержащей плазме. Для образования ультрадисперсных порошков оксида алюминия с размером частиц 10-30 нм достаточно создать процесс взаимодействия паров металлов с кислородом воздуха при резком снижении температуры. Стремительное охлаждение позволяет не только затормозить рост частиц, но и повысить скорость образования частиц конденсированной фазы.

Электрохимическое окисление металлов.

Электрохимический способ в настоящее время является многообещающим направлением синтеза нанопорошков оксидов металлов получивших развитие. Возможность получения довольно чистых оксидов и гидроксидов является основным преимуществом данного способа. Регулировка электрических параметров процесса электролиза позволяет формировать порошки с заданной дисперсностью. Собственно, что еще больше увеличивает его практическое значение.

Получить металл или же оксид в виде порошка или же измельченной губки удастся, как правило, при надлежащих критериях пропускания электрического тока на катоде электролитной ванны [9].

Управлять характеристиками пористой структуры продуктов и синтезировать нанодисперсные материалы с заданными свойствами (удельной площадью поверхности, суммарным объемом пор, а также дисперсностью) можно изменяя условия: температуру обработки и электролиза.

Оксиды металлов с относительно условным диаметром первичных частиц в нанометровом диапазоне на переменном токе позволяет получать электрохимический синтез оксидов металлов. Продукты электролиза никеля, титана и алюминия имеют гидратированный характер, относительно условный диаметр частиц составляет около (5 – 9) нм. Первичные частички образуют скопления, не имеющих конкретно определенной формы, количество частиц в агрегатах достигает (2000–3200). Высушенные продукты электрохимического окисления никеля, титана, алюминия, а также молибдена представляют собой аморфные порошки, а продукты цинка и кадмия кристаллические соединения гидратированного характера. Смесями оксидов различной степени окисления являются продуктами окисления олова, меди, свинца и железа. Высокой удельной площадью поверхности (для $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ более 500 м²/г) и преимущественным размером пор в диапазоне от 7 до 22 нм (мезо поры) обладают синтезированные оксиды металлов. Для продуктов электролиза цинка, титана и алюминия наблюдается довольно незначительное уменьшение удельной площади поверхности при прогреве температуры в промежутке (110 – 800) °С. Все продукты представляют собой оксиды при температуре свыше 500 °С.

Механохимический синтез.

В практике получения наноматериалов установки по получению нанопорошков механическим методом, нередко применяются для операций механохимического синтеза, когда высокоэнергетическое диспергирование в

совокупности с образованием сплавов и различных соединений в результате химических реакций [11]. Последние протекают либо за счет взаимодействий исходных порошков, либо в результате насыщения из газовой фазы, а также при различных смешанных вариантах. Методом механохимического синтеза получены ультрадисперсные порошки тугоплавких соединений (ZrN , TiB_2 , TiN , TiC , NbC и др.) и композиционных составов на подобии $Al_2O_3 + Fe \cdot (Cr, Ni)$, упоминается также о получении перенасыщенных твердых смесей в системах $Fe - Ni$, $Fe - Cu$, $Fe - Al$, $Fe - Ti$, $Ni - Al$, $W - Cu$ и др.

1.3. Физические методы

В настоящее время обширно распространены физические способы получения нанопорошков и используются гораздо чаще, чем механические, несмотря на значительную сложность в аппаратном оформлении.

К физическим методам в основном относят разнообразные методы испарения - конденсации, которые базируются на получении нанопорошков с использованием нагрева и испарении исходного вещества с последующей быстрой конденсацией. При этом конденсация происходит настолько быстро, что образовавшиеся частицы не успевают преобразоваться до крупных размеров [9]. Нагревание испаряемого сырья может реализовываться различными методами: резистивными, лазерными, плазменными, индукционными, ионными, электрической дугой и др. Процесс испарения-конденсации, можно осуществлять в вакуумной среде, а также в восстановительной и нейтральной средах. От давления системы, скорости испарения и конденсации, а также от вида атмосферы, в которой происходит процесс, существенно зависят свойства конечного продукта.

Применение электронного пучка для производства нанопорошков.

Различают два метода получения нанопорошков с использованием электронного пучка. В первом случае пучком воздействуют на испаряемое

исходное вещество с последующей конденсацией образовавшихся паров. Во втором происходит воздействие пучка на газофазные среды.

Испарение твердого вещества пучком электронов.

В данном методе, для испарения исходного твердого вещества, с последующей конденсацией паров в виде нанопорошка используется мощный концентрированный пучок электронов. Причем испарение происходит при атмосферном давлении. Пучок генерируется ускорителем электронов энергией электронов 1.4 МэВ и мощностью до 100 кВт. Плотность мощности на поверхности материала может достигать 100 кВт/см. Ускоренный пучок электронов через систему дифференциальной вакуумной откачки, состоящей из трех ступеней, выводится из высокого вакуума в среду с атмосферным давлением. В теплоту превращается основная доля кинетической энергии пучка бомбардирующих электронов, разогревающую вещество в области падения на него “пучка на глубине проникновения”.

Производительность при номинальной мощности ускорителя 100 кВт достигает 20 кг/ч и зависит от рода материала. Порошки, полученные электроннолучевым способом, имеют сферическую форму со средним размером образующихся частиц от 30 до 200 нм, зависящие от природы исходного сырья.

Установки и печи электродугового нагрева.

Для получения нанопорошка токопроводящих материалов используются установки и печи электродугового нагрева, при помощи электрической дуги в высоком вакууме, а также в разных реакционных средах. Предлагается два вида дуговых испарителей: импульсный сильноточный дуговой испаритель с холодным катодом для получения порошка тугоплавких металлов и дуговой испаритель постоянного тока с горячим катодом и анодом для получения порошка легкоплавких металлов [7]. Для получения нанопорошка химических

соединений с неметаллами предусмотрена система напуска газа, позволяющая проводить плазмохимические реакции и варьировать размеры частиц получаемого порошка, кроме того его стехиометрический состав.

Принципиальная схема установки для газового распыления металлических порошков с использованием индукционной печи, приведена на рисунке 1.3. Она включает в себя охлаждаемую систему механической подачи исходной заготовки металла или сплава, как правило – цилиндрической формы диаметром 10–50 мм и длиной до 1 м. Ниже находится зона индукционной печи, обеспечивающей расплавление материала до состояния капельного падения. Ниже зоны плавления находится сопло, распыляющее металл мощным потоком инертного газа.

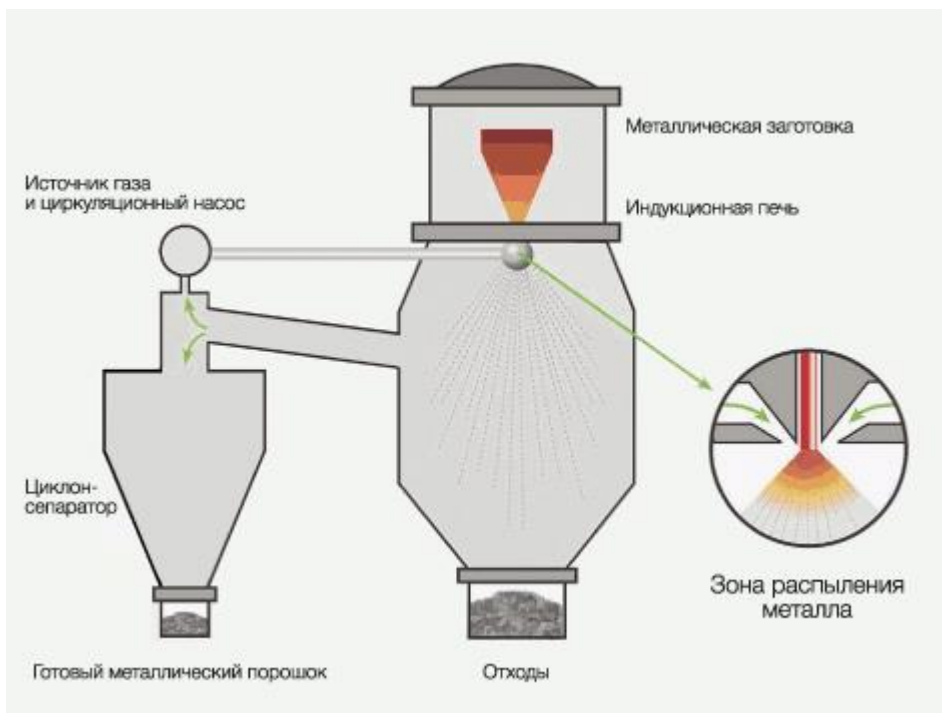


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема установки для газового распыления металлических порошков

Крупные частицы металла сразу осаждаются вниз, в первую зону сбора отходов. Более мелкие – выносятся газовым потоком в циклон-сепаратор, отделяющий нужную фракцию с типовым размером в диапазоне 5–100 мкм.

1.4. Электрический взрыв проводника

Электрическим взрывом проводника называют явление взрывообразного разрушения и расплавления металлического проводника при прохождении через него импульса тока очень большой плотности порядка $10^4 - 10^6$ А/мм² [1]. Под действием импульса тока проволока разрушается на мельчайшие частички и пар. Продукты взрыва и разрушения при разлете с большой скоростью быстро охлаждаются, образуя нанопорошок. Особый интерес к нанопорошкам связан в основном с их применением в качестве исходного сырья при производстве керамических, магнитных и композиционных материалов, фильтрующих материалов сверхпроводников, солнечных батарей, присадок к смазочным материалам, компонентов низкотемпературных высокопрочных припоев и других материалах.

По своей природе ЭВП как метод получения нанопорошков сочетает в себе признаки диспергационных методов - проводник разрушается под действием электрического тока, и методов испарения-конденсации - значительная часть материала проводника в процессе электровзрыва переходит в газообразное состояние. Причем доля металла, перешедшего в пар, зависит от величины, введенной в проводник энергии. ЭВП как метод диспергирования металлов характеризуется следующими особенностями [1]:

- 1) время взрыва составляет 10^{-10} с;
- 2) величина развиваемой мощности превышает 10^{13} Вт/кг;
- 3) температура в момент взрыва может достигать значения 10^4 К и выше, давление – 10^9 Па;
- 4) скорость разлета продуктов составляет от 1 до 5 км/с;
- 5) одной из важнейших характеристик ЭВП является введенная в проводник энергия;

6) частицы формируются как за счет конденсации паровой фазы, так и за счет диспергирования жидкого металла;

7) увеличение вводимой в проводник энергии приводит к возрастанию доли металла, перешедшего в парообразное состояние, но получение чисто паровой фазы считается невозможным.

Основными достоинствами электровзрывной технологии по сравнению с другими методами получения нанопорошков металлов и оксидов металлов являются:

1) Возможность получения частиц металлов с высокой физико-химической активностью, которую невозможно обеспечить другими технологиями.

2) Преимущественное получение частиц сферической формы в узком интервале распределения частиц, что обеспечивает их высокую химическую активность.

3) Низкие энергозатраты, в сравнении с другими методами производства сферических наночастиц металлов. Это связано с тем, что в ЭВП технологии энергия вводится в металл импульсно и объёмно, а не с поверхности, что снижает затраты энергии на нагрев окружающей среды.

4) Возможность плавного управления параметрами процесса взрыва и соответственно возможность регулирования свойствами получаемых порошков.

5) Возможность получение широкой гаммы нанопорошков любых металлов и сплавов, которые выпускаются или могут быть изготовлены в виде проволоки. В некоторых случаях можно взрывать и струи расплавленного металла.

6) Отсутствие вредных выбросов.

Достоинством электровзрывной технологии является ее универсальность – возможность получения нанопорошков металлов, сплавов, интерметаллидов и химических соединений с неметаллами на одном и том же оборудовании. Максимальный выход порошков по алюминию составляет 50 г/ч, по вольфраму – до 300 г/ч при производстве на одной установке [1].

Характерными особенностями нанопорошков, полученных ЭВП - технологией, являются:

- 1) сравнительно небольшой, по сравнению с другими физическими методами, разброс частиц по размерам;
- 2) относительная стабильность свойств нанопорошков в нормальных условиях и высокая активность в различных химических процессах;
- 3) низкие температуры спекания наночастиц

1.5. Применение нанопорошков

На сегодняшний день всё более важное значение приобретают изделия из порошков металлов промышленного назначения. Потребность и сферы применения такой продукции расширяются. Потребителями изделий из серебра для промышленного применения являются: предприятия химической и нефти-химической промышленности, производители катализаторов нефтехимии, производители аккумуляторов, производители зеркал, красителей, светочувствительных эмульсий, проводящих красок и клеев, токопроводящие производства, производители медицинского оборудования, предприятия авиационной и военной промышленности, производители ювелирных изделий.

При изготовлении *электрических контактов* для низковольтной аппаратуры использование нанопорошков обеспечивает электрокоррозионную стойкость, низкую склонность к свариванию, малую величину контактного сопротивления, существенно упрощает технологию изготовления, уменьшает

содержание серебра в конечном изделии, повышает экологические показатели при изготовлении и эксплуатации.

Перспективно использование наноматериалов для создания защитных, декоративных и износостойких *поверхностных* покрытий. Уже разработаны технологии получения мелкодисперсных покрытий из Pd, Ir, Rh, Co, Ni, Ag, Си на керамических, кварцевых, металлических, пластмассовых, композиционных изделиях с формой любой сложности. Покрытия из наноматериалов более плотные и коррозионностойкие, однородны по толщине, сохраняются на деталях сложного профиля, лучше паяются по сравнению с гальваническими или полученными вакуумным напылением покрытиями.

Медицина и косметология являются одними из наиболее емких перспективных потребителей нанопорошков в мире. Российские фармацевтические и косметические компании не применяют нанопорошки в производстве. Исключение составляют единичные крупные компании, в основном холдинги. Позиционирование данных отраслей как потребителей нанопорошков основывается исключительно на прогнозе внедрения нанотехнологий, связанных с перспективными научно-исследовательскими работками, среди которых выделяются:

- применение нанопорошков серебра в качестве дезинфицирующих средств;
- лечение рака посредством нанопорошка никеля и железа;
- производство биоцидных материалов;
- создание тест-систем генодиагностики заболеваний человека;
- биопротезирование;
- маркеры ДНК.

Катализаторы. Увеличение площади поверхности катализатора всегда являлось актуальной задачей химической технологии для процессов гетерогенного катализа. Химическая модификация поверхности наночастиц позволяет управлять их каталитической активностью. Кроме того,

каталитические свойства частиц зависят от их размера. Например, золото в микрокристаллическом состоянии не обладает сколько-нибудь заметной каталитической активностью, в то время как нанокристаллы золота и платины могут применяться как катализатор во множестве процессов органического синтеза.

Порошки драгоценные металлы применяются в технологиях *3D-печати* ювелирных и медицинских изделий, а также при производстве электроники. Применение наноразмерных частиц в сравнении с микроразмерным оптимизирует расход исходного сырья и улучшает качество изготавливаемой продукции.

Таким образом, порошки драгоценных металлов, в частности платины, золота, серебра, возможно, могут быть использованы в большом количестве различных направлений современной техники и технологии. Однако публикации, по известным возможным методам получения таких нанопорошков в литературе встречается относительно мало. Тем более публикации о получении порошков методом ЭВП. Исследование, направленное на получение «первичных» данных о процессе ЭВП драг металлов и свойствах полученных нанопорошков является актуальным.

Глава 2. Методика исследования

2.1. Описание установки и параметров ЭВП

Получение нанопорошков Au, Ag, Pt производилось на установке для получения нанопорошков схема которой приведена на рисунке 2.1.

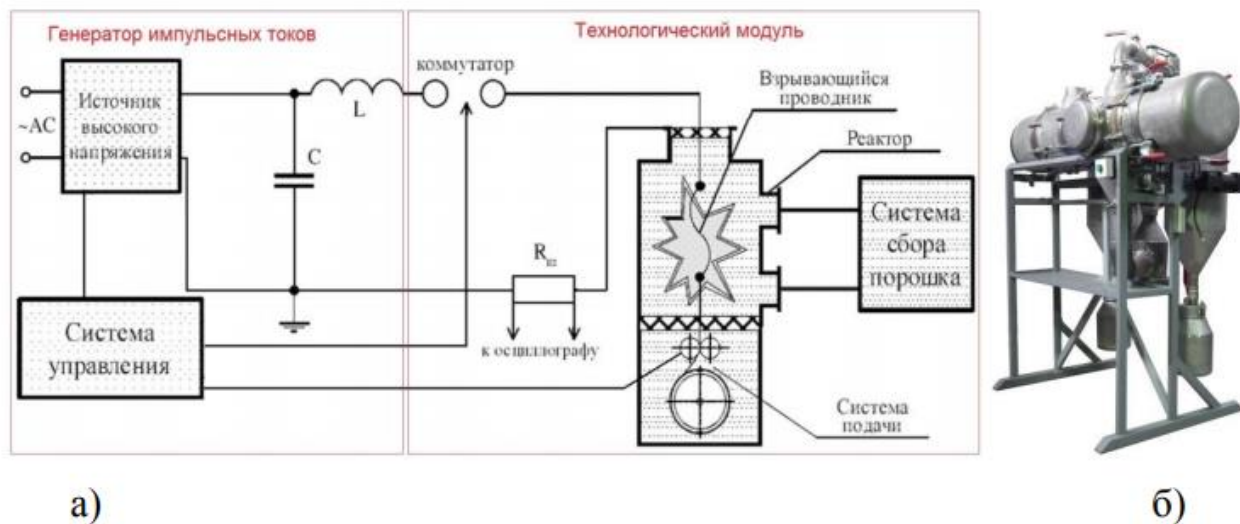


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема установки для осуществления ЭВП

а) схема установки; б) технологический модуль

Элементы установки собраны из двух основных блоков: генератор импульсных токов и технологического модуля, где и происходит сам процесс взрыва проводника.

Заряд конденсаторных батарей происходит от высоковольтного источника питания. Система подачи проводника обеспечивает автоматическую непрерывную установку взрываемого отрезка проводника между двумя электродами. Как только отрезок проводника занимает нужное расположение и достигает высоковольтного электрода, срабатывает коммутатор, происходит разряд накопителя на этот отрезок проводника, и происходит процесс взрыва проводника. Нанопорошок полученный в результате взрыва вместе с газовой атмосферой установки, транспортируется системой циркуляции, в фильтр-накопитель, где происходит пассивация и откуда порошок идет на дальнейшую переработку.

Перед началом работы, внутренний объем установки: взрывная камера, механизм подачи, система циркуляции, фильтр-накопитель порошка, трубопроводы вакуумируются и в дальнейшем заполняется необходимой газовой средой. Данные функции выполняет система газоснабжения.

В качестве газовой среды чаще всего используют инертные газы, такие как аргон и гелий. Реже используют водород, азот или смеси газов.

Процесс электрического взрыва протекает следующим образом. Через отрезок металлической проволоки проходит импульс тока высокой плотности, действие которого приводит к разрушению проводника проволока на очень мелкие частицы и пары расплавленного металла. Продукты взрыва, разлетаясь по объёму камеры, быстро охлаждаются и конденсируются, образуя нанопорошок. От рода атмосферы окружающей область взрыва проводника, в которой происходит процесс получения можно получать нанопорошки чистых металлов, оксидов, сплавов, химических соединений и композиционных материалов. При этом, композиционными являются отдельные частицы.

Дисперсность и размер нанопорошка, морфология, структура частиц и многие другие свойства определяются главным образом параметрами разрядного контура, используемым начальным материалом и геометрическими размерами проводников, и свойствами газовой атмосферы, в которой происходит процесс получения нанопорошков. Процесс получения нанопорошков методом электрического взрыва происходит в замкнутом объеме, без использования вредных химических веществ, что исключает выброс вредных веществ в атмосферу.

Параметры генератора и взрываемого проводника устанавливаются в следующих диапазонах:

- длина взрываемых проводников: $l = 50-150$ мм;
- диаметр взрываемых проводников: $d = 0,25-0,35$ мм;
- емкость конденсаторных батарей: $C = 1-3$ мкФ;
- зарядное напряжение: $U = 15-30$ кВ;

- индуктивность разрядного контура: $L = 0,6-0,8$ мкГн;
- давление газа внутри установки: $P = 0,5-5$ Атм.;
- газовая среда: воздух, Ar, He.

2.2. Процесс электрического взрыва проводника

Согласно источнику [1] электрический взрыв проводника описывается с помощью схемы LC-контура, представленной на рисунке 2.2 (а). В которой емкостной накопитель энергии C заряжается от источника высокого напряжения до зарядного напряжения U_0 и с помощью разрядника P коммутируется на взрываемый проводник. На рисунке 2.2 (б) представлены осциллограммы токов и напряжения, которые описывают процесс ЭВП.

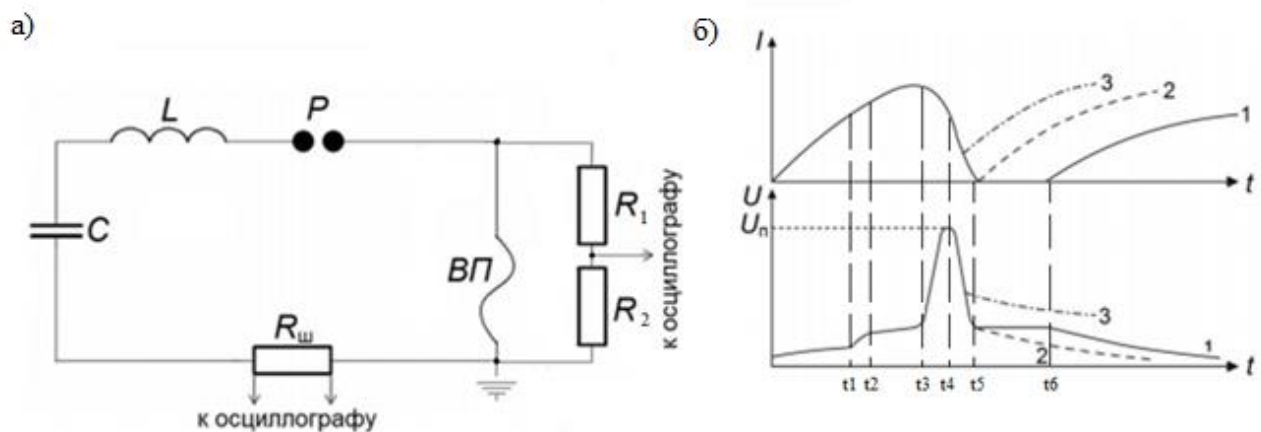


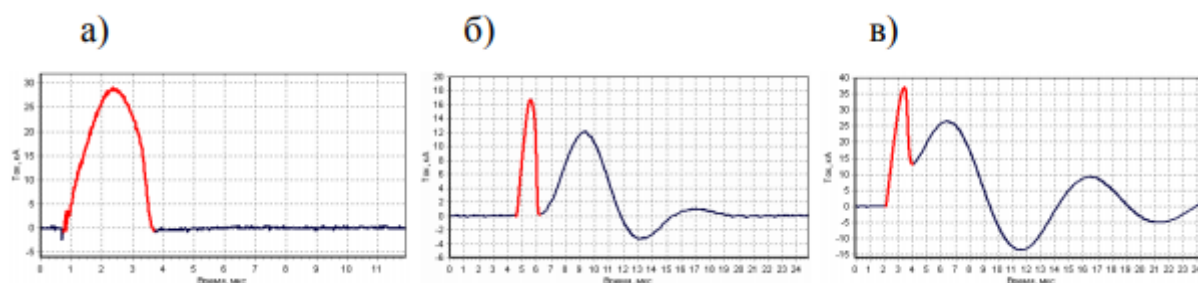
Рисунок 2.2 – а) LC-контур б) Осциллограммы тока и напряжения ЭВП

C – ёмкость конденсаторной батареи; L – индуктивность контура; P – коммутатор; ВП – взрываемый проводник; R_1, R_2 – делитель напряжения; $R_{ш}$ – токовый шунт; 1- режим с паузой тока; 2 – критический режим; 3 – режим без паузы тока

Процесс ЭВП в инертном газе проходит следующим образом. При замыкании цепи разрядником P , по проводнику проходит импульса тока, который нагревает проводник в твердом агрегатном состоянии ($0 - t_1$), в промежутке ($t_1 - t_2$) происходит плавление, после чего проволока нагревается в

жидком агрегатном состоянии ($t_2 - t_3$). В момент времени t_3 (начальная точка электрического взрыва) начинаются процессы разрушения и расширения, сопротивление нагрузки стремительно возрастает, тем самым уменьшается ток и формируется импульс перенапряжения, амплитуда которого превышает зарядное напряжение в 2-3 раза, фиксируется интенсивное увеличение радиуса проводника. В момент времени t_4 процесс завершается взрывообразным разрушением. В интервале ($t_4 - t_5$) происходит расширение продуктов взрыва. Если остаточного напряжения на батарее конденсаторов достаточно для инициирования пробоя, возможно развитие дуговой стадии разряда по продуктам взрыва как с паузой тока ($t_5 - t_6$), так и без паузы тока. Режим ЭВП, при котором дуговая стадия разряда отсутствует, получил название согласованного взрыва.

В зависимости от условий проводимого эксперимента взрыв можно осуществлять в согласованном, критическом и в режиме без паузы тока, которые приведены на рисунок 2.3 [12].



а) в согласованном режиме; б) в критическом режиме; в) в режиме без паузы тока

Рисунок 2.3 – Осциллограммы тока ЭВП

В согласованном режиме проводник потребляет всю энергию, запасенную в накопителе, дуговая стадия отсутствует. Сохраняя остальные условия эксперимента, лишь уменьшение длины проводника, приводит к снижению уровня энергии, потребляемой проводником при взрыве, но появляется остаточная энергия в накопителе, увеличивая при этом удельную энергию в целом. Данная энергия выделяется в дуговой стадии при пробое

расширяющихся продуктов взрыва – ЭВП в режиме с паузой тока. От скорости уменьшения электрической прочности продуктов ЭВП, длины разрядного промежутка, а также уровнем остаточного напряжения накопителя после ЭВП зависит величина промежутка времени, при котором наблюдается пауза тока.

Уменьшение длины взрываемой проволоочки приводит к уменьшению длительности времени паузы тока вплотную до нуля и к переходу в критический режим ЭВП. Далее уменьшая длину проводника, переходим в режим без паузы тока, при этом дуговая стадия разряда возникает до отключения тока.

2.3. Влияние газа на протекание процесса взрыва

Продукты электрического взрыва проводника имеют свойства газа с высокой электрической прочностью. В случае осуществления ЭВП в режиме с паузой тока пробой расширяющихся продуктов осуществляется напряжением, оставшемся на конденсаторе после ЭВП. При этом дуговой разряд протекает в расширяющихся продуктах взрыва. Увеличение давления среды приводит к увеличению ее плотности, что, в свою очередь, замедляет расширение продуктов ЭВП и приводит к задержке развития дугового разряда и увеличению времени паузы тока.

При осуществлении ЭВП в режиме без паузы тока дуговой разряд развивается в среде, окружающей плотные продукты взрыва. В некоторых условиях пробивное напряжение среды оказывается настолько малым, что из-за его раннего пробоя проводник остается целым, наблюдается шунтирование проводника средой [13]. Большинство уравнений позволяющих произвести расчет ЭВП справедливы, для опытов проводимы в воздухе и аргоне [14].

В свою очередь, авторами работы [15] показано, что энергия, вводимая в проводник при взрыве, а также режим ЭВП определяется не плотностью окружающего газа, но и его электрической прочностью. Увеличение

электрической прочности газовой среды приводит к отсрочке момента зажигания дуговой стадии разряда и росту энергии, вводимой в проводник.

2.4. Начальные параметры экспериментов

Начальные параметры экспериментов, при которых осуществляли ЭВП драгоценных металлов следующие:

Электрический взрыв Au нанопорошков осуществлялся в среде гелия при 3,5 атм. В качестве сырья использовали золотую проволоку марки Зл-99,99 массой 50г. Для обеспечения высокого уровня вводимой энергии в проводник, работали в режиме без паузы тока.

Основные параметры эксперимента:

- Зарядное напряжение конденсаторов – 26 кВ;
- Суммарная емкость конденсаторов 1,46 мкф;
- Длина взрываемого проводника 75 мм.
- Диаметр взрываемого проводника – 0,25 мм;

Электрический взрыв Ag нанопорошков осуществлялся в среде гелия при 2,5 атм. В качестве сырья использовали проволоку изготовленную из серебряного слитка 999 пробы массой 25г. Для обеспечения наибольшего уровня вводимой энергии в проводник, работали в режиме без паузы тока.

Основные параметры эксперимента:

- Зарядное напряжение конденсаторов – 31 кВ;
- Суммарная емкость конденсаторов 1,2 мкф;
- Длина взрываемого проводника 134 мм.
- Диаметр взрываемого проводника – 0,25 мм;

Электрический взрыв Pt нанопорошков осуществлялся в среде гелия при 4 атм. В качестве сырья использовали проволоку, состоящую из сплава PtPdCuZn, массой 50г. Для обеспечения наибольшего уровня вводимой энергии в проводник, работали в режиме без паузы тока.

Основные параметры эксперимента:

- Зарядное напряжение конденсаторов – 26 кВ;

- Суммарная емкость конденсаторов 1,46 мкф;
- Длина взрываемого проводника 60 мм.
- Диаметр взрываемого проводника – 0,25 мм;

Нанопорошки получали в непрерывном режиме. Масса каждого наработанного образца в одном проводимом опыте составляла 50 грамм для Au и Pt, и 25 грамм для Ag.

2.5. Расчет энергии вводимой в проводник и параметров контура

В процессе работы установки, с помощью токового шунта и осциллографа Tektronix TDS2014B, регистрировали осциллограммы тока ЭВП. Для определения энергии, вводимой в проводник при взрыве, использовали уравнение [16]:

$$W_{ВП} = \frac{CU_0^2}{2} - \frac{C(U_0 - \frac{1}{C} \int_0^{t_n} i(t)dt)^2}{2} - \frac{L_k \cdot i^2(t)}{2} - R_k \int_0^{t_n} i^2(t)dt \quad (1)$$

где t – длительность импульса тока ЭВП;

i – протекаемый ток.

Значения интегралов, входящих в уравнение (1) рассчитывали из осциллограммы тока с помощью интегральных сумм по формуле трапеции. Диапазон длительности импульса тока ЭВП (от 0 до t), по которому проводилось интегрирование, определялся по осциллограмме тока от момента начала протекания тока до точки А, соответствующей минимальному значению величины тока, до которой происходило его падение при ЭВП, осциллограмма приведена на рисунок 2.4.

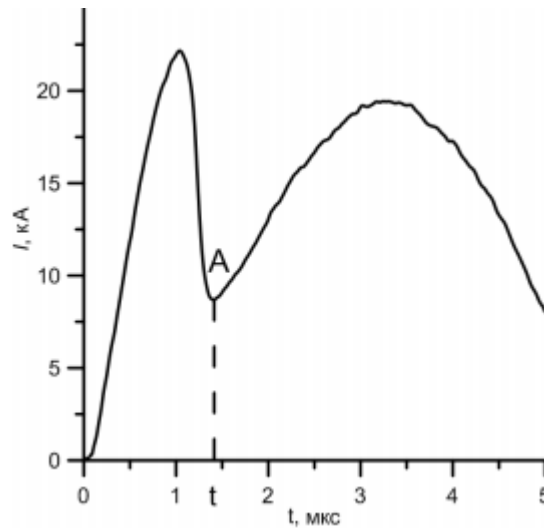


Рисунок 2.4 – Осциллограмма тока ЭВП

Параметры разрядного контура (L_K , R_K) входящие в уравнения (2), а также масштаб тока токового шунта рассчитывали по уравнениям:

$$L_K = \frac{T_{K3}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C}; Z_K = \sqrt{\frac{L_K}{C}}; R_K = \frac{4 \cdot L_K \cdot \ln \Delta_{12}}{T_{K3}}; \Delta_{12} = \frac{A_1}{A_2}; I_{\max} = \frac{U_0}{Z_K}; m = \frac{I_{\max}}{A_1}, \quad (2)$$

где T – период колебаний тока [с];

R_K – активное сопротивление контура [Ом];

Δ_{12} – декремент затухания;

A_1 и A_2 амплитуды первого максимума и первого минимума осциллограммы [В];

$I_{\max}$ – максимальный ток [А];

m – масштаб тока [А/В].

Значение T_{K3} , A_1 и A_2 определяли из осциллограмм тока короткого замыкания.

Энергию, вводимую в проводник при взрыве, преобразовывали в безразмерную величину – e/e_c , где e – удельная энергия, вводимая в проводник ($e = \frac{W_{ВП}}{V_{ВП}}$), e_c – удельная энергия сублимации металла [17].

Соотношение между энергией, вводимой в проводник, и энергией, запасенной в конденсаторе, выражали через коэффициент передачи энергии и вычисляли по уравнению:

$$\eta = \frac{W_{ВП}}{W_0} \cdot 100\%$$

где $W_0 = \frac{CU_2}{2}$ – энергия, запасенная в батарее конденсаторов.

Энергию, выделяемую в дуговой стадии разряда, рассчитывали по уравнению:

$$W_D = W_O - W_{ВП} - R_k \int_0^{t_{ок}} i^2(t) dt$$

где $t_{ок}$ – время протекания процесса.

Энергию, выделяемую в дуговой стадии, также преобразовывали в безразмерную величину – e_d/e_c , где e_d – удельная энергия, выделяемая в дуговой стадии ($e_d = \frac{W_D}{W_{ВП}}$).

2.6. Анализ свойств порошков

Свойства получаемых порошков исследуем по:

- морфологии частиц, наблюдаемой с помощью просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ, ПЭМ);
- величине площади удельной поверхности $S_{уд}$, измеренной методом низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ);
- величине среднеповерхностного диаметра частиц порошка;
- метод рентгенофазового анализа (РФА);

2.6.1. Электронная микроскопия

Для определения морфологии образцов использовался электронный микроскоп JEM-100CXII. Образцы приготавливались следующим образом. Навеска порошка массой около 10 мг растворяется в 100 мл этиловом спирте, затем суспензия обрабатывалась в ультразвуковом поле частотой 23 кГц и мощностью 400 Вт. После чего образцы фиксировались на подложке, закрепленной на медной сетке. Для каждого исследуемого образца делалось около 20 снимков.

2.6.2. Сканирующая электронная микроскопия

Полученные нанопорошки Pt сплава исследовались на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения JSM-7500FA. Образцы напылялись на подложку и помещались в прибор. Одновременно с получением изображений, проводился элементный анализ образца при помощи дополнительного модуля MicroXRF Analysis Report.

2.6.3. Измерение удельной поверхности

С помощью анализатора «Сорбтометр-М» измеряли удельную поверхность методом БЭТ (низкотемпературной адсорбции азото-гелиевой смеси). Для этого навеску образца с массой 50 – 100 мг предварительно тренировали (обезвоживали) при температуре 30 °С в течении 30 минут. Затем образец помещали в реактор установки. Измерение велось по пяти различным концентрациям компонент газовой смеси. На основании полученных результатов вычисляли среднеповерхностный диаметр (d_s) частиц порошка по уравнению:

$$d_s = \frac{6}{S_{уд}\rho};$$

где $S_{уд}$ – площадь удельной поверхности $\text{м}^2/\text{г}$;

2.6.4. Рентгенофазовый анализ

С помощью дифрактометра Shimadzu XRD-7000 проводился рентгенофазный анализ. В диапазоне углов сканирования: от 0 до 1000 с шагом 0,50 и скоростью сканирования 1 град/мин. Образец тщательно измельчается – растирается в агатовой ступке агатовым пестиком (чтобы исключить загрязнения пробы) для получения достаточно хороших рентгенограмм. Размер кристаллитов исследуемых образцов, рассчитывается по формуле ДебаяШеррера:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta};$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ72	Скобелеву Егору Игоревичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	SWOT-анализ НТИ, разработка иерархической структуры проекта
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Структура работ; Определение трудоемкости; Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Разработка бюджета научного исследования
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Определение целесообразности и эффективности НТИ: оценка рисков и научно-технического уровня исследования, оценка ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. График Ганта.
4. График разработки и внедрения ИР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Кащук Ирина Вадимовна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ72	Скобелев Егор Игоревич		

Глава 4. Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент

Темой магистерской выпускной квалификационной работы является получение Au, Ag, Pt нанопорошков методом электрического взрыва проводника.

Целью раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент» является оценка эффективности и возможности проведения данного исследования, оценки рисков и затрат, а также решение задач.

Поставим задачи для данного раздела:

- оценить перспективность исследования;
- составить план выполнения исследования;
- рассчитать необходимые затраты для исследования.

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

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Перспективность исследований определяется не столько важностью и глобальностью открытия, которые тяжело оценить на начальных этапах проекта, а именно коммерческой оценкой. Оценка коммерческой ценности – обязательно условие, необходимое для поиска источников финансирования и, следовательно, для успешного проведения научного исследования [34].

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что недостаточная оценка рынков сбыта производимой продукции является одной из главных причин несостоятельности многих проектов. Необходим глубокий анализ спроса на продукцию, которую предполагается выпускать, определить, в каких объемах и по какой цене его купят. Определив спрос, устанавливают

максимальный объем производства, который предприниматель сможет осуществить с учетом своих потенциальных возможностей.

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются промышленные заводы, которые выпускают различные электрические аппараты, компании, занимающиеся различными аддитивными технологиями.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли занимающиеся нанопорошками			
		Научные институты	Заводы изготовители	Внедренческие организации	Компании, занимающиеся 3D печатью металлами
Сфера деятельности по нанопорошкам	Производство нанопорошков	+	+		
	Освоение новых методов получения нанопорошков	+		+	
	Изучение свойств нанопорошков	+	+		+
	Анализ характеристик нанопорошков	+		+	+
	Продажа нанопорошков	+	+	+	
	Продажа результатов исследований и анализов нанопорошков	+			
	Использование нанопорошков в промышленных целях		+		+

Как видно из карты сегментирования, научные институты выполняют почти весь цикл работ, связанных с нанопорошками.

Основным сегментом данного рынка являются научные институты, производящие и изучающие нанопорошки.

Сегментом, на который ориентирована цель магистерской диссертации, является изучение свойств нанопорошков и их анализ.

В будущем предполагается применение полученных результатов во многих институтах и компаний, занимающихся разработкой композиционных материалов.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

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

Для анализа конкурентных технических решений, возьмем представленный в данной работе метод электрического взрыва проводника (ЭВП), обозначим как ф. А так же конкурирующие методы: химического осаждения из паровой фазы и осаждения из растворов, которые обозначены к1 и к2 соответственно.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 6.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность	0,10	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	3	3	0,5	0,3	0,3
3. Энергоэкономичность	0,15	4	5	5	0,6	0,75	0,75
4. Простота эксплуатации	0,10	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Качество порошка	0,15	4	5	5	0,6	0,75	0,75
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,10	4	4	4	0,4	0,4	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,10	3	4	4	0,3	0,4	0,4
3. Цена	0,10	3	3	3	0,3	0,3	0,3
4. Финансирование научной разработки	0,10	3	4	3	0,3	0,4	0,3
Итого	1	35	34	35	3,9	3,9	3,8

4.1.3. SWOT – анализ

Для того чтобы оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта, был произведен SWOT – анализ проекта.

Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1.Уникальность исследования С2.Возможность участвовать в конференциях С3.Наличие опытного научного руководителя С4.Актуальность проводимого исследования С5.Обширная сфера применения С6. ТПУ – один из ведущих вузов в области разработки нанотехнологий С7.Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов	В1.Освоение новых направлений и разработка новых методик и технологий для нужд потребителей рынка nano индустрии В2.Развитие производства и рост объемов продукции В3.Применение наночастиц в новых инновационных направлениях В4.Реализация стратегии импортозамещения на российские рынки В5.Развитие отношений с зарубежными производителями и потребителями В6.Получения государственной поддержки в рамках программ поддержки наукоемкого бизнеса на городском, областном и федеральном уровнях
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1.Требуется тщательного сбора исходных данных Сл2.Многостадийность методики Сл3.Недостаточно собственных средств для реализации проекта, что не позволяет производить продукцию в нужном объеме Сл4.Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования	У1.Развитие конкуренции в сфере анализа исследований нанопорошков У2.Конкуренты обладают более развитыми технологиями и низкими издержками У3. Продукция мало востребована

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей

среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Результаты анализа SWOT – матрицы представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Анализ интерактивной SWOT – матрицы проекта

Результаты SWOT-анализа.	
Сильные стороны/возможности	Слабые стороны/возможности
- Проект реализуется в условиях развитой производственной, научной, энергетической, социальной инфраструктуры; - Для реализации основной части проекта доступны оборудование и расходные материалы высокого качества	- Недостаточное финансирование проекта
Сильные стороны/угрозы	Слабые стороны/угрозы
- Методика и продукция проекта имеют сравнительно низкие издержки производства по сравнению с предложенными аналогами.	- Недостаточные инвестиционные вливания могут стать причиной низкой конкурентоспособности проекта

Таким образом, самой большой угрозой для проекта является развитие конкуренции в сфере анализа исследований нанопорошков, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку данная методика имеет теоретическую, математическую и экспериментально обоснованную базу, которая является наиболее удобной и целесообразной в использовании. Исследование имеет потенциал, небольшой круг потенциальных потребителей и возможность выхода на внешний рынок.

4.2. Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ выполняется поэтапно:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

– построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научного исследования собирается группа, в состав которой входят научный руководитель и магистрант. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном пункте составлен перечень работ в рамках проведения научного исследования и распределены исполнители по видам работ. Порядок приведен в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание исследовательской части работ	Содержание технической части работ	Должность исполнителя
Структурирование исследования	1	Составление и утверждение технического задания	Обзор литературы, сбор необходимых данных, технических параметров оборудования, изучения технологического процесса.	Руководитель
	2	Планирование эксперимента	Подготовка установки ЭВП.	Инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Составление графика выполнения работ на всех этапах.	Руководитель
Проведение метода ЭВП	4	Оценка качества выполнения ЭВП	Наработка нанопорошков с помощью установки ЭВП	Инженер
	5	Определение объема исследования	Пассивирование нанопорошков.	Инженер
Сбор данных	6	Рентгенофазовый анализ	Получение дифрактограмм с помощью дифрактометра.	Инженер
	7	Расчет энергии, введенной в проводник	Снятие осциллограммы тока.	Инженер
	8	Термический анализ	Получение данных с помощью термоанализатора.	Инженер
Анализ НП	9	Сравнение полученных результатов	Анализ данных.	Руководитель, инженер
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Составление отчета о проделанной работе, с указанием проблематики проводимого исследования, результатов.	Инженер

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{\Psi_i}, \quad (2)$$

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

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

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

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

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

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

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

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

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

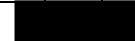
Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу табл. 6.6.

Таблица 6.6 - Временные показатели проведения научного исследования

Наименование работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2		3		3		3		4	
Планирование экспериментов		14		21		17		17		21
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		5	
Оценка качества выполнения ЭВП		5		7		6		6		8
Определение объема исследования		7		14		10		10		13
Рентгенофазовый анализ		5		7		6		6		8
Расчет энергии, введенной в проводник		7		14		10		10		13
Термический анализ		5		7		6		6		8
Оценка эффективности полученных результатов	5		7		6		6		8	
Оформление пояснительной записки		14		21		17		17		21

Таблица 6.7 - Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4														
2	Планирование экспериментов	Инженер	21														
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	5														
4	Оценка качества выполнения ЭВП	Инженер	8														
5	Определение объема исследования	Инженер	13														
6	Рентгенофазовый анализ	Инженер	8														
7	Расчет энергии, введенной в проводник	Инженер	13														
8	Термический анализ	Инженер	8														
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	8														
10	Оформление пояснительной записки	Инженер	21														



- научный руководитель



- инженер

Время работы:

Инженер: 92 дн.
Руководитель: 17 дн.

Общая продолжительность выполнения работ: 109 дн.

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных исследований;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Так же для оценки расходов, затраченных на проведение данного научно технического исследования, составим смету расходов и амортизацию используемой техники.

Рассчитываем смету расходов, включающую затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет стоимости материальных затрат производится в соответствии с действующими рыночными ценами г. Томска. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены).

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (7)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величину транспортных расходов приняты на уровне 20% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 - Материальные затраты

№ п/п	Наименование	Кол-во единиц оборудования	Цена ед./г. обор-ния, руб.	Затраты на материалы, З _м , руб.
1	Au проволока	50 г.	2840	170400
2	Ag проволока	25 г.	32	960
3	Pt проволока	50 г.	1786	107160
4	Баллон газа (He)	2	7800	15600
Итого:				294120

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включены затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по данной теме. При приобретении спецоборудования учитываются затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитываются в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для осциллографа, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Установка ЭВП (УДП-150):

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 3000000}{12} \cdot 1 = 25000 \text{ руб.}$$

Осциллограф:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 80000}{12} \cdot 1 = 666 \text{ руб.}$$

ПК:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 45000}{12} \cdot 3 = 1125 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 2000 + 330 + 1670 = 4000 \text{ руб.}$$

Определение стоимости спецоборудования производилось по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Наименование оборудования и его цены указаны в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизационные выплаты, руб
1	Установка ЭВП (УДП-150)	1	3000000	25000
2	Осциллограф	1	80000	666
3	ПК	1	45000	1125
Итого:				26791

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном пункте рассчитывается основная заработная плата руководителя и магистранта. Заработная плата определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и

тарифных ставок ТПУ. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Пункт включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (1)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}}, \quad (2)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Данные баланса рабочего времени представлены в табл. 6.10.

Таблица 6.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	28
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	219
Рабочие дни	17	92

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (11)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}} = 0,3$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}} = 0,2$ – коэффициент доплат и надбавок ;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{б}}$, руб	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	27100	52845	2405,9	17	40900
Инженер	15400	30030	1680,2	92	154578,4
Итого					195478,4

Тарифные ставки были приняты на основании регламентирующих документов планово-финансового отдела ТПУ.

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (3)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 6.12.

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлено в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Итого
Научный руководитель	40900	6135	47035
Магистрант	154578,4	23186,7	177765,1
Итого	195478,4	29321,7	224800,1
Отчисления, руб (30 %)			
Научный руководитель	14110,5		67440
Магистрант	53329,5		

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы – то все прочие затраты, не вошедшие в предыдущие пункты (ксерокопии, электроэнергия, отопление, услуги связи и др.). Вычисляются по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%, тогда размер накладных расходов составит 98104 рублей.

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведено в таблице 6.13.

Таблица 6.13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	294120	Пункт 6.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных	26791	Пункт 6.3.1

(экспериментальных) работ		
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	195478,4	Пункт 6.3.1
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	29321,7	Пункт 6.3.1
5. Отчисления во внебюджетные фонды	67440	Пункт 6.3.1
6. Накладные расходы	98104	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	752131,5	

Таким образом, основная заработная плата 195478,4 рублей, дополнительная заработная плата 29321,7 рублей, отчисления во внебюджетные фонды 67440 рублей, накладные расходы 98104. Суммарный бюджет затрат научного исследования составил – 752131,5 рублей.

4.3.8 Оценка ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность производства нанопорошков методом ЭВП определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 6.14.

Таблица 6.14 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1 (порошок Au)	Исп. 2 (порошок Ag)	Исп. 3 (порошок Pt)
Качество нанопорошков	0,25	3	4	5
Рентабельность	0,25	5	5	5
Производительность	0,20	4	4	4
Экономичность	0,20	4	4	4
Экологичность	0,10	5	5	5
Итого:	1,00			

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_1 = 0,25 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,15$$

$$I_2 = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,35$$

$$I_3 = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,6$$

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта имеет важное значение при выполнении раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент». Его высокое значение говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности и надежности, удобства в эксплуатации и предполагаемый срок эксплуатации позволяют судить о корректно выполненной разработке системы.

Выводы по главе

В ходе выполнения раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент» были решены следующие задачи:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности. Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются промышленные заводы, которые выпускают различные

электрические аппараты, компании, занимающиеся различными аддитивными технологиями. Как видно из карты сегментирования, научные институты выполняют почти весь цикл работ, связанных с нанопорошками. Основным сегментом данного рынка являются научные институты, производящие и изучающие нанопорошки.

2. Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал проводимого исследования, а также возможность быстрого выхода на внешний рынок обеспечены принципиально новым подходом к решению поставленной задачи.

3 Определен полный перечень работ, проводимых при исследовании нанопорошков. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 17 чел/дней, для магистранта составила 92 чел/дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 109 календарных дней.

4 Суммарный бюджет затрат НТИ составил – 752131,5 рублей. Расчет бюджета осуществлялся на основе следующих пунктов:

- расчет материальных затрат НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5 Определена целесообразность и эффективность научного исследования путем анализа и оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую

значимость теоретического и практического уровня и приемлемый уровень рисков.

6 Проведена оценка ресурсоэффективности проекта (4,6 по 5- бальной шкале), что говорит об эффективности реализации данного научнотехнического проекта. Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе работ, которые позволили объективно оценить эффективность проводимого научно-технического исследования