

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки Высокотехнологические плазменные и энергетические
установки
Кафедра Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Определение влияния параметров электрического взрыва скрутки медной и железной проволочек на структурно-фазовое состояние формирующихся биметаллических наночастиц Cu-Fe

УДК 669.11/33:544.344.01:537.521

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Ушахин Юрий Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ВЭСЭ	Первиков Александр Васильевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ВЭСЭ	Ратахин Николай Александрович	Доктор физико-математических наук		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять естественнонаучные и профессиональные знания в области физики плазмы, пучково-плазменных и электроразрядных технологий в профессиональной деятельности
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области профессиональной деятельности
P3	Применять полученные знания для решения комплексных задач, возникающих при разработке и эксплуатации новой техники и технологий
P4	Разрабатывать, внедрять, эксплуатировать и обслуживать высокотехнологичное оборудование в предметной сфере, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования защиты окружающей среды
P5	Владеть методами проведения и планирования аналитических, имитационных и экспериментальных исследований по своей специализации с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования в области профессиональной деятельности
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания естественных, гуманитарных и экономических наук для ведения комплексной инженерной деятельности
P8	Демонстрировать знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуальной и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной научной деятельности
P11	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки

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

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность) Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
Кафедра Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Т31	Ушахин Юрий Евгеньевич

Тема работы:

Определение влияния параметров электрического взрыва скрутки медной и железной проволочек на структурно-фазовое состояние формирующихся биметаллических наночастиц Cu-Fe

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
	Объектом исследования являются биметаллические наночастицы Cu-Fe, формирующиеся при электрическом взрыве медной и низкоуглеродистой проволоки в газе аргон и азот. Предметом исследования являются структурные характеристики наночастиц (средний размер, фазовый состав). В работе необходимо определить влияние величины энергии, введенной в скрутку проволочек Cu-Fe в результате джоулевого нагрева, а также типа буферного газа (Ar, N ₂) на структурные характеристики формирующихся

	наночастиц Fe-Cu.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы с выяснением мировых достижений в области методов получения наноразмерного порошка Fe-Cu. Обязательному исследованию подлежит определение зависимостей между параметрами электрического взрыва скрутки проволок Cu-Fe и структурными характеристиками формирующихся биметаллических частиц Cu-Fe. Выбор параметров и методика эксперимента. Анализ полученных результатов. Дополнительные разделы, подлежащие разработке: социальная ответственность, финансовый менеджмент.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Первиков Александр Васильевич	Без ученой степени		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Ушахин Юрий Евгеньевич		

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

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки (специальность) Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
 Уровень образования Бакалавриат
 Кафедра Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, 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)
15.09.2016	Составление и утверждение задания ВКР	5
20.09.2016	Составление плана работы	5
25.09.2016	Проведение обзора литературы по теме работы	15
01.12.2016	Предоставление отчета по результатам анализа литературы, формулировка цели и задач исследования	20
30.12.2016	Выбор параметров экспериментов и их обоснование	15
30.01.2017	Проведение экспериментов, анализ результатов	15
30.05.2017	Предоставление отчета по результатам экспериментов	25

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Первиков Александр Васильевич	Без ученой степени		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ВЭСЭ	Ратахин Николай Александрович	Доктор физико-математических наук		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Т31	Ушахину Юрию Евгеньевичу

Институт	ИФВТ	Кафедра	
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

Тема бакалаврской квалификационной работы: «Определение влияния параметров электрического взрыва скрутки медной и железной проволок на структурно-фазовое состояние формирующихся биметаллических наночастиц Cu-Fe»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<p>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p>	<p><i>Изучение и работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.</i></p>
<p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p>	
<p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	<p>1. 22% - отчисления в ПФР, страховая и накопительная части; 2. 2,9% - отчисления в ФСС по временной нетрудоспособности и в связи с материнством; 3. 5,1% - отчисления в ФФОМС (в ТФОМС — 0%). Итого: 30%</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. <i>Оценка коммерческого потенциала проекта</i></p>	<p>1. <i>Потенциальные потребители результатов исследования</i> 2. <i>Анализ конкурентных технических решений</i> 3. <i>SWOT-анализ</i></p>
<p>2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i></p>	<p>1. <i>Потенциальные потребители результатов исследования</i> 2. <i>Анализ конкурентных технических решений</i> 3. <i>SWOT-анализ</i></p>
<p>3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ)</i></p> <p>1. <i>Расчет материальных затрат НТИ</i></p>

<i>эффективности исследования</i>	2. <i>Основная заработная плата исполнителей темы</i> 3. <i>Отчисления на социальные нужды</i> 4. <i>Накладные расходы</i> 5. <i>Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта</i>
-----------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
<i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> <i>Матрица SWOT (таблица)</i> <i>Альтернативы проведения НИ</i> <i>График проведения и бюджет НИ</i> <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Кафедра менеджмента, Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Ушахин Юрий Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ТЗ1	Ушахин Юрий Евгеньевич

Институт	ИФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

Тема бакалаврской квалификационной работы: «Определение влияния параметров электрического взрыва скрутки медной и железной проволочек на структурно-фазовое состояние формирующихся биметаллических наночастиц Cu-Fe»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Основное рабочим оборудованием является установка по получению биметаллических наночастиц Cu-Fe методом электрического взрыва проволочек. Данная установка находится в помещении закрытого типа с искусственной вентиляцией воздуха и искусственным источником освещения.</p> <p><u>Вредные факторы производственной среды:</u> недостаточное освещение рабочего помещения, повышение уровня шума, микроклимат, яркий свет электровзрыва, пыль в виде взвешенных нанодисперсных частиц Fe-Cu (продукты электрического взрыва проволочек).</p> <p><u>Опасные факторы:</u> высокое напряжение, высокое давление в камере установки.</p> <p><u>Психические:</u> нерациональное распределение рабочего времени, чрезмерная концентрация внимания.</p> <p><u>Негативное влияние на окружающую среду:</u> бытовые отходы</p> <p><u>Чрезвычайные ситуации:</u> пожар</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ Р 12.1.019– 2009; СН 2.2.4/2.1.8.562-96; СанПиН 2.1.8/2.2.4.2490-09; ГН 2.2.5.1313-03; СанПиН 2.2.4.548-96; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; СНиП 23-05-95.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Условия труда в производственном помещении характеризуются возможностью поражения рабочего следующими вредными факторами: шум, вредные вещества, недостаточная освещенность.</p> <p><u>Средствами защиты выступают:</u> противоаэрозольный респиратор; спецодежда и спецобувь; защитные средства органов слуха: наушники, беруши, антифоны; использование дополнительных источников света.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Источником электрической опасности выступает статическое электричество, высокое напряжение. Электробезопасность осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 12.1.019–2009.</p> <p><u>Средствами защиты выступают:</u> изоляция токоведущих частей, защитное заземление, зануление, электрическое разделение сети, электрические перчатки и т.д.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Предметом воздействия на атмосферу выступает рабочий газ аргон и азот, которые являются инертными компонентами воздуха. Помимо аргона и азота воздействовать на окружающую среду могут бытовые отходы (части электронных устройств и т.д.)</p> <p><u>Превентивные меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций:</u> работа должна проводиться с соблюдением техники безопасности, в вентилируемом помещении.</p> <p>Ответственный за комнату по окончании рабочего дня обязан проверить полное выключение коммуникаций, имеющихся в лаборатории. Ежегодные проверки на электробезопасность рабочего оборудования, замена оборудования имеющие повреждения в изоляции.</p> <p>Действия в результате возникшей чрезвычайной ситуации и ликвидации ее последствий должны быть описаны в каждой инструкции охраны труда. В лаборатории должны быть установлены системы обнаружения чрезвычайных ситуаций, а также план эвакуации.</p>

<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Наиболее вероятные ЧС для объекта исследования - пожары, взрывы. Меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций: технологический процесс должен соблюдаться в соответствии с техникой безопасности, в вентилируемом помещении. После окончания рабочего дня в обязательном порядке идет проверка полного выключения коммуникаций, находящиеся на рабочем месте. Алгоритм действий в результате возникшей ЧС и ликвидация последствий должны быть отражены в каждой инструкции охраны труда. Помещение должно быть оборудовано системами обнаружения чрезвычайных ситуаций и планом эвакуации</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены Использование оборудования и мебели согласно антропометрическим факторам.</p>
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p><i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i></p>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т31	Ушахин Юрий Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 80 страниц, 17 рисунков, 26 таблиц, 10 источников.

Ключевые слова: железо, медь, электрический взрыв проводника, фазовый состав, нанопорошок, биметаллическая наночастица.

Объект исследования – биметаллические нанопорошки, полученные методом электрического взрыва проводников из скрутки медной и железной проволок.

Цель работы – определить закономерности структурно-фазового состава синтезированных биметаллических наночастиц Fe-Cu в зависимости от условий получения.

Синтезированные образцы исследовались с помощью современных аналитических методов (рентгенофазовый, электронная микроскопия, распределение частиц по размерам и др.) В результате исследования было установлено, что нанопорошки имеют сложный фазовый состав, а частицы порошков имеют форму близкую к сферической.

Основные техникоэксплуатационные характеристики: производительность установки (УДП-4) для Cu-Fe – 40 г/час.

Степень внедрения: отсутствует.

Область применения: порошки могут быть задействованы при создании композиционных функциональных эрозионно-стойких материалов для контактов электрических аппаратов.

Экономическая значимость работы: исследования данной области позволяют открыть принципиально новые технологии, что плодотворно влияет на модернизацию существующих производств и созданию новых.

Определения:

– Нанопорошок (англ. nanopowder), на сегодняшний день имеется несколько определений данного термина:

1. Согласно определению Международной организации по стандартизации, нанопорошок — твердое порошкообразное вещество искусственного происхождения, содержащее нанобъекты, агрегаты или агломераты нанобъектов либо их смесь;
2. Порошок, размер всех частиц которого менее 100 нм.

– Электрический взрыв проводника – резкое изменение физического состояния металла в результате интенсивного выделения в нем энергии при пропускании импульсного тока большой плотности ($j \geq 10^7$ А/см²), приводящее к нарушению металлической электропроводности и сопровождающееся разлетом продуктов диспергирования, генерацией ударных волн и электромагнитного излучения.

– Фаза – под фазой понимается однородная макроскопическая часть системы, обладающая одинаковыми свойствами – составом (компонентами) и агрегатным состоянием - во всех ее точках, и имеющая четко выраженную границу раздела между фазами.

– Наночастица (англ. nanoparticle) – один из наиболее общих терминов для обозначения изолированных ультрадисперсных объектов. Твердые частицы размером менее 1 нм обычно относят к кластерам, более 100 нм – к субмикронным частицам.

Сокращения:

- ЭВП - электрический взрыв проводника;
- НП - нанопорошок;
- РФА – рентгенофазовый анализ;
- ПЭМ – Просвечивающая электронная микроскопия;
- УДП-4 – модель экспериментальной промышленной установки использованной в данной работе.

Оглавление

Введение	17
1 Обзор литературы	18
1.1 Диаграмма состояния $Cu - Fe$	18
1.2 Структура псевдо сплава $Fe - Cu$	22
1.3 Метод электрического взрыва проводников	24
2 Методика и оборудование	27
3 Результаты экспериментов и их обсуждение	31
4 Финансовый менеджмент	37
4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования	37
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	39
4.3 SWOT-анализ	40
4.4 Инициация проекта	43
4.4.1 Цели и результат проекта	43
4.4.2 Организационная структура проекта	45
4.5 Планирование управления научно-техническим проектом	47
4.5.1 Иерархическая структура работ проекта	47
4.5.3 Определение трудоемкости выполнения работ	48
4.5.4 Разработка графика проведения научного исследования	50
4.6 Бюджет научного исследования	52
4.6.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	53
4.6.2 Амортизационные отчисления	54
4.6.3 Расчет заработной платы	55
4.6.5 Накладные расходы	57
4.6.6 Полная смета затрат на выполнение НИР	58
4.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	59
5 Социальная ответственность	63
5.1 Метеоусловия и микроклимат на рабочем месте	64
5.2 Вредные вещества и работа с нанопорошками	66

5.3 Повышенное значение напряжения в электрической цепи	69
6.4 Повышенный уровень шума	69
5.5 Повышенный уровень электромагнитных полей и излучений	71
5.6 Недостаточная освещенность рабочей зоны	72
5.7 Сосуды с повышенным давлением	72
5.8 Региональная безопасность	73
5.9 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	73
5.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
Заключение	76
Список использованных источников	78

Введение

Нанопорошки имеют отличные от массивных материалов физико-химические свойства, определяющиеся размерами, фазовым составом и морфологией. Фундаментальный и прикладной интерес вызван областью применения нанопорошков в разработке наноструктурных композитов и сплавов, катализаторов, сорбентов, магнитных материалов и др.

На сегодняшний день, главной задачей является синтез и исследование характеристик биметаллических наночастиц с варьируемой структурой и фазовым составом, позволяющим регулировать их свойства не только размерным фактором, но и изменением структурно-фазового состояния. Данное направление перспективно для применения биметаллических наночастиц в медицине, материаловедении, катализе и других смежных областях.

Биметаллические наночастицы с ограниченной растворимостью обладают следующими структурно-фазовыми состояниями:

- Полное или частичное взаимное растворение составляющих в наночастице;
- Образование структуры ядро-оболочка или Янус-наночастицы из исходных разделенных компонентов.

Существуют различные методы получения биметаллических наночастиц на основе металлов с ограниченной взаимной растворимостью, хотя общность большинства известных методов заключается в том, что характерна невысокая скорость изменения термодинамических параметров получаемой дисперсной системы, т.е. относительно низкие скорости охлаждения ($< 10^7$ К/с) препятствуют получению кристаллических структур, соответствующих пересыщенным твердым растворам. Это свидетельствует о том, что перспективны методы, для которых характерны высокие скорости охлаждения дисперсной фазы.

1 Обзор литературы

1.1 Диаграмма состояния $Cu - Fe$

Первую известную классификацию предложил М.Ю. Бальшин в 1938 для порошковых композиций, состоящих из нескольких компонентов. При этом условием классификации является взаимная растворимость в условиях спекания [1]:

1. С образованием жидкой фазы;
2. Без ее образования.

Система $Cu-Fe$ является примером второго случая.

Далее Р.А. Андриевский и И.М. Федорченко усложнили эту классификацию, выделив три критерия спекания компонентов:

1. Компоненты, имеющие полную взаимную растворимость: $Fe-Ni$, $Co-Ni$, $Si-Al$ и др.;
2. Компоненты, которые имеют ограниченную растворимость друг в друге: $Mo-Ag$, $Fe-Cu$, $W-Ag$ и др.;
3. Компоненты, не растворимые друг в друге: $Cu-W$, $Cu-Mo$ и др.

Для разновидности $Fe-Cu$ отсутствует образование химических соединений.

Данная классификация определяет особенности характера диаграмм состояния, ожидаемый фазовый состав и примерные свойства материала.

Рассмотрим диаграмму состояния железо-медь.

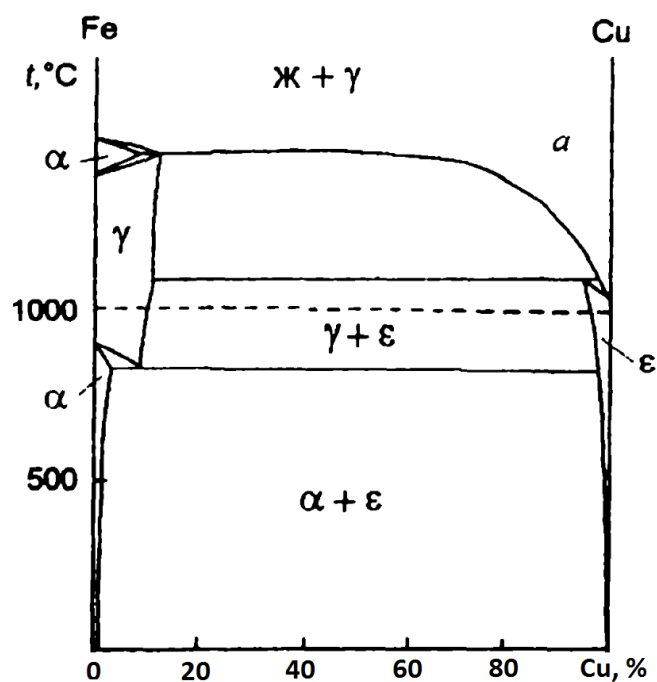


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Fe-Cu.

При охлаждении бинарного сплава Fe-Cu, нагретый выше значения температуры несмешиваемости, расслаивается до кристаллизации на две жидкие субстанции, вследствие чего под действием силы тяжести располагаются по плотностям. В итоге образуется неоднородный слиток с тяжелым компонентом в нижней части.

Еще один фактор, приводящий к полной ликвации расплава – это добавление углерода.

Добиться расслоения и получить сплав с однородной структурой можно в электромагнитных полях, в невесомости, при механическом перемешивании расплава и при гомогенизирующем перегреве металлической жидкости.

Область несмешиваемости в жидком состоянии для сплава Fe-Cu появляется в переохлажденном состоянии (степень охлаждения до 100 °C и выше). На диаграмме состояния (рисунок 1) кривая расслоения Fe-Cu на две фазы располагаются ниже кривой ликвидуса.

Максимальное значение теплоты смешивания наблюдается при 1600 °C у сплава с 47 % меди и составляет $2200 \frac{\text{ккал}}{\text{г-а}}$.

Растворимость меди сравнительно мала в матрице $\alpha - Fe$ (состояние железа при температуре до 769 °С) и варьируется от 0,4 % при 973 К до 1,8 % при 1126 К. При этом, при температурах более низких медь практически нерастворима в железе. При более высоких температурах имеет место быть $\alpha \rightarrow \gamma$ фазовый переход в матрице Fe и при этом растворимость значительно увеличивается. Изменение растворимости происходит при переходе через температуру Кюри $\alpha - Fe$, равной $T_C = 1042$ К.

Равновесная диаграмма системы $Fe-Cu$, включает эвтектоидную реакцию для γ – растворов. Эвтектоидная точка бинарной системы железо-медь находится при 3,17% Cu и $T = 1118$ К. ϵ –фаза представляет собой чистую медь, которая обладает гранцентрированной кубической решеткой. Растворимость меди в продукте эвтектоидного распада – ОЦК твердом растворе железа ограничена.

Для данной системы характерны два перитектических и одно эвтектоидное превращение при температурах 1480 °С; 1094 °С и 850 °С. Растворимость железа в меди при 1025°С; 900 °С; 800 °С и 700 °С составляет 2,5; 1,5; 0,9; 0,5% по массе Fe . Период решетки твердого раствора на основе меди для сплава с 2,39% (ат.) Fe составляет 0,3609 нм. [2]

В системе имеет место преимущество сил парного взаимодействия одноименных атомов над таковыми для разноименных. Поэтому в результате этого является сила отталкивания $\leftarrow Fe - Cu \rightarrow$ и в расплаве без включений наблюдается очень пологий ликвидус, который свидетельствует о наличии тенденции к расслоению. Силы отталкивания приводят к тому, что процесс протекает эндотермическим при образовании жидкого раствора, однако при повышенных температурах преобладает энтропийный фактор во всем концентрационном интервале, соответствующий неограниченной взаимной растворимости меди и железа в жидкой фазе.

На рисунке 2 представлена диаграмма для наносплава. Где 1-4 это результаты, полученные при механическом легировании [3], распылении [4],

термическом испарении [5], закалки из жидкого состояния [6] соответственно. *Fcc* –Гранецентрированная кубическая решётка меди, а *bcc* –объёмно-центрированная кубическая решетка железа.[7]

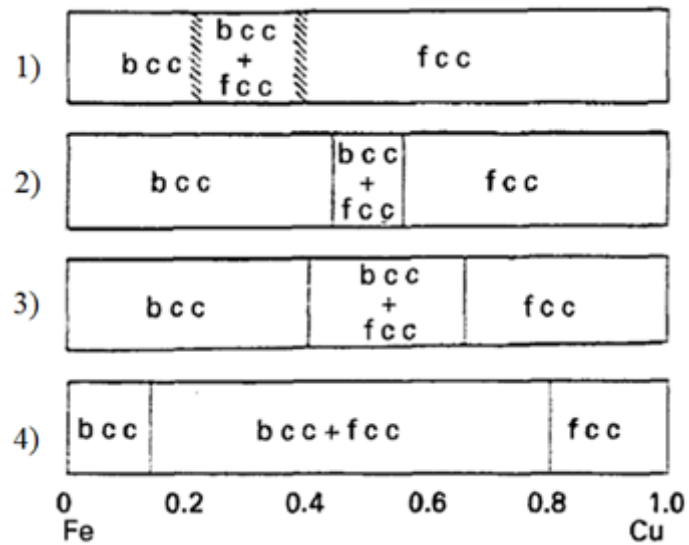


Рисунок 2 – принципиальная диаграмма состояния метастабильных сплавов *Cu – Fe*

Необходимо понимать, что диаграммы состояния для массивного сплава и сплава, находящегося в состоянии наночастиц имеют несколько отличий:

1. Увеличиваются пределы растворимости;
2. Снижаются температуры переходов пределов растворимости для сплавов в состоянии наночастиц.

1. 2 Структура псевдо сплава *Fe – Cu*.

В изучаемом сплаве более пластичная *Cu* –составляющая играет роль матрицы, в то же время структурной составляющей является железо в виде отдельных включений. Сплошность матрицы не наблюдается при содержании меди менее 30 %. [3]

Структура железомедных сплавов в литом состоянии представляет совокупность дендритов пересыщенного твердого раствора меди в железе, которые равномерно распределены в матрице из пересыщенного твердого раствора железа в меди.

Сплав принимает аксиальную текстуру с волокнами структурных составляющих, направленных вдоль оси прутка послековки ($t = 750 - 950^{\circ}\text{C}$) и выглаживания.

Состав *Fe* компонентов в сечении, параллельном оси прутка, весьма различна: от протяженной длиной до 300 мкм до равноосной диаметром 5-50 мкм (рисунок 2). Капиллярподобные каналы в свою очередь образует *Cu* –составляющая.

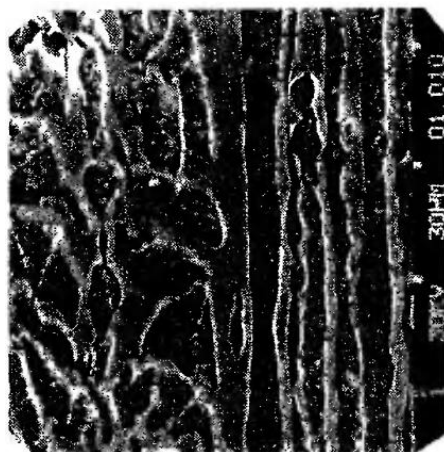


Рисунок 3 – (x800) Морфология структурных составляющих вдоль оси текстуры.

Наблюдаемые формы *Fe* компонентов представляются округлой до контура с сильно развитым рельефом, образованного сечением

деформированных дендритов с ветвями второго порядка с размерами 5-50 мкм в поперечном сечении (рисунок 3). Макроструктура поперечника (рисунок 4) содержит отдельные хаотические скопления равноосных крупных (25-50 мкм) *Fe* –составляющих (полосчатых в продольном сечении). Большинство частиц представлены в размерном диапазоне 5-15 мкм.

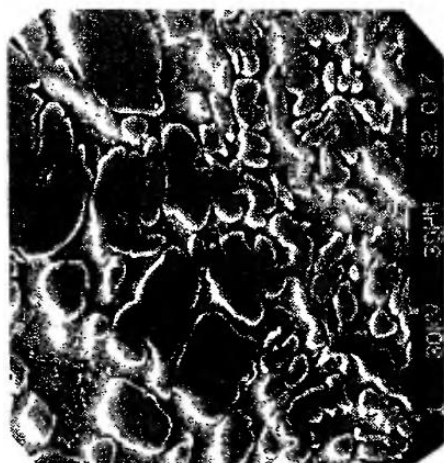


Рисунок 4 – (x750) Состав структурных составляющих в поперечном сечении.

В зоне скопления крупных частиц *Fe* –составляющих наблюдается более широкие прослойки меди; в продольном сечении аналогичная ситуация, однако наряду с широкими (до 50 мкм) медными каналами присутствуют (до 0,1 мкм) прослойки меди (рисунок 5).

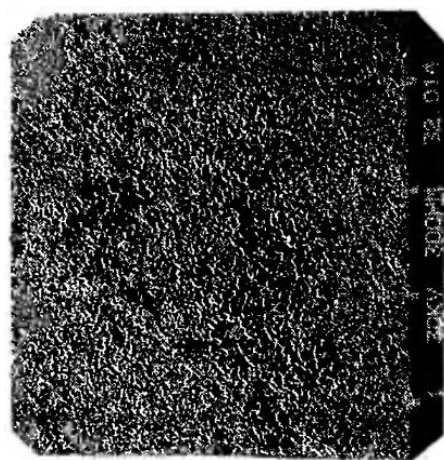


Рисунок 5 – (x75) Макронеоднородность структуры в поперечнике.

Проанализировав специализированную литературу, можно сделать следующие выводы:

1. Скопление крупных частиц Fe компонентов по сечению не имеет закономерного характера;
2. Отклонение от среднего состава по содержанию Fe для зон с частицами 5-15 мкм находятся в диапазоне “-7%”-“+15%” для сплава 50/50 и в диапазоне “-10%”-“+15%” для сплава 70/30;
3. В зонах с крупными частицами отклонения всегда положительны и менее значительны (“+3%”-“+13%”).

1.3 Метод электрического взрыва проводников.

Электрический взрыв проволочек (ЭВП) является одним из высокоэнергетических методов получения биметаллических наночастиц и химических соединений с достаточно высокой скоростью изменения термодинамических параметров, в том числе и температуры. Суть метода заключается в том, что он возможен, когда импульс тока с плотностью $j > 10^6 \frac{A}{cm^2}$ протекает через металлическую скрутку, а при повышении плотности тока до $10^7 - 10^8 \frac{A}{cm^2}$ дает ускоренное развитие процессов перехода металла из конденсированного в бифазное состояние (жидкий металл-газ/плазма). Далее при перегреве металла получается плотный цилиндрический керн (продукты ЭВП), который имеет пенообразное строение. Продукты электрического взрыва проволочек имеют скорость расширения порядка $10^3 M/c$ и при этом скорость охлаждения дисперсной фазы составляет $10^{10} K/c$.

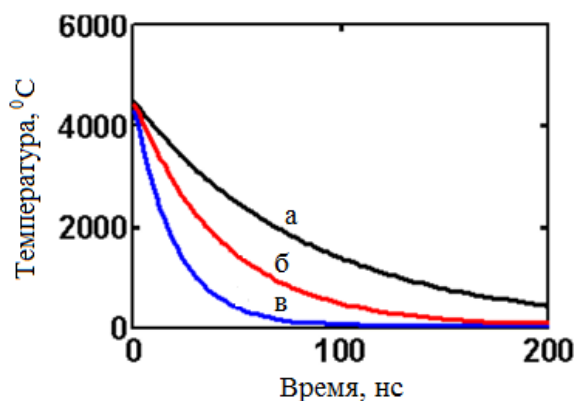
Данная скорость охлаждения продуктов при ЭВП позволяет рассматривать этот метод как перспективный для получения биметаллических

наночастиц на основе $Fe - Cu$. Однако сложность состоит в том, что данный метод в этой области не изучен.

Метод ЭВП интересен для получения подобных материалов как с точки зрения представлений о закономерностях формирования структурно-фазовых состояний биметаллических наночастиц из металлов с ограниченной взаимной растворимостью, так и для многочисленных практических приложений.

Из литературных источников по теме электрического взрыва проводников найдена зависимость изменение температуры частиц пара во времени в разных окружающих средах на примере алюминия. [8]

Для получение биметаллических наночастиц $Fe - Cu$ будем руководствоваться данной зависимостью (рисунок 7).



а) – аргон; б) – азот; в) – гелий

Рисунок 7 – Изменение температуры частиц пара во времени в разных окружающих средах

Однако в последующих проводимых экспериментах существует возможность её видоизменения.

Логично предположить, что для получения нанопорошков лучшим буферным газом является гелий, так как имеет лучшие характеристики энергоотвода. Однако его не используют, потому что средний размер частиц одного и того же металла, полученных при одинаковых параметрах RLC -контура в газах аргон, азот, гелий для гелия будет иметь максимальное значение. Данное обстоятельство связывают с тем, что гелий имеет низкую

электрическую прочность что приводит к шунтированию тока по поверхности проволоки. В таких условиях в проволоку вводится меньшее значение энергии в сравнении с газами Ar и N_2 .

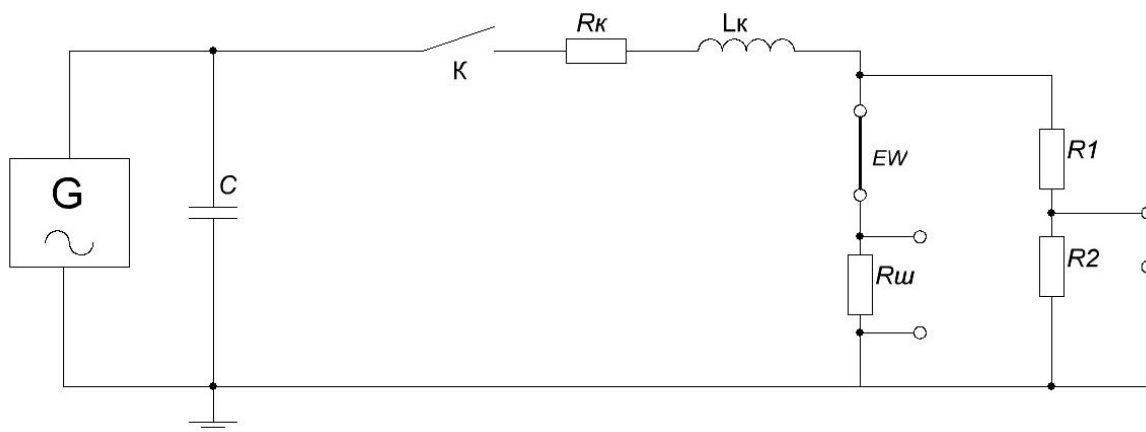
Целью настоящей работы являлось определить закономерности формирования структурно-фазового состава синтезированных биметаллических наночастиц Fe-Cu, формирующихся в условиях совместного электрического взрыва скрутки двух проволок в атмосферах азота и аргона.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи.

- 1) выбрать параметры ЭВП
- 2) получить образцы наночастиц
- 3) определить фазовый состав, характер распределения элементов в объеме частицы, распределение частиц по размерам.

2 Методика и оборудование

Рассчитаем параметры ЭВП для установки, принципиальная схема которой представлена на рисунке 8.



G – источник высокого напряжения; C – заряжающий емкостной накопитель энергии; K – разрядник, EW – две свитых между собой проволоки из двух разнородных металлов Me_1 и Me_2 ; $R_{ш}$ – датчик тока, $R_1 - R_2$ – датчики напряжения, R_k и L_k – собственные сопротивление и индуктивность электрического контура установки

Рисунок 8 – схема установки для получения биметаллических наночастиц $Fe - Cu$ методом ЭВП

Определим параметры контура данной установки из опыта короткого замыкания (рисунок 9).

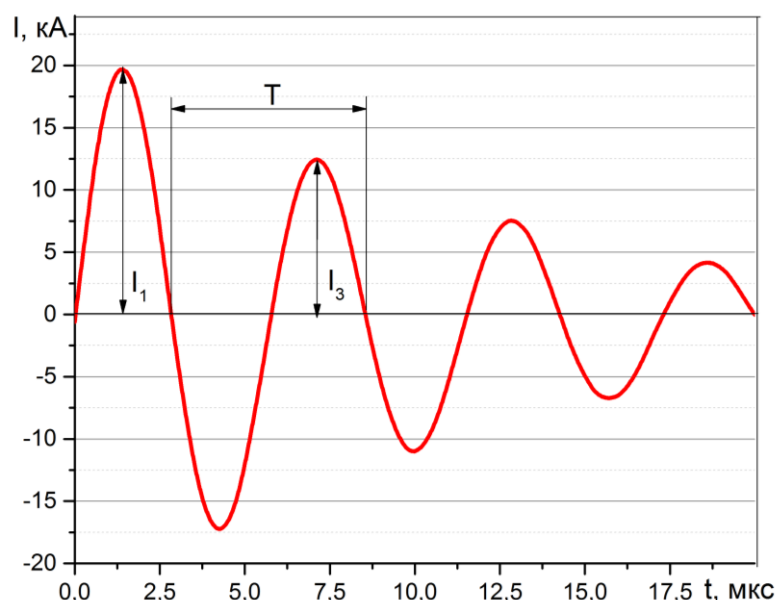


Рисунок 9 – Осциллограмма тока в режиме короткого замыкания

$$C_k = 1,2 \text{ мкФ}$$

$$T \approx 5,71 \text{ мкс (период колебаний тока в LC –контуре)}$$

$$R_k = \frac{2T \ln \Delta}{(4\pi^2 + \ln^2 \Delta) * C} = \frac{2 * 5,71 * 10^{-6} * \ln 1,58}{(4\pi^2 + \ln^2 1,58) * 1,2 * 10^{-6}} = 109,7 \text{ мОм}$$

$$L_k = \frac{T^2}{(4\pi^2 + \ln^2 \Delta) * C} = \frac{(5,71 * 10^{-6})^2}{(4\pi^2 + \ln^2 1,58) * 1,2 * 10^{-6}} = 0,68 \text{ мкГн}$$

$$\text{где } \Delta = \frac{I_1}{I_3} = \frac{19,67 * 10^3}{12,44 * 10^3} = 1,58$$

Определив параметры контура установки для получения биметаллических наночастиц $Fe - Cu$, подсчитаем энергию сублимации проволочек и емкость ГИТ. Данные расчеты необходимы для выбора параметров эксперимента. При выборе параметров эксперимента исходили из условия, что запасание в емкостном накопителе энергии порядка 2.5 энергий сублимации проволочек обеспечит формирование наночастиц со средним размером не более 100 нм.

Геометрия проволок:

а) Cu ($l = 70$ мм, $d = 0.30$ мм), Fe ($l = 70$ мм, $d = 0.20$ мм)

б) Cu ($l = 70$ мм, $d = 0.20$ мм), Fe ($l = 70$ мм, $d = 0.20$ мм)

в) Cu ($l = 70$ мм, $d = 0.20$ мм), Fe ($l = 70$ мм, $d = 0.30$ мм)

$$E_{суд(Cu)} = 5.3 \text{ кДж/г}, \quad E_{суд(Fe)} = 7.8 \text{ кДж/г}.$$

Расчет параметров ЭВП (Режим а).

$$\text{Исходные данные: } L_k = 0,68 \text{ мкГн}, R_k = 109,7 \text{ МОм}, U_0 = 30 \text{ кВ}$$

Расчет энергии сублимации проволок:

$$E_{Cu} = m_{пр} * E_{суд(Cu)} = \rho_{Cu} * V_{пр} * E_{суд(Cu)} \quad E_{Cu} = 235 \text{ Дж}$$

$$E_{Fe} = m_{пр} * E_{суд(Fe)} = \rho_{Fe} * V_{пр} * E_{суд(Fe)} \quad E_{Fe} = 162 \text{ Дж}$$

Расчет емкости ГИТ:

$$(0.5 * C * 2U_0) = 2.5 * (E_{Cu} + E_{Fe})$$

$$C = \frac{5 * (E_{Cu} + E_{Fe})}{U_0^2} = \frac{5 * (235 + 162)}{35000^2} = 1,62 \text{ мкФ}$$

Расчет параметров ЭВП (Режим б).

$$\text{Исходные данные: } L_k = 0,68 \text{ мкГн}, R_k = 109,7 \text{ МОм}, U_0 = 30 \text{ кВ}$$

Расчет энергии сублимации проволок:

$$E_{Cu} = m_{пр} * E_{суд(Cu)} = \rho_{Cu} * V_{пр} * E_{суд(Cu)} \quad E_{Cu} = 105 \text{ Дж}$$

$$E_{Fe} = m_{пр} * E_{суд(Fe)} = \rho_{Fe} * V_{пр} * E_{суд(Fe)} \quad E_{Fe} = 162 \text{ Дж}$$

Расчет емкости ГИТ

$$(0.5 * C * 2U_0) = 2.5 * (E_{Cu} + E_{Fe})$$

$$C = \frac{5 * (E_{Cu} + E_{Fe})}{U_0^2} = \frac{5 * (105 + 162)}{30000^2} = 1,48 \text{ мкФ}$$

Расчет параметров ЭВП (Режим в).

Исходные данные: $L_k = 0,68$ мкГн, $R_k = 109,7$ мОм, $U_0 = 32$ кВ

Расчет энергии сублимации проволочек:

$$E_{Cu} = m_{пр} * E_{уд(Cu)} = \rho_{Cu} * V_{пр} * E_{уд(Cu)} \quad E_{Cu} = 105 \text{ Дж}$$

$$E_{Fe} = m_{пр} * E_{уд(Fe)} = \rho_{Fe} * V_{пр} * E_{уд(Fe)} \quad E_{Fe} = 300 \text{ Дж}$$

Расчет емкости ГИТ

$$(0.5 * C * 2U_0) = 2.5 * (E_{Cu} + E_{Fe})$$

$$C = \frac{5 * (E_{Cu} + E_{Fe})}{U_0^2} = \frac{5 * (105 + 300)}{32000^2} = 1,98 \text{ мкФ}$$

Изучение фазового состава наночастиц Cu-Fe проводилось по данным дифрактограмм, полученных на дифрактометре ДРОН-7 (ЦКП ИФПМ СО РАН «НАНОТЕХ»). Фазовый состав образцов идентифицировался с использованием кристаллографической базы данных PDF-2. Распределение наночастиц по размерам строилось на основании данных микрофотографий, полученных с помощью просвечивающей электронной микроскопии (микроскоп JEM-2100, ЦКП ИФПМ СО РАН «НАНОТЕХ»)

3 Результаты экспериментов и их обсуждение

На рисунке 10 приведены осциллограммы тока и напряжения, характерные для электрического взрыва скрутки проволок Fe-Cu с режимами а), б) и в). Среда – воздух.

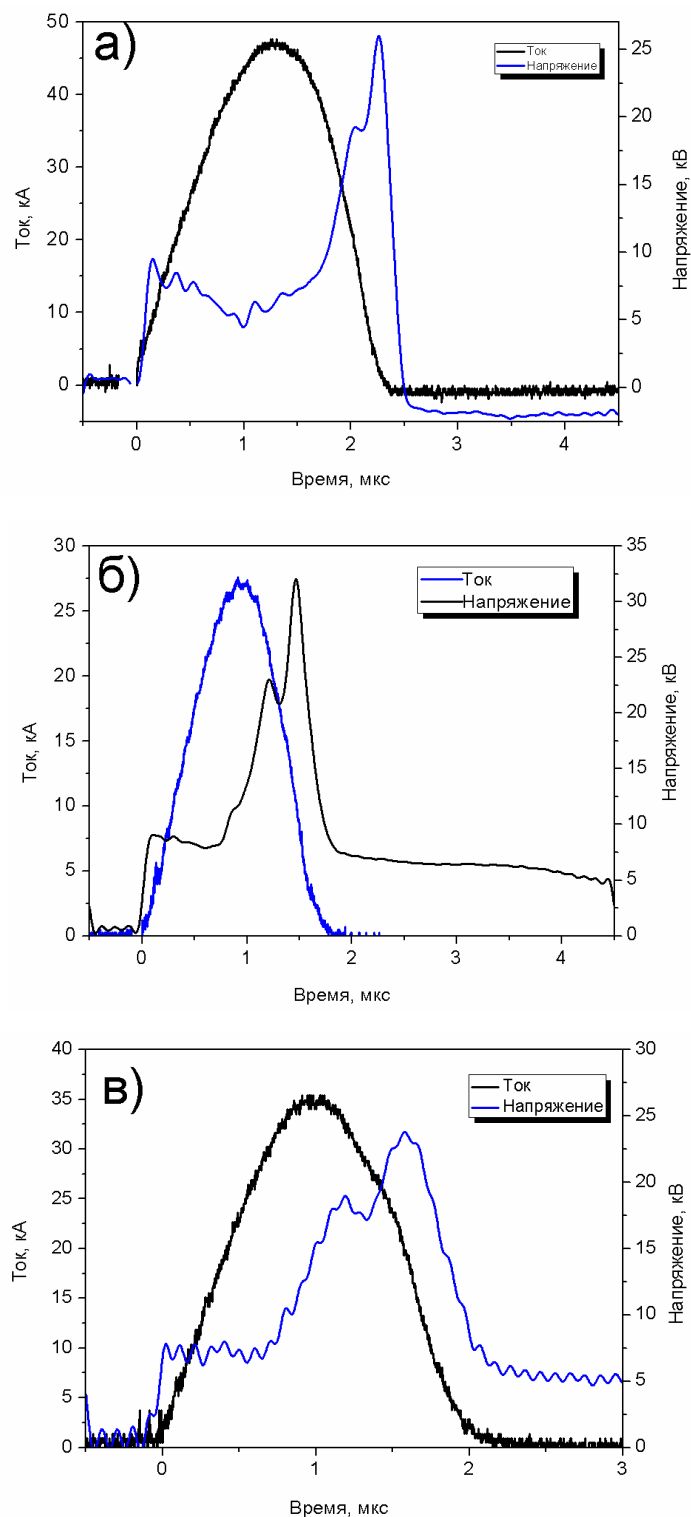


Рисунок 10 – Осциллограммы тока и напряжения.

Из представленных на рисунке 10 данных следует, что на осциллограмме напряжения формируется два локальных максимума, которые могут свидетельствовать о несинхронном взрыве проволок в условиях проведенных экспериментов. В таких условиях велика вероятность образования механической смеси частиц различных металлов.

На рисунке 11 приведены микрофотографии наночастиц Fe-Cu, полученных в атмосфере аргона для соответствующих режимов а), б) и в).

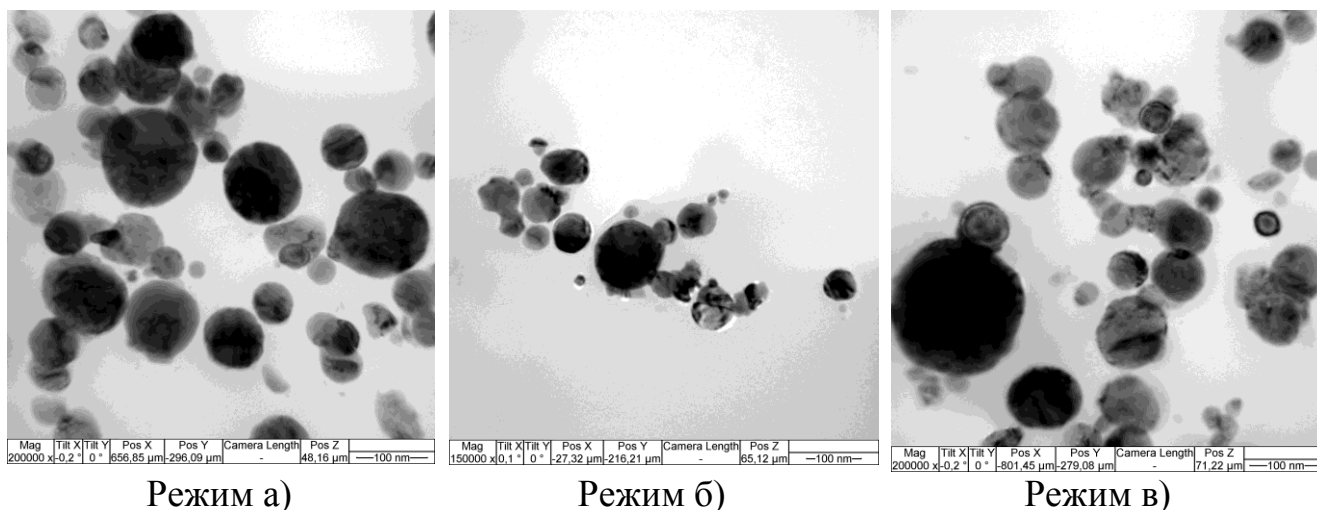


Рисунок 11 – Микрофотографии наночастиц Fe-Cu.

Как видно из представленных на рисунке 11 данных, для всех образцов характерно формирование частиц сферической формы. Основное количество частиц в образцах имеет размеры порядка 100 нм.

На рисунке 12 приведены данные рентгеновского микроанализа, характерные для трех образцов наночастиц Fe-Cu.

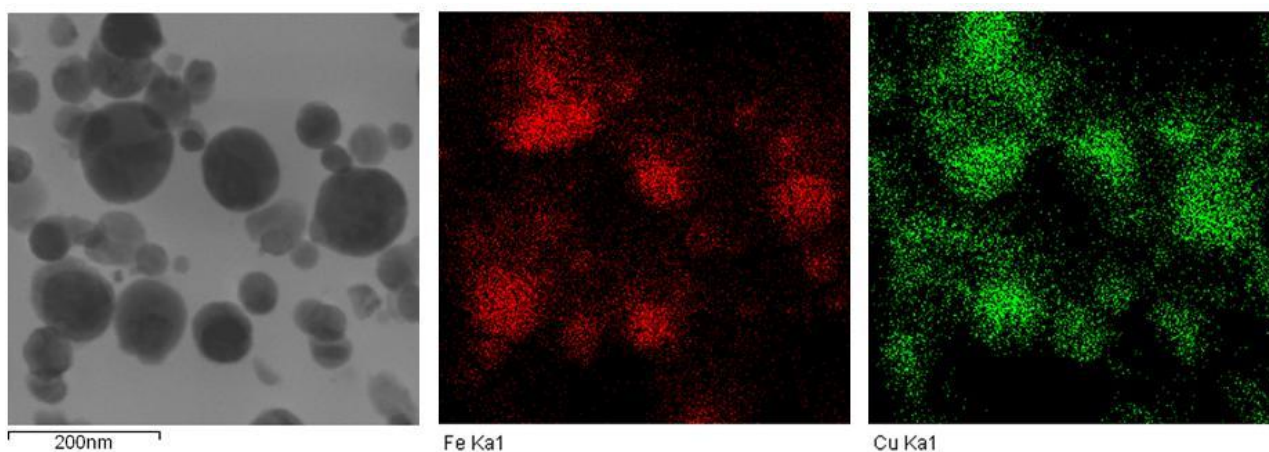
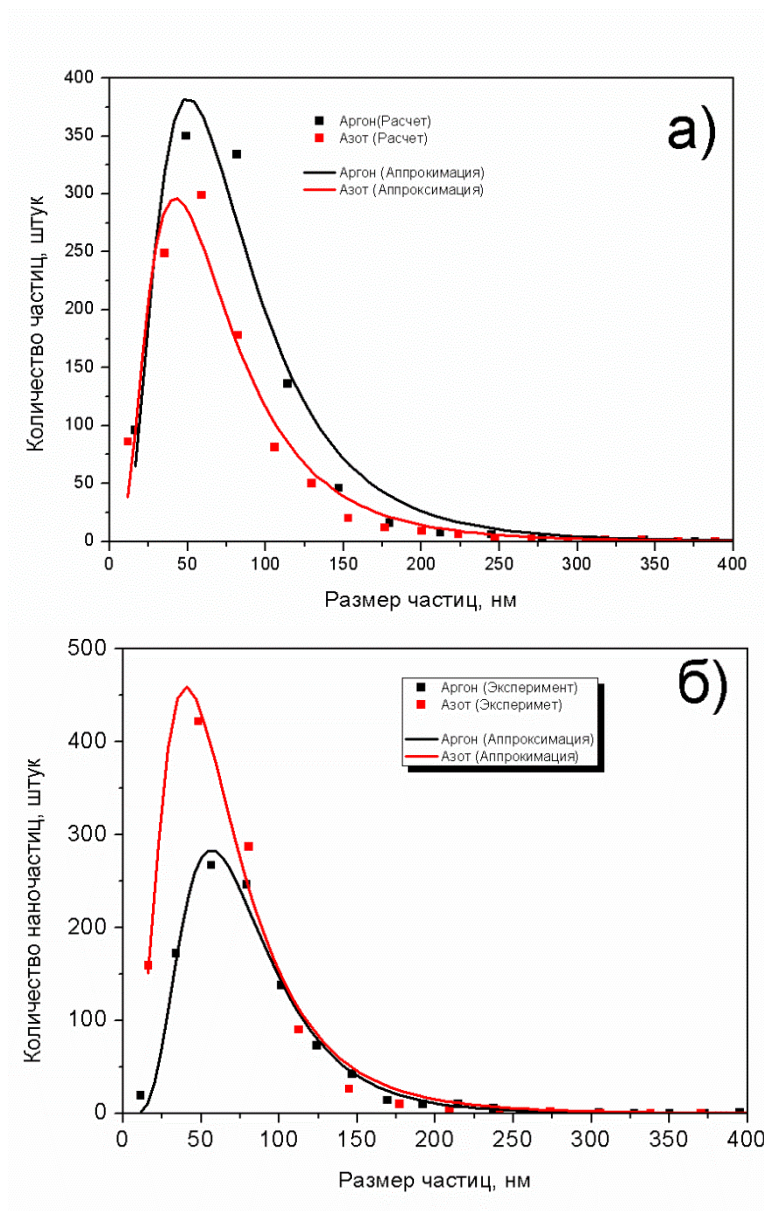


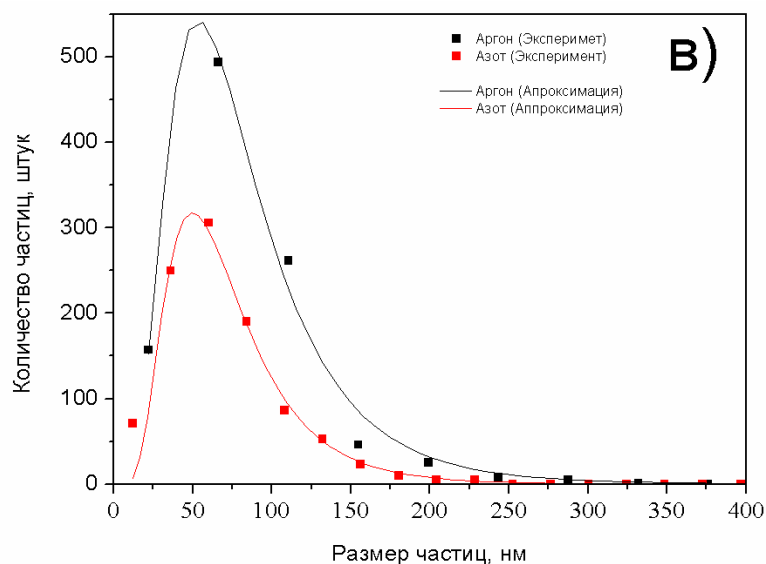
Рисунок 12 – Данные рентгеновского микроанализа образцов наночастиц Fe-Cu.

Из представленных на рисунке 12 данных следует, что в образце отсутствуют наночастицы, представленные только одним из элементов. Это позволяет по нашему мнению считать, что вероятная несинхронность взрыва проводника не приводит к формированию механической смеси частиц различных металлов. На рисунке 13 приведены функции распределения по размерам наночастиц Fe-Cu. Образцы имеют нормально-логарифмическое распределение.



а) $a_n(\text{Ar}) = 72 \text{ нм}$, $a_n(\text{N}_2) = 63 \text{ нм}$; б) $a_n(\text{Ar}) = 72 \text{ нм}$, $a_n(\text{N}_2) = 58 \text{ нм}$;

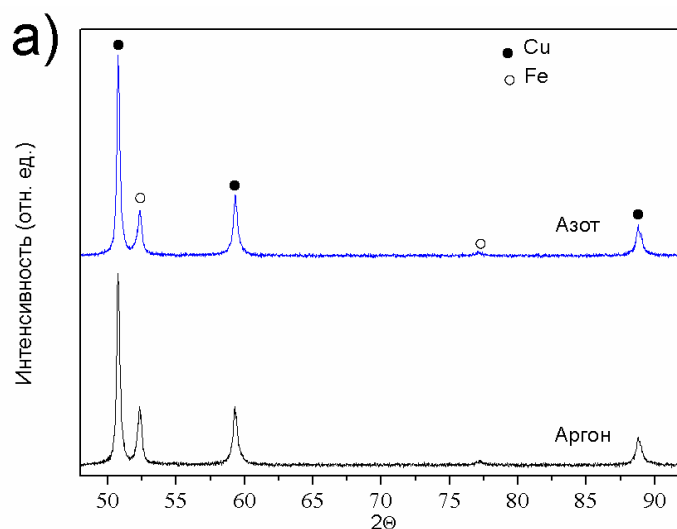
Рисунок 13 – Функции распределения наночастиц по размерам.



в) $a_n(\text{Ar}) = 84 \text{ нм}$, $a_n(\text{N}_2) = 75 \text{ нм}$.

Рисунок 14 – Функции распределения наночастиц по размерам.

Как видно из представленных на рисунке 13 данных средний размер частиц не превышает 100 нм. Использование азота позволяет получить наночастицы Fe-Cu с меньшим размером при тех же параметрах ЭВП. На рисунке 14 приведены результаты рентгеноструктурного анализа образцов.



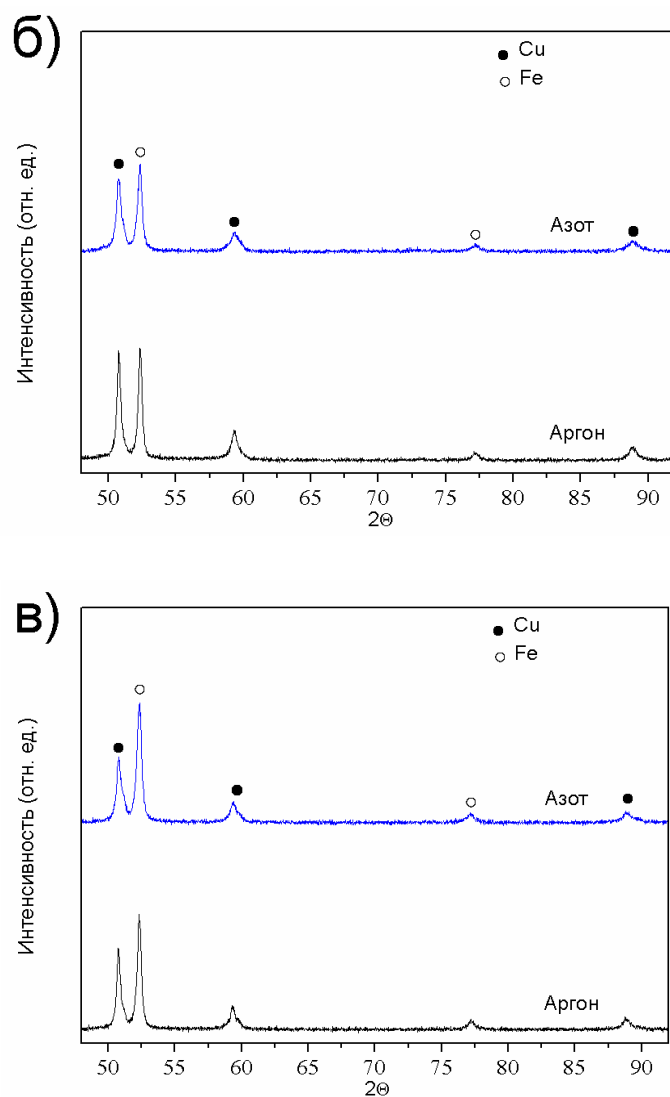


Рисунок 15 – Диффрактограммы образцов наночастиц Cu-Fe.

Результаты рентгеноструктурного анализа показывают, что для всех образцов характерно формирование двух фаз – меди с параметром решетки, близким к $a \approx 3.615 \text{ \AA}$ и железа с параметром решетки, близким к $a \approx 2.866 \text{ \AA}$. Близость к указанным параметрам позволяет сделать вывод, что в условиях проведенных экспериментов не наблюдается формирования твердых растворов на основе указанных металлов. Причиной расслоения металлов наиболее вероятно является несоответствие структурных типов решеток (ГЦК-ОЦК).

Полученные результаты показывают, что методом электрического взрыва скрутки двух проволок различных металлов могут быть получены

биметаллические наночастицы Fe-Cu с различным соотношением элементов в образцах. Использование в качестве буферного газа азота позволяет уменьшить размер частиц, в сравнении с образцами, полученными в аргоне. Биметаллические наночастицы Fe-Cu могут быть использованы для создания демпфирующих материалов, а также в катализе.

4 Финансовый менеджмент

4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

Нанопорошки неорганических материалов являются самостоятельным объектом со своими физико-химическими характеристиками, которые определяются размерным фактором и структурными особенностями наночастиц. Широкое применение нанопорошков возможно только в технологиях, учитывающих или базирующихся на их специфических свойствах.

Основные области применения электровзрывных нанопорошков:

- 1) Изготовление имплантирующих материалов.
- 2) Применение нанопорошков в высокоэнергетических материалах и процессах.
- 3) Катализаторы.
- 4) Синтез сплавов и тугоплавких химических соединений.
- 5) Смазочные материалы, легированные нанопорошками.
- 6) Модификация эпоксидных клеев.

Большая часть нанопорошков производится опытными партиями для собственных исследовательских целей, либо по специальным заказам, и лишь небольшое количество продается на рынке. Основные производители – научно-исследовательские институты и вузы.

Спрос на нанопорошки на внутреннем рынке еще достаточно ограничен, лишь небольшое число предприятий в настоящий момент приступили к их использованию при изготовлении собственной продукции. В основном нанопорошки закупаются различными научными организациями для проведения собственных исследований.

Позитивное развитие на рынок оказывает государственная поддержка в области нанотехнологий на государственном уровне, а также значительный объем поступающих инвестиций в данные программы по различным правительственных программ поддержки нанотеха.

		Области применения нанопорошков		
		Металлургия	Возобновляемые ресурсы	Медицина
Размер	Крупные	–	–	–
	Средние	▲	◡	⊗ ◊
	Мелкие	–	■	–

▲	«Высокодисперсные металлические порошки» («ВМП»), г. Екатеринбург
◡	«Наноиндустрия», г. Москва
■	«Промхим», г. Пермь
⊗	«Порошковые технологии», г. Новосибирск
◊	ФГУП «Красная звезда», г. Москва

Рисунок 16 – Карта сегментирования рынка услуг по нанопорошкам

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Получение нанопышков можно осуществить механическими, химическими и физико-химическими методами. Однако на промышленном уровне получение нанопорошков можно получить механическим дроблением макроматериалов и плазмохимическим методом, испарений конденсацией.

В Институте физики прочности и материаловедения разработан уникальный способ получения нанопорошков на основе биметаллических наночастиц методом электрического взрыва двух проводников. Данный метод является наиболее конкурентоспособным.

Таблица 1– Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности	0,15	3	4	0,45	0,6
2. Простота изготовления	0,1	3	4	0,3	0,4
3. Энергоэкономичность	0,05	2	3	0,1	0,15
4. Надежность	0,05	4	4	0,2	0,2
5. Экологичность технологии и материала	0,1	3	4	0,15	0,2

6. Материалоемкость	0,15	4	5	0,3	0,75
7. Ширина области применения	0,15	3	4	0,45	0,5
Экономические критерии оценки эффективности					
8. Конкурентоспособность продукта	0,1	3	5	0,3	0,5
9. Цена	0,15	3	3	0,45	0,45
10. Финансирование научной разработки	0,05	4	4	0,2	0,2
Итого	1.0	37	41	3.65	3,95
<p>K_1 – механическое дробление. K_2 – электрический взрыв проволоки.</p>					

Наиболее целесообразным по технологическим и экономическим соображениям является получение нанопорошков методом электрического взрыва проволочки.

4.3 SWOT-анализ

Активное развитие порошковой металлургии позволило довольно заметно упростить и удешевить технологические процессы изготовления деталей, но при переходе на порошковую технологию встает вопрос о достижении необходимых физико-механических характеристик полученных сплавов.

Преимуществами получения нанопорошков методом электрического взрыва проволочки являются:

- высокая производительность;

- чистота получаемых нанопорошков;
- узкий диапазон размеров.

Недостатками данного метода является тот факт, что невозможно получить наноматериал неметаллов и узкая направленность специалистов, работающих на установке по получению нанопорошков.

Таблица 2 –Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
<p>C_1. Возможность варьирования состава, т.е. состав исходного материала.</p> <p>C_2. Высокая производительность</p> <p>C_3. Снижение себестоимости изделия</p>	<p>$C_{л1}$. Сложность регулировать пассивацию нанопорошков, вероятность образования оксидной пленки.</p>
Возможности:	Угрозы:
<p>B_1. Использование инновационной инфраструктуры Института физики прочности и материаловедения (т.е. использование научного оборудования)</p> <p>B_2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импортозамещение в данной отрасли.</p> <p>B_3. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>B_4. Участие в грантах.</p>	<p>U_1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p>

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз основывается на результатах анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

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

Таблица 3- Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны				
Возможности проекта		C ₁	C ₂	C ₃
	B ₁	0	0	0
	B ₂	+	+	+
	B ₃	+	0	0
	B ₄	0	+	0

Третий этап: итоговая матрица SWOT исходя из данных таблицы 2-3.

Таблица 4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>C₁. Возможность варьирования состава, т.е. состав исходного материала.</p> <p>C₂. Высокая производительность</p> <p>C₃. Снижение себестоимости изделия</p>	<p>C_{л1}. Сложность регулировать пассивацию нанопорошков, вероятность образования оксидной пленки.</p>
<p>B₁. Использование инновационной инфраструктуры Института физики прочности и материаловедения (т.е. использование научного оборудования)</p> <p>B₂. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импортозамещение в данной отрасли.</p> <p>B₃. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>B₄. Участие в грантах.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия) 2. упрощение внедрения технологии в производство за счет аддитивных технологий. 3. позволяют при наличии спроса быстро нарастить объемы производства 4. качество и стоимость продукта будет являться конкурентным на российском рынке 	<ol style="list-style-type: none"> 1. новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследования выявить и предотвратить появление брака.
<p>Угрозы:</p> <p>U₁. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая стоимость готовой продукции может решить проблему с конкуренцией 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Появление дополнительного спроса увеличивает количество изготавливаемой продукции

4.4 Инициация проекта

4.4.1 Цели и результат проекта

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Института физики прочности и материаловедения	Наличие НИОКР
Студент	Защита бакалаврского диплома.
Предприятия, занимающиеся изготовлением изделий	<ol style="list-style-type: none">1. Сокращение времени на производство.2. Большая производительность.3. Снижение себестоимости
Потребители	<ol style="list-style-type: none">1. Низкая стоимость изделий по сравнению, с изделиями полученными стандартными методами.2. Качество биметаллического нанопорошка.
Государство	Возможность импортозамещения

В таблице 6 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 6 – Цели и результат проекта

<p>Цели проекта:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение биметаллических наночастиц <i>Fe-Cu</i>. 2. Изучение влияния параметров электрического взрыва скрутки медной и железной проволочек на структурно-фазовое состояние формирующихся биметаллических наночастиц
<p>Ожидаемые результаты проекта:</p>	<p>Получение биметаллических нанопышков сферической формы, с высоким качеством состава, с заданными размерами в узком диапазоне.</p>
<p>Критерии приемки результата проекта:</p>	<p>Законченная научно-исследовательская работа, авторы которой имеют список публикаций и участие на международных конференциях.</p>
<p>Требования к результату проекта:</p>	<p>Требования:</p> <p>Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение</p> <p>Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы)</p> <p>Выполнения проекта в срок</p>

4.4.2 Организационная структура проекта

Таблица 7 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
Первиков Александр Васильевич	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	1024
Ушахин Юрий Евгеньевич	Исполнитель по проекту	выполняет отдельные работы по проекту	1624

4.4.3 Ограничения и допущения проекта

Таблица 8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	На 2017 год- 1,5 млн. руб
Источник финансирования	Проект РФФ 17-19-01319 «Перспективные наноструктурные сплавы, сформированные компактированием биметаллических наночастиц из несмешивающихся металлов: получение, структура, физико-механические свойства»
Фактор	Ограничения/ допущения
Сроки проекта:	2016-2019
Дата утверждения плана управления проектом	15.12.2016
Дата завершения проекта	30.12.2019

4.5 Планирование управления научно-техническим проектом

4.5.1 Иерархическая структура работ проекта



Рисунок 17 – Иерархическая структура проекта

4.5.2 Контрольные события проекта

Таблица 9 – Контрольные события проекта

№ работ	Контрольное событие	Результат (подтверждающий документ)
1	Составление плана работ	Утверждение участников исследования
2	Обзор литературы	Отчет по изученной литературе.
3	Подготовка оборудования и материалов	Подготовка установки УДП-4 и закупка проволоки
4	Согласование методики проведения эксперимента	План эксперимента
5	Получение биметаллических наночастиц <i>Fe-Cu</i>	Нанопорошки
6	Исследование структурно-фазового состояния полученных нанопорошков	Результаты ПЭМ и РФА
7	Анализ результатов	Фазовый состав, морфология, распределение частиц по размерам
8	Составление отчета	Отчет
9	Отчет по исследовательской работе	Отчет
10	Защита диплома	Диплом

4.5.3 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5},$$

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.5.4 Разработка графика проведения научного исследования

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:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}$$

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:

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

Где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году (365); $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (52); $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году (14).

Временные показатели проведения данного научного исследования представлены в таблице 10.

Условные обозначения: Руководитель проекта (р), Исполнитель по проекту (и).

Таблица 10 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		T_{pi} , дни		T_{ki} , дни	
	t_{min_i} , чел-дни		t_{max_i} , чел-дни		$t_{ож_i}$, чел-дни		р	и	р	и	р	и
	р	и	р	и	р	и						
1. Составление и утверждение технического задания	7	-	15	-	10	-	+	-	10	-	12	-
2. Подбор и изучение материалов по теме	20	20	40	40	28	28	+	+	14	14	17	17
3. Выбор направления исследований	6	-	15	-	10	-	+	-	10	-	12	
4. Расчет данных по нанопорошкам	-	7	-	15	-	10	-	+	-	10		12
5. Дифференцирование	7	-	14	-	10	-	+	-	10	-	12	
6. Создание математической модели	-	25	-	35	-	29	-	+	-	29		36
7. Обработка полученных результатов	-	11	-	23	-	16	-	+	-	16		20
8. Научное обоснование результатов и выводы	7	7	14	14	10	10	+	+	5	5	6	6
9. Разработка плана по оформлению НИР	2	2	5	5	3	3	+	+	1	1,5	2	2
10. Оформление отчета НИР	-	20	-	30	-	24	-	+	-	24		30
11. Защита выпускной квалификационной работы								+	-	1		1

На основе таблицы 10 строится календарный план-график (таблица 11).

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НИР по теме

№ работ	Исполнитель	T_{ki} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ																	
			дек.		январь		февр.			март			апрель			май			июнь	
			2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	р	12																		
2	р, и	17																		
3	р	12																		
4	и	12																		
5	р	12																		
6	и	20																		
7	и	10																		

Продолжение таблицы 11																				
8	р, и	6													<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
9	р, и	2													<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
10	и	30																		
11	и	1																		

- научный руководитель - Исполнитель по проекту

4.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИР должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИР используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НИР;
2. затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
3. основная заработная плата исполнителей темы;
4. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
5. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
6. затраты научные и производственные командировки;
7. контрагентные расходы;
8. накладные расходы.

4.6.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Таблица 12 – Сырье, материалы

Наименование	Единица измерения		Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (Зм), руб.	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Проволока Fe	кг	кг	1 кг	1 кг	300	300	300	300
Проволока Si	кг	кг	1 кг	1 кг	450	450	450	450
Аргон	л	л	150 л	200 л	1,4	1,4	210	280
Азот	л	л	150 л	200 л	0,47	0,47	70	94
Итого							1030	1124

Продолжение таблицы 12

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
	Исп.3	Исп.3	Исп.3	Исп.3
Проволока Fe	кг	1,5 кг	300	450
Проволока Si	кг	2 кг	450	900
Аргон	л	300 л	1,4	420
Азот	л	300 л	0,47	141
Итого				1911

Таблица 13 – бюджет затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования		Кол-во единиц оборудования		Цена единицы оборудования, тыс. руб.		Общая стоимость оборудования, тыс. руб.	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1	Установка УДП- 4	Установка УДП- 150	1	1	2000000	2350000	2000000	2350000
2	Компьютер	Компьютер	1	1	30000	30000	30000	30000
Итого:							2030000	2380000

Продолжение таблицы 13

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
	Исп.3	Исп.3	Исп.3	Исп.3
1	Установка УДП-10	1	2100000	2100000
2	Компьютер	1	30000	30000
Итого:				2130000

4.6.2 Амортизационные отчисления

$$N_a = (1/T) \cdot 100\% \quad (3)$$

$$A = \left(\frac{S}{365}\right) * N_a * t \quad (4)$$

где t – время эксплуатации (дни);

T – срок службы;

N_a – норма амортизации.

Таблица 14 – Амортизационные отчисления

	№	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Срок служ- бы, T, дни	Время эксплуа- тации, t, дни	N_a норма амортизации	Амортизационные отчисления, руб.
Исп.1	1	Установка УДП- 4	2000000	5475	10	0,018	987
	2	Компьютер	30000	2190	60	0,046	227
	Итого						1214
Исп.2	1	Установка УДП- 150	2350000	5400	10	0,019	1224
	2	Компьютер	30000	2190	60	0,046	227
	Итого						1451
	1	Установка УДП- 10	2100000	5000	10	0,02	1151

Продолжение таблицы 14							
Исп. 3	2	Компьютер	30000	2190	60	0,046	227
	Итого						1378

4.6.3 Расчет заработной платы

Заработная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени. Расчет заработной платы персоналу сведен в таблицу 15.

Таблица 15 – Расчёт заработной платы

Исполнители	Зарплата, руб./мес.	Средняя ЗП (22 раб дня)	Количество отработанных дней	Всего з.п, руб	Дополнительная з.п.	Отчисления на социальные нужды
Руководитель	46000	2091	61	127551	15307	42857
Исполнитель	25000	1137	98	111426	13372	37440
Итого:				238977	28679	80297

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (5)$$

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (6)$$

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

Отчисления на социальные нужды составляет 30%

4.6.4 Затраты на электроэнергию

Тариф на электроэнергию – 3,43 руб/(кВт * ч). ☐

Таблица 16 – Затраты на электроэнергию

Исп.	Наименование оборудования	Мощность, кВт	Время эксплуатации, Час	Расход электроэнергии, руб.
Исп.1	Установка УДП – 4	3,5	10	120
	Компьютер	0,35	240	289
	Итого			409
Исп.2	Установка УДП – 150	5,5	10	189
	Компьютер	0,4	240	330
	Итого			519
Исп.3	Установка УДП – 10	6	10	206
	Компьютер	0,4	240	330
	Итого			536

Затраты на водоснабжение

Тариф на водоснабжение 36,19 р. м³

Примерный расход воды за время исследований составляет 10 м³

Затраты на водоснабжение за весь период исследования составляет 362 руб.

Затраты на водоотведение

Тарифы на водоотведение 24,66 р.м³

Затраты на водоотведение за весь период исследования составляет 247 руб.

4.6.5 Накладные расходы

Накладные расходы составляют 16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (7)$$

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

Таблица 17 – Накладные расходы

Исполнитель	Всего з.п.,руб.	Дополнительная з.п., руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	127551	15307	22858
Исполнитель проекта	111426	13372	19968
Итого			42826

В данной статье затрат рассматриваются расходы по оплате услуг сторонних организаций, связанных с исследованиями НИОКР. В таблице 18 представлены затраты на исследования.

Таблица 18 – Расходы на сторонние организации

Организация	Выполняемые работы	Сумма, руб.
ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех»	Проведение рентгенофазового анализа	7000
ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех»	Проведение просвечивающей электронной микроскопии с разрешением 0,14 нм.	7000
Итого		14000

4.6.6 Полная смета затрат на выполнение НИР

Полная смета затрат приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Полная смета затрат

Статьи	Затраты, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Сырье и материалы	1030	1124	1911
Заработная плата	238977	238977	238977
Дополнительная заработная плата	28679	28679	28679
Отчисления на социальные нужды	80297	80297	80297
Сторонние организации	14000	14000	14000
Амортизация оборудования	1214	1451	1378
Прочие расходы	1018	1128	1145
Накладные расходы	42826	42826	42826
Итого	408041	408482	409213

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (8)$$

Для исследования интегрального показателя разработки были выбраны исп. 1 и исп. 2

Полученные показатели:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{408041}{409213} = 0,99,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{408482}{409213} = 0,99,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{409213}{409213} = 1,$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в том числе аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (9)$$

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 рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Широкий диапазон расчета	0,3	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	4
3. Энергоэкономичность	0,1	3	4	3
4. Надежность	0,05	4	4	5
5. Безопасность	0,1	4	4	3
6. Потребность в ресурсах	0,1	5	2	2
7. Качество получаемого нанопорошка	0,2	4	2	3
8. Стоимость конечного продукта	0,05	3	3	3
ИТОГО	1	33	26	27

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,05 = 4,35;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,05 = 3,05;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,05 = 3,3;$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп.2}}{I_{финр.2}}, \quad I_{исп.3} = \frac{I_{р-исп.3}}{I_{финр.3}} \quad (10)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,35}{0,99} = 4,39, \quad I_{исп.2} = \frac{3,05}{0,99} = 3,08, \quad I_{исп.3} = \frac{3,3}{1} = 3,3$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (11)$$

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп. 3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	0,99	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	3,05	3,3
Интегральный показатель эффективности	4,39	3,08	3,3
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,7	0,75

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более

эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 Социальная ответственность

Введение

В данном разделе рассматриваются вредные и опасные факторы труда, меры защиты от них на рабочем месте в соответствии с требованиями нормативно-технических документов, а также даются рекомендации по обеспечению оптимальных условий труда и охране окружающей среды.

В выпускной квалификационной работе рассматривается влияние параметров электрического взрыва скрутки медной и железной проволок на структурно-фазовое состояние формирующихся биметаллических наночастиц Cu-Fe. Установка позволяет с помощью электрического взрыва получать данные наночастицы.

Во время работы за установкой персонал подвержен влиянию следующих факторов:

1. Повышенное значение напряжения
2. Уровень статического электричества
3. Наличие вредных веществ
4. Уровень электромагнитного излучения
5. Уровень шума
6. Микроклимат
7. Освещение рабочей области

5.1 Метеоусловия и микроклимат на рабочем месте

Под микроклиматом понимаются метеорологические условия внутренней среды рабочего помещения, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения. Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду.

Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой. Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении.

В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия. Оптимальные параметры микроклимата в рабочей зоне приведены в таблице 1.

Таблица 22 – Оптимальные параметры микроклимата в рабочей зоне

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	21 – 23°C
		Относительная влажность	40 – 60%
		Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Параметр микроклимата	Величина
Теплый	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	22 – 24°C
		Относительная влажность	40 – 60%
		Скорость движения воздуха	0,1 – 0,2 м/с

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Воздух, поступающий в рабочие помещения, должен быть очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов. Патогенной микрофлоры быть не должно.

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19°C.

В таблице 23 отображены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах.

Таблица 23 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Iб (140 - 174)	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	15 - 75	0,1	0,2
Теплый	Iб (140 - 174)	20,0-21,9	24,1-28,0	15 – 75 *	0,1	0,2

В помещении имеется только естественная и искусственная вентиляция (форточки окон, двери). Отопление зимой осуществляется только через систему общего отопления (городская). В крайнем случае, устанавливаются электрические обогреватели в зимнее время и вентилятор в летнее.

5.2 Вредные вещества и работа с нанопорошками

Так как, основная часть работы связана с получением и изучением нанопорошков железа и меди ниже приведены ГОСТы и нормативы при работе с данными порошками.

Согласно ГН 2.2.5.1313-03 железо относится к 4 классу опасности, а медь ко 2 классу опасности.

В таблице 24 представлены предельно допустимые концентрации (ПДК) железа и меди в воздухе рабочей зоны

Таблица 24 – предельно допустимые концентрации (ПДК) железа и меди в воздухе рабочей зоны

Элемент	Величина ПДК (мг/м ³)	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе	Класс опасности	Особенности действия на организм
Железо (Fe)	-/10	а	4	Ф
Медь (Cu)	1/0,5	а	2	

Примечание: 4 класс – малоопасные; 2 класс – высокоопасные; а – аэрозоль; Ф - аэрозоли, преимущественно фиброгенного действия.

Для каждого работника, связанного с разработкой с нанопорошками, предусмотрены следующие средства индивидуальной защиты:

- костюм хлопчатобумажный, куртка на утепляющей прокладке по ГОСТ 1126;
- брезентовые рукавицы по ГОСТ 12.4.010;
- резиновые перчатки по ГОСТ 20010;
- хлопчатобумажные перчатки по ГОСТ 12.4.183 и ГОСТ 5007;
- ботинки на кожаной подошве по ГОСТ 28507 и ГОСТ 12.4.137;
- противоаэрозольный респиратор по ГОСТ 12.4.004;
- противогаз по ГОСТ 12.4.041;
- защитная маска по ГОСТ 12.4.041 или щиток по ГОСТ 12.4.023.

5.2.1 Работа с нанопорошком железа

Работы с порошком выполнялись, основываясь на ГОСТ 18904.6-89. В основных требованиях безопасности указано:

- Железо и его соединения в воздухе рабочей зоны не образуют токсичных веществ и относятся к четвертому классу опасности.

- Помещения, в которых выполняется химическая обработка железа, должны быть оборудованы вентиляционными системами по ГОСТ 12.4.021.
- Пожарная безопасность лабораторных помещений должна обеспечиваться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004.
- К работе в аналитической лаборатории должны допускаться лица, прошедшие инструктаж в соответствии с ГОСТ 12.0.004.
- Общие требования безопасности при анализе железа – нормативно-техническая документация.

5.2.2 Работа с нанопорошком меди

Проведение работы с порошком меди основывались в основном на ГОСТ 4960-2009. Также, как и при работе с порошком тантала, ниже приведены основные требования безопасности:

- Медь и её соединения в воздухе рабочей зоны не образуют токсичных веществ и относятся ко второму классу опасности.
- Помещения, в которых выполняется химическая обработка навесок меди, должны быть оборудованы вентиляционными системами по ГОСТ 12.4.021.
- Пожарная безопасность лабораторных помещений должна обеспечиваться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004.
- К работе в аналитической лаборатории должны допускаться лица, прошедшие инструктаж в соответствии с ГОСТ 12.0.004.
- Общие требования безопасности при анализе меди – нормативно-техническая документация.

5.3 Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Установка работает на напряжение 30-35 кВ, которое представляет физическую опасность при возможном замыкании электрической цепи через человека.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ предельно допустимые значения напряжения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжение выше 1000 В с изолированной нейтралью для постоянного тока не должны превышать значений, приведенных в таблице 4.

Таблица 25– Предельно допустимые значения напряжения и тока

Нормируемая величина	Предельно допустимые значения при продолжительности воздействия тока t , с										
	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200
I, мА											

Для обеспечения защиты персонала от прикосновения используются следующие средства защиты, регламентируемые ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ: изоляция и безопасное расположение токоведущих частей, защитное заземление.

6.4 Повышенный уровень шума

Во время работы за установкой для получения биметаллических наночастиц *Fe-Cu* персонал подвержен влиянию шума, создаваемого взрывом проволочек и форвакуумным насосом. Как результат может снижаться производительность труда, внимание и повышается вероятность появления несчастного случая. Уровень шума и звукового давления на рабочем месте регламентируется СН 2.2.4/2.1.8.562-96, согласно которому уровень звукового

давления со среднегеометрической частотой 500 Гц не должен превышать 73 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ:

1. устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
3. применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

СИЗ: применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

Уровень шума, возникающий от нескольких некогерентных источников, работающих одновременно, подсчитывается на основании принципа энергетического суммирования излучений отдельных источников:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^{i=n} 10^{0,1L_i},$$

где L_i – уровень звукового давления i -го источника шума;

n – количество источников шума.

Основным источником производственного шума и вибрации являются двигатель системы вентиляции и установка УДП-150.

Уровни звукового давления источников шума, действующих на оператора на его рабочем месте, представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Уровни звукового давления различных источников

Источник шума	Уровень шума, дБ
Вакуумный насос	25
Система вентиляции	20
Установка УДП – 150	65

Подставив значения уровня звукового давления для каждого вида оборудования в формулу, получим:

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \lg(10^{2.5} + 10^2 + 10^{6.5}) = 65,5 \text{ дБ}$$

Полученное значение не превышает допустимый уровень шума. Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются: виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы). Во время проведения опытов на установке УДП-150 все сотрудники пользуются наушниками и очками.

5.5 Повышенный уровень электромагнитных полей и излучений

Источниками электромагнитных полей и излучений является: высоковольтный блок, токоведущие шины. Электромагнитное поле обладает способностью биологического, специфического теплового воздействия на организм человека. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови. Для снижения влияние электромагнитных полей применяется экранирование. Допустимые напряженности полей и время работы регулируется СанПиН 2.2.4.1191-03. При нахождении на рабочем месте всю

смену напряженность электрического поля не должна превышать 5кВ/м, напряженность магнитного поля не более 8 кА/м при магнитной индукции менее 100 мкТл. При превышении данных значений необходимо уменьшать время работы персонала за установкой.

5.6 Недостаточная освещенность рабочей зоны

При работе за установкой для получения биметаллических наночастиц *Fe-Cu* возникает необходимость соответствующего освещения. Для обеспечения достаточной освещенности используется СП 52.13330.2011, согласно которому при работе малой точности освещенность рабочего места при системе общего освещения должна составлять 400 лк с коэффициентом пульсации не более 20%. Лаборатория имеет разряд зрительной работы VIII а. Освещение должно быть таким, чтобы не давать глазам ощущение напряжения, так как при плохом освещении оператор быстро устает, работает медленнее, повышается вероятность совершения ошибок. К тому же плохое освещение может привести к некоторым профессиональным заболеваниям.

Так как в производственном помещении отсутствует естественное освещение, в период любого промежутка времени применяется искусственное освещение - люминесцентные лампы (их свечение приближено к естественному). Для обеспечения требуемого качества освещения люминесцентные лампы устанавливаются на потолке и на верхней части стен.

5.7 Сосуды с повышенным давлением

Сосуды с повышенным давлением, а также сама камера установки представляют опасность, потому что при механическом повреждении или разгерметизации камеры (3 атм.) может произойти взрыв и поражение персонала осколками. Для ЭВП рабочей средой является газ аргон или азот. Регламентируется это документом ПБ 10–115–96, в соответствии с которым

сосуд должен быть снабжен манометром прямого действия. На баллоне с газом должна находиться информация: масса баллона, дата изготовления и освидетельствования, вместимость и рабочее давление, закаченный газ. Цвет окраски баллона должен соответствовать типу газа, закаченного внутрь. Установка сосудов должна исключать возможность их опрокидывания.

5.8 Региональная безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

В данной работе нанопорошки железа и меди получали методом электрического взрыва проводника, который в данный момент является одним из самых экологически безвредных. Получение порошков осуществляется в среде инертных газов или азоте без добавления различных химических и других добавок, что полностью исключает вредные выбросы в атмосферу. Метод электрического взрыва проводника является не очень энергозатратным, что также положительно сказывается на его экологической значимости.

Работа установки сопровождается минимальным выделением тепла. Практически вся энергия тратится на нагрев непосредственно проводника и его взрыв, что значительно повышает КПД электровзрывного метода по сравнению с другими.

5.9 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Большая часть работы оператора выполняется стоя, поэтому необходимо обеспечить комфортное и безопасное рабочее место в соответствии с антропометрическими показателями и эргономикой. Требования к размещению органов управления и средств отображения информации описаны в

ГОСТ 22269-76. При расположении элементов рабочего места должны быть предусмотрены необходимые средства защиты человека-оператора от воздействия опасных и вредных факторов, предусмотренных ГОСТ 12.0.003-74, а также условия для экстренного ухода оператора с рабочего места.

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

- 1) ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
- 2) СанПиН: 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным вычислительным машинам и организации работы".
- 3) ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия.
- 4) СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 5) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
- 6) ГОСТ 14837-79. Требования безопасности при работе с порошками железа и меди.
- 7) ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 8) ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 9) ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
- 10) СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
- 11) СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

Графические материалы

- 1) План эвакуации из лаборатории
- 2) Схема расположения осветительных приборов

5.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятной чрезвычайной ситуацией (ЧС) для объекта исследования выступают пожары и взрывы. Для предотвращения ЧС необходимо перед эксплуатацией произвести осмотр оборудования на наличие неисправностей, проверить систему предохранителей и защиты электрооборудования. Помещение должно быть оборудовано пожарной сигнализацией, датчиками загазованности и дыма, первичными средствами пожаротушения, планом эвакуации. При возгорании немедленно сообщить о пожаре по телефону 01, дать сигнал тревоги, принять меры по организации эвакуации людей, одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения.

Заключение

В ходе выполнения работы были определены параметры контура установки УДП-4, энергия сублимации проволочек, емкость ГИТ. Далее определялся структурно-фазовый состав полученных биметаллических наночастиц Cu-Fe методом ЭВП с помощью рентгеновского микроанализа, рентгеноструктурного анализа.

По данным рентгеновского микроанализа следует, что в образце отсутствуют наночастицы, представленные только одним из элементов. Это позволяет считать, что вероятная несинхронность взрыва проводника не приводит к формированию механической смеси частиц различных металлов. Для функции распределения по размерам наночастиц Fe-Cu образцы имеют нормально-логарифмическое распределение, и средний размер частиц не превышает 100 нм. Использование азота позволяет получить наночастицы Fe-Cu с меньшим размером при тех же параметрах ЭВП.

Результаты рентгеноструктурного анализа показывают, что для всех образцов характерно формирование двух фаз – меди с параметром решетки, близким к $a \approx 3.615 \text{ \AA}$ и железа с параметром решетки, близким к $a \approx 2.866 \text{ \AA}$. Близость к указанным параметрам позволяет сделать вывод, что в условиях проведенных экспериментов не наблюдается формирования твердых растворов на основе указанных металлов. Причиной расслоения металлов наиболее вероятно является несоответствие структурных типов решеток (ГЦК-ОЦК).

Полученные результаты показывают, что методом электрического взрыва скрутки двух проволок различных металлов могут быть получены биметаллические наночастицы Fe-Cu с различным соотношением элементов в образцах. Использование в качестве буферного газа азота позволяет уменьшить размер частиц, в сравнении с образцами, полученными в аргоне. Биметаллические наночастицы Fe-Cu могут быть использованы для создания демпфирующих материалов, а также в катализе.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», было сделано следующее:

- Проанализирован рынок производства нанопорошков, подтверждающий коммерческий потенциал НТП;
- Проведен анализ конкурентоспособности получения биметаллических наночастиц Fe-Cu методом ЭВП, который показал, что научно-исследовательский проект является актуальным, эффективным;
- Рассчитан бюджет проекта и продолжительность проекта 98 рабочих дней.
- Произведена оценка ресурсоэффективности проекта, которая указала, что наиболее эффективен первый вариант исполнения проекта.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные факторы труда, меры защиты от них на рабочем месте в соответствии с требованиями нормативно-технических документов, а также даются рекомендации по обеспечению оптимальных условий труда и охране окружающей среды.

Список использованных источников

1. Сорокин В.К., Шмелев Л.С. Технологии изготовления и оборудования по производству порошковых и композиционных материалов и изделий: учеб. пособие. - Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. - 184 с.
2. Двойные диаграммы сплавов меди [Электронный ресурс] // sinref.ru - библиотека онлайн [Официальный Сайт]. URL: http://sinref.ru/000_uchebniki/03400metalurg/010_uvelirnoe_hudojestv_liti_o_po_modelam_splavov_medi_1991/004.htm/ (дата обращения: 16.03.2017).
3. Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. Сплавы на основе систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии (теория, технология, структура и свойства). - М.: Интерконтакт наука, 2002. - 372 с.
4. M. Qi, M. Zhu, and D.Z. Yang. On the supersaturated solution in the Fe-Cu binary system induced by high energy ball milling. *Journal of Materials Science Letters*, 13(13):966–968, 1994.
5. K. Sumiyama, T. Yoshitake, and Y. Nakamura. Magnetic properties of metastable bcc and fcc Fe-Cu alloys produced by vapor quenching. *Journal of the Physical Society of Japan*, 53(9):3160–3165, 1984.
6. E.F.Kneller. Magnetic and structural properties of metastable Fe-Cu solid solutions. *Journal of Applied Physics*, 35(7):2210–2211, 1964.
7. F.Kajzar and G.Parette. Magnetic moment distribution in bcc Fe-Cu alloys. *Journal of Applied Physics*, 50(B3):1966–1968, 1979.
8. Эльсукова А. Фазовая сегрегация Fe-Cu(Ag) и усиление диффузии в газовой фазе наночастиц Fe-Cu, получаемые путем магнетронного распыления при постоянном токе: дис. к.т.н - Дуйсбург, 2014. - 206 с.
9. Sindhu, T. K., Sarathi, R., & Chakravarthy, S. R. (2008). Understanding nanoparticle formation by a wire explosion process through experimental

and modelling studies. Nanotechnology, 19(2) doi:10.1088/0957-4484/19/02/025703

10. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А.. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсо-сбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.

