

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование фазовых переходов при лазерной абляции в магнитном поле

УДК 621.039.33:539.163:546.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Адилъханов Диас Ерланулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Хан В.А.	д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Видяев Д.Г.	д.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Видяев Д.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM01	Адильханову Диасу Ерланулы

Тема работы:

Исследование фазовых переходов при лазерной абляции в магнитном поле	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 116-28/С от 26.04.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Задание. Научные статьи по основам процесса нуклеации и физико-химическим процессам протекающим в постоянном магнитном поле.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор и анализ литературы 2. Описание математической модели нуклеации паров в слабом постоянном магнитном поле 3. Результаты расчетов, их анализ 4. Экономический расчет 5. Охрана труда и техника безопасности 6. Выводы. Заключение

Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none">1. Принципиальная схема экспериментальной установки2. Модель формирования наночастиц3. Диаграмма Ганта
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Отделения социально-гуманитарных наук, к.э.н. Клемашева Е.И.
Социальная ответственность	Доцент Отделения ядерно-топливного цикла, к.т.н. Передерин Ю.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Хан В.А.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ01	Адильханов Д.Е.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM01	Адилъханову Диасу Ерланулы

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска; тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием организации.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30% премии; 1,3 районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов 30,2%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	1. Цели и результат проекта. 2. Организационная структура проекта. 3. Ограничения и допущения проекта.
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана разработки; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на НИ.
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности; 4. Оценка абсолютной эффективности НИ.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Сегментирование рынка 2. Оценка конкурентоспособности технических решений 3. Матрица SWOT-анализа 4. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.22
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Адилъханов Д.Е.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОАМ01	Адилъханову Диасу Ерланулы

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Исследование фазовых переходов при лазерной абляции в магнитном поле	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: керамические и стальные мишени Область применения: атомная промышленность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Правовые нормы трудового законодательства; – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ: – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума; – психофизиологические факторы; – опасность поражения электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– выбор и описание типичной ЧС: пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2022 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОАМ01	Адилъханов Д.Е.		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация включает в себя: 112 страниц, 32 таблицы, 24 рисунка, 20 литературных источников.

Ключевые слова: нанопорошок, магнитное поле, абляция, дисперсность, мишень, индукция, лазер, диапазон размеров.

Объектом исследования являются нанодисперсные порошки, получаемые при лазерной абляции во внешнем магнитном поле.

Область применения: получение нанопорошков, получение изотопных наноструктурированных материалов.

Целью работы является изучение влияния слабого постоянного магнитного поля на процесс формирования наночастиц диамагнитного материала.

Научная новизна: впервые разработана физико-математическая модель процессов, протекающих при формировании наночастиц в слабом постоянном магнитном поле.

Проведены эксперименты по получению наночастиц путём лазерной абляции мишеней. Из анализа данных по электронной микроскопии следует что, верхний диапазон размеров частиц свинца образующихся без магнитного поля составляет 400 нм, в магнитном поле 300 мТл размер не превышает 340 нм. Не обнаружены частицы свинца размером менее 10 нм, образовавшихся в магнитном поле 300 мТл.

Составлена модель роста наночастиц. Показано что в магнитном поле 300 мТл при температуре кипения свинца 2022К соответствует время нахождения в сорбированном состоянии $4,47 \cdot 10^{-11}$ с. Такое время конверсии наблюдается в магнитном поле с индукцией 300 мТл. Поэтому в магнитных полях с индукцией более 300 мТл время триплет-синглетной конверсии превышает время сорбции атома свинца, что обеспечивает максимальное влияние поля на процесс нуклиации.

Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературы	14
1.1 Методы получения нанопорошков.....	14
1.1.1 Химические методы.....	14
1.1.2 Физические методы.....	16
1.1.3 Механические методы	18
1.2 Свойства нанопорошков.....	21
1.3 Применение нанопорошков	23
1.4 Плазмохимический синтез оксидов металлов	24
1.5 Лазерная абляция	28
1.5.1 Схема и основные принципы лазерной абляции	30
2 Основная часть	33
2.1 Экспериментальная установка.....	33
2.2 Лазерная установка «Мини маркер 2» на основе волоконного лазера .	35
2.3 Настройка экспериментального стенда	36
2.4 Экспериментальные результаты и их анализ.....	42
2.5 Модель формирования наночастиц.....	44
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 48	
3.1 Предпроектный анализ	49
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	50
3.1.3 SWOT-анализ.....	51
3.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	53

3.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	55
3.2	Инициация проекта	56
3.2.1	Реестр рисков проекта	58
3.2.2	Планирование научно-исследовательского проекта	59
3.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	61
3.3.1	Расчет материальных затрат	62
3.3.2	Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ	62
3.3.3	Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования.....	64
3.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды	67
3.3.5	Накладные расходы.....	68
3.4	Определение ресурсной эффективности проекта.....	69
3.5	Оценка абсолютной эффективности НИ	71
4	Социальная ответственность	76
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
4.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	76
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	78
4.2	Производственная безопасность	80
4.2.1	Анализ вредных и опасных факторов	80
4.3	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.....	82
4.3.1	Отклонение показателей микроклимата.....	82

4.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	83
4.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	84
4.3.4 Превышение уровня шума.....	88
4.3.5 Психофизиологические факторы.....	89
4.3.6 Поражение электрическим током.....	89
4.4 Экологическая безопасность.....	92
4.5 Химическая безопасность.....	93
4.6 Пожарная и взрывная безопасность.....	94
4.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
4.7.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования.....	96
Выводы по разделу.....	98
Выводы.....	99
Список использованных источников.....	100
Приложение А.....	102

Введение

В настоящее время нанопорошки являются видом наноматериалов, производимых в больших количествах. В отличие от наноразмерных нитей, фуллеренов, нанотрубок, графена и пр., нанопорошки могут быть изготовлены практически из любых материалов. Основным критерием исходного сырья является лишь его химическая чистота. Также отличаются относительной дешевизной, доступностью и простотой методов производства данной продукции.

Порошки металлов в отличие от своих массивных состояний обладают весьма специфическими свойствами, в частности электрофизическими.

С уменьшением линейных размеров частиц порошка, качественно изменяются и их свойства (понижается температура начала плавления, теплота испарения, энергия ионизации, работа выхода электронов и др.). Это открывает широкий диапазон применения нанопорошков в области создания новейших материалов и технологий, принципиально новых приборов и устройств. Особый интерес к нанопорошкам связан с их применением в качестве исходного сырья при производстве керамических, магнитных и композиционных материалов, сверхпроводников, солнечных батарей, фильтров, присадок к смазочным материалам, компонентов низкотемпературных высокопрочных припоев и др.

Потребительская ценность нанопорошков, определяется диапазоном размеров: чем шире функция распределения по размерам, тем в более широком диапазоне изменяются, например, электро- или теплофизические характеристики. Однако в настоящее время арсенал средств, позволяющих регулировать диапазоном размеров ограничен, поэтому актуальны исследования, связанные с разработкой методов управления размерами, формирующихся наночастиц.

Целью данной работы является изучение влияния слабого постоянного магнитного поля на процесс формирования наночастиц диамагнитного материала.

Для достижения поставленной цели, необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Разработка узла формирования наночастиц
- 2) Анализ получаемых наночастиц и разработка модели физико-химических процессов, протекающих при нуклеации в магнитном поле

1 Обзор литературы

1.1 Методы получения нанопорошков

К настоящему времени разработано большое количество методов и способов получения наноматериалов. Это обусловлено разнообразием состава и свойства наноматериалов, с одной стороны, а с другой позволяет расширять ассортимент данного класса веществ, создавать новые, уникальные образцы.

Методы получения наноматериалов можно разделить на:

- Механические;
- Физические;
- Химические;

В этой классификации в основе механических методов получения наноматериалов лежит воздействие больших деформирующих нагрузок: давления, изгиба, вибрации, трения, кавитационные процессы. Физические методы получения основываются на физических превращениях: испарении, конденсации, возгонке, закалке, термоциклировании. К химическим относятся методы, основным диспергирующим этапом которых является собственно химическая реакция: электролиз, восстановление, термическое разложение.

Использование какого-либо способа получения наночастиц ориентируется областью их применения и требуемыми свойствами получаемого продукта. Свойства получаемых продуктов — гранулометрический состав и форма частиц, химический состав, величина удельной поверхности — могут изменяться в зависимости от метода получения в широком диапазоне. [7]

1.1.1 Химические методы

Химические методы синтеза включают различные реакции и процессы, в том числе процессы:

- осаждения,
- термического разложения или пиролиза,

- газофазных химических реакций,
- восстановления,
- гидролиза,
- электроосаждения.

Изменяя соотношение количества реагентов, степени пересыщения, температуры процесса можно регулировать скорость образования и роста зародышей наночастиц.

Способ осаждения заключается в осаждении различных соединений металлов из растворов их солей с помощью осадителей. Продуктом осаждения являются гидроксиды металлов. В качестве осадителя используют растворы щелочей натрия, калия и другие.

Регулируя pH и температуру раствора, создают условия, при которых получаются высокие скорости кристаллизации и образуется высокодисперсный гидроксид. Этим методом можно получать порошки сферической, игольчатой, чешуйчатой или неправильной формы с размером частиц до 100 нм.

Нанопорошки сложного состава получают методом соосаждения. В этом случае в реактор подают одновременно два или более растворов солей металлов и щелочи при заданной температуре и перемешивании. В результате получают гидроксидные соединения нужного состава.

Способ гетерофазного взаимодействия осуществляют путем ступенчатого нагрева смесей твердых солей металлов с раствором щелочи с образованием оксидной суспензии и последующим восстановлением металла. Таким способом получают металлические порошки с размером частиц в пределах 10 – 100 нм.

Гель-метод заключается в осаждении из водных растворов нерастворимых металлических соединений в виде гелей.

Следующая стадия — восстановление металла. Этот способ применяется для получения порошков железа и других металлов. [7]

Способ восстановления и термического разложения — обычно это следующая операция после получения в растворе ультрадисперсных оксидов или гидроксидов с последующим осаждением и сушкой.

В качестве восстановителей, в зависимости от вида требуемого продукта, используют газообразные восстановители — как правило, водород, оксид углерода или твердые восстановители.

Нанопорошки Fe, W, Ni, Co, Cu и ряда других металлов получают восстановлением их оксидов водородом.

В качестве твердых восстановителей используют углерод, металлы или гидриды металлов. Таким способом получают нанопорошки металлов: Mo, Cr, Pt, Ni и другие. Как правило, размер частиц находится в пределах 10-30 нм.

Более сильными восстановителями являются гидриды металлов — обычно гидрид кальция. Так получают нанопорошки Zr, Hf, Ta, Nb.

В ряде случаев нанопорошки получают путем разложения формиатов, карбонатов, карбониллов, оксалатов, ацетатов металлов в результате процессов термической диссоциации или пиролиза.

Так, за счет реакции диссоциации карбониллов металлов получают порошки Ni, Mo, Fe, W, Cr.

Путем термического разложения смеси карбониллов на нагретой подложке получают полиметаллические пленки. УДП металлов, оксидов, а также смесей металлов и оксидов получают путем пиролиза формиатов металлов. [1]

Таким способом получают порошки металлов, в том числе Mn, Fe, Ca, Zr, Ni, Co, их оксидов и металлооксидных смесей.

1.1.2 Физические методы

Способы испарения (конденсации), или газофазный синтез получения нанопорошков металлов, основаны на испарении металлов, сплавов или оксидов с последующей их конденсацией в реакторе с контролируемой температурой и атмосферой.

Фазовые переходы пар — жидкость — твердое тело или пар — твердое тело происходят в объеме реактора или на поверхности охлаждаемой подложки или стенок. Кроме того, процесс испарения-конденсации (рис. 1.1) можно проводить в вакууме или среде нейтрального газа, а также применять различные способы охлаждения.

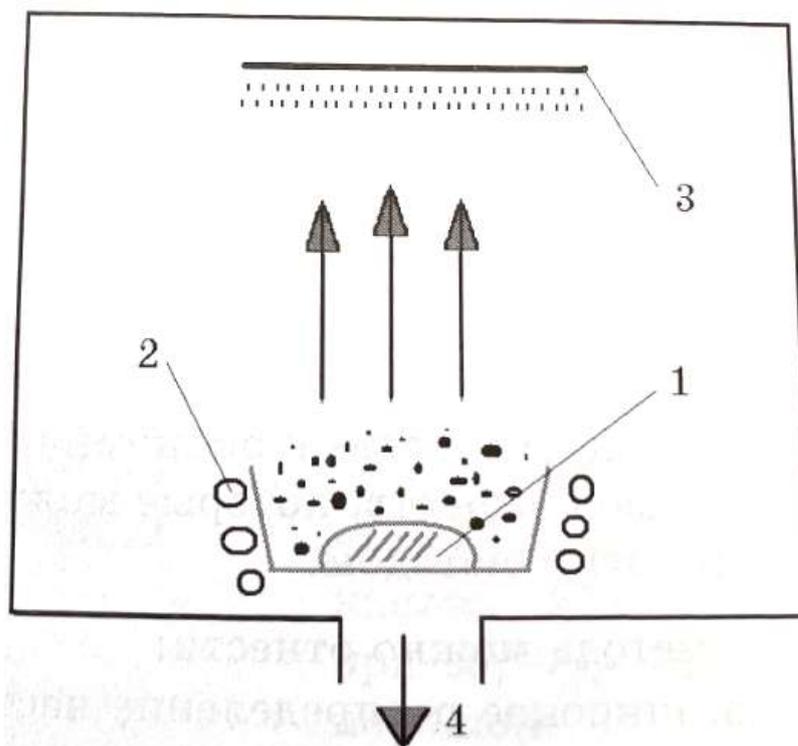


Рисунок 1.1 Схема установки для получения нанопорошка методом испарения-конденсации: 1 – испаряемое вещество; 2 – нагреватель; 3 – осадительная поверхность; 4 – откачка сосуда

Сущность способа состоит в том, что исходное вещество испаряется путем интенсивного нагрева, с помощью газа-носителя подается в реакционное пространство, где резко охлаждается. Нагрев испаряемого вещества осуществляется с помощью плазмы, лазера, электрической дуги, печей сопротивления, индукционным способом, пропусканием электрического тока через проволоку.

Возможно также бестигельное испарение. В зависимости от вида исходных материалов и получаемого продукта, испарение и конденсацию проводят в вакууме, в инертном газе, в потоке газа или плазмы. [7]

Размер и форма частиц зависят от температуры процесса, состава атмосферы и давления в реакционном пространстве. В атмосфере гелия частицы будут иметь меньший размер, чем в атмосфере аргона — более плотного газа. Таким методом получают порошки Ni, Mo, Fe, Ti, Al. Размер частиц при этом — десятки нанометров.

В свое время появился, а в дальнейшем утвердился способ получения наноматериалов путем электрического взрыва проволок (проводников). В этом случае в реакторе между электродами помещают проволоки металла, из которого намечается получение нанопорошка, диаметром 0,1-1,0 мм.

На электроды подают импульс тока большой силы (104-106 А/мм²). При этом происходит мгновенный разогрев и испарение проволок. [2]

Пары металла разлетаются, охлаждаются и конденсируются. Процесс идет в атмосфере гелия или аргона.

Наночастицы оседают в реакторе. Таким способом получают металлические (Ti, Co, W, Fe, Mo) и оксидные (TiO₂, Al₂O₃, ZrO₂) нанопорошки с крупностью частиц до 100 нм. [7]

1.1.3 Механические методы

Механическое измельчение или размол проводится в различных устройствах, а именно: в шаровых, планетарных, вибрационных, вихревых, гироскопических, струйных мельницах, атриторах и симойлерах.

При измельчении материалов механическое воздействие является импульсным, то есть возникновение поля напряжений происходит не в течении всего времени пребывания частиц в реакторе, а только в момент соударения частиц и в короткое время после него. Механическое воздействие является также и локальным, так как происходит не во всей массе твердого вещества, а там, где возникает поле напряжений.

На рис. 1.2 представлена принципиальная схема шаровой вибрационной мельницы. В ходе измельчения дебалансы – неуравновешенные массы вала – при его вращении вызывают круговые колебания корпуса

мельницы с амплитудой 2 – 4 мм, траектория которых лежит в плоскости, перпендикулярной оси вибратора. [7]

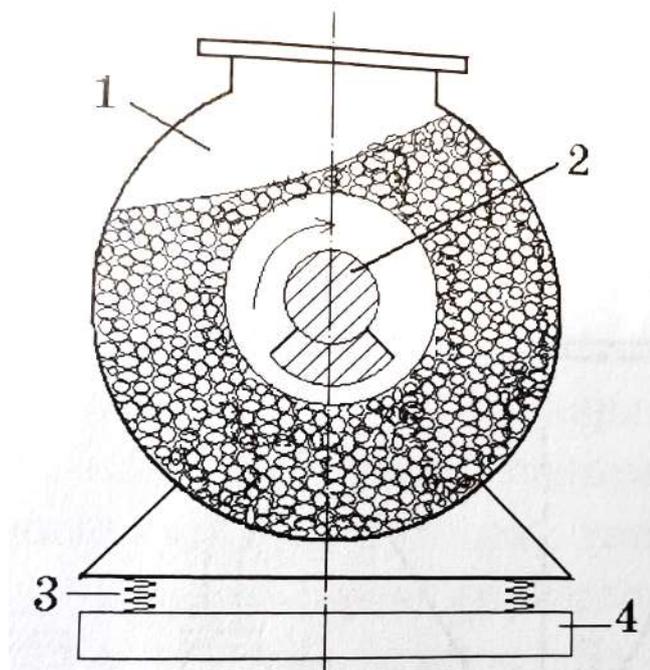


Рисунок 1.2 Схема вибрационной мельницы: 1 – корпус; 2 – вал с дебалансами; 3 – спиральные пружины; 4 – неподвижная рама

При этом как размольные тела, так и измельчаемый материал получают частые импульсы от стенок корпуса, в результате чего они подсакивают, соударяются, вращаются, скользят по стенкам мельницы и падают с большой скоростью. По сравнению с шаровой мельницей ударный импульс отдельного размольного тела в данном устройстве относительно невелик.

Атриторы и симолойеры - это высокоэнергетические измельчительные аппараты с неподвижным корпусом - барабаном с мешалками, передающими движение шарам в барабане. Атриторы имеют вертикальное расположение барабана, симолойеры - горизонтальное. [7]

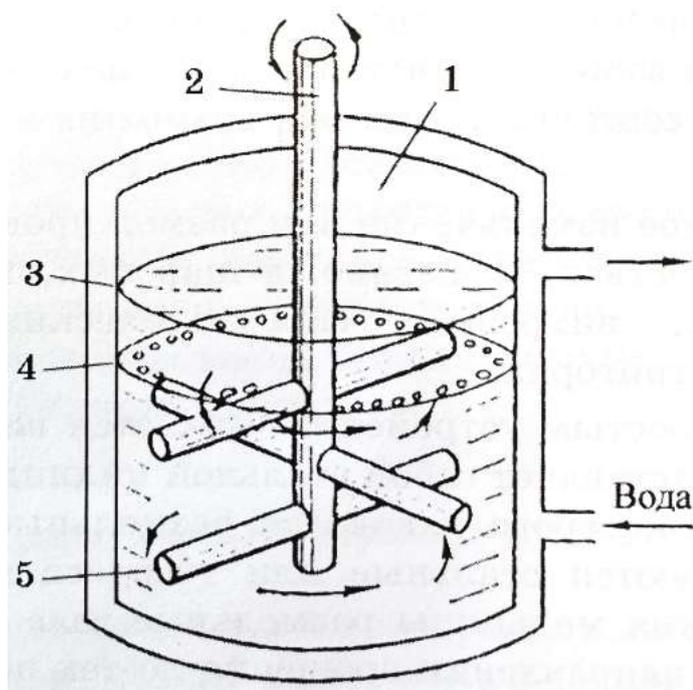


Рисунок 1.3 Схема атриторного устройства: 1 – размольная ёмкость; 2 – вал мешалки; 3 – измельчаемый материал; 4 – размольные тела; 5 – ломasti мешалки

Измельчение размалываемого материала размалывающими шарами в отличие от других типов измельчающих устройств происходит главным образом не за счет удара, а по механизму истирания.

Ёмкость барабанов в установках этих двух типов достигает 400-600 л. Механическим путем измельчают металлы, керамику, полимеры, оксиды, хрупкие материалы. Степень измельчения зависит от вида материала. Так, для оксидов вольфрама и молибдена получают крупность частиц порядка 5 нм, для железа - порядка 10-20 нм. [1]

Разновидностью механического измельчения является механосинтез, или механическое легирование, когда в процессе измельчения происходит взаимодействие измельчаемых материалов с получением измельченного материала нового состава. Так получают нанопорошки легированных сплавов, интерметаллидов, силицидов и дисперсно-упрочненных композитов с размером частиц 5-15 нм.

Уникальным достоинством способа является то, что за счет взаимодиффузии в твердом состоянии здесь возможно получение «сплавов»

таких элементов, взаимная растворимость которых при использовании жидкофазных методов пренебрежимо мала.

Положительной стороной механических способов измельчения является сравнительная простота установок и технологии, возможность измельчать различные материалы и получать порошки сплавов, а также возможность получать материал в большом количестве.

К недостаткам метода относятся возможность загрязнения измельчаемого порошка истирающими материалами, а также трудности получения порошков с узким распределением частиц по размерам, сложности регулирования состава продукта в процессе измельчения. [1]

Очень перспективной разновидностью метода механического измельчения является механохимический способ, основанный на том, что при измельчении смеси различных компонентов между ними ускоряется физическое взаимодействие. Кроме того, возможно протекание химических реакций, которые при контакте, не сопровождающемся измельчением, вообще не происходят при таких температурах. Такие реакции принято называть механохимическими.

1.2 Свойства нанопорошков

При получении наночастиц любым методом проявляется еще одна их особенность - склонность к образованию объединений частиц. Такие объединения называют агрегатами и агломератами. В результате, при определении размеров наночастиц, необходимо различать размеры отдельных частиц (кристаллитов) и размеры объединений частиц.

Различие между агрегатами и агломератами не является четко определенным. Считается, что в агрегатах кристаллиты более прочно связаны и имеют меньшую межкристаллитную пористость, чем в агломератах.

Проблема, связанная с агрегированием наночастиц, возникает при их компактировании. Например, при компактировании агрегированного порошка путем спекания, для достижения определенной плотности материала

требуются температуры тем выше, чем более крупные объединения наночастиц имеются в порошке. [3]

В этой связи при разработке методов получения нанопорошков продолжают поиски мер для исключения или уменьшения степени образования объединений наночастиц. Так, в методах получения нанопорошков путем конденсации из паровой фазы оказалось целесообразным точное регулирование температуры образования наночастиц. В химических методах оказывается эффективным исключение воды из некоторых стадий синтеза для уменьшения степени агломерирования.

Используются также методы уменьшения контакта между частицами путем их покрытия (капсулирования), которое затем, перед компактированием, удаляется.

Тем не менее агрегирование и агломерирование наночастиц осложняет получение компактных материалов. [3]

Требуются большие механические усилия или повышение температуры (при спекании), чтобы преодолеть силы агломерирования.

Отличие свойств наноразмерных порошков по сравнению с массивными образцами проявляется по многим направлениям. Механические свойства: происходит увеличение твердости (из-за отсутствия протяженных дефектов) в сочетании с высокой (супер-) пластичностью (благодаря развитой сетке границ), увеличение предела текучести, уменьшение порога хладноломкости. Улучшение механических и эксплуатационных свойств достигается благодаря тому, что наноматериалы имеют более равномерную структуру. Для электрических свойств характерен полупроводниковый характер проводимости наночастиц металлов (из-за ограниченного числа свободных электронов).

Для магнитных веществ характерен суперпарамагнетизм. Имеются особенности термических свойств, проявляемые в уменьшении температур: Дебая, плавления, фазовых переходов, спекания на 15 - 20 % (из-за изменения спектра фононов), при этом увеличивается теплоемкость. Варьируется

электромагнитный спектр излучения и поглощения, происходит увеличение рассеяния, в большей степени реализуется эффект «черного тела». Имеет место увеличение растворимости (до 20 - 25 %) в кислотах. [7]

1.3 Применение нанопорошков

Все производимые в настоящее время наноматериалы подразделяют на четыре группы: оксиды металлов и кремния, сложные оксиды (состоящие из двух и более металлов), порошки чистых металлов и смеси. Оксиды металлов составляют не менее 80 % всех производимых нанопорошков. Нанопорошки чистых металлов составляют значительную и все больше возрастающую долю общего объема производства.

Области использования нанопорошков можно классифицировать следующим образом:

1. Использование нанопорошков в диспергированном состоянии: пигменты для красок, различные виды наполнителей каучука и резины, магнитные порошки, носители биологически активных препаратов, катализаторы, присадки к смазочным маслам и др.

2. Использование нанопорошков в качестве исходного сырья для изготовления консолидированных объемных нанокристаллических материалов, как высокоплотных (твердые сплавы, керметы, стали, материалы для электрических контактов, инструментальная керамика), так и пористых консолидированных материалов (компактов) для изготовления фильтров, полированных материалов (в виде суспензий, полимерных материалов с наполнителем, например, в виде кругов). Потребность в нанопорошках по отраслям: электроника и оптика – 41 %; обрабатывающая промышленность – 28 %; энергетика и экология – 8 %; медицина и косметическая промышленность – 7 %. Основные типы товарных нанопорошков: оксиды (78–80 %), металлы (15–17 %), смеси и другие (3–7 %). [4]

1.4 Плазмохимический синтез оксидов металлов

Самым частым типом синтезируемого материала являются оксидные соединения. В таком случае в качестве плазмообразующего газа выбираются кислород или воздух (что дешевле). Для синтеза нитридов используются азотсодержащие газы, для синтеза карбидов – углеродсодержащие и т.д.

Процесс плазмохимического синтеза оксидов (рис. 1.4) включает в себя следующие основные стадии:

1. Диспергирование
2. Нагрев
3. Испарение
4. Кристаллизация соли
5. Термолиз соли с образованием оксида.

Исходный раствор диспергируется (распыляется) в зону поддержания плазмы при помощи диспергаторов (форсунок), чаще всего пневматических или механических. Вторые являются более эффективными: их конструкция проще (трубка с тонкими стенками цилиндрической или конической формы), что позволяет снизить требования к качеству исходного раствора (наличие песка, небольших камешков и пр.) [4]

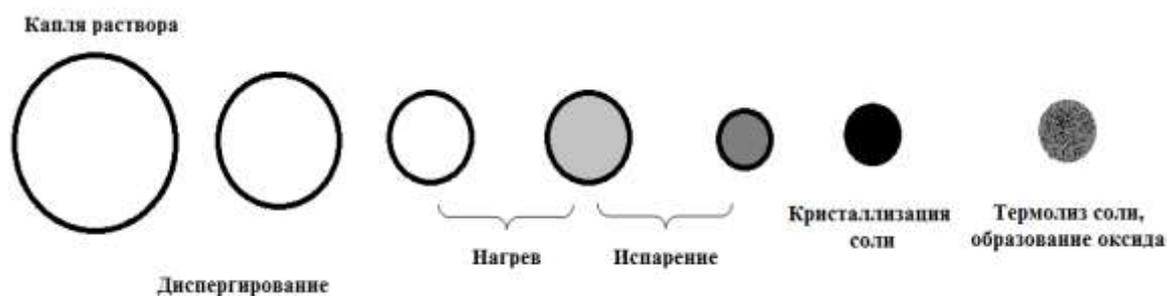


Рисунок 1.4 Схема процесса плазмохимического синтеза оксидов

При движении капли раствора в потоке газообразного теплоносителя происходит ее нагревание и испарение паров воды с поверхности. При этом концентрация растворенной соли вблизи поверхности капли повышается, в результате чего соль диффундирует к центру капли, и, при достижении определенного значения концентрации соли, происходит ее кристаллизация.

Дальнейший нагрев приводит к термолизу – разложению соли с образованием целевого оксида определенной дисперсности. Для того чтобы собрать целевые материалы, используют различные фильтры, а также осаждение водой. Часто на выходе производят закалку продуктов реакции плазмохимического синтеза.

Известные схемы организации плазмохимических процессов получения оксидов различаются нагревом окислителя (кислород, воздух) нагревом галогенида либо нагревом смеси продуктов. Наиболее распространены схемы, в которых окислитель переводится в плазменное состояние, а галогенид подается в плазму окислителя (рис. 1.5).

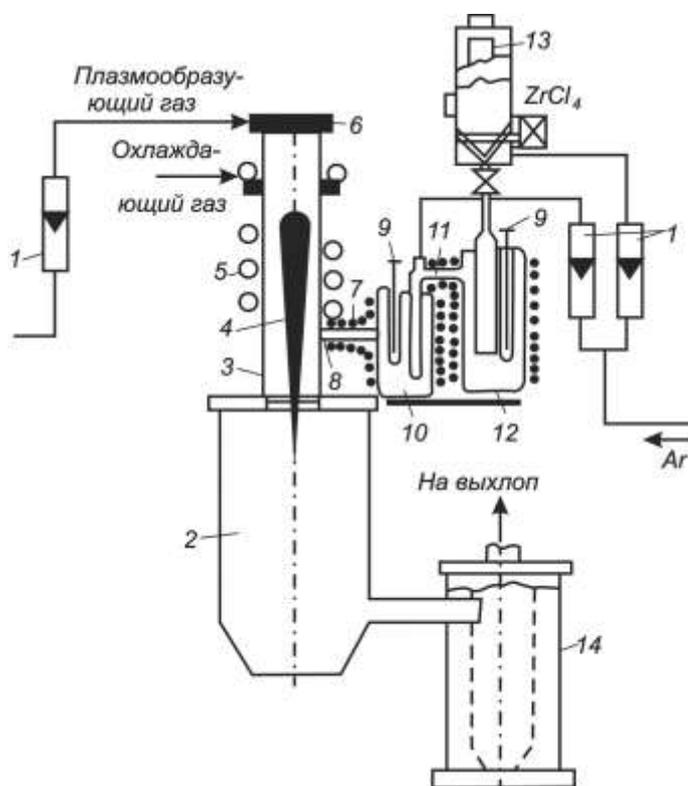


Рисунок 1.5 Схема установки для получения оксида циркония (IV):

- 1 – ротаметр; 2 – конденсатор; 3 – реактор; 4 – факел плазмы; 5 – индуктор;
- 6 – газораспределительная головка; 7 – транспортирующая трубка; 8 – сопло;
- 9 – термопара; 10 – перегреватель; 11 – переходник; 12 – испаритель;
- 13 – питатель; 14 – рукавный фильтр

Плазма кислорода генерируется в ВЧ-плазмотроне, что позволяет получать продукты, незагрязненные материалами электродов. Ввиду высокой

химической агрессивности хлоридов вся вспомогательная аппаратура выполнена из кварцевого стекла. Для предотвращения осаждения хлоридов на стенках аппаратура снабжена электроподогревом. Снаружи реактор охлаждается сжатым воздухом. [3]

Из испарителя пары исходного реагента в смеси с аргонem по обогреваемому паропроводу вводятся в реактор. Образующийся аэрозоль оксида поступает в полый водоохлаждаемый металлический конденсатор, на стенках которого продукт частично осаждается, и далее в фильтр из стеклоткани, где происходит улавливание продукта.

Температура в центральной области плазменного факела достигает 5000-7000 К. Для получения порошков нужного качества необходимо поддерживать на постоянном уровне следующие технологические параметры: степень разбавления паров хлоридов газом-носителем, соотношение между скоростями реагирующих потоков, мощность, вкладываемую в плазму. Увеличение расхода газа-носителя способствует повышению дисперсности продукта. Чрезмерное уменьшение степени разбавления паров хлоридов приводит к агрегированию частиц порошков и к уменьшению степени их однородности.

Размеры отверстий для подачи хлоридов, соотношение между подачами реагентов и диаметр зоны реакции оказывают влияние на турбулентную структуру потока в реакционной зоне. При наличии мелкомасштабной турбулентности скорости тепло- и массообмена в зоне горения максимальны. На примере окисления хлорида циркония (IV) установлено, что такой режим в отверстии для подачи хлорида достигается, если критерий $Re = 9,5 \cdot 10^3$, в этом случае время перемешивания реагентов $t_{\pi} = 9,2 \cdot 10^{-4}$ с, и наблюдается практически полная переработка исходного хлорида. [5]

Дисперсность порошков также зависит от критерия Рейнольдса и времени перемешивания сырья с плазмой. При $Re = 9 \cdot 10^3$ и $t_{\pi} = 2 \cdot 10^{-3}$ с образуются порошки со средним диаметром частиц $d = 0,09$ мкм;

при $Re = 7,3 \cdot 10^3$ и $t_{\text{п}} = 2,2 \cdot 10^{-3}$ с диаметром $d = 0,08$ мкм; при $Re = 3,9 \cdot 10^3$ и $t_{\text{п}} = 9 \cdot 10^{-3}$ – с диаметром $d = 0,06$ мкм.

Установлено, что порошки оксида циркония (IV), предназначенные для полирования поверхностей полупроводников, целесообразно получать в оптимальных условиях, отвечающих $Re = 9,5 \cdot 10^3$ и $t_{\text{п}} = 9,2 \cdot 10^{-4}$ с, когда содержание тетрагональной и кубической модификации этого оксида максимально ($\approx 50\%$). Порошки же, производимые в условиях малой турбулентности, содержат всего 40-42 % этих кристаллических структур и отличаются повышенной крупностью.

Наноразмерные порошки плазменных оксидов циркония (IV) и кремния (IV), а также суспензии на их основе широко применяются в отечественной электронной промышленности. Они с успехом заменяют импортные полировальные материалы, предназначенные для обработки поверхности полупроводников. Плазмохимический оксид титана (IV) – прекрасный краситель, входит в состав титановых белил.

Преимущества данного метода получения нанопорошков:

- химические реакции образования целевого продукта протекают в газовой фазе, что обуславливает их высокую скорость, а, следовательно, и высокую производительность реакторов;
- исходное сырье может быть предварительно подвергнуто глубокой очистке, что обеспечивает получение продукта высокой чистоты;
- возможно получение порошков разнообразных соединений нитридов, карбидов, оксидов и др.;

Полученные порошки являются ультрадисперсными; изменяя условия процесса, можно влиять на дисперсность продукта. Эти порошки имеют повышенную активность при спекании. [5]

1.5 Лазерная абляция

Под термином «лазерная абляция» понимают процесс удаления вещества под воздействием лазерного излучения с поверхности твердой мишени. Как правило, в качестве лазерной абляции рассматривают импульсное воздействие, что исторически связано с появлением первых импульсных лазеров. Как метод импульсная лазерная абляция была разработана в 1960-х годах, вскоре после появления рубинового лазера импульсного принципа действия (рис. 1.6). С тех пор, в многочисленных экспериментах была осуществлена лазерная абляция, как в газовых, так и в

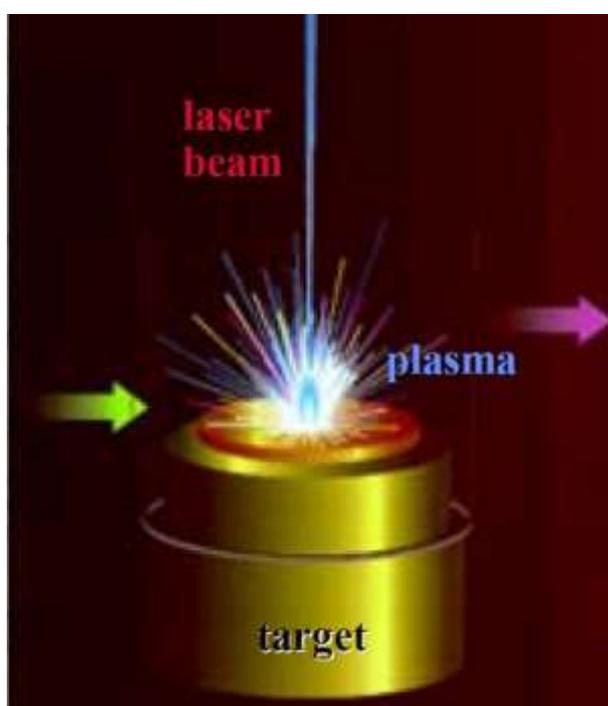


Рисунок 1.6 Лазерная абляция мишени под действием импульсного лазерного излучения

жидких средах, а также в разреженном состоянии и в вакууме. Данным методом можно получать широкий спектр тонких пленок на подложках, выбирая в качестве мишени различные материалы и используя разные газы. Плотность, толщину и однородность пленок также можно изменять, варьируя различные параметры лазерной абляции, такие как длина волны лазерного излучения, плотность энергии и длительность лазерного импульса, расстояния до объектов и температуру подложки. [6]

Среди функциональных наноматериалов и покрытий, полученных данным методом можно выделить металлические проводники, полупроводниковые структуры, диэлектрические слои на основе оксидной или другой керамики, а также высокотемпературные сверхпроводники и алмазные пленки. Разнообразие материалов и покрытий, получаемых методом лазерной абляции, обуславливает большое применение их в различных приложениях, таких как, полупроводниковые приборы, электроды, износостойкие и теплоизоляционные покрытия, катализаторы, сенсорные устройства.

Выше перечисленные примеры показывают, что лазерная абляция является перспективным методом получения функциональных наноматериалов. По сравнению с другими физическими (паро-фазное осаждение, ионно-плазменное или дуговое напыление) и химическими методами (химическое осаждение, в том числе гидротермальные методы, с применением поверхностно-активных веществ и слабого осаждения, метод лазерной абляции имеет несколько преимуществ. [6]

Среди них:

- простой и химически чистый синтез конечных продуктов, без включения побочных примесей, что позволяет не проводить дополнительную очистку;
- низкая себестоимость экспериментальных установок и простота контроля процесса абляции;
- возможность формирования метастабильных фаз, за счет быстрого нагрева и охлаждения аблированного вещества (до 10^{10} К/с) в условиях высокого давления плазменного факела в области воздействия лазерного излучения;
- высокая скорость осаждения аблированного вещества ($> 10^{15}$ атом/см²/с) и непосредственная связь энергетических параметров излучения с кинетикой роста слоя;

- возможность конгруэнтного испарения многокомпонентных мишеней; строгая дозировка подачи материала, в том числе многокомпонентного с высокой температурой испарения;
- агрегация в кластеры или наночастицы различного размера, аблирующих с кинетической энергией $10 \div 500$ эВ.
- Электрическая поляризация аблированных частиц, позволяющая селектировать и упорядочивать их с помощью электрического поля для получения определённой структуры осаждаемой плёнки.

1.5.1 Схема и основные принципы лазерной абляции

Процесс лазерной абляции протекает при фокусировке лазерного излучения высокой мощности на поверхность твердой мишени. Воздействие лазера на вещество приводит к быстрому поглощению энергии излучения, нагреву и взрывообразному испарению вещества с поверхности мишени. Процесс сопровождается распространением ударной волны в окружающей среде (рис. 1.7).

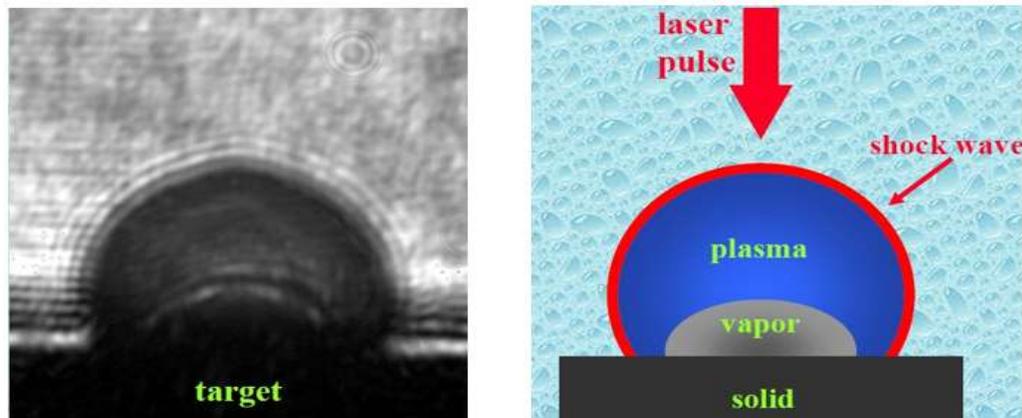


Рисунок 1.7 Микрофотография и схема распространения плазмы и ударной волны в окружающей среде при импульсной лазерной абляции

В зависимости от интенсивности лазерного излучения продуктами абляции могут быть либо атомы, ионы, молекулы вещества, либо сформированные кластеры и наночастицы, вылетающие из зоны воздействия с высокой кинетической энергией (рис. 1.8). Аблированные при высокой температуре атомы вещества могут взаимодействовать с молекулами окружающей среды с образованием новых соединений. [6]

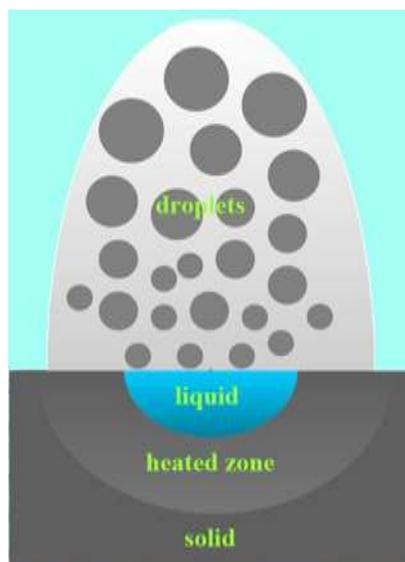


Рисунок 1.8 Изображение наночастиц, вылетающих с поверхности мишени при лазерной абляции.

Типичная схема установки для лазерной абляции представлена на рис. 1.9.

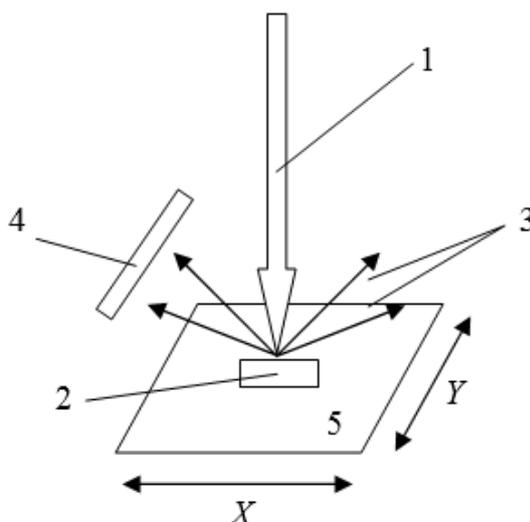


Рисунок 1.9 Схема экспериментальной установки для лазерной абляции:
 1 – лазерный луч; 2 – мишень для лазерной абляции; 3 – наночастицы, аблируемые из области воздействия ЛИ; 4 – подложка для напыления аблированных наночастиц; 5 – стол для перемещения мишени в плоскости X-
 Y.

В данной схеме лазерное излучение 1, источником которого может служить твердотельный YAG:Nd^{3+} импульсный лазер, вертикально падает на поверхность мишени 2. Из области воздействия лазерного излучения на мишени вылетают наночастицы 3, которые напыляются на поверхность подложки 4. Поскольку в процессе лазерной абляции под действием пучка лазера материал мишени разрушается, для эффективного его использования необходимо равномерно перемещать мишень по площади в плоскости X-Y с помощью стола перемещений 5. В зависимости от состава окружающей среды, в которой происходит абляция, можно дополнительно проводить окисление, азотирование, карбидизацию и др. продуктов лазерной абляции.

Исследование механизмов формирования наночастиц с помощью лазерной абляции широко проводилось многими группами в течение последних нескольких лет. Так было установлено, что при использовании различных материалов мишени и фоновых газов, варьируя параметры лазерной абляции (длина волны лазерного излучения, интенсивность лазерного излучения и длительность импульса), можно получать широкий круг соединений, как в виде сплошных пленок, так и наночастиц определенного размера. [6]

2 Основная часть

Анализ порошка можно проводить безотборно, в момент образования и движения до подложки, и путём отбора на подложке и изучения под микроскопом. Безотборные лазерные методы имеют значительную погрешность и не всегда обеспечивают требуемую точность определения диапазона размеров и не всегда однозначно интерпретируются. Отборные методы диагностики наночастиц требуют большего времени, но обеспечивают приемлемую точность и однозначность результата. Поэтому для анализа наночастиц использовались микроскопия в трёх диапазонах размеров: оптический, сканирующий и просвечивающий. Влияние магнитного поля на процесс нуклиации, можно увидеть только в изображении просвечивающего микроскопа.

2.1 Экспериментальная установка

С помощью лазерной абляции можно получать широкий спектр нанодисперсных частиц на подложках, выбирая в качестве мишени различные материалы и используя разные газы. Плотность, толщину и однородность нанодисперсных частиц также можно изменять, варьируя различные параметры лазерной абляции, такие как длина волны лазерного излучения, плотность энергии и длительность лазерного импульса, расстояния до объектов и температуру подложки.

В процессе выполнения магистерской диссертации была использована экспериментальная установка для исследования формирования наночастиц неферромагнитных металлов под воздействием магнитного поля. Фотография экспериментальной установки изображена на рис. 2.1, а принципиальная схема этой установки изображена на рис. 2.2.

Для проведения экспериментальных исследований использовались лазерная установка «МиниМаркер 2» и следующие комплектующие:

- 1 - Постоянный магнит с остаточной намагниченностью 0,3 Тл;
- 2 - Цилиндр (алюминий, гетинакс);
- 3 - Подложка из тонкого стекла или медная фольга с проводящим

клеящим слоем;

4 - Мишень из свинца или олова.

Все детали лазерной установки выполнены из алюминиевого сплава, используемые нестандартные комплектующие, так же выполнены из неферромагнитных материалов. Поэтому магнит и остальные комплектующие свободно устанавливались на рабочий стол и не закреплялись.

Лазерная установка «МиниМаркер 2» содержит:

5 - Оптический блок формирования лазерного пучка;

6 - Штатив с направляющими для перемещения по осям X, Y, Z;

7 - Волоконный лазер IPG-Photonics

8 - Рабочий стол лазерной установки «МиниМаркер 2».



Рисунок 2.1 – Фото экспериментальной установки

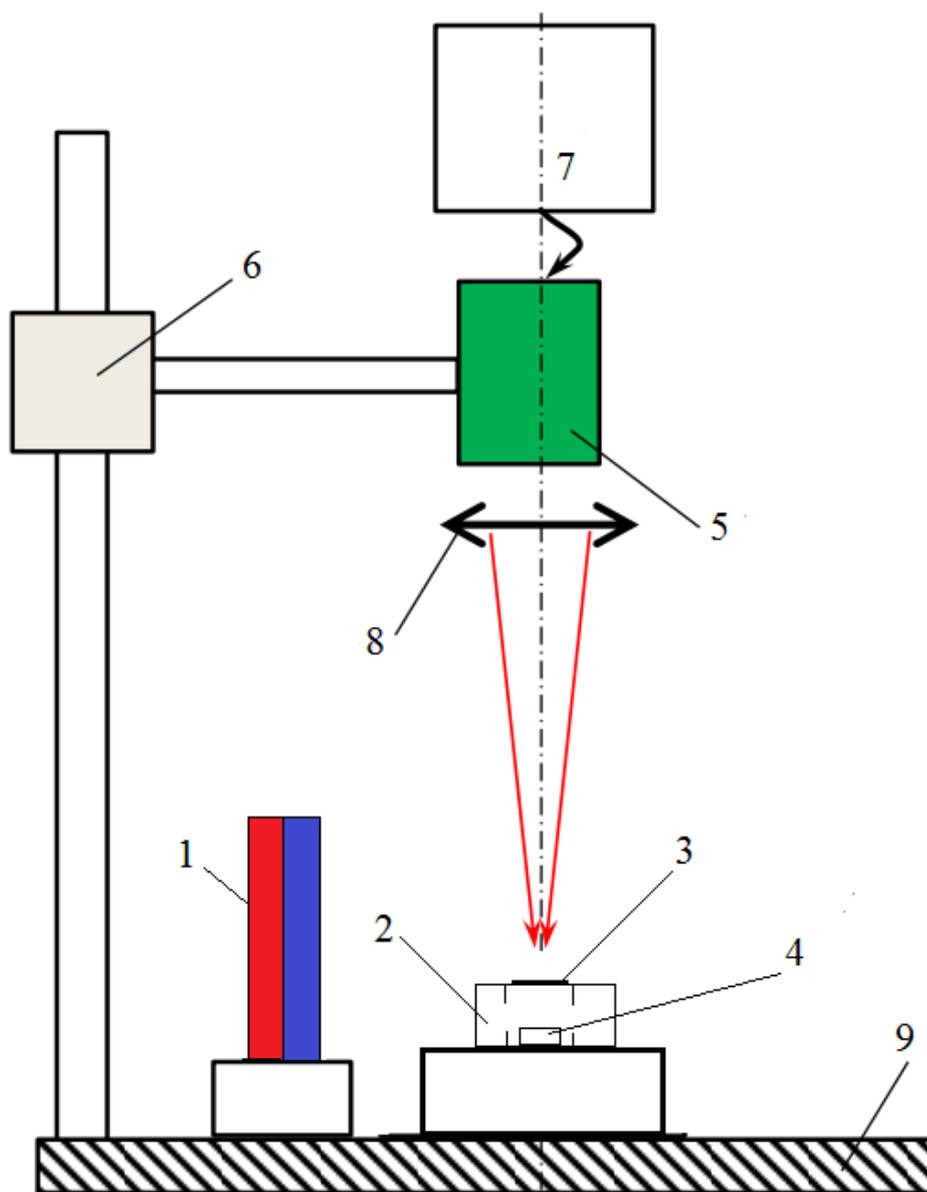


Рисунок 2.2 – Схема экспериментальной установки

2.2 Лазерная установка «Мини маркер 2» на основе волоконного лазера

Лазерная установка «Мини маркер 2» выполнена на базе иттербиевого импульсного волоконного лазера IPG-Photonics производства "НТО "ИРЭПолюс" Россия. Технические характеристики лазерной установки IPG-Photonics для гравировки на поверхности твёрдых тел приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Параметры волоконного лазера

Длина волны лазерного излучения	1,064 мкм
Средняя выходная мощность лазера	20 Вт
Максимальная энергия в импульсе лазера	0,5 мДж или 1,0 мДж
Частота следования импульсов	20 кГц - 100 кГц
Поле обработки	50x50 / 110x110 / 160x160 мм/ 250x250 мм (сменные объективы)
Электропотребление	~220 В, 50 Гц, до 0,7 кВт
Охлаждение	автономное воздушное

В таблице 2.2 приведены значения параметров генерации лазерных импульсов на всё время проведения исследований.

Таблица 2.2 – Параметры экспериментов

Средняя мощность излучения	20 Вт (100%)
Частота следования лазерных импульсов	20 кГц
Длительность единичного импульса	200 нс
Поле обработки	Квадрат 1x1 мм
Скорость перемещения по мишени лазерного пятна	3 мм/с

2.3 Настройка экспериментального стенда

Наночастицы наносили на подложку из покровного стекла или медной фольги с клеящим проводящим слоем. Для этого стёкла и фольга обезжиривалась, фольга отрезалась в виде круга диаметром - 1 см и клеилась на предметный столик из комплекта ЗИП электронного микроскопа, а покровные стёкла были в форме квадрата размером 24x24 мм.

Лазерная установка «Мини Маркер 2» управляется с помощью компьютера. В начале включали компьютер, затем лазерную установку. На рабочей площадке лазерной установки «Мини Маркер 2» устанавливали

цилиндр из диэлектрического материала. Цилиндр исключал газовые потоки и отклонения формирующегося потока в сторону от напыляемой подложки. Внутри цилиндра помещали мишени, а подложки для сбора образующегося порошка размещали в верхней части цилиндра. Магнитное поле совмещали с областью протекания фазового перехода, на заданном расстоянии.

Для увеличения интенсивности излучения в зоне облучения лазерный луч, как правило, фокусируют (рис 2.3). Поэтому мишень устанавливали так, чтобы пилотный луч лазера, генерирующего излучение красного цвета, проецировался на центр образца.



Рисунок 2.3 Фокусировка лазерной установки

С помощью специального приспособления выставляли излучатель лазера так, чтобы фокальная плоскость объектива совпадала с поверхностью образца.

На этом предварительная настройка установки заканчивалась. Перечисленные выше действия выполнялись однократно и параметры

установки более не изменялись.

2.4 Исследование фазового перехода в магнитном поле

Для получения образцов наночастиц выполнялась следующая последовательность действий:

- 1) Устанавливали необходимые параметры экспозиции лазерным лучом;
- 2) Устанавливали необходимую геометрию сканирования лазерным лучом по поверхности образца (размеры области сканирования);
- 3) Устанавливали мишень в цилиндр, и сменную подложку на цилиндр для напыления образующимися наночастицами;
- 4) Устанавливали постоянный магнит на заданном расстоянии от зоны формирования наночастиц;
- 5) Запускали лазер и выдерживали заданную экспозицию (рис. 2.4);
- 6) После окончания программы облучения образец с напылёнными наночастицами помещали в специальный защитный контейнер (рис 2.5);



Рисунок 2.4 Схема формирования магнитного поля

Для получения следующих образцов нанопорошков повторно выполнялась последовательность действий по пунктам 1-6. При этом для каждого облучения мишени в начале получали образцы без магнитного поля.



Рисунок 2.5 Образцы наночастиц на стеклянной подложке

Стёкла являются диэлектриками, что затрудняет проведение анализа на электронном микроскопе. Поэтому напылённые наночастицы необходимо переносить на проводящую плёнку (для сканирующей микроскопии) или специальный держатель образца (для просвечивающей микроскопии).

В связи с этим наночастицы напыляли сразу на проводящую подложку (рис 2.6) представляющую собой медную фольгу с проводящим клеящим слоем.

При использовании подложки из стекла, лазерный луч проходил через подложку. Поэтому на часть подложки наночастицы не оседали. При использовании медной фольги в качестве подложки, луч проходил рядом с подложкой.

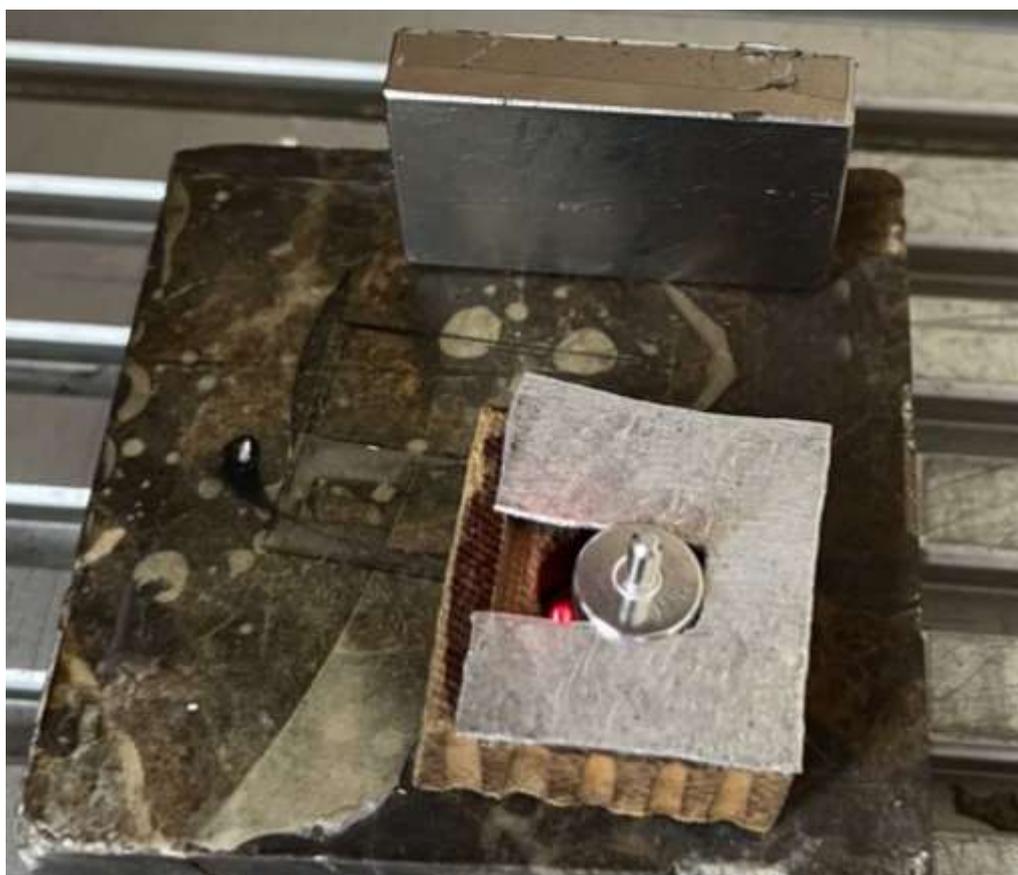


Рисунок 2.6 Схема напыления на проводящую подложку

После окончания программы напыления наночастиц на подложку, образцы с напылёнными наночастицами помещали в специальный защитный контейнер (рис 2.7)



Рисунок 2.7 Образцы наночастиц на проводящей подложке

2.4 Экспериментальные результаты и их анализ

На рисунке 2.8 приведены изображения дисперсных частиц, формируемых при лазерной абляции свинца. Изображения, с различным увеличением, получены под оптическим микроскопом Leica DM750 P.

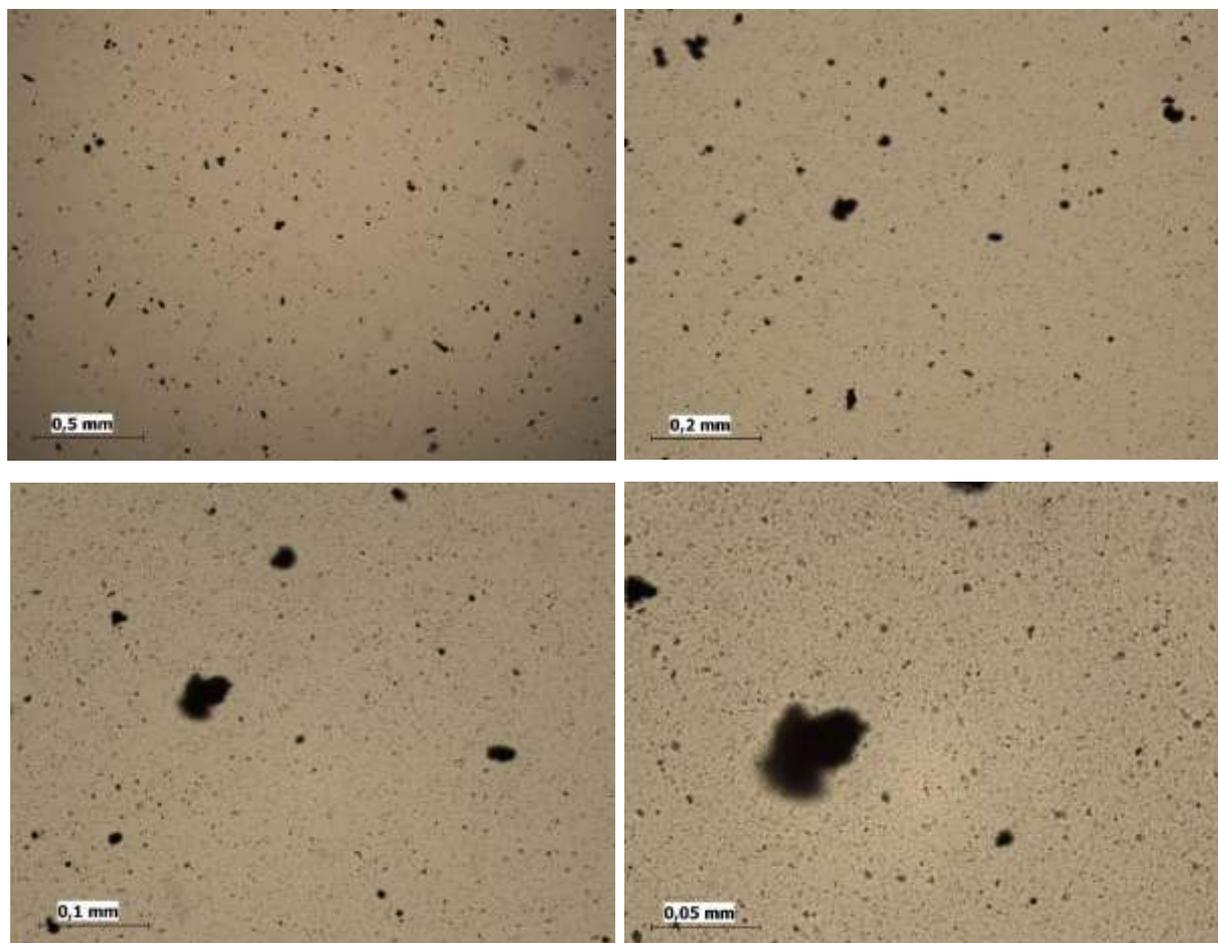


Рисунок 2.8 Микроскопические изображения крупной фракции порошков, образующихся при лазерной абляции длинными импульсами

На изображениях видны множество частиц размером более 1 мкм и небольшое количество размером менее 50 мкм. Это связано с тем, что для лазерной абляции использовали импульсы длиной волны 1,06 мкм и длительностью 200 нс. При такой длительности происходит расплав значительного количества мишени и расплёскивание расплавленного материала. В результате на подложку попадают наночастицы образовавшиеся из паровой фазы и капли материала мишени. Размеры частиц, образовавшихся из брызг можно оценить из изображений, полученных под оптическим микроскопом.

Магнитное поле влияет только на процесс нуклиации – формирование наночастиц из пара. Поэтому были получены изображения мелкой фракции частиц под электронным микроскопом.

На рис. 2.9 приведены изображения образцов полученных на электронном микроскопе Tescan Vega. Видны частицы свинца, размерами менее 400 нм. Образцы получены путём распыления свинцовой мишени. Более светлые квадратные области появляются из-за длительного просматривания в падающем электронном пучке – часть напыленного на образец углерода испаряется

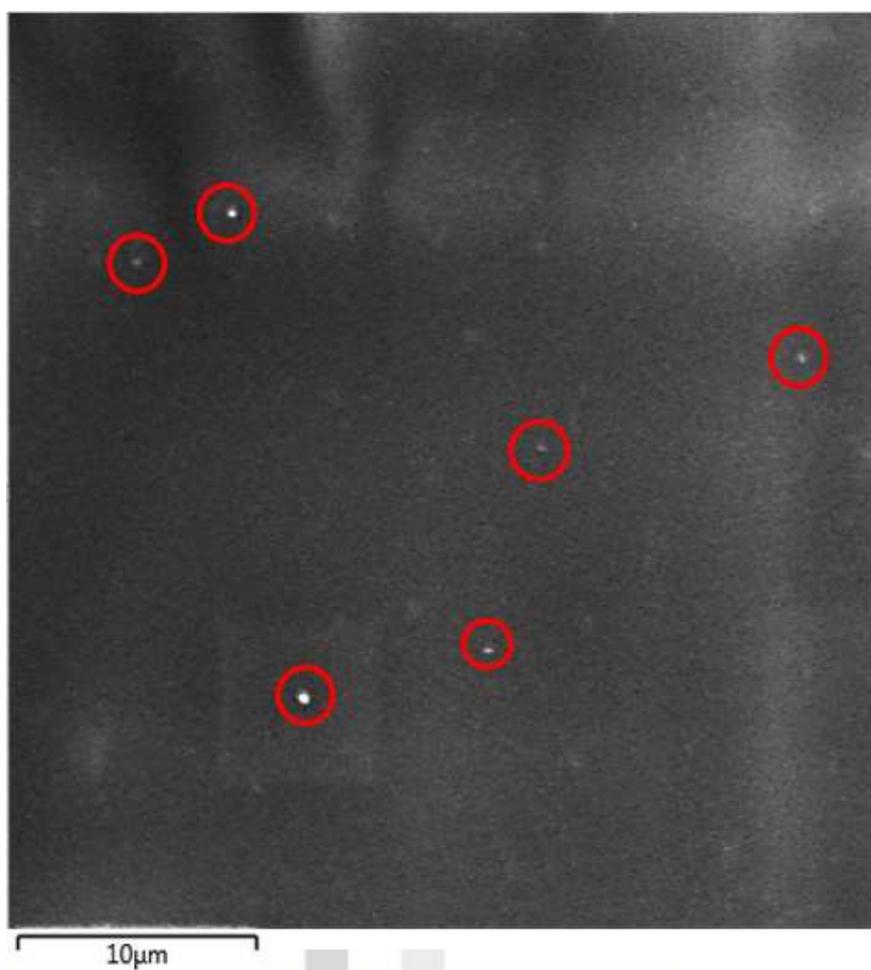


Рисунок 2.9 Изображение с электронного микроскопа при максимальном

На рис 2.10 приведён энергодисперсионный спектр получаемых наночастиц свинца. На вкладке приведено изображение анализируемой частицы, размер которой не превышает 400 нм. Однако из-за недостаточного увеличения, не видны частицы размером менее 100 нм, формирование

которых может зависеть от величины магнитного поля.

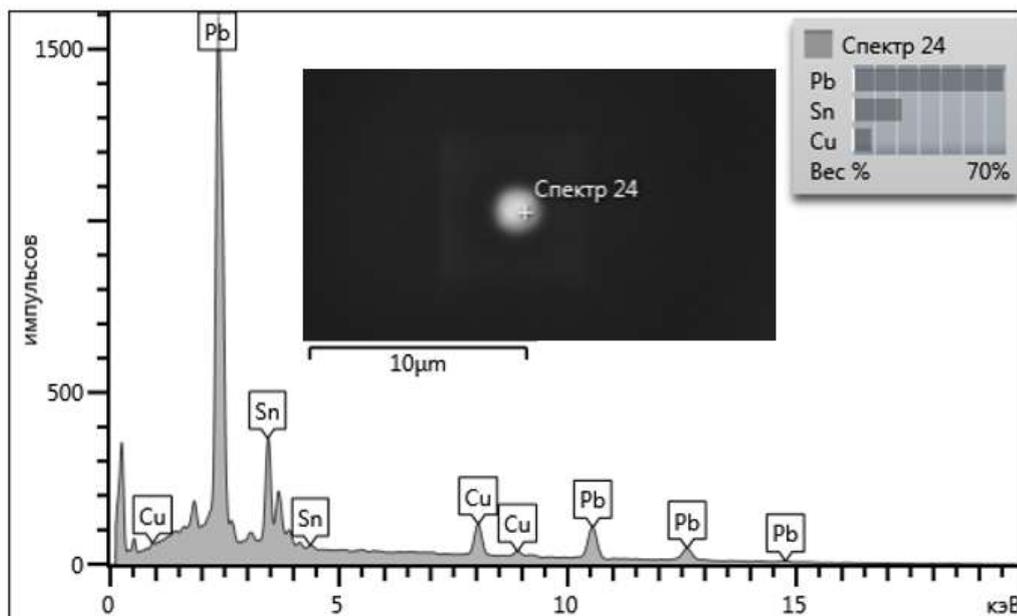


Рисунок 2.10 Энергодисперсный спектр наночастиц свинца

2.5 Модель формирования наночастиц

Нуклиация пара начинается при превышении степени пересыщения некоторого критического значения. При некотором пересыщении начинается формирование ядер конденсации. Критическое значение для роста ядер конденсации несколько ниже, чем для их появления. Однако рост дисперсных частиц приводит к уменьшению степени пересыщения, поэтому сначала прекращается появление ядер конденсации, а в дальнейшем прекращению роста дисперсных частиц.

Модель формирования наночастиц, заключалась в следующем. Как формирование ядер конденсации, так и рост дисперсных частиц связано с столкновением атомов пара с флуктуацией концентрации пара или дисперсной частицей. Переход атома из паровой фазы в конденсированную, сопровождается ковалентных связей, характеризующего конденсированное вещество. Однако формирование ковалентной химической связи, из-за сохранения закона суммарного спина, возможно только из синглетного состояния спинов неспаренных электронов взаимодействующих атомов. При случайном столкновении состояние спиновой пары сталкивающихся атомов

случайно – синглетно или триплетно. Так как всего возможно три триплетных и одно синглетное состояния, то вероятность образования химической связи в момент столкновения не превышает 25%. Атом при столкновении с частицей теряет кинетическую энергию сразу же, поэтому этот атом переходит в сорбированное состояние и может находиться на поверхности частицы до флуктуации его энергии теплового движения выше энергии сорбции. Если до времени появления сильной флуктуации происходит конверсия триплетного состояния в синглетное, то частица формирует химическую связь и переходит в конденсированную фазу, в обратном случае сорбированный атом испаряется.

Указанные выше процессы описываются уравнением времени для триплет-синглетного перехода (2.1) и временем нахождения в сорбированном состоянии (2.2) (уравнение Френкеля)

$$\Delta v = \frac{1}{t_{\text{кон}}} = \frac{\mu}{h} [g_1(H + a_1) - g_2(H + a_2)] \quad (2.1)$$

где: μ – магнетон Бора; h – постоянная Планка; g – g-фактор; a – постоянная сверхтонкого взаимодействия; $t_{\text{кон}}$ – время триплет-синглетной конверсии

$$t_{\text{ад}} = \tau_0 \exp\left(\frac{\Delta E_{\text{ад}}}{kT}\right) \quad (2.2)$$

где: τ_0 – период колебания атома, $\Delta E_{\text{ад}}$ – энергия адсорбции; k – постоянная Больцмана; T – температура

Схематично процесс роста дисперсных частиц, в соответствии с разработанной моделью, приведён на рис. 2.11. Атом «А» сразу после адсорбции объединяется с твердой фазой. Атом «В» не может образовать ковалентную связь и может диффундировать по поверхности дисперсной частицы до триплет-синглетного перехода спиновой пары валентных электронов.

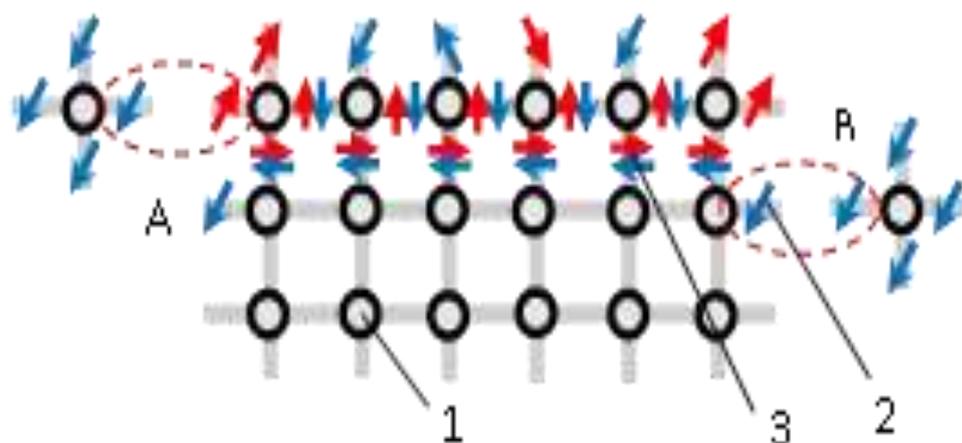


Рисунок 2.11 Модель формирования наночастиц

Был проведён расчёт по формулам (2.1) и (2.2). Полученные графики приведены на рис. 2.12 и на рис. 2.13. Из графика на рис. 5 для температуры кипения свинца 2022К соответствует время нахождения в сорбированном состоянии $4,47 \cdot 10^{-11}$ с. Этому времени соответствует магнитное поле с индукцией 0,3 Тл. Эта величина индукции была выбрана для проведения экспериментальных исследований – устанавливали магнит на таком расстоянии, при котором величина его поля снижается до 0,3 Тл.

В магнитном поле, из-за большей скорости формирования ядер конденсации и большей скорости роста дисперсных частиц, образуется большее количество ядер конденсации за меньшее время. Поэтому за меньшее время от начала нуклиации заканчивается процесс формирования ядер конденсации. Следствием этого является отсутствием частиц самой мелкой фракции.

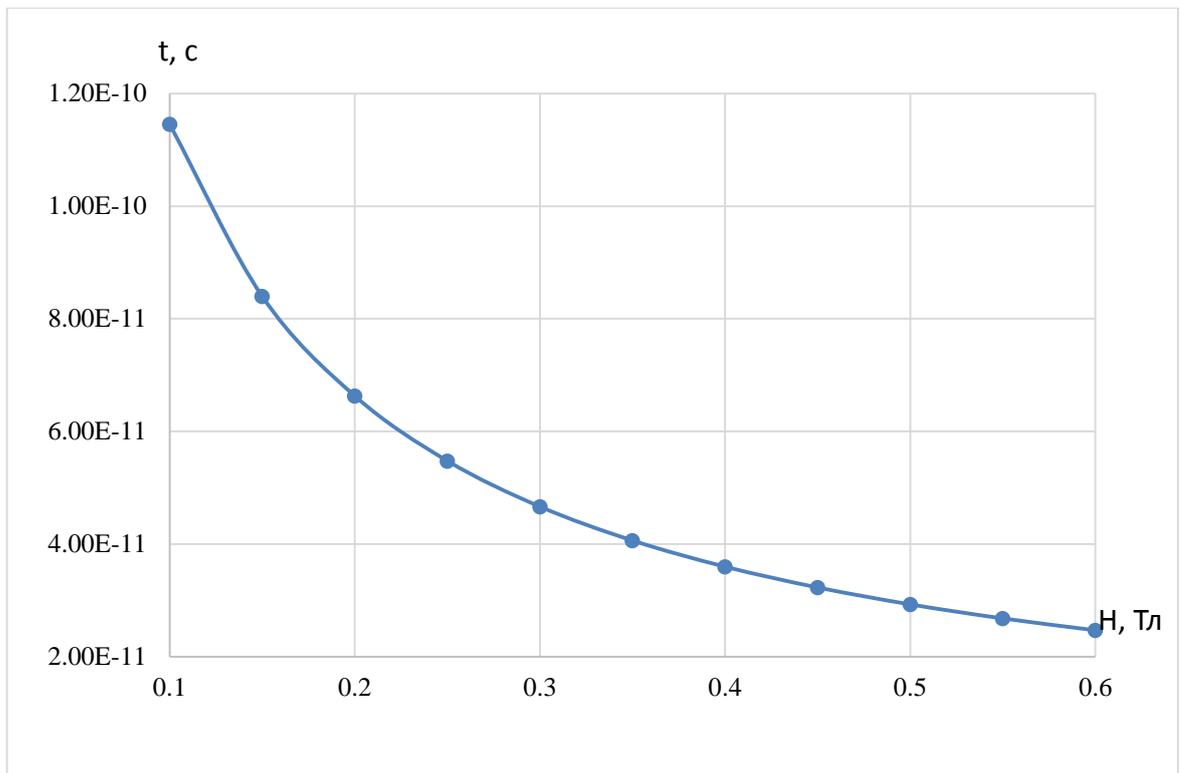


Рисунок 2.12 График зависимости времени триплет-синглетной конверсии от величины магнитного поля

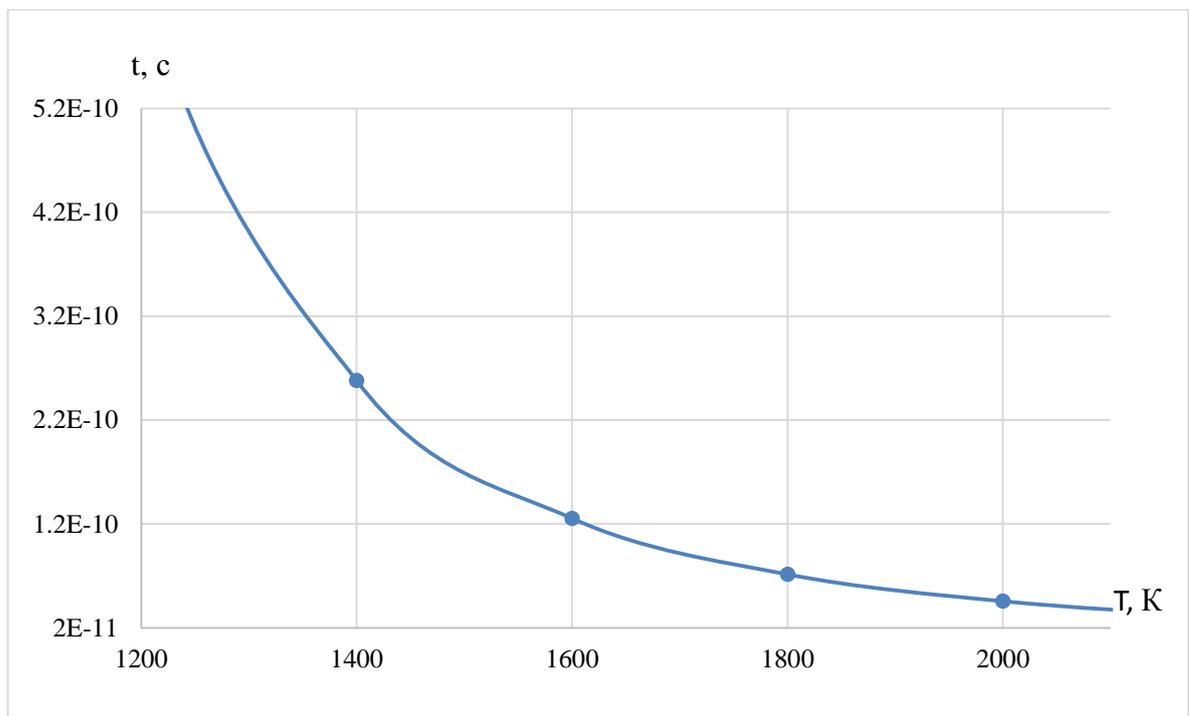


Рисунок 2.13. График зависимости времени сорбирования от температуры поверхности

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка изотопных эффектов при фазовых переходах, протекающих в постоянном магнитном поле при лазерной абляции с позиции ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
2. Провести анализ конкурентных технических решений.
3. Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
4. Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
5. Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта.
6. Рассчитать бюджет научного исследования.
7. Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

В работе необходимо дать комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы, по изучению процесса фазовых переходов при лазерной абляции в магнитном поле, и оценить полные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести инвестиционные компании, частных инвесторов, научно-исследовательские институты. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст, национальность, образование.

Сегментировать рынок услуг по разработке методики получения нанопорошков в магнитном поле можно по потребностям потенциальных заказчиков: потребность в полуфабрикатном сырье для дальнейшей переработки; потребность в готовом продукте для использования на предприятиях; потребность в техническом обслуживании и сопровождении оборудования на предприятиях, потребляющих готовый продукт; потребность в продукте в различном форм-факторе: величина частиц, требуемая чистота, требуемый состав.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В данной работе был рассмотрен фазовый переход в магнитном поле (ф), а в качестве конкурента выбран метод фазового перехода вне магнитного поля (к).

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 3.1.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по пяти балльной шкале. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.1 –Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_ϕ	B_k	K_ϕ	K_k
1. Скорость расчёта	0,5	5	4	2,5	2,0
2. Удобство использования выбранной модели	0,3	4	3	1,2	0,9
3. Простота понимания модели	0,1	5	5	0,5	0,5
4. Надежность модели	0,05	4	2	0,2	0,1
5. Сходимость модели	0,03	4	4	0,12	0,12
6. Адаптивность метода	0,02	4	4	0,08	0,08
Итого	1	26	22	4,6	3,7

Таким образом, можно сделать вывод о том, что метод фазового перехода в магнитном поле по многим показателям является наиболее

предпочтительным, чем метод фазового перехода вне магнитного поля, что подтверждает коэффициент конкурентоспособности $K_{\phi}(4,6) > K_{\kappa}(3,7)$.

3.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Приведем матрицу SWOT-анализа для фазовых переходов при лазерной абляции в магнитном поле в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Техническая простота осуществления метода;</p> <p>С2. Невысокая стоимость обработки металлов.</p> <p>С3. В процессе проведения фазового перехода исключена возможность засорения технологической установки.</p> <p>С4. В процессе можно активно влиять на изотопный состав.</p> <p>С5. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии.</p> <p>С6. Компактность необходимого оборудования.</p> <p>С7. Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.</p> <p>С8. Малый диапазон размеров получаемых нанопорошков</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных специалистов.</p> <p>Сл3. Индивидуальный подбор параметров работы лазера.</p> <p>Сл4. Работа только с парамагнитными металлами.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность внедрения в массовые производства.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы</p>

<p>В2. Возрастание спроса на технологию из-за широкой области применения.</p> <p>В3. Многократное использование без применения регенерации.</p> <p>В4. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p> <p>В5. Получение новых материалов с помощью данной технологии.</p>	<p>проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Простота в использовании получение результатов в короткое время, облегчает внедрение методики в массовое производство. 2. Так как не засоряется технологическая установка, процесс можно не прерывать длительное время. 3. В случае успеха удастся влиять не только на изотопный состав, но и на размер частиц в магнитном поле. 4. Управление изотопным составом во время проводимого эксперимента позволяет создавать новые материалы. 	<p>проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение спроса на данную продукцию обеспечит приток кадров. 2. Использование научно-исследовательского потенциала ТПУ позволит подобрать необходимую методику.
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологии производства.</p> <p>У2. Незаинтересованность крупных инвесторов.</p> <p>У3. Неудача эксперимента.</p> <p>У4. Потеря актуальности из-за большого количества конкурентных технологий.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. При неудаче эксперимента с одним металлом, возможно провести этот же эксперимент с другим металлом. 2. Такие факты как небольшой диапазон размеров nano-порошков и необходимость управления изотопным составом, обеспечат спрос на данную технологию ещё долгое время. 3. Наличие оборудования, необходимого сырья, множества различных парамагнитных металлов обещают продолжение эксперимента в случае неудачи с отдельным металлом или в случае прекращения финансирования. 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие данной, новой в своем роде, разработки может обернуться провалом без должного финансирования.

Таким образом, на основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки, которыми являются:

- технологическая простота метода;
- невысокая стоимость обработки металлов;
- в процессе проведения фазового перехода исключена возможность засорения технологической установки;
- в процессе можно активно влиять на изотопный состав;
- наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии и его компактность;
- маленький срок получения результатов при проведении научного исследования;
- малый диапазон размеров, получаемых нанопорошков.

3.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации и выясним уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним специальную форму (табл. 3.3), содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пяти балльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию

и самостоятельно выполняю, 5-знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (3.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таблица 3.3– Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2

8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	43	33

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации находится на среднем уровне. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

3.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации.

Для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как инжиниринг. Так как консультант имеет знания и опыт в оказании инженерно-технических услуг, но не имеет возможности построить собственное предприятие, заключается договор с заказчиком. Заказчик имеет собственное производство, но нуждается в дополнительном ведении узконаправленных проектов, которые выступают как вспомогательные для реализации рабочего процесса. Хотя методика и доступна в открытом доступе, необходимы ресурсы для

найма сотрудников. В данном случае заказчику выгоднее заключать договор с компанией извне, а не создавать собственный отдел по расчету какой-либо составляющей процесса. Консультант же способен к выполнению большого количества задач и гибкости в отношении их количества и потраченного на проект времени

3.2 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1. Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 3.4.

Представим информацию об иерархии целей проекта и критерия достижения целей в таблице 3.5

Таблица 3.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИИ	Использование расчетов и технологии для получения нанопорошков малого диапазона размеров
Компании атомной промышленности	Тестирование наноразмерных порошков области нанотехнологий, управление изотопным составом различных металлов
Частные инвесторы	Получение максимальной доходности в зависимости от вложений

Таблица 3.5– Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Моделирование и исследование изотопных эффектов при фазовых переходах, протекающих в постоянном магнитном поле при лазерной абляции.
Ожидаемые результаты проекта:	Создание энергоэффективной технологии управления изотопным составом парамагнитных материалов на уровне нано размеров.
Критерии приемки результата проекта:	Получение наноразмерных порошков парамагнитных металлов в магнитном поле.
Требования к результату проекта:	Получение нанопорошков узкого диапазона размеров при разных частотах работы лазера и исследование остаточных материалов после лазерной абляции.

2. Организационная структура проекта.

Определим участников рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Представим эту информацию в таблице 3.6.

Таблица 3.6–Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты час.
1	Адилъханов Д.Е., ТПУ, магистр	Исследование фазовых переходов при лазерной абляции в магнитном поле	Основной разработчик проекта	493
2	Хан В.А., ТПУ, д.т.н.	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	60
ИТОГО:				553

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Представим эту информацию в таблице 3.7.

Таблица 3.7– Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	158177
3.1.1. Источник финансирования	ТПУ
3.2. Сроки проекта:	4 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2022
3.2.2. Дата завершения проекта	21.05.2022

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

3.2.1 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 3.8 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Внешний	Санкции, кризис	5	3	средний	Использование аналоговых альтернативных технологий получения наночастиц	Изменение политической и международной конъюнктуры
2	Финансовый	Повышение уровня инфляции во время реализации проекта	3	3	средний	Использование более дешевых альтернативных материалов	Изменение политической и международной конъюнктуры
3	Производственный	Изменение объемов или сроков работ	3	2	низкий	Модернизация волоконного лазера	В зависимости от задач руководства

3.2.2 Планирование научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и исполнитель (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 3.9.

Таблица 3.9 –Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И
	3	Изучение материалов по теме	И
Выбор направления исследований	4	Моделирование процесса фазовых переходов при лазерной абляции	И
	5	Выбор метода выполнения работы	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Исследование режимов работы импульсного волоконного лазера	И
	7	Анализ результатов работы	И
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10– Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	2	01.02.2022	02.02.2022	Адильханов Д.Е. Хан В.А.
2	Календарное планирование работ по теме	4	03.02.2022	07.02.2022	Адильханов Д.Е.
3	Изучение материалов по теме	14	08.02.2022	22.02.2022	Адильханов Д.Е.
4	Анализ исходных параметров	5	24.02.2022	01.03.2022	Адильханов Д.Е.

5	Выбор метода выполнения работы	8	02.03.2022	10.03.2022	Адилъханов Д.Е. Хан В.А.
6	Применение метода к исходным параметрам	28	11.03.2022	09.04.2022	Адилъханов Д.Е.
7	Анализ результатов работы	30	10.04.2022	10.05.2022	Адилъханов Д.Е.
8	Составление отчета по работе	10	11.05.2022	21.05.2022	Адилъханов Д.Е.
ИТОГО:		97			

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

График строится в виде таблицы 3.11 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3.11– Календарный план-график проведения работ

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, Исполнитель	2	■											
2	Календарное планирование работ по теме	Исполнитель	4	■											
3	Изучение материалов по теме	Исполнитель	17		■	■									
4	Моделирование процесса фазовых переходов при лазерной абляции	Исполнитель	7			■	■	■							

3.3.1 Расчет материальных затрат

Все работы для ВКР проводились на волоконном лазере и на компьютере. В качестве материальных затрат будут представлены затраты на свинец, алюминий, нержавеющей сталь, самариевый магнит. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 3.12.

Таблица 3.12 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Свинец	150	1,5 кг.	225
Алюминий	170	1,5 кг.	255
Нержавеющая сталь	1100	1,5 кг.	1650
Самариевый магнит	820	1 кг	820
Итого:	2945 руб.		

Таким образом общая сумма материальных затрат для данной разработки составила 2945 рублей. Самый дорогостоящий материал – самариевый магнит, необходимое количество которого 1 кг, при цене за единицу 820 рублей. Общая сумма всех материалов, за исключением самариевого магнита составляет 2125 рублей.

3.3.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Все работы для ВКР проводились на прецизионном маркере на базе волоконного лазера «МиниМаркер 2» и на персональном компьютере.

Таблица 3.13 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Прецизионный маркер на базе	1	15	1200000	1200000

	волоконного лазера «МиниМаркер 2»				
2	Персональный компьютер	1	3	45000	45000
Итого:	1245000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.3:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3.3)$$

где n – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.4:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (3.4)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию прецизионного маркера на базе волоконного лазера «МиниМаркер 2», учитывая, что срок полезного использования 15 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{15} = 0,06$$

Рассчитаем амортизацию для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Прецизионный маркер на базе волоконного лазера «МиниМаркер 2»:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot 4 = \frac{0,06 \cdot 1200000}{12} \cdot 4 = 24000 \text{ руб.}$$

Персональный компьютер:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot 4 = \frac{0,33 \cdot 45000}{12} \cdot 4 = 4950 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 24000 + 4950 = 28950$$

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ. Амортизация для прецизионного маркера на базе волоконного лазера «МиниМаркер 2», учитывая, что срок полезного использования 15 лет составила 0,06, а общая сумма амортизационных отчислений 24000 рублей. Амортизация для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года составила 0,33, а общая сумма амортизационных отчислений 4950 рублей. Суммарные затраты амортизационных отчислений – 28950 рублей.

3.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования

Статья включает основную заработную плату работников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (3.5)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст.преподаватель, доцент, профессор.

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.)

и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.6)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата в рублях;

$K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = T_{раб} \cdot Z_{дн}, \quad (3.7)$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника в рублях.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.8:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{T_{\partial}}, \quad (3.8)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

T_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники): -выходные/праздничные.	66	66
Отпуск/невыходы по болезни	56	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251

Исполнитель во время написания диплома ежемесячно получает вознаграждение в размере МРОТ 13890 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты

труда. Отраслевая система оплаты труда предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием;
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;
- доплата за работу во вредных условиях труда;
- оперативная премия.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

$$Z_M = Z_{ок} \cdot k_3, \quad (3.9)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.;

k_3 – районный коэффициент, равный 1,3.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является кандидат технических наук ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 30000 рублей. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	30000	39000	1925	8	15400
Исполнитель	13890	18057	863	63	54369
Итого $Z_{осн}$	72289 руб.				

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы для научного руководителя равным 15 %. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	15400	54369
Дополнительная зарплата, руб.	2310	8155
Зарплата исполнителя, руб.	17710	62524
Итого по статье С _{зп} , руб.	80234 руб.	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 17710 руб, а исполнителя – 62524 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 80234 рублей.

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (3.10)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет 30,2%.

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{внеб} = 0,302$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 17710 = 5348$$

Отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда исполнителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 62524 = 18882$$

В результате расчётов были определены отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда руководителя и исполнителя, при том что коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составил 0,302. Для руководителя, отчисления составили 5348 руб., а для исполнителя 18882 рубля.

3.3.5 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хоз. инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма статей 1-6}), \quad (3.11)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 0,16.

Накладные расходы составят:

$$Z_{\text{накл}} = (24230 + 2945 + 28950 + 80234) \cdot 0,16 = 21818 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательского проекта, приведенная в таблице 3.17.

Таблица 3.17– Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизационные отчисления	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления во внебюджетные фонды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
28950 руб.	2945 руб.	69769 руб.	10465 руб.	24230 руб.	136359 руб.	21818 руб.	158177 руб.

В итоге бюджетная стоимость научного исследования составила 158177 рублей. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата,

отчисления на социальные нужды и накладные расходы, которые составили 21818 рублей при коэффициенте накладных расходов 0,16.

3.4 Определение ресурсной эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 3.12:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.12)$$

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 3.18.

Таблица 3.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4
4. Энергосбережение	0,1	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,2	4	3
Итого	1	4,25	3,65

$$I_p = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,25 ;$$

$$I_a = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,65 .$$

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}, \quad (3.13)$$

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{312572}{350000} = 0,89;$$

$$I_{\phi}^a = \frac{\Phi_a}{\Phi_{\max}} = \frac{180000}{200000} = 0,9.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p}, \quad (3.14)$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a}, \quad (3.15)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,25}{0,89} = 4,77;$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,65}{0,9} = 4.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле 3.16:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_p} \quad (3.16)$$

Таблица 3.19– Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,65	4,25

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	4	4,77
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,09	1,12

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

3.5 Оценка абсолютной эффективности НИ

Для оценки общей экономической эффективности используются основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (3.17)$$

где: ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования;

t – шаг расчета.

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.20.

Таблица 3.20 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	145400	297800	420130	420130
2	Итого приток, руб.	0	145400	297800	420130	420130
3	Инвестиционные издержки, руб.	158177	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	40000	60000	80000	80000
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	105400	237800	340130	340130
6	Налоги, руб.	0	21080	47560	68026	68026
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	84320	190240	272104	272104
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-158177	84320	190240	272104	272104
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	0,83333	0,69444	0,5787	0,48225
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-158177	70266	132110	157466	131222
12	Σ ЧДД			332887		
12	Итого NPV, руб.			174710		

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1,$$

где: ЧДП - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Если $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Дисконтированный срок окупаемости.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 3.21).

Таблица 3.21 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток, руб.	-158177	70266	132110	157466	131222
2	То же нарастающим итогом, руб.	-158177	-87911	44199	201655	332777

3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{дск} = 1,7$ года
---	-----------------------------------	---

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что проект эффективен с точки зрения целесообразности инвестирования денежных средств, что подтверждается расчетом NPV, который оказался больше нуля. Дисконтированный срок окупаемости проекта составляет 1,7 года.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с аналогом;

2. Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. Выполнен SWOT-анализ проекта;

3. В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников;

4. Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала средний уровень, который можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта;

5. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 158177 руб.;

6. Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

7. Оценка абсолютной эффективности НИ показала, что проект является эффективным с точки зрения целесообразности инвестирования денежных средств, со сроком окупаемости 1,7 года.

4 Социальная ответственность

В работе проводится изучение изотопных эффектов при фазовых переходах, протекающих в постоянном магнитном поле при лазерной абляции. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании эффективной технологии для управления изотопным составом различных материалов.

Эксперименты проводились в лаборатории №-241 в 16В корпусе Томского политехнического университета, при этом использовался прецизионный маркер на базе волоконного лазера «МиниМаркер 2».

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на здоровье и жизнь исследователей, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

– получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

– отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;

– обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

– обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

– личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

– внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

– гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником [20].

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как изображено на рисунке 4.1.

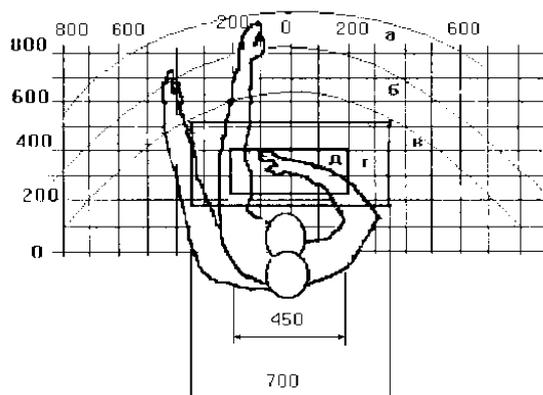


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура - в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева);
- в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно [16].

При выборе рабочего места, а именно письменного стола должны быть учтены следующие требования, которые представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Требования к оснащению рабочего места, предусматривающего длительную работу за ПК

Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Высота рабочего стола	75 см
Глубина рабочего стола	От 60 до 80 см
Расстояние от глаз до монитора	От 50 до 60 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Пространство для ног	Ширина от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [16].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора:

- по высоте +3 см;
- наклон относительно вертикали 10 - 20 градусов;
- в левом и правом направлениях.

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует

использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания [16].

4.2 Производственная безопасность

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для проведения экспериментов в работе использовался прецизионный маркер на базе волоконного лазера «МиниМаркер 2».

Производственные условия на месте выполнения работы характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые по природе возникновения делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические [17].

Опасные и вредные факторы, которые могут воздействовать на персонал при проведении эксперимента и работе на ПЭВМ, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с химическими реактивами.	Химические вредные вещества.	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества [11].
Работа в волоконном лазере.	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [12], СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона [13].
		Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [14].
Расчёт данных на ЭВМ.	Шум, вибрация, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [15], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [12].

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, можно отнести:

- нервно-эмоциональные перегрузки;
- умственное напряжение;
- физические перегрузки.

Биологические и химические вредные производственные факторы в лаборатории № 241–16В корпуса ТПУ отсутствуют.

4.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ и волоконного лазера они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м² [16].

4.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с нормами и приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	22-24	40	0,1

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [17].

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Оптимальная кратность воздухообмена в производственных помещениях находится в достаточно широких пределах: от 3 до 40 раз в час [17]. В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной

вентилятор марки ВР-10-28 производительностью $Q = 8000 - 2300 \text{ м}^3/\text{час}$.

Объем лаборатории №241 составляет:

$$V = a \cdot b \cdot h = 6 * 5 * 5 = 150 \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

Данный вентилятор обеспечивает следующую кратность воздухообмена (ВО) в лаборатории:

$$BO = \frac{Q}{V} = \frac{(850 \div 2300)}{150} = 5,6 \div 15,3 \quad (4.2)$$

Таким образом установлено, что микроклимат в используемой лаборатории №241–16В учебного корпуса ТПУ соответствует оптимальным условиям работы.

4.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. Волоконный лазер питается от розетки 220В. Предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения [13].

Экран и системные блоки ЭВМ также производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 4.4.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [13].

Таблица 4.4 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты [13].
- Таким образом установлено, что в лаборатории №241–16В учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам.

4.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

По нормативам освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [17].

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения.
- В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:
 - комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
 - местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [17].

Площадь помещения:

$$S = a \cdot b, \quad (4.3)$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 5 = 30 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50 \%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70 \%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_s = 1,5$. Коэффициент неравномерности для светодиодных лент $Z = 1,1$.

Выбираем светильники со светодиодами типа Айсберг. Световой поток равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2400$ Лм. Этот светильник имеет две светодиодные ленты мощностью 9 Вт каждая, длина светильника равна 670 мм, ширина – 165 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для светодиодных светильников с защитным рассеивателем лежит в диапазоне 1,1 – 1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (4.4)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухлентовых светильников Айсберг: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (4.5)$$

Из формулы

$$\Phi_n = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} \quad (4.6)$$

находим число светодиодных лент N

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_n \cdot \eta}. \quad (4.7)$$

η определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 5}{2(6 + 5)} = 1,4 \quad (4.8)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа Айсберг со светодиодными лентами при $\rho_{\Pi} = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$ и индексе помещения $i = 1,4$ равен $\eta = 0,5$.

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2400 \cdot 0,52} = 11,89 \text{ шт}$$

Принимаем количество светодиодных лент 12. При этом получается 6 светильников, т.е. 2 ряда по 3 светильника.

Потребный световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_{л} = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,52} = 2379 \text{ Лм.}$$

Из условий равномерности освещения определяем расстояния L_1 и $\frac{L_1}{3}$,

L_2 и $\frac{L_2}{3}$ по следующим уравнениям:

$$6000 = L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 2 \cdot 168; L_1 = 3402 \text{ мм}; \frac{L_1}{3} = 1701 \text{ мм}; \quad (4.9)$$

$$5000 = 2 \cdot L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 3 \cdot 670; L_2 = 1005 \text{ мм}; \frac{L_2}{3} = 335 \text{ мм.} \quad (4.10)$$

На рисунке 4.2 изображен план помещения и размещения светильников со светодиодными лентами в лаборатории №241–16В учебного корпуса ТПУ.

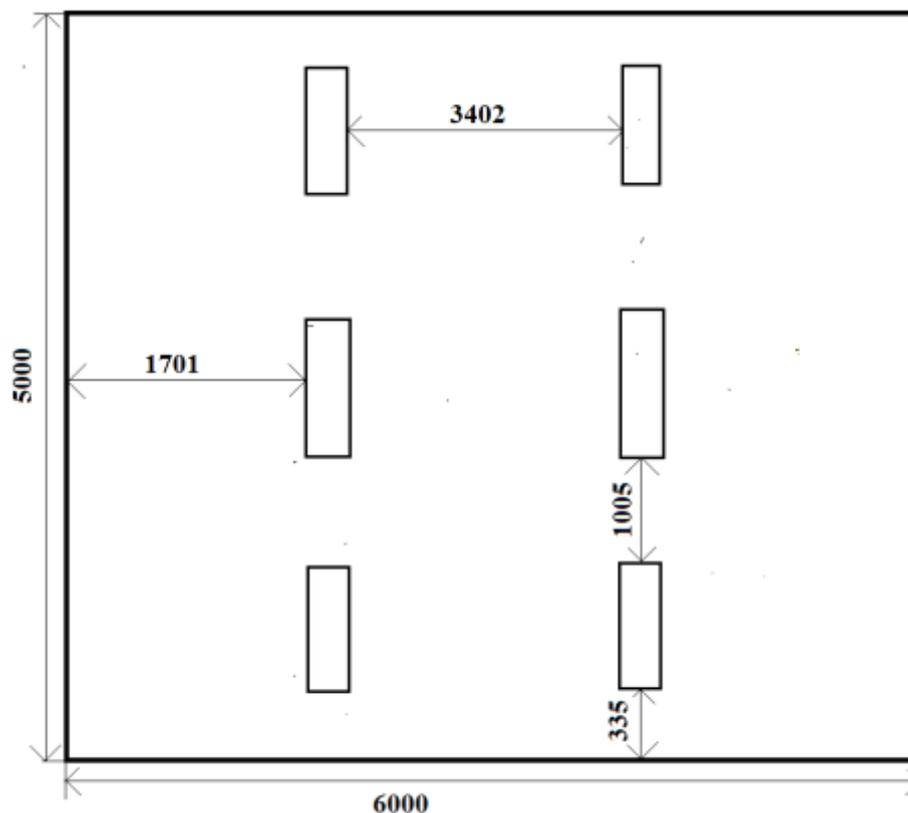


Рисунок 4.2 – План помещения лаборатории №241-16В корпус ТПУ и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

$$\frac{-10\% \leq (\Phi_{л\partial} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\partial}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (4.11)$$

$$\frac{(\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{л}})}{\Phi_{\text{лд}} \cdot 100\%} = \frac{(2400 - 2379)}{2400 \cdot 100\%} = 0,9\%$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Мощность осветительной установки получилась:

$$P = 12 \cdot 9 = 108 \text{ Вт.}$$

Расчётное количество светильников фактически совпадает с количеством установленных в лаборатории №241–16В учебного корпуса ТПУ.

4.3.4 Превышение уровня шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 55 дБ, что соответствует санитарным нормам [15].

В таблице 4.5 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 4.5 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
Научная работа, расчеты, конструирование										50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	55

4.3.5 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Трудовая деятельность работников непроизводственной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональную активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [17].

4.3.6 Поражение электрическим током

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой [12].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки [12].

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- условий внешней среды [17].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие [12].

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства [12].

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава [12].

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта [12].

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся произвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения [17].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [12]:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год [17].

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

При выполнении данной ВКР применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным

напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 60 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

4.4 Экологическая безопасность

В работе проводится изучение изотопных эффектов при фазовых переходах, протекающих в постоянном магнитном поле при лазерной абляции. При этом используется прецизионный маркер на базе волоконного лазера и ПЭВМ.

Влияние эксплуатации оборудования на окружающую среду минимально. Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ и волоконный лазер не производят выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют серьезную проблему. Так, при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет [17].

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте [17]:

- Правильная утилизация ПЭВМ и других систем, а также их комплектующих;
- Использование энергосберегающих ламп;
- Использование аккумуляторов вместо солевых батареек.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также

включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии [17].

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением, ответственно относиться к утилизации различных устройств, т.к. они могут разлагаться в окружающей среде до сотен лет.

4.5 Химическая безопасность

При эксплуатации волоконного лазера в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды алюминия, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций.

В таблице 4.6 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности [18].

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные [18].

Таблица 4.6 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид алюминия	2,0	3
2	Оксид хрома	1,0	3
3	Сульфат меди	0,2	4

Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм,

технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д.

При работе использовались следующие средства индивидуальной защиты: резиновые перчатки, лабораторный халат, очки, респиратор «лепесток» [19].

4.6 Пожарная и взрывная безопасность

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [14]. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания [14]:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов.

Наиболее опасным с точки зрения пожарной безопасности веществом, применяемым в работе, является этанол.

Все работы с этанолом должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции вдали от огня и источников искрообразования.

При отборе проб, проведении анализа и обращении в процессе транспортных и производственных операций с этанолом применяются индивидуальные средства защиты по нормам выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств защиты, утвержденным в установленном порядке.

Для тушения горящего этанола применяют порошковые огнетушители, средства объемного тушения (минимальная огнетушащая концентрация: углекислого газа – 29 % (по объему), азота – 43 % (по объему), дибромтетрафторэтана – 2,1 % (по объему), песок, асбестовое одеяло и пену [14]. Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [14].

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации [14].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [17].

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [17]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам

противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.

При возникновении аварийной ситуации необходимо [14]:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112;
- принять меры по ликвидации последствий аварии в соответствии с инструкцией.

4.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.7.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. В таблице 4.7 рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы по их предотвращению и ликвидация их последствий.

Таблица 4.7 – Чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидация последствий

№	Чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения ЧС	Ликвидация последствий ЧС
1	Пожар	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Соблюдение технологических режимов производства; Создание условий для эвакуации персонала	Вызов пожарной службы и спасателей (тел. 112); Вызов скорой медицинской помощи
2	Удар током	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Содержание энергетических сетей в исправном состоянии	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи
3	Травмирование в результате падения с высоты	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Создание систем предупреждения падений; Соблюдать требования безопасности при выполнении работ на высоте	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи

Выводы по разделу

В данной главе проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований:

- микроклимат [17];
- шум и вибрация [15];
- электромагнитное излучение [13];
- освещенность [17];
- психофизиологические факторы [17];
- химическая безопасность [18];
- электробезопасность [12];
- пожаро-взрывобезопасность [14].

Помещение № 241–16В корпуса ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [12];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [14].

Также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

Выводы

1) Проведены эксперименты по получению наночастиц путём лазерной абляции мишеней. Из анализа данных по электронной микроскопии следует что, верхний диапазон размеров частиц свинца образующихся без магнитного поля составляет 400 нм, в магнитном поле 300 мТл размер не превышает 340 нм. Не обнаружены частицы свинца размером менее 10 нм, образовавшихся в магнитном поле 300 мТл.

2) Составлена модель роста наночастиц. Показано что в магнитном поле 300 мТл при температуре кипения свинца 2022К соответствует время нахождения в сорбированном состоянии $4,47 \cdot 10^{-11}$ с. Такое время конверсии наблюдается в магнитном поле с индукцией 300 мТл. Поэтому в магнитных полях с индукцией более 300 мТл время триплет-синглетной конверсии превышает время сорбции атома свинца, что обеспечивает максимальное влияние поля на процесс нуклиации.

Список использованных источников

- 1) Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы: учебное пособие для вузов. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 292 с.
- 2) Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные материалы: получение, структура и свойства. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
- 3) Лякишев Н.П., Алымов М.И. Получение и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. – М.: ЭЛИЗ, 2007. – 148 с.
- 4) Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
- 5) Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2008.
- 6) Суздальев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: Комкнига, 2006. 592 с.
- 7) Рыжонков, Д. И. Наноматериалы: учеб. пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. – 2-е изд. – М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2012. – 365 с.
- 8) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова,
- 9) Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 73 с.
- 10) Кнышова Е. Н. Экономика организации: учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.
- 11) ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества».
- 12) ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность».
- 13) СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона».

- 14) ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность».
- 15) СанПин 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
- 16) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы».
- 17) СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
- 18) ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- 19) ГОСТ 12.4.011-89 «ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
- 20) Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ

Приложение А

Investigation of phase transitions during laser ablation in a magnetic field

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Адилъханов Диас Ерланулы		

Консультант лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зеремская Юлия Александровна	к.филол.н.		

Introduction

At present, nanopowders are a type of nanomaterials produced in large quantities. Unlike nanoscale filaments, fullerenes, nanotubes, graphene, etc., nanopowders can be made from almost any materials. The main criterion of the raw material is only its chemical purity. They also differ in the relative cheapness, accessibility and simplicity of production methods of these products.

Metal powders, in contrast to their massive states, have very specific properties, in particular electrophysical ones.

With a decrease in the linear size of the powder particles, their properties also change qualitatively (the melting temperature, the heat of evaporation, the ionization energy, the work of the electron output, etc.). This opens up a wide range of applications of nanopowders in the field of creating the latest materials and technologies, fundamentally new devices and devices. Particular interest in nanopowders is associated with their use as raw materials in the production of ceramic, magnetic and composite materials, superconductors, solar panels, filters, additives to lubricants, components of low-temperature high-strength solders, etc.

The consumer value of nanopowders is determined by the size range: the wider the size distribution function, the wider the range, for example, the electro- or thermos-physical characteristics are changed. However, at present, the arsenal of tools that allow you to adjust the size range is limited, so research related to the development of methods for controlling the size of emerging nanoparticles is relevant.

The purpose of this work is to study the effect of a weak permanent magnetic field on the formation of nanoparticles of a diamagnetic material.

To achieve this goal, it is necessary to perform the following tasks:

- 1) development of a nanoparticle formation node;
- 2) analysis of the obtained nanoparticles and development of a model of physicochemical processes occurring during nucleation in a magnetic field.

1. Methods for obtaining nanopowders

To date, a large number of methods and ways for obtaining nanomaterials have been developed. This is due to the diversity of the composition and properties of nanomaterials, on the one hand, and on the other, it is allowed to expand the range of this class of substances, to create new, unique samples.

Methods for obtaining nanomaterials can be divided into:

- mechanical;
- physical;
- chemical;

In this classification, the mechanical methods for obtaining nanomaterials are based on the impact of large deforming loads: pressure, bending, vibration, friction, cavitation processes. Physical methods of production are based on physical transformations: evaporation, condensation, sublimation, quenching, thermal cycling. Chemical methods include methods, the main dispersing stage of which is the actual chemical reaction: electrolysis, reduction, thermal decomposition.

The use of any method for obtaining nanoparticles is guided by the scope of their application and the required properties of the resulting product. The properties of the products obtained — granulometric composition and particle shape, chemical composition, specific surface area — can vary depending on the method for obtaining in a wide range.

1.1 Chemical methods

Chemical synthesis methods include various reactions and processes, including:

- deposition;
- thermal decomposition or pyrolysis;
- gas-phase chemical reactions;
- recovery;
- hydrolysis;
- electrodeposition.

By changing the ratio of the number of reagents, the degree of supersaturation, and the temperature of the process, the rate of formation and the growth of nanoparticle nuclei can be adjusted.

The deposition method involves the deposition of various metal compounds from solutions of their salts using precipitators.

The precipitation product is metal hydroxides. Solutions of alkalis of sodium, potassium and others are used as a precipitator.

By adjusting the pH and temperature of the solution, conditions are created under which high crystallization rates are obtained and a highly dispersed hydroxide is formed. This method can produce spherical, needle-shaped, scaly or irregular powders with a particle size up to 100 nm.

Nanopowders of complex composition are obtained by co-deposition. In this case, two or more solutions of metal salts and alkali are fed into the reactor simultaneously at a given temperature and stirring. As a result, hydroxide compounds of the desired composition are obtained.

The method of heterophase interaction is carried out by stepwise heating of mixtures of solid metal salts with an alkali solution with the formation of an oxide suspension and subsequent reduction of the metal. In this way, metal powders with a particle size in the range of 10-100 nm are obtained.

The gel method involves the deposition of insoluble metal compounds from aqueous solutions in the form of gels.

The next stage is metal recovery. This method is used to produce powders of iron and other metals.

The method of reduction and thermal decomposition is usually the following operation after obtaining ultrafine oxides or hydroxides in solution, followed by precipitation and drying.

As reducing agents, depending on the type of product required, gaseous reducing agents (as a rule, hydrogen, carbon monoxide or solid reducing agents) are used.

Nanopowders of Fe, W, Ni, Co, Si and a number of other metals are obtained by reducing their oxides with hydrogen.

Carbon, metals or metal hydrides are used as solid reducing agents. In this way, metal nanopowders are obtained: Mo, Sk, Reb, and others. As a rule, the particle size is in the range of 10-30 nm.

Stronger reducing agents are metal hydrides — usually calcium hydride. This is how Zr, Hf, Ta, Nb nanopowders are obtained.

In some cases, nanopowders are obtained by decomposition of formates, carbonates, carbonyls, oxalates, metal acetates as a result of thermal dissociation or pyrolysis processes. Thus, due to the dissociation reaction of metal carbonyls, Ni, Mo, Fe, W, Sg powders are obtained.

Polymetallic films are obtained by thermal decomposition of a mixture of carbonyls on a heated substrate. Metal ultradisperse powders, oxides, as well as mixtures of metals and oxides are obtained by pyrolysis of metal formates. In this way, powders of metals, including Mp, Fe, Ca, Zr, Ni, Co, their oxides and metal oxide mixtures are obtained

1.2 Physical methods

Methods of evaporation (condensation), or gas-phase synthesis of metal nanopowders, are based on the evaporation of metals, alloys or oxides, followed by their condensation in a reactor with controlled temperature and atmosphere.

Vapor-liquid-solid or vapor-solid phase transitions occur in the reactor volume or on the surface of the cooled substrate or walls. In addition, the evaporation-condensation process (Fig. 1.1) can be carried out in a vacuum or a neutral gas environment, and various cooling methods can also be used.

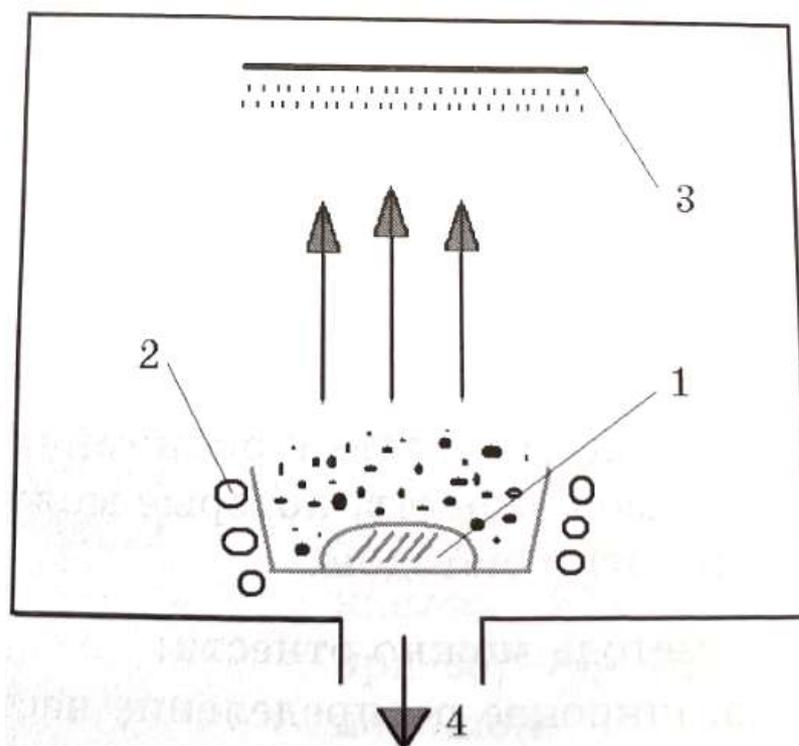


Figure 1.1 Diagram of the installation for obtaining nanopowder by evaporation-condensation: 1 – evaporable substance; 2 – heater; 3 – precipitation surface; 4 – vessel pumping

The method can be explained by the fact that the initial substance evaporates by intense heating, is fed into the reaction space with the help of a carrier gas, where it cools sharply. Heating of the evaporated substance is carried out using plasma, laser, electric arc, resistance furnaces, by induction, by passing an electric current through a wire.

It is also possible to vaporize without heat. Depending on the type of raw materials and the resulting product, evaporation and condensation are carried out in vacuum, in an inert gas, in a gas or plasma stream.

The size and shape of the particles depend on the temperature of the process, the composition of the atmosphere and the pressure in the reaction space. In the atmosphere of helium, the particles will have a smaller size than in the atmosphere of argon, a denser gas. This method produces Ni, Mo, Fe, Ni, Al powders. The particle size is tens of nanometers.

At one time, a method for obtaining nanomaterials by electric explosion of wires (conductors) appeared, and later became established. In this case, metal wires are placed in the reactor between the electrodes, from which a nanopowder is planned to be obtained, with a diameter of 0.1-1.0 mm.

A high-strength current pulse is applied to the electrodes ($10^4 \dots 10^6$ A/mm²). In this case, the wires are instantly heated and evaporated.

Metal vapors scatter, cool and condense. The process takes place in an atmosphere of helium or argon.

Nanoparticles settle in the reactor. In this way, metal (Ti, Co, W, Fe, Mo) and oxide (TiO₂, Al₂O₃, ZrO₂) nanopowders with a particle size up to 100 nm are obtained.

1.3 Mechanical methods

Mechanical grinding or grinding is carried out in various devices, namely: in ball, planetary, vibration, vortex, gyroscopic, jet mills, attritors and simoylers.

When grinding materials, the mechanical action is pulsed, that is, the occurrence of a stress field does not occur during the entire residence time of particles in the reactor, but only at the moment of particle collision and in a short time after it. The mechanical effect is also local, since it does not occur in the entire mass of the solid, but where the stress field occurs.

Figure 1.2 shows a schematic diagram of a ball vibration mill. During grinding, unbalances – unbalanced masses of the shaft – during its rotation cause circular vibrations of the mill body with an amplitude of 2-4 mm, the trajectory of which lies in a plane perpendicular to the axis of the vibrator.

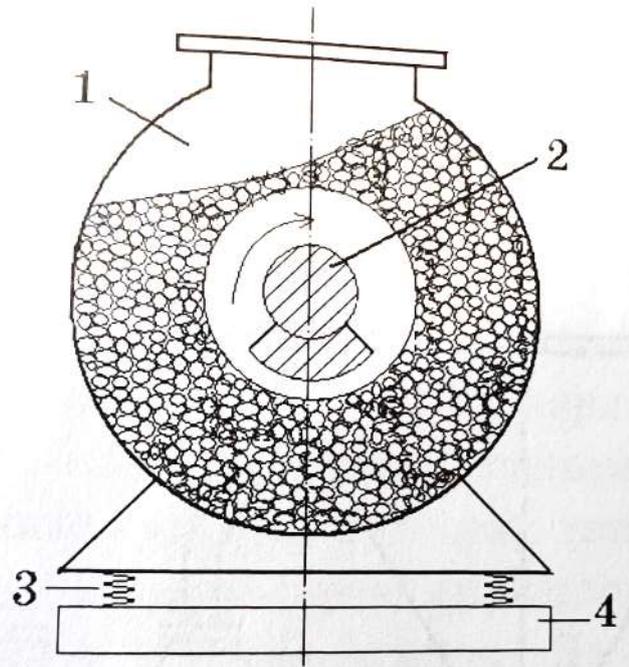


Figure 1.2 Diagram of a vibrating mill: 1 – housing; 2 – shaft with unbalances; 3 – spiral springs; 4 – fixed frame

At the same time, both the grinding bodies and the crushed material receive frequent impulses from the walls of the housing, as a result of which they jump, collide, rotate, slide along the walls of the mill and fall at high speed. In comparison with a ball mill, the impact pulse of a separate grinding body in this device is relatively small.

Attritors and simoloyers are high-energy grinding machines with a fixed drum body with agitators that transmit motion to the balls in the drum. The attritors have a vertical drum arrangement; the simoloyers have a horizontal one.

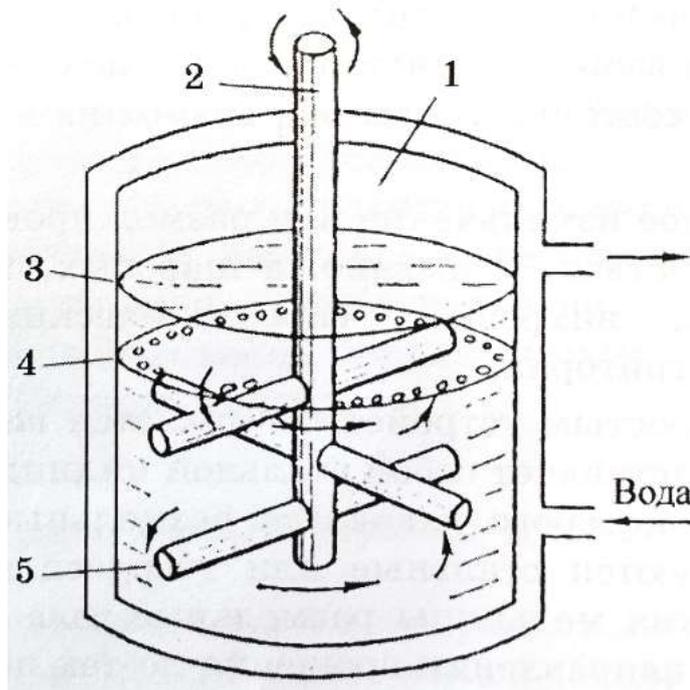


Figure 1.3 Diagram of the attritor device: 1 – grinding tank; 2 – agitator shaft; 3 – crushed material; 4 – grinding bodies; 5 – agitator blades

The grinding of the milled material by grinding balls, unlike other types of grinding devices, occurs mainly not due to the impact, but by the mechanism of abrasion.

The capacity of the drums in these two types of installations reaches 400-600 liters. Metals, ceramics, polymers, oxides, brittle materials are mechanically crushed. The degree of grinding depends on the type of material. Thus, for oxides of tungsten and molybdenum, a particle size of about 5 nm is obtained, for iron - about 10-20 nm.

A type of mechanical grinding is mechanosynthesis, or mechanical alloying, when in the process of grinding, the interaction of crushed materials occurs with the production of crushed material of a new composition. This is how nanopowders of alloyed alloys, intermetallides, silicides and dispersed-hardened composites with a particle size of 5-15 nm are obtained.

The unique advantage of the method is that due to mutual diffusion in the solid state, it is possible to obtain "alloys" of the elements, the mutual solubility of which is negligible when using liquid-phase methods.

The positive side of mechanical grinding methods is the comparative simplicity of installations and technology, the ability to grind various materials and obtain alloy powders, as well as the ability to obtain material in large quantities.

The disadvantages of the method include the possibility of contamination of the crushed powder with abrasive materials, as well as difficulties in obtaining powders with a narrow particle size distribution, difficulties in regulating the composition of the product during the grinding process.

A very promising type of mechanical grinding method is the mechanochemical method, based on the fact that when grinding a mixture of various components, physical interaction between them accelerates. In addition, it is possible for chemical reactions to occur that, upon contact not accompanied by grinding, do not occur at such temperatures at all. Such reactions are commonly called mechanochemical.

Conclusions

1) Experiments have been carried out to obtain nanoparticles by laser ablation of targets. From the analysis of electron microscopy data, it follows that the upper size range of lead particles formed without a magnetic field is 400 nm, in a magnetic field of 300 MT, the size does not exceed 340 nm. Lead particles of less than 10 nm in size formed in a magnetic field of 300 MT were not detected.

2) A model of the growth of nanoparticles has been compiled. It is shown that in a magnetic field of 300 MT at the boiling point of lead 2022K corresponds to the time spent in the sorbed state of $4.47 \cdot 10^{-11}$ s. Such a conversion time is observed in a magnetic field with an induction of 300 mt. Therefore, in magnetic fields with an induction of more than 300 MT, the time of triplet-singlet conversion exceeds the sorption time of the lead atom, which ensures the maximum influence of the field on the nucleation process.