

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Отделение школы Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Агрегация наночастиц алюминия в растворах электролитов

УДК 544.77:621.762:669.71

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Ван Хуэйюань		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Годымчук. А. Ю	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Годымчук. А. Ю	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А. И.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Ваулина О. Ю.	к.т.н., доцент		

Томск – 2022 г.

**Результаты обучения по направлению
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 2.5, 4.1, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-8, ПК-11), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.4, 4.8)
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.2, 4.3, 4.7, 4.8)
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.1, 3.2, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий	Требования ФГОС (ПК-3, 4, 6, 7, 11, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 4.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.3, п. 2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-10, ПК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-12, ОПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-19), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение школы Отделение материаловедения

УТВЕРЖДЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Ваулина О.Ю.
 « ____ » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Ван Хуэйюань

Тема работы:

Агрегация наночастиц алюминия в растворах электролитов	
Утверждена приказом директора ИШ НПТ	№ 32-49/с от 01.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2022 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Источники литературы: базы данных www.sciencedirect.com , www.ncbi.nlm.nih.gov , www.researchgate.net , link.springer.com , www.elsevierscience.ru . 2. Экспериментальные данные, полученные в НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» Томского политехнического университета и на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС». 3. Объекты исследования: электровзрывных наночастиц алюминия 4. Требования к результатам: графики, показывающие влияние концентрации электролитов на размер и ξ -потенциал наночастиц алюминия в водной суспензии.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Сделать обзор литературы по получению и применению и агрегации наночастиц в растворах солей; 2) провести дисперсионный анализ наночастиц алюминия с помощью просвечивающей электронной микроскопии; 3) показать влияние концентраций ионов Na^+ и Ca^{2+} на размер и ξ -потенциал наночастиц алюминия в водной суспензии.

Перечень графического материала	Микрофотографии нанопорошков, графики изменения дисперсионных и электрокинетических свойств наночастиц в водных суспензиях.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук И. В.
Социальная ответственность	Сечин А. И.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2022 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		02.02.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Ван Хуэйюань		02.02.2022 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Ван Хуэйюань

Школа	ИШНПТ	Отделение школы	отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП	
2. Матрица SWOT	
3. Диаграмма Ганта	
4. Бюджет НИ	
5. Основные показатели эффективности НИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук И. В.	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Ван Хуэйюань		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
154Б82	Ван Хуэйюань

Школа	ИШНПТ	Отделение	отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Агрегация наночастиц алюминия в растворах электролитов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: наночастицы алюминия Область применения: порошковая металлургия, декоративные покрытия, материалы для хранения водорода большой емкости
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Превышение уровня шума. 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Авария, взрыв, пожар

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.04.2022 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А. И.	д.т.н.		26.04.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б82	Ван Хуэйюань		26.04.2022 г.

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение школы Отделение материаловедения
 Уровень образования Бакалавриат
 Период выполнения весенний семестры 2022/2023 учебного года
 Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 10.06.2022 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.04.2022	1. Литературный обзор	20
30.05.2022	2. Экспериментальная часть	20
10.06.2022	3. Обсуждение результатов и оформление работы	35
10.06.2022	Финансовый менеджмент	15
10.06.2022	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отделения материаловедения	Ваулина О.Ю.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 58 страниц, 11 рисунков, 23 таблицы и 55 источников.

Ключевые слова: наночастицы Al, агрегация, метод динамического рассеяния света, размер частиц, заряд частиц, электролиты.

Объекты исследования: электровзрывные наночастицы алюминия со средним размером 41 нм.

Целью выпускной квалификационной работы является показать влияние концентрации электролитов на коллоидные свойства наночастиц алюминия в водных суспензиях.

С помощью метода динамического рассеяния света показано, что при низких концентрациях солей в воде (ионная сила 0,0001...1 мМ) агрегация наночастиц алюминия со средним размером 41 нм протекает интенсивнее в растворе CaCl₂ по сравнению с NaCl. При ионной силе ≥ 1 тип иона не влияет на агрегацию.

Область применения: полученные зависимости влияния электролитов на коллоидные свойства наночастиц актуальны, как исходные данные для определения экотоксичности наночастиц в поверхностных водах с разным солесодержанием.

Обозначения, принятые в работе:

НЧ – наночастицы

ЭВП – электрический взрыв проволоки

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия

ДРС – Динамическое рассеяние света

ξ -потенциал – дзета-потенциал наночастиц

d_{cp} – средний размер агрегатов в суспензии

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	8
ВВЕДЕНИЕ	11
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1. Наночастицы алюминия: свойства, получение и применение	12
1.1.1. Классификация наночастиц	12
1.1.2. Получение наночастиц алюминия	12
1.1.3. Применение наночастиц алюминия	13
1.2. Дисперсные системы	13
1.2.1. Определение и классификация	13
1.3. Агрегация наночастиц металлов в растворах солей.....	15
1.4. Метод динамического рассеяния света.....	17
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	19
2.1. Объекты исследования	19
2.2. Электронная микроскопия и обработка данных	19
2.3. Приготовление суспензий	19
2.4. Изучение агрегации	20
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	21
3.1. Морфологические свойства наночастиц.....	21
3.2. Агрегация наночастиц в воде.....	21
3.3. Влияние концентрации Ca^{2+}	22
3.4. Влияние концентрации Na^{+}	23
3.5. Влияние типа электролита на агрегацию и стабильность.....	24
3.6. Выводы по разделу	25
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	26
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	26
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	26
4.1.2 SWOT-анализ	27
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	30
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	30

4.2.2	<i>Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения</i>	31
4.3	Бюджет научно-технического исследования	34
4.3.1	<i>Расчет материальных затрат научно-технического исследования</i>	35
4.3.2	<i>Расчет амортизации специального оборудования</i>	35
4.3.3	<i>Основная заработная плата исполнителей темы</i>	37
4.3.4	<i>Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)</i>	38
4.3.5	<i>Накладные расходы</i>	39
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	40
4.5	Выводы по разделу	42
5.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	44
5.1	Введение	44
5.2	Анализ выявленных вредных факторов	44
5.2.1	<i>Микроклимат производственной среды</i>	46
5.2.2	<i>Анализ выявленных опасных факторов</i>	46
5.2.3	<i>Анализ показателей шума</i>	47
5.2.4	<i>Анализ освещенности рабочей зоны</i>	48
5.3	Охрана окружающей среды	49
5.3.1	<i>Защита в чрезвычайных ситуациях</i>	50
5.3.2	<i>Анализ электробезопасности</i>	51
5.3.3	<i>Анализ пожарной безопасности</i>	51
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	52
5.5	Выводы по разделу	52
6.	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

ВВЕДЕНИЕ

Физические и химические свойства наночастиц (НЧ) алюминия (Al) делают их полезными в различных покрытиях с электропроводностью, отражением тепла и коррозионной стойкостью, таких как теплоизоляционные покрытия для самолетов, для пайки и термитной сварки, таких как производство автомобилей и самолетов. частей, может использоваться в фейерверках, и в настоящее время изучается возможность хранения водорода большой емкости [1,2]. Применение наночастиц приводит к расширению методов синтеза и выделению НЧ в окружающую среду [3].

В литературе показано, что биологические свойства наночастиц зависят от их агрегационного состояния, определяемого содержанием солей в гидросфере. [4–6] Однако, несмотря на важность исследования этого вопроса, в литературе по-прежнему недостаточно данных о влиянии концентрации электролита и его видов на агрегацию наночастиц Al в растворе.

Целью выпускной квалификационной работы является показать влияние концентрации электролитов на коллоидные свойства НЧ Al в водных суспензиях.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) сделать обзор литературы по получению и применению и агрегации наночастиц в растворах солей;
- 2) провести дисперсионный анализ электровзрывных НЧ Al с помощью просвечивающей электронной микроскопии;
- 3) показать влияние концентраций ионов Na^+ и Ca^{2+} на размер и ξ -потенциал НЧ Al в водной суспензии.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Наночастицы алюминия: свойства, получение и применение

1.1.1. Классификация наночастиц

Наночастица – изолированный твёрдофазный объект, имеющий отчётливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трёх измерениях составляют от 1 до 100 нм [7].

Различают наночастицы и наноматериалы трех-, дву-, одно- и нульмерные (3D, 2D, 1D и 0D, соответственно). Примерами 0D-частиц могут быть фуллерены, квантовые точки и коллоидные растворы [8]. 1D – нанотрубки, нановолокна и нанокапилляры [9]. К 2D частицам относят нанопленки и нанослои [10], а к 3D – нанокомпозиты [11].

Наночастицы обладают уникальными свойствами по сравнению с объемными металлами, поэтому было проведено множество исследований по синтезу и применению металлических наночастиц.

1.1.2. Получение наночастиц алюминия

Методы синтеза НЧ Al можно разделить на три пути получения: твердофазный, жидкофазный и газообразный. Твердофазный метод можно разделить на механохимический и механический в шаровой мельнице. Жидкофазные методы подразделяются на электровзрыв в растворе, лазерную абляцию и другие процессы. К газофазным методам относятся испарение газа, лазерная абляция и другие процессы.

Возьмем в качестве примера метод электрического взрыва проводников (ЭВП) [12]. Основной принцип этого метода заключается в подаче на провод короткого, но мощного импульса электрического тока. За счет электрокалорического и электромагнитного эффектов тока электромагнитное поле будет удерживать алюминиевый провод вместе, нагревая его до десятков тысяч градусов. Когда ток прекращается, электромагнитное поле исчезает, и провод распадается на нужные наночастицы. Форма и размер полученного НЧ будут зависеть от многих факторов, таких как форма и размер провода, сила и длительность электрического импульса [13].

В этом исследовании НЧ Al размером 110-210 нм были приготовлены с помощью высокоинтенсивного импульсного тока в алюминиевых проводах. Детонацию проводят в крепком спирте, где частицы выдерживают во взвешенном состоянии, и центрифугируют при 5000 об/мин [14].

В другом исследовании НЧ были получены взрывом проволоки в таких газах, как азот, аргон и гелий. В этом исследовании анализируется процесс взрыва и тип инертного газа/давления [15]. НЧ Al были размером менее 100 нм.

В 2012 году экспериментальное устройство, основанное на электрическом взрыве металлических проволоки для производства и сбора нанопорошков. Кроме того, алюминиевые нанопорошки с размером 30 – 50 нм были получены путем ЭВП и успешно собраны фильтром с микропористой мембраной в различных экспериментальных условиях. Понятно, что энергия, выделяемая проводнику, и продолжительность тока имеют основное влияние на частицы, образующиеся в этом процессе [16].

1.1.3. Применение наночастиц алюминия

Физических и химических свойств Al, особенно его НЧ, достаточно, чтобы сделать его пригодным для использования в различных областях. Особенно пиротехника, топливная и взрывоопасная промышленность. Добавление алюминиевого порошка в различные композиции может повысить их эффективность за счет увеличения энергии реакции, температуры пламени и скорости продувки [17]. В то время как наночастицы более подходят для практического применения из-за их высокой энтальпии сгорания и быстрой кинетики, характеристики наночастиц еще больше улучшают их реакционные характеристики по сравнению с обычными алюминиевыми порошками. Наночастицы алюминия считаются новым энергетическим материалом с очень высокой реакционной способностью из-за их большой удельной поверхности и, как ожидается, будут использоваться в качестве ракетного топлива следующего поколения в аэрокосмических приложениях. Реакционная способность НЧ Al зависит от размера частиц.

Наночастицы алюминия имеют множество применений в различных других областях, таких как порошковая металлургия сплавов для автомобильных и авиационных деталей [18], теплозащитные покрытия самолетов [19], коррозионностойкие, стойкие, проводящие и теплоотражающие краски, проводящие и декоративные краски [20], пластмассы, пайка и термитная сварка [21], пиротехника и военное применение (ракетное топливо, воспламенитель, дым и трассеры) [22]. Наночастицы Al также изучаются как материалы для хранения водорода большой емкости [23].

1.2. Дисперсные системы

1.2.1. Определение и классификация

Дисперсная система определяется как двухфазная система, в которой нерастворимая или несмешивающаяся дисперсная фаза (например, твердые частицы или капли жидкости) распределяется через непрерывную фазу [24].

Дисперсные системы обычно классифицируют на основе размера дисперсной фазы (т. е. частиц или капель) [25].

(а) Коллоидные дисперсии обычно определяются как дисперсные системы, в которых частицы/капли (дисперсная фаза) имеют размер менее 0,5 мкм.

(б) Грубые дисперсии обычно определяются как дисперсные системы, в которых частицы/капли (дисперсная фаза) имеют размер более 0,5 мкм.

Дисперсии также можно разделить на суспензии (твердое вещество, диспергированное в жидкости) или эмульсии (жидкость, диспергированное в жидкости), в зависимости от свойств дисперсной фазы.

Суспензия представляет собой жидкую дисперсную систему, состоящую из частиц, равномерно распределенных внутри жидкого носителя (называемого также суспендирующей средой), в котором частицы обладают минимальной растворимостью.

1.2.2. Агрегация дисперсных систем

Стабильность суспензий может характеризоваться осаждением частиц, ростом частиц и агрегацией. Их оценивают путем определения скорости осаждения и объема, а также однородности суспензии после перемешивания. Изменения в коллоидных свойствах суспензий по размерам можно оценить с помощью микроскопа [26] или методов светорассеяния [27].

Суспензии термодинамически нестабильны, потому что относительно большая площадь поверхности частиц, образующихся в процессе измельчения (процесс уменьшения размера частиц или процесс измельчения), связана с повышенной свободной поверхностной энергией. Как правило, свободная энергия поверхности относится к работе, совершаемой силой, создающей новую поверхность. Его также можно рассматривать как подвод энергии, необходимый для разрушения межмолекулярных связей и создания новых поверхностей. Диспергирование частиц в жидком носителе, в котором они имеют низкую растворимость, также требует значительных затрат энергии из-за увеличения площади поверхности раздела жидкость-твердое тело и межфазного поверхностного натяжения.

Микронизированные твердые частицы обладают высокой энергией и склонны перегруппировываться или агрегировать, уменьшая открытую площадь поверхности и тем самым уменьшая свободную поверхностную энергию. В некоторых случаях в результате сильных сил притяжения между частицами будет происходить необратимая агрегация частиц, в результате чего суспензия может быть неоднородно диспергирована.

Поверхностно-активные вещества стабилизируют суспензии за счет уменьшения межфазного натяжения, что снижает поверхностную энергию системы. Поверхностно-активные вещества могут также оказывать стерическое стабилизирующее действие, при

котором частицы отталкиваются друг от друга слоем адсорбированного поверхностно-активного вещества на поверхности частиц [28].

Заряд частиц также может влиять на стабильность дисперсии. Частицы могут приобретать заряд в результате присутствия ионизируемых групп в молекуле или в результате адсорбции ионов на поверхности частицы. Притяжение частиц противоположного заряда приводит к повышенной склонности частиц к агрегации. Если частицы в дисперсии имеют одинаковый поверхностный заряд, электростатическое отталкивание может привести к большей устойчивости дисперсии к агрегации частиц. На эти силы притяжения и отталкивания влияет ξ -потенциал.

ξ -потенциал — это электрокинетический потенциал в коллоидных дисперсиях [29], представляющий собой электрический потенциал в межфазном двойном слое в месте расположения плоскости скольжения относительно точки в объемной жидкости, удаленной от границы раздела. Другими словами, ξ -потенциал представляет собой разность потенциалов между дисперсионной средой и неподвижным слоем жидкости, прикрепленным к дисперсионной частице.

По мере увеличения ξ -потенциала (т.е. более отрицательного или более положительного) степень отталкивания между частицами также увеличивается. При низком ξ -потенциале (т. е. ближе к нейтральному заряду) сил отталкивания может быть недостаточно, чтобы предотвратить сближение частиц, что приводит к агрегации и нестабильности дисперсии. Поэтому может оказаться выгодным изменить дзета-потенциал путем введения ионных поверхностно-активных веществ и электролитов [30].

1.3. Агрегация наночастиц металлов в растворах солей

Обзор литературы показывает, что на агрегацию металлических наночастиц влияет множество факторов, в том числе pH, размер частиц, концентрация ионов, эффективный заряд частиц и органические добавки. В таблице 1.1 приведены данные об агрегации различных наночастиц металлов в растворах солей.

Таблица 1.1. Агрегационные данные по наночастицам различных металлов в растворах солей.

Наночастицы	Условия эксперимента	Результат	Источник
Ag 26 нм	1. pH 5-8 2. Для непокрытых наночастиц серебра	Было обнаружено, что на НЧ преимущественно влияет pH. При $\text{pH} \leq 7$ частицы агрегация усиливалась. При $\text{pH} > 7$ частицы стабилизировались благодаря присутствию OH^- .	[31]
Ag 73, 180 нм	1. почвенные растворы	Для малых НЧ более высокая плотность активных центров - из-за большего	[32]

Наночастицы	Условия эксперимента	Результат	Источник
TiO ₂ 79, 164 нм	2. Различный начальный размер частиц	относительного количества атомов на поверхности - увеличивает их реакционную способность по сравнению с более крупными. Исследования показывают, что чем больше размер НЧ, тем слабее агрегация	
Au 5 нм 0,1...30 мг/мл NanoComposix (Сан-Диего, Калифорния, США)	1. pH = 6. 2. Концентрации солей: 0...100 мМ.	Увеличение концентрации приводило к увеличению ξ -потенциала. Концентрации от 5 мг/мл до 30 мг/мл приводили к наиболее стабильным системам, при 1 мг/мл нестабильные системы. Стабильные суспензии наночастиц образовывались при концентрации солей <50 мМ, тогда как более высокие концентрации вызвали коллоидную нестабильность и необратимую агрегацию.	[33]
Au 10 нм 40 мг/л Ted Pella, Inc. (Реддинг, Калифорния)	1. НЧ покрыты цитратным слоем (отрицательно заряженным). 2. NaNO ₃ в милли-Q в воде. 3. Перед измерением пропустить через фильтр 0,45 м.	Стабильность суспензий снижалась при добавлении в среду NaNO ₃ . Чем выше ионная сила, тем ниже стабильность. Когда концентрация NaNO ₃ выше, чем критическая концентрация затвердевания, ξ -потенциал близок к нулю.	[34]
Ag 10 нм 0.112 mg/L (Цитратное покрытие) 0.222 mg/L (Покрытие ПВП) (Sigma Aldrich)	1. pH=7 (0,15 мМ NaHCO ₃) 2. НЧ покрыты цитратом и поливинилпирролом доном (ПВП). 3. влияние ионов кальция и натрия и гуминовой кислоты	С увеличением концентрации электролита стабильность снижалась, а агрегация увеличивалась. Роль ионов кальция более значительна. Добавление гуминовой кислоты приводило к адсорбции макромолекул на НЧ, покрытых как цитратом, так и ПВП. Адсорбция гуминовой кислоты вызывала дополнительное электростатическое отталкивание, повышающее устойчивость обеих наночастиц в суспензиях, содержащих NaCl или низкие концентрации CaCl ₂ . И наоборот, усиленная агрегация происходила для обеих наночастиц при высоких концентрациях CaCl ₂ .	[35]

Литературный обзор показал, что по мере приближения pH к кислому, размер частиц уменьшается, увеличивается концентрация ионов, уменьшается эффективный заряд частиц и увеличивается агрегация наночастиц.

С органическими добавками дело обстоит сложнее, например, добавление небольшого количества гуминовой кислоты в раствор электролита низкой концентрации может повысить

устойчивость наночастиц для снижения агрегации частиц, а добавление гуминовой кислоты в электролит высокой концентрации может увеличить агрегация частиц.

1.4. Метод динамического рассеяния света

Динамическое рассеяние света (DLS) которая также называется фотонно-корреляционной спектроскопией (PCS) или квазиупругим светорассеянием, используется для определения размера наночастиц в коллоидном суспензионном полимерном растворе. DLS измеряет гидродинамический размер частиц по механизму рассеяния света от лазера, который проходит через коллоидный раствор, и анализирует модуляцию интенсивности рассеянного света в зависимости от времени [36].

Броуновское движение частиц коррелирует с их гидродинамическим диаметром. Чем меньше частица, тем быстрее она будет диффундировать, чем крупная, и прибор DLS создаст корреляционную функцию, которая математически связана с размером частицы и ее зависящей от времени светорассеивающей способностью. (рис.1.1).

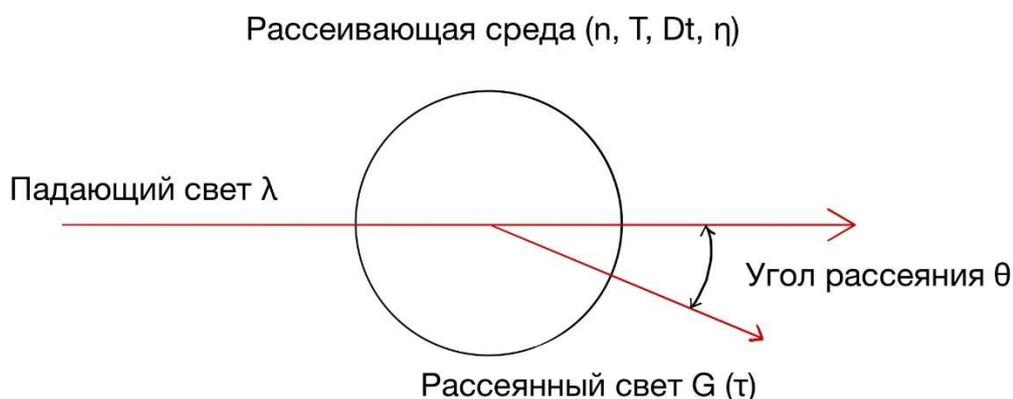


Рисунок 1.1. Схема процесса рассеяния света [37].

Основные идеи метода динамического рассеяния света:

- Броуновское движение дисперсных частиц или макромолекул в жидкости приводит к флуктуациям локальной концентрации частиц. Результатом этого являются локальные неоднородности показателя преломления и соответственно – флуктуации интенсивности рассеянного света при прохождении лазерного луча через такую среду.
- Коэффициент диффузии частиц обратно пропорционален характерному времени релаксации флуктуаций интенсивности рассеянного света. Это характерное время, в свою очередь, есть время затухания экспоненциальной временной корреляционной функции рассеянного света, которая измеряется с помощью цифрового коррелятора.
- Размер частиц d рассчитывается по формуле Стокса-Эйнштейна (1.1), которая связывает размер частиц с их коэффициентом диффузии и вязкостью жидкости [38]:

$$d = 2 \frac{kT}{6\pi\eta D} \quad (1.1)$$

где k – постоянная Больцмана, η – вязкость дисперсанта, T – температура.

Если частицы статичны, то ожидается, что будет наблюдаться постоянная во времени интенсивность рассеяния, однако, на практике частицы диффундируют из-за броуновского движения, и интенсивность рассеянного света колеблется около значения эквивалентной статической интенсивности (динамическая интенсивность) [39].

В методе ДРС цифровой коллектор постоянно добавляет (складывает) и перемножает в масштабе короткого времени колебания измеренной интенсивности рассеяния, создавая корреляционную кривую для образца. Основным измеряемым параметром, характеризующим степень разбиения агрегатов наночастиц в методе ДРС, является гидродинамический радиус. Гидродинамический радиус определяется как радиус твердой сферы, которая диффундирует с такой же скоростью как реальная частица при тестировании.

В литературе есть много примеров применения метода ДРС для изучения коллоидных свойств наночастиц. Так, агрегацию наночастиц Au, индуцированную ионами ртути, изучали с помощью ДРС [40] и показали, что увеличенный гидродинамический диаметр можно определить по сигналам ДРС только при концентрации Hg^{2+} в диапазоне 1,0...2,5 мкМ и линейной зависимости между средними гидродинамическими диаметрами полученных агрегатов.

Метод ДРС также был использован для дисперсионного анализа наночастиц лидокаина в безводной микроэмульсии [41].

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной НИ (ВКР) – является показать влияние концентрации электролитов на коллоидные свойства НЧ Al в водных суспензиях.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки о покрытиях различного состава:

- 1) Просветляющие покрытия на основе CVD алмаза для германиевой ИК-оптики;
- 2) Композиционные материалы на основе ZrC-BN, структура и свойства.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый тип покрытия имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 4.1 показано сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Трещиностойкость	0,14	5	2	3	0,7	0,28	0,42
3. Ударпрочность	0,18	4	3	3	0,72	0,54	0,54
4. Стабильность соединения с подложкой	0,14	4	4	3	0,56	0,56	0,42
5. Простота изготовления	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
6. Эффективность работы	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
7. Безопасность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
Итого	1	43	38	37	4,32	3,6	3,47

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 4,32$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции.	Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С4. Экологичность технологии.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Вероятность получения брака.
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.	
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	-	-	-	-
	В2	-	+	+	-	-
	В3	-	+	-	+	-
	В4	+	+	-	-	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	-	-	+	+	+
	В2	-	-	-	-	-
	В3	-	-	-	-	-
	В4	-	-	-	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	-	-	-
	У2	-	+	-	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	-	-	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Низкая цена исходного сырья. С2. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции. С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта. С4. Экологичность технологии С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований. Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования. Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию. Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности. Сл5. Вероятность получения брака.</p>
<p>Возможности В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области</p>	<p>Направления развития В2С2С3. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции позволяет расширить спрос, использование новейшей информации и технологий соответствует потенциальному спросу на новые разработки. В3С2С4. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции и экологичность технологии являются хорошим основанием</p>	<p>Сдерживающие факторы В1Сл3Сл4Сл5. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p>

В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	для внедрения технологии в аэрокосмической области. В4С1С2. Низкая цена исходного сырья и высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.	
Угрозы У1. Снижение стоимости разработок конкурентов. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.	Угрозы развития У1С2. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши продукты имеют лучшие механические свойства, больше перспектив развития. У2С2. Наши продукты обладают лучшими механическими свойствами, являются более привлекательными мировом рынке.	Уязвимости: У1Сл4Сл5. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни; $t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни; $t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{ri} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.лнж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.лнж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году (2020 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	13,5	68,5	68,5	102

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	▨												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	▨ ■												
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		■											
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			■										
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			▨ ■										
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				■									
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					■	■	■						
8	Обработка полученных данных	Исп2	18								■	■	■			
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5										▨ ■			
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13											■	■	■

Примечание:

▨ – Исп. 1 (научный руководитель), ■ – Исп. 2 (инженер)

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении образца, нанесенного с покрытием Zr-Y-O. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на получение образца, нанесенного с покрытием Zr-Y-O

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Цирконий лист	кг	0,2	23500	4700
Порошок оксида иттрия	кг	0,1	6030	603
Аргоновый баллон	л	10	19,25	192,5
Кислород в баллоне	л	10	9	90
Кремний	шт.	1	520	520
Перчатки резиновые, технические	пар	1	12	12
Итого:				6117,5

Таблица . – материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплексы канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			8 290

Цены приняты на основании прайс-листа поставщика материалов: <https://papyrus-tomsk.ru>, <https://mvideo.ru>.

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

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

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования,	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вакуумная установка УВН-05МД «КВАНТ»	1	15	0,16	7	1300000	1213
2	РФА- установка ДРОН-3М	1	20	0,1	5	18000000	7500
3	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) JEM-2100F	1	20	0,16	5	18000000	12000
4	Нанотвердомер «NanoTest 600»	1	10	0,1	10	250000	208
Итого:						20921 руб.	

Затраты на оборудование

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Asus. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 1 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	3	30	30
Итого			30 тыс. руб.		

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

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

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 30000}{12} \cdot 3 = 2475 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}. \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_{∂}	k_p	Z_m , руб	$Z_{\partial n}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	68,5	119402,4
Итого:								148391

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\partial n} = k_{\partial n} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{\partial n} = k_{\partial n} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 119402,4 = 17910,4 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

где $k_{\partial n}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{\partial n}) = 0,3 \cdot (28988,6 + 4348,3) = 10001,1 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{дон}) = 0,3 \cdot (119402,4 + 17910,4) = 41193,8 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
20921	6117,5	148391	22258,7	51194,9	248883,1

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (4.16)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование структурно-фазового состояния и физикомеханических свойств защитных нанокompозитных покрытий системы Zr-Y-O на поверхности кремния» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	6117,5	4626,3	15945	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	20921	22959,8	43453	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148391	148391	148391	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22258,7	22258,7	22258,7	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	51194,9	51194,9	51194,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	49776,6	49776,6	49776,6	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		298659,7	299177,3	331019,2	Сумма ст. 1- 6

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Просветляющие покрытия на основе CVD алмаза для германиевой ИК-оптики;
- 2) Композиционные материалы на основе ZrC-BN, структура и свойства.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 298659,7$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 299177,3$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 331019,2$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{298659,7}{331019,2} = 0,90;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{299177,3}{331019,2} = 0,91;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{331019,2}{331019,2} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,2	5	3	4
4. Механические свойства	0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,90} = 5,18, \quad I_{исп.2} = \frac{3,8}{0,91} = 4,18, \quad I_{исп.3} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,90	0,91	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	5,18	4,18	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

4.5 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 298659,7 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,90, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,18, по сравнению с 4,18 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Введение

Научная деятельность частично осуществляется в лаборатории ОМ ТПУ. Лаборатория находится на втором этаже корпуса номер 15 ТПУ. Общая площадь помещения лаборатории составляет 12 м² с размерами 3х4х3. Пол покрыт ламинатом, на стенах находится кафель, потолок побелен влагоустойчивой водоэмульсионкой, которая не содержит токсинов, представляющих угрозу для здоровья и жизни человека. В лаборатории есть 2 окна, через которое пропускается естественное освещение. А также используется искусственное освещение, в качестве двух ламп на потолке лаборатории.

В лаборатории НИТУ «МИСиС» находится следующее оборудование: Zetasizer Nano (Malvern, США), рабочий стол с компьютером; анализатор частиц Zetasizer Nano (Malvern, США); магнитная мешалка MR Hei-Tec (Heidolph Instruments GmbH & Co, Германия); 1 вытяжной шкаф; 2 шкафа для хранения лабораторной посуды; 1 шкаф для хранения химикатов; 2 рабочих стола; 1 раковина.

В ходе исследований была разработана метод ведения работ в лаборатории. Навески веществ и наночастиц брали на аналитических весах GR-202 (A&D Co Ltd., Japan, ±0.0001 g). Значение pH контролировали с помощью pH-метра pH-150МИ (Измерительная техника, Россия). Для перемешивания и титрования растворов и суспензий применяли магнитную мешалку MR Hei-Tec (Heidolph Instruments GmbH & Co, Германия) с частотой 300 мм на циклы магнитного компонента в минуту. Все растворы и суспензии готовили и хранили при 25±2°C. Измерения проводили с помощью анализатора частиц Zetasizer Nano (Malvern, США) при 25°C для получения распределения частиц по размерам.

5.2 Анализ выявленных вредных факторов

Вредностью являются факторы, негативно влияющие на здоровье и жизнь человека в процессе ведения какой-либо деятельности в условиях производства. При соблюдении норм безопасности при работе сотрудников в производстве или лаборатории происходит повышение эффективности труда, повышение выполнения показателей трудовой деятельности и увеличение прибыли [43].

Существует три вредных фактора производственного риска [44], которые могут привести к ухудшению состояния здоровья, увеличению заболеваемости, различным травмам и снижению работоспособности работников: биологические; физические; химические.

При выполнении эксперимента в лаборатории, в основном попадают в рабочую зону вредные примеси (нанопорошок TiO₂ и пары азотной кислот и каустика). Для контроля вредных примесей, необходимо соблюдать предельно допустимые концентрации ПДК,

описанные в ГОСТе 12.1.005-88 [45]. Данные по контролю ПДК попадающих вредных веществ в лаборатории описаны в таблице 5.1.

Оксид титана имеет большое применение в промышленности и поэтому создается масса лабораторий по производству данного типа нанопорошка. Каждый день при работе с нанопорошком операторы сталкиваются с прямым попаданием наночастиц в организм.

НЧ TiO_2 приводят к целому спектру ответов тканей в организме. Попадание наночастиц может привести к летальному исходу, генерации активных форм кислорода, а также к воспалительным процессам внутренних органов. Если частицы вдохнуть, при естественном процессе диффузии они могут попасть во все отделы дыхательной системы человека.

Таблица 5.1 – Предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны по ГОСТу 12.1.005-88 [45]

Название вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Al	10	A*	4	Ф*
Азотная кислота	2	A	3	-
Каустик	0,5	A	2	-
А-аэрозоль				
Ф-аэрозоли. преимущественно фиброгенного действия				

Как все мы знаем, чем меньше размер частиц (10 нм), тем легче попасть в потенциально чувствительные системы, такие как лимфатические узлы, сердце и костный мозг. В случае нарушения правил безопасности при использовании нанопорошков НЧ попадут в желудочно-кишечный тракт. Наиболее распространенный тип приема наночастиц через кожу. В частности, необходимо тщательно закрыть поврежденные участки кожи и изгибы. В качестве средств индивидуальной защиты необходимо использовать одноразовые перчатки для защиты рук, которые следует заменять каждые 3 часа. Для защиты органов дыхания и других систем следует использовать RPDS общего назначения и защищенные от пыли. Фильтр может очищать вдыхаемый воздух от наночастиц и других вредных примесей. Концентрация этих примесей не превышает максимально допустимую концентрацию. (ПДК) ГОСТ Р 12.4.233-2012 [46] и ГОСТ 17269-71 [47].

НЧ, попадающие в воздух во время работы, склонны к агломерации. После агрегации наночастиц их размер увеличится, и они могут попасть на кожу, одежду и оборудование. Чтобы НЧ не попали на кожу и одежду, вы должны носить пижаму или одежду, специально предназначенную для лабораторного использования.

5.2.1 Микроклимат производственной среды

Микроклимат производственной среды включает влажность воздуха, оптимальную температуру и интенсивность теплового излучения. Все факторы микроклимата оказывают большое влияние на персонал, его здоровье и работоспособность. Поэтому, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [45] (Таблица 2), необходимо соблюдать оптимальный и допустимый микроклимат студии. Работа лабораторного персонала классифицируется как легкая промышленность Ib.

Таблица 5.2 – Требования к микроклимату лаборатории согласно ГОСТу 12.1.005-88 [45].

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый	22 - 24	40 - 60	0,1
Холодный	21 - 23	40 - 60	0,1

Помещение и его размеры (площадь, объем) должны сначала соответствовать количеству рабочих и оборудованию, находящемуся в нем.

Чтобы обеспечить нормальные условия труда, гигиенический стандарт SanPiN 2.2.1 / 2.1.1.1031-01 [48]. предусматривает, что каждый рабочий должен занимать площадь пола 4,5 м² и объем воздуха 20 м³.

Помещение лаборатории имеет следующие параметры: длина помещения – 4 м; ширина – 3 м; высота – 3 м. Согласно этим параметрам площадь помещения составляет 12 м², а объем $V = 36 \text{ м}^3$. В лаборатории 2 сотрудника. Это означает, что у каждого есть рабочая площадь 6 м² и объем воздуха 18 м³. Познакомьтесь со стандартами здоровья.

5.2.2 Анализ выявленных опасных факторов

Опасность механического повреждения. Риск получения травмы в случае контакта предметов или их частей с людьми. В этой лаборатории ни один объект не представляет механической опасности. Высокотемпературные объекты, кипящие жидкости могут вызвать тепловые опасности, приводящие к термическим ожогам. В этой лаборатории никакие объекты не представляют термическую опасность.

Электробезопасность - это система организационных и технических мер, которая означает защиту людей от вредного воздействия тока, дуг, электромагнитных полей и статического электричества.

Чаще всего встречаются электротравмы. Прикосновение к проводам, которые находятся под напряжением. Причинами данного типа травм являются: неисправность приборов и электропроводки; неосторожность, неопытность работника; присутствие детей в лаборатории, их неопытность и недисциплинированность; повреждение изоляции провода.

Открытая металлическая поверхность и токовая оболочка повреждены из-за изоляции. В каждом из электроустановок должно иметься средство защиты – заземление. Поэтому в лаборатории все электрические приборы с металлическими корпусами строго установлены на полу. Пол лаборатории покрыт непроводящим токомматериалом, а деревянный материал - ламинатом.

Пожаро-взрывобезопасность класса В2. Опасность взрыва считается металлическим нанопорошком. Поскольку они имеют очень большую удельную поверхность в нанометровом состоянии, это делает их взрывоопасными. Однако при производстве нанопорошков никеля поверхность частиц пассивируется (покрывается оксидной пленкой), что предотвращает самовозгорание порошка при контакте с воздухом.

Основными средствами пожаротушения являются огнетушители. Лаборатория оснащена 5-литровым ручным порошковым огнетушителем ОП. В лаборатории работники должны включить вентиляционное оборудование. Для обеспечения безопасности следует использовать газоанализатор для проверки помещения на наличие вредных смесей и газов в воздухе.

5.2.3 Анализ показателей шума

Источником шума на месте является в основном звук, вызванный производственной деятельностью экспериментального оборудования. Воздействие шума на людей зависит от воздействия на органы слухового аппарата.

Помимо негативного воздействия на органы слуха, шум также наносит вред другим органам и тканям организма. Особенно для разрушение центральной нервной системы. В течение долгого времени в шумной обстановке у людей будут неврологические нарушения слуха, сопровождающиеся раздражительностью, потерей памяти, апатией, плохим настроением, изменениями чувствительности кожи и другими заболеваниями, особенно медленным психическим ответом и нарушением сна.

ГОСТ 12.1.003-83 устанавливает уровень звукового давления и эквивалентные уровни звука на рабочем месте компаний-производителей в диапазоне частот 31,5-8000 зависит от тяжести и интенсивности труда уровень звука герц и эквивалентный уровень звука на рабочем месте производственное оборудование -80дБА. Непрерывный шум > 85дБА. Согласно нормативным документам СН 2.2.4 / 2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83, вызывая непрерывный рост порога слуха, профессиональные заболевания (глухота, потеря слуха) для увеличения крови стресс, чтобы уменьшить скорость реакции и внимание.

Основной метод снижения шума:

- уменьшение источника шума;
- использование устройства для изоляции источника шума;

-носить противозумные наушники.

5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны

В лаборатории используется искусственное и естественное освещение. Поскольку работа в основном визуальная, естественного освещения недостаточно, особенно в темноте.

Правильно спроектированное и выполненное освещение может обеспечить высокий уровень производительности, оказать положительное психологическое воздействие на людей и помочь повысить производительность труда. Это следует учитывать при выборе типа ламп, требований к освещению, экономических показателей и условий окружающей среды.

В помещениях люминесцентные лампы типа ОД используются в качестве источников света для искусственного освещения. Лампы наружного освещения (двусторонние лампы с открытым цоколем) предназначены для помещений с хорошей отражающей способностью потолка и стен, а также допускают умеренную влажность и пыль. В соответствии с гигиеническими требованиями на рабочем месте следует использовать естественное и искусственное освещение. Лаборант продолжал работать на ПК и улучшил зрение. В соответствии со стандартом освещения отраслевым стандартом для внутреннего освещения при использовании с ПК, рекомендуется использовать от 300 люкс до 500 люкс для общего освещения.

Помещение имеет размеры: a – длина помещения – 3 м; b – ширина – 3 м; h – высота – 3 м.

Рекомендуемое комнатное освещение - $E = 300$ люкс со средней разницей на темном фоне.

$q_{\text{п}} = 70$, $q_{\text{с}} = 50$, $q_{\text{з}} = 10$, где $q_{\text{п}}$ – коэффициент отражения светового потока от потолка; $q_{\text{с}}$ – коэффициент отражения светового потока от стен.

$H = h - n_{\text{п}} - n_{\text{с}} = 3 - 0,9 - 0,1 = 2$ м где $n_{\text{п}}$ - высота рабочей поверхности; $n_{\text{с}}$ - расстояние светильников от перекрытия.

Для освещения используется светильник типа ОД мощностью 40 Вт, а оптимальное расположение светильника составляет $\lambda = 1,5$. Расчетная длина между двумя рядами светильников: $L = \lambda \cdot h = 1,5 \cdot 2 = 3$ м.

Число рядов светильников: $n = b/L = 3/3 = 1$, где b – ширина помещения.

Выбирал $n=1$ ряда светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{s}{(A+B) \times n} = \frac{9}{(3 \times 3) \times 1} = 1.$$

Зная коэффициент отражения световых лучей в потолке, стенах и полах в лаборатории, вы можете определить коэффициент использования световых лучей:

$$\eta = \frac{q_{\text{п}} + q_{\text{с}} + q_{\text{з}}}{3} = \frac{70\% + 50\% + 1\%}{3} = 43,33\%.$$

Световой поток лампы ЛБ составляет $F_0=2480$ лм. Тогда световой поток светильника ОД, состоящего из двух ламп: $F=2 \cdot F_0=2 \cdot 2480=4960$ лм.

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \times S \times Z \times K}{n \times F \times \eta \times \gamma} = \frac{300 \cdot 9 \cdot 1.15 \cdot 1.5}{2 \cdot 4960 \cdot 0.43 \cdot 1} = 1.09 \approx 1$$

где $Z=1,15$ -коэффициент неравномерности освещения; $K=1,5$ – коэффициент запаса; $\gamma=1$ – коэффициент затемнения.

При длине светильника $l_{св}=0,933$ м, их общая длина составляет:

$$l_{общ} = N \cdot l_{св} = 1 \cdot 0.933 = 0.933\text{м}$$

Расстояние между светильниками:

$$l = \frac{A - l_{общ}}{N + 1} = \frac{3 - 0.933}{1 + 1} = 1.0335\text{м}$$

Поэтому, в лаборатории необходимо установить три светильника в один ряд (рис. 5.1)

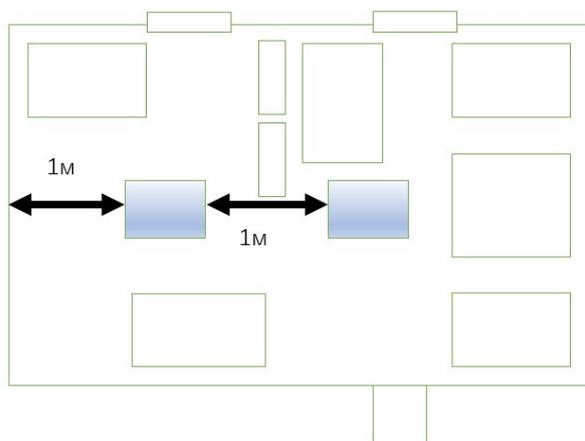


Рисунок 5.1. План размещения светильников

5.3 Охрана окружающей среды

Лаборатория находится на территории Томского политехнического университета корпуса номер 15. На расстоянии 300 м от корпуса, в котором находится лаборатория, расположен корпус ТПУ номер 10 и на расстоянии 500 метров размещены ближайшие жилые дома.

При попадании наночастиц в воздух они образуют стабильные золи, поэтому во избежание этого необходимо устанавливать специальные фильтры для очистки воздуха по ГОСТу Р51251-99 [49]. Используйте грубые фильтры (5-10 мкм) и фильтры тонкой очистки (0,3-5 мкм).

Двери с высокой степенью герметизации были установлены в лаборатории для предотвращения попадания наночастиц в лабораторию. Рабочая одежда размещается в специально отведенных шкафах.

Используемые в лаборатории реагенты и нано-порошки не превышали максимально допустимую концентрацию в воздухе.

После эксперимента отходы образовались и должны быть выброшены в специально отведенные контейнеры или мешки. Когда наночастицы попадают в канализацию, они могут оказывать вредное воздействие на микроорганизмы (крупные блохи), пресноводных организмов и млекопитающих, которые являются важной частью жизненной цепи. В Европе и США были проведены исследования для изучения влияния наночастиц TiO_2 на поверхностные воды в концентрации 0,275 мг / л. Автор этой работы собрал данные об экотоксичности из 44 научных публикаций и определил концентрацию TiO_2 , которая отрицательно влияет на живые организмы, но для живых организмов средняя смертельная концентрация TiO_2 является нестабильной, и в большинстве случаев летальная концентрация ниже заданного значения [50].

После приема внутрь наночастицы имеют более длительный период разложения и удаления. Прием внутрь или удаление наночастиц может длиться десятилетиями. Многие металлические частицы вступают в реакцию с микроэлементами в почве и образуют вредные для организма вещества. [50].

Наблюдается замедленный рост растений [51].

Для контроля попадания предельно допустимых концентраций наночастиц в литосферу, существует нормативный документ ГН 2.1.7.2014-06 [52].

5.3.1 Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация, это сочетание опасных событий или событий, которые угрожают безопасности.

1) Внешние технические продукты, вода, стихийные бедствия, данные о сбое питания и т. д.;

2) внутренняя техническая сложность, недостаточная квалификация персонала, структурные дефекты, физический и моральный износ оборудования, снижение трудовой и технической дисциплины и т. д.

Наиболее вероятная техническая авария в лаборатории - пожар

В лаборатории наиболее вероятно возникновение технической аварийной ситуации (ЧС). Если в лаборатории возникает чрезвычайная ситуация, необходимо принять следующие меры:

- 1) Необходимо использовать защитные средства для эвакуации персонала приюта;
- 2) обеспечить людей средствами индивидуальной защиты;
- 3) Организовать медицинскую помощь пострадавшим.

5.3.2 Анализ электробезопасности

Наибольшую опасность при эксплуатации электрооборудования, а также при проведении ремонтных и профилактических работ представляет электрический удар, вызванный токоведущими частями и соединениями с токоведущими частями оборудования.

В соответствии с условиями поражения электрическим током, опасность поражения электрическим током отсутствует. Лаборатория относится к категории повышенной опасности.

Причина поражения электрическим током должна быть устранена.

Меры, принятые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) Под руководством всего персонала, который начинает использовать электрооборудование на рабочем месте, они могут работать самостоятельно только после проверки знаний техники безопасности;

б) постоянно контролировать качество и ремонтпригодность защитных устройств и заземления, и использовать только защитные устройства для ремонта и регулировки существующих электрических устройств;

с) Эксплуатация электроустановок включает в себя введение необходимых технических документов, гарантирующих невозможность прикосновения к токоведущим частям, а также заземление оборудования и электрооборудования.

5.3.3 Анализ пожарной безопасности

Лаборатория, занимающаяся этой работой, относится к категории пожароопасности категории В2. Для тушения пожара лаборатория должна принять следующие меры: - огнетушители жидкие ОХП-10, ОВП-10, рабочее расстояние 6-8 м; - использовать песок для обесточивания горящих проводов на горизонтальной поверхности; - щит из асбеста используется для тушения пожара. Жидкость, проволока, горящая одежда. При тушении напряжением существует риск поражения электрическим током, поэтому в зданиях, где должен быть потушен пожар, необходимо отключить питание.

При работе в лаборатории не производится обработка (включая транспортировку и хранение) веществ, которые образуют взрывоопасную атмосферу. Соблюдая все меры предосторожности, можно избежать несчастных случаев и травм. Для предотвращения пожара или взрыва необходимо: -уменьшить вероятность возникновения искр и чрезмерного перегрева, вызванного легковоспламеняющимися веществами, -произвести постоянный и эффективный воздухообмен (режим вентиляции). Обучение технике безопасности является одним из средств обеспечения безопасности труда. Брифинг включает в себя обучение работников технике безопасности и методам работы. План побега показан на рисунке. 5.2.

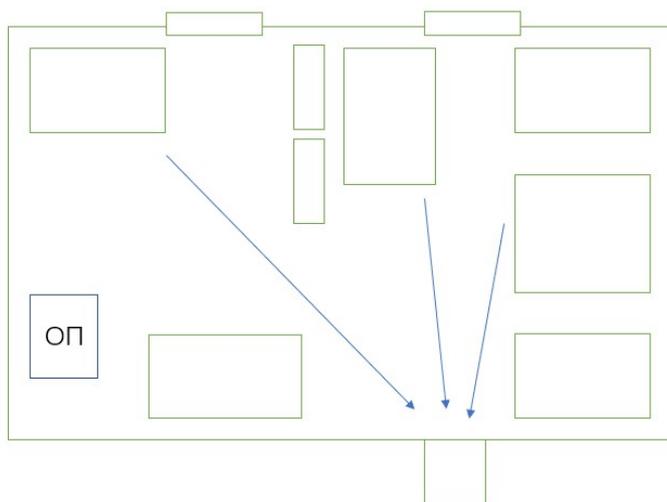


Рисунок 5.2. – план эвакуации из химической лаборатории (УЖФ): ОП – огнетушитель переносной;

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Промышленные нанопорошки все чаще используются в различных отраслях промышленности. Поэтому для обеспечения безопасности при использовании наноматериалов во всем мире быстро внедряются нормативные рамки.

По постановлению от 23.07.2007 № 54 «О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы», где использование наноматериалов носит негативное воздействие на организм человека и окружающую среду.

В настоящее время на основе исследований, производства и утилизации наноматериалов в Российской Федерации создается большое количество нормативных проектов. Были сформированы мероприятия по оценке токсикологии и гигиенической безопасности наноматериалов [53]. Был определен состав наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека: [54]. Была также разработана биомедицинская оценка безопасности наноматериалов и разработаны процедуры отбора проб для выявления, идентификации и характеристики воздействия наноматериалов на организмы [55].

5.5 Выводы по разделу

После проведения научной деятельности мы должны обращать внимание на вредные факторы, такие как шум, вредные вещества и огонь, которые могут угрожать физическому и психическому здоровью людей, загрязнять окружающую среду и даже вызывать серьезные потери имущества. Мы должны быть полностью готовы предотвратить следующее:

1. Для микроклимата мы должны контролировать влажность, температуру и скорость воздуха в помещении.
2. Для шума, мы должны заранее подготовить звукоизоляционные инструменты.

3. В случае недостаточного освещения необходимо подготовить достаточное количество света для соответствия стандартной яркости.

4. При возникновении пожара противопожарное оборудование должно быть подготовлено без эвакуационных препятствий, а персонал должен регулярно обучаться навыкам пожарной безопасности.

5. В целях экологической безопасности с вредными веществами следует обращаться надлежащим образом, чтобы предотвратить загрязнение и сэкономить энергию.

6. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Arash B., Rasoul S.M. Investigation of different liquid media and ablation times on pulsed laser ablation synthesis of aluminum nanoparticles // *Applied Surface Science*. – 2010. – Vol.256. – P.7559–7564.
2. Cornelis P.B., Bart P.C., Johannes H.B., Krijn P.J. Sodium Alanate Nanoparticles – Linking Size to Hydrogen Storage Properties // *Journal of the American Chemical Society*. – 2008. – Vol.130. – P.6761–6765.
3. Ghorbani H. Review of methods for the synthesis of Al nanoparticles // *Oriental Chemical Journal*. – 2014. – Vol.30. – P.1941-1949.
4. Baker T.J., Tyler C.R., Galloway T.S. Impacts of metal and metal oxide nanoparticles on marine organisms // *Environmental Pollution*. – 2014. – Vol.186. – P.257-271.
5. Therezien M., Thill A., Wiesner M.R. Importance of heterogeneous aggregation for nanoparticles fate in natural and engineered systems // *Science of The Total Environment*. – 2014. – Vol.485–486. – P.309-318.
6. Farre M., Gajda-Schranz K., Kantiani L., Barcelo D. Ecotoxicity and analysis of nanomaterials in the aquatic environment // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2009. – Vol.393. – P.81-95.
7. Nanotechnologies. Terminology and definitions for nano-objects // *Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. ISO/TS 27687:2008*.
8. Wang Z., Hu T., Liang R., Wei M. Application of Zero-Dimensional Nanomaterials in Biosensing // *Frontiers in Chemistry*. – 2020. – Vol.8. – P.1.
9. Zhao Y., Hong H., Gong Q., Ji L. 1D Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications // *Journal of Nanomaterials*. – 2013. – Vol.2013. – P.1.
10. Mohammed S., Abdullah A., Shreef S., Mohamed M., Khulood A.A., Waleed O. Fabrication and characterization of Au/Cr and Cr/Au Multilayered plasmonic nanofilms for sensing applications // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2021. – Vol.11. – P.1868-1880.
11. Агафонова Г. В. Наноматериалы и нанотехнологии, Волгоград : ВолгГТУ, 2019 – 96 с.
12. Kotov, Y.A. The electrical explosion of wire: A method for the synthesis of weakly aggregated nanopowders. // *Nanotechnol Russia*. – 2009. – Vol.4. – P.415-424.
13. Yap S.L., Wong C.S., Lee Y.S., Loh I.Y. Ahmad Z. Generation of Nano Particles by Using Wire Explosion Technique // *American Institute of Physics*. – 2008. – Vol.1017. – P.341–346.
14. Sen P. Preparation of Cu, Ag, Fe and Al nanoparticles by the exploding wire technique // *Proc. Indian Acad. Sci*. – 2003. – Vol.115. – P.499–508

15. Sindhu T.K., Sarathi R., Chakravarthy S.R. Generation and characterization of nano aluminium powder obtained through wire explosion process // *Bulletin of Materials Science*. – 2007. – Vol.30 – P.187.
16. Sindhu T.K., Sarathi R., Chakravarthy S.R. Understanding nanoparticle formation by a wire explosion process through experimental and modelling studies // *Nanotechnology*. – 2008 – Vol.19 - P.2.
17. Xiong Y., Kai Z., Xuan T., Zhiqun C., Xueqian F., Qi X., Xin L., Jun D., Yafeng H., Xiaofeng W. An efficient energy characteristics and explosion heat improving method of FOX-7-based aluminized explosives // *FirePhysChem*. – 2021. – Vol.1. – P.1–7.
18. Judge W., Kipouros G. Powder Metallurgy Aluminum Alloys: Structure and Porosity // *Encyclopedia of Aluminum and Its Alloys*. Boca Raton: CRC Press. – 2018.
19. Gleeson B. Thermal Barrier Coatings for Aeroengine Applications // *Journal of Propulsion and Power*. – 2006. – Vol.22. – P.375–383.
20. Abdeen D.H., Hachach M., Koc M., Atieh M.A. A Review on the Corrosion Behaviour of Nanocoatings on Metallic Substrates // *Materials (Basel)*. – 2019 – Vol.12– P.210.
21. Ramesh S. Physics of weldings // *Applied Welding Engineering*. – 2020. – Vol.2 – P.125–155.
22. Arash B., Rasoul S.M., Investigation of different liquid media and ablation times on pulsed laser ablation synthesis of aluminum nanoparticles // *Applied Surface Science*. – 2010. – Vol.256. – P.7559–7564.
23. Rasmeet S., Ali A., Sanjeev G. Nanomaterials in the advancement of hydrogen energy storage // *Heliyon*. – 2020. – Vol.6. – P.7.
24. Aleksandar M. S. Introduction // *Interface Science and Technology* – 2018. – Vol. 22. –P.1-25.
25. Eugene D.S., Alexandr V.P., Elena A. A., Andrei S.Z. General Introduction // *Studies in Interface Science*. – 2001. – Vol.12. –P.12-26.
26. Babick F. Characterisation of Colloidal Suspensions. In: *Suspensions of Colloidal Particles and Aggregates // Particle Technology Series*. – 2016. – Vol.20. – P.1.
27. Nidhi R., Rahul M., Dnyaneshwar K., Susanne R.Y., Mahavir B.C., Rakesh K.T. Importance of Physicochemical Characterization of Nanoparticles in Pharmaceutical Product Development, In *Advances in Pharmaceutical Product Development and Research. // Basic Fundamentals of Drug Delivery*, Academic Press. – 2019. – Vol.1. – P.369-400.
28. Tharwat F.T. Surfactants, Industrial Applications // *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)* – 2003. – Vol.1. – P. 423-438.
29. IUPAC // *Compendium of Chemical Terminology- 1997*.

30. Bruno A.D., Smith H.D.K., Williams III, R.O. Disperse systems: suspensions // Basic pharmaceuticals. AAPS Introduction to the Pharmaceutical Sciences. – 2019. – Vol.1 – P.6.
31. Ishara F., Yan Z., Impact of pH on the stability, dissolution and aggregation kinetics of silver nanoparticles // Chemosphere. – 2019. – Vol.216. – P.297-305.
32. Lisa Z., André P., Ruth H.E., Laura D., Sondra K. Aggregation of TiO₂ and Ag nanoparticles in soil solution – Effects of primary nanoparticle size and dissolved organic matter characteristics // Science of The Total Environment – 2019 – Vol.688 – P.288-298.
33. Fuller M, Köper I. Polyelectrolyte-Coated Gold Nanoparticles: The Effect of Salt and Polyelectrolyte Concentration on Colloidal Stability. // Polymers (Basel). – 2018. – Vol.10. – P.12.
34. Pamies, R., Cifre, J.G.H., Espín, V.F. et al. Aggregation behaviour of gold nanoparticles in saline aqueous media. // J Nanopart Res – 2014. – Vol.16. – P.23-76.
35. Khanh A.H., Kai L. C., Aggregation kinetics of citrate and polyvinylpyrrolidone coated silver nanoparticles in monovalent and divalent electrolyte solutions // Environmental Science and Technology. – 2011. – Vol.45. – P.13.
36. Roberto G., Jakob R., Elsa Z. Experimental methods to study protein–nucleic acid interactions // Advances in Protein Molecular and Structural Biology Methods. – 2022. – Vol.2022. – P. 137-161.
37. Paul S.R., Kiril A.S., Andrew G., Wayne H., Xujun Z. Characterization of polymers by dynamic light scattering // Molecular Characterization of Polymers. A Fundamental Guide. – 2021. – Vol.2021. – P. 441-498.
38. Андреева О.В., Андреева Н.В., Дроздов А.А., Кузьмина Т.Б., Исмагилов А.О., Чигрин Р.Н., Экспериментальный практикум по оценке распределения частиц по размерам в наносuspensionях и наноземulsionях, СПб: Университет ИТМО. –2016. – 30 с.
39. Годымчук А.Ю., Сенатова С.И. Определение агрегационной устойчивости промышленных наночастиц в физиологических жидкостях. Методические указания к выполнению лабораторных работ для слушателей программы повышения квалификации. – М: Изд-во «МИСиС». – 2013. – 26 с.
40. Wei W., Chun L., Jian L., Cheng Z.H. Mercuric ions induced aggregation of gold nanoparticles as investigated by localized surface plasmon resonance light scattering and dynamic light scattering techniques // Science China Chemistry. – 2013. – Vol.56. – P.806-812.
41. Shukla, A., Kiselev, M.A., Hoell, A., Neubert R. H. H., Characterization of nanoparticles of lidocaine in w/o micro emulsions using small-angle neutron scattering and dynamic light scattering // Pramana. – 2004. – Vol.63. – P.291-295.

42. www.nanosized-powders.com
43. Агошков А. И., Трегубенко А. Ю., Вершкова Т. И. Медико- биологические основы безопасности жизнедеятельности: учебное пособие // Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ). – Москва. – 2015. – 157 с.
44. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 2004. – 2 с.
45. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ. – 2008. – 48 с.
46. ГОСТ Р 12.4.233-2012. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Термины, определения и обозначения. – М.: Стандартиформ. – 2014. – 15 с.
47. ГОСТ 17269-71. Респираторы, фильтрующие газопылезащитные РУ- 60м и РУ-60му. Технические условия. – М.: Стандартиформ. – 2005. – 11с.
48. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. – 2001. – 10.
49. ГОСТ Р 51251-99. Фильтры очистки воздуха. Классификация. Маркировка. – М.: ИПК Издательство стандартов, – 2002. – 6 с.
50. Haulik B., Balla S., Pálfi O., Szekeres I., Juríková T., Sály P., Bakonyi G. Comparative ecotoxicity of the nano Ag, TiO₂ and ZnO TO aquatic species assemblages // Applied Ecology and Environmental Research. – 2014. – 13(2). – 325- 338.
51. Анциферова И. В. Источники поступления наночастиц и их влияние на окружающую среду и человека // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 7. – С. 5-10.
52. Ruffini C. M., Giorgetti L. The effects of nano-TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L // Journal of Nanoparticle Research. – 2010. – 10. – P. 24-30.
53. ГОСТ 12.4.009-83. ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 2001. – 4 с.
54. МУ 1.2.2520-09. Токсиколого-гигиеническая оценка безопасности наноматериалов. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – 2009. – 35 с.
55. МР 1.2.2522-09. Методические рекомендации по выявлению наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека. – М.: Федеральной

службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – 2009.
– 4 с.