



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 – Материаловедение и технологии материалов
Отделение – Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Особенности агрегации наночастиц цинка в водных растворах солей

УДК 544.77:546.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б92	Лю Я		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Сечин А.И.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2023 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства,

Код	Наименование компетенции
	обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами



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 – Материаловедение и технологии материалов
Отделение – Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Ваулина О.Ю.
« 02 » марта 2023 г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
154Б92	Лю Я

Тема работы:

Особенности агрегации наночастиц цинка в водных растворах солей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-87/с от 08.01.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.05.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>1) Литературные источники: базы данных www.sciencedirect.com, https://scholar.google.com/scholar?hl, https://www.mdpi.com, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26042532, https://www.researchgate.net.</p> <p>2) Объекты исследования: поведение наночастиц в различных водных средах.</p> <p>3) Экспериментальные данные, полученные в лаборатории НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета и на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС».</p> <p>4) Требования к продукту: Использование динамического рассеяния света и спектрофотометрии для изучения динамики агрегации НЧ Zn в водном растворе.</p>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1) сделать обзор литературы по классификации, получению и применению НЧ Zn, классификация дисперсных систем и агрегации наночастиц металлов в растворах электролитов.</p> <p>2) провести дисперсионный анализ наночастиц с помощью просвечивающей электронной микроскопии.</p> <p>3) показать влияние pH на агрегацию (размер и заряд) частиц в водной суспензии</p>

	с помощью метода динамического рассеяния света. 4) показать влияние pH, концентрации и типа соли на агрегацию (скорость и степень осаждения) с помощью метода спектрофотометрии.
Перечень графического материала	Микрофотографии наночастиц, гистограмма распределения частиц; седиментационные кривые для частиц в суспензиях; зависимости, демонстрирующие влияние pH и ионной силы в растворах NaCl, Na ₂ SO ₄ и NaH ₂ PO ₄ .
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Социальная ответственность	Сечин А.И.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.03.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б92	Лю Я		



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 – Материаловедение и технологии материалов
Отделение – Отделение материаловедения
Уровень образования – Бакалавриат
Период выполнения – Весенний семестр 2022/2023 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.05.2023 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела	Максимальный балл раздела
30.05.2023	Глава 1. Литературный обзор	25
30.04.2023	Глава 2. Экспериментальная часть	25
10.05.2023	Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
10.05.2023	Глава 5. Социальная ответственность	10
24.05.2023	Глава 3. Результаты и их обсуждение, приложения	25

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень	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		

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б92	Лю Я

Школа	ИШНПТ	Отделение	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Особенности агрегации наночастиц цинка в водных растворах солей
--

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.01.2023 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Кацук И.В.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б92	Лю Я		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
154Б92	Лю Я

Школа	ИШНПТ	Отделение	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Особенности агрегации наночастиц цинка в водных растворах солей
--

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал) и области его применения	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	
1.1. специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;	
1.2. организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	
2. Производственная безопасность:	
2.1. анализ выявленных вредных и опасных факторов	
2.2. обоснование мероприятий по снижению воздействия	
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы), гидросферу (сбросы) и литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.01.2023 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Сечин А.И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б92	Лю Я		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа написана на 117 страницах, включает 55 рисунков, 25 таблиц, 141 источник, 1 приложение.

Ключевые слова: наночастицы Zn, ионная сила, pH раствора, суспензия, седиментация, спектрофотометрия, динамическое рассеяние света.

Объект исследования: электровзрывные наночастицы Zn со средним размером 63 нм.

Цель работы: определение влияния pH, концентрации и состава соли на коллоидные свойства наночастиц Zn в водных суспензиях.

Работа посвящена изучению коллоидных свойств электровзрывных наночастиц Zn (размер, заряд, константа скорости и степень осаждения) в водных растворах NaCl, Na₂SO₄ и NaH₂PO₄ с ионной силой 0,05...500 мМ при pH 6, 7 и 8 с помощью методов динамического рассеяния света и спектрофотометрии.

Результаты показали, увеличение ионной силы в растворе на 0,5...500 мМ способствует снижению остаточной концентрации частиц и увеличению скорости седиментации. Независимо от pH добавление NaCl и Na₂SO₄ уменьшает стабильность суспензий во всем диапазоне концентраций (0,5...500 мМ), а добавление NaH₂PO₄ при ионной силе ≤5 мМ увеличивает, а при >5 мМ – уменьшает стабильность суспензий, как и другие соли. Также показано, что влияние pH на агрегацию и время наступления равновесия уменьшается в ряду солей Na₂SO₄ > NaCl ~ NaH₂PO₄.

Область применения: полученные зависимости актуальны для прогнозирования свойств промышленных наночастиц в поверхностных водах с точки зрения нанозекотоксикологии.

Экономическая эффективность/значимость работы: впервые получены результаты о влиянии pH на коллоидные свойства наночастиц Zn в водных растворах NaCl, Na₂SO₄ и NaH₂PO₄. Разработана методика изучения

коллоидных свойств с помощью спектрофотометрии. В будущем планируется изучить агрегацию и седиментацию наночастиц в реальных поверхностных водах.

Используемые в работе сокращения:

НЧ – наночастицы,

ЭВП – электрический взрыв проводника,

ДРС – динамическое рассеяния света,

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия,

ДЭС - двойной электрический слой,

pH – водородный показатель,

pH_{ИЭС} – pH изоэлектрического состояния поверхности,

I – ионная сила, mM,

S_{уд} – удельная поверхность порошков, м²/г,

ξ-потенциал – электрокинетический (дзета) потенциал поверхности частиц, мВ,

d_{ср} – средний размер частиц в суспензии, нм,

d_{мод} - модальный размер,

C/C₀ - удельная концентрация частиц в суспензии, уд.ед.,

C_{рес}/C₀ – остаточная концентрация частиц в суспензии через бесконечное время, уд.ед.,

k_{sed} – константа скорости седиментации, мин⁻¹,

1-C_{рес}/C₀ – степень осаждения частиц,

R² – коэффициент детерминации.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	9
ВВЕДЕНИЕ	13
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1. Наночастицы Zn	15
1.1.1. Получение наночастиц Zn	15
1.1.2. Применение наночастиц Zn	19
1.2. Дисперсные системы	21
1.2.1. Определение и характеристика дисперсных систем	21
1.2.2. Классификация дисперсных систем	26
1.3. Агрегация наночастиц в растворах	29
1.3.1. Влияние рН на агрегацию наночастиц	29
1.3.1 Поведение наночастиц в поверхностных водах	32
1.4. Методы изучения коллоидных свойств наночастиц	39
1.4.1. Метод динамического рассеяния света	39
1.4.2. Метод спектрофотометрии	43
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	48
2.1. Получение и исследование морфологии наночастиц	48
2.1.1. Электрический взрыв проводников	48
2.1.2. Сканирующая электронная микроскопия	48
2.1.3. Низкотемпературная адсорбция азота	49
2.2. Исследование коллоидных свойств частиц	50
2.2.1. Изучение влияния рН на размер и заряд частиц	50
2.2.2. Определение размера и заряда	50
2.2.3. Изучение влияния рН и концентрации солей на седиментацию	51
2.2.4. Изучение седиментации методом спектрофотометрии	52
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	54
3.1. Характеристика исходных наночастиц	54
3.2. Коллоидные свойства наночастиц в воде	54
3.2.1. Влияние рН на агрегацию	54
3.2.1. Влияние рН на седиментацию	56
3.3. Седиментационные свойства частиц в растворах электролитов	57
3.3.1. Седиментационные кривые	57
3.3.2. Влияние рН	57
3.3.3. Влияние ионной силы	60
3.3.4. Влияние типа соли	61
3.4. Разработка методики по изучению седиментации	63
3.5. Выводы	65

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	67
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	67
4.1.1. Анализ конкурентных технических решений	67
4.1.2. SWOT-анализ	69
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	72
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	72
4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования	73
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования	77
4.2.4 Расчет амортизации специального оборудования	78
4.2.5 Основная заработная плата исполнителей темы	81
4.2.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	82
4.2.7 Накладные расходы	83
4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	83
4.4. Выводы по разделу	86
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	88
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	88
5.2. Производственная безопасность	90
5.2.1. Анализ показателей микроклимата	91
5.2.2. Анализ показателей шума	92
5.2.3. Анализ недостаточного освещения в рабочей зоне	93
5.3. Экологическая безопасность	95
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
5.5 Выводы по разделу	97
6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	99
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	100
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Седиментационные кривые и коэффициент R^2	116

ВВЕДЕНИЕ

Наночастица (НЧ) – это изолированный твёрдофазный объект, имеющий отчётливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трех измерениях составляют от 1 до 100 нм [1].

НЧ цинка (Zn) перспективны для улучшения функциональных свойств смоляных покрытий [2], регенерации мягких тканей и заживления ран [3], создания носителей лекарств [4], очистки сточных вод [5] и растениеводства [6]. В процессе производства, использования и применения создаются источники выделения НЧ в окружающую среду [7]. Результаты исследований показали, что после попадания в гидросферу НЧ Zn могут быть токсичны для морских организмов [8], гидрофитов [9] и бактерий [10]. При этом на биологические свойства НЧ большое внимание оказывает их коллоидная стабильность [11]. Поэтому изучение коллоидных свойств НЧ в окружающей среде является ключевой задачей нанотоксикологии.

Коллоидные свойства НЧ в поверхностных водах зависят от их размера [12], формы [13], заряда [14], а также от pH [15], органических веществ [16] и солей [17, 18]. Однако, имеющиеся в литературе данные противоречивы, и большинство из них получено на НЧ оксида цинка (ZnO), а данных о поведении НЧ Zn в воде практически нет.

Целью выпускной квалификационной работы является определение влияния pH, концентрации и состава соли на коллоидные свойства НЧ Zn в водных суспензиях.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

1) сделать обзор литературы по классификации, получению и применению НЧ Zn, классификация дисперсных систем и агрегации НЧ металлов в растворах электролитов,

2) провести дисперсионный анализ НЧ с помощью просвечивающей электронной микроскопии;

3) показать влияние рН на агрегацию (размер и заряд) частиц в водной суспензии с помощью метода динамического рассеяния света;

4) показать влияние рН, концентрации и типа соли на агрегацию (скорость и степень осаждения) с помощью метода спектрофотометрии.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

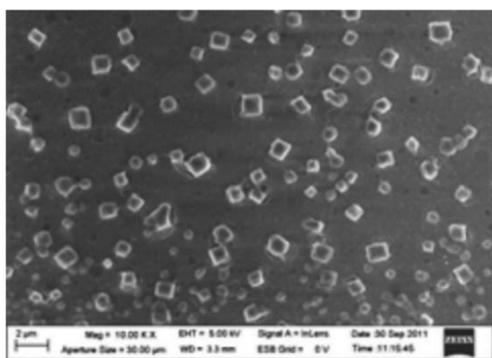
1.1. Наночастицы Zn

1.1.1. Получение наночастиц Zn

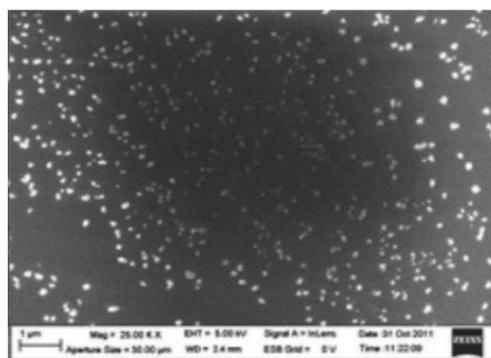
Благодаря огромным возможностям применения появилось множество различных методов синтеза НЧ Zn. Рассмотрим три метода: химическое восстановление, электрический взрыв проволоки и конденсацию газов из суспензии.

В методе химического осаждения металл восстанавливают из растворенной соли металла или металлоорганического соединения подходящим восстановителем в присутствии лиганда-стабилизатора. Органический лиганд взаимодействует с поверхностью металла, предотвращая дальнейший рост НЧ. В отсутствие стабилизатора металл будет осаждаться в виде цельного микрокристаллического материала. В процессе синтеза НЧ важна динамика трех процессов – скорости зарождения, скорости роста кристаллов и скорости, с которой устанавливается баланс адсорбции лиганда и десорбента [19].

В статье [20] синтезировали кубические НЧ Zn с размером 50-100 нм (рис.1.1а), используя в качестве растворителя для восстановления 10 мМ $ZnCl_2$ был выбран 20 мМ $LiBH_4$ в дезоксиизобензоле. Реакционную смесь подвергали обратному кипячению в статической атмосфере азота в течение 24 ч. После завершения реакции реакционной смеси дают остыть до комнатной температуры. Серый остаток высушивали под вакуумом и, наконец, обозначали как НЧ Zn (выход до 90%). Для нанесения стабилизации НЧ в смесь вводили поливинилпирролидон (ПВП) и получали частицы с размером 50-100 нм в форме хлопьев (рис.1.1б).



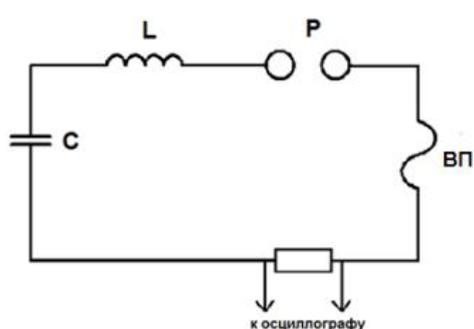
(a)



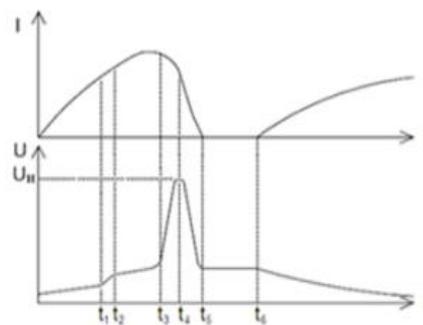
(б)

Рисунок 1.1. Микрофотографии НЧ Zn (а) и Zn-ПВП (б) [20]

Электрический взрыв проводника (ЭВП) – это явление, связанное со взрывом и разрушением импульсного тока высокой плотности (более 10^6 А/см²) при его прохождении через металлический проводник. Продуктом после ЭВП являются мельчайшие частицы металла и их пары. В зависимости от типа газа вокруг проводника они образуют металлические порошки, порошки из различных сплавов, соединений или композитных компонентов. Многие работы показали возможность синтеза металлических НЧ, сплавов и соединений металлов методом ЭВП [21-23].



(a)



(б)

Рисунок 1.2. LC-контур для осуществления ЭВП (а), осциллограмма тока и напряжения ЭВП в режиме с паузой тока (б) [21].

ЭВП обычно выполняется по схеме, показанной на рисунке 1.2а. Емкостное накопительное устройство С заряжается от источника энергии до

напряжения U_0 и использует искровой промежуток P для переключения на взрывоопасный проводник. Основные данные для получения информации о процессе взрыва по осциллограммам тока и напряжения (рис. 1.2б).

Методом ЭВП получают НЧ в компании ООО «Передовые порошковые технологии» [24]. Например, были компания продает НЧ Zn со средним размером 60 нм (рис.1.3а) и Al с размером 50 нм [25] (рис.1.3б).

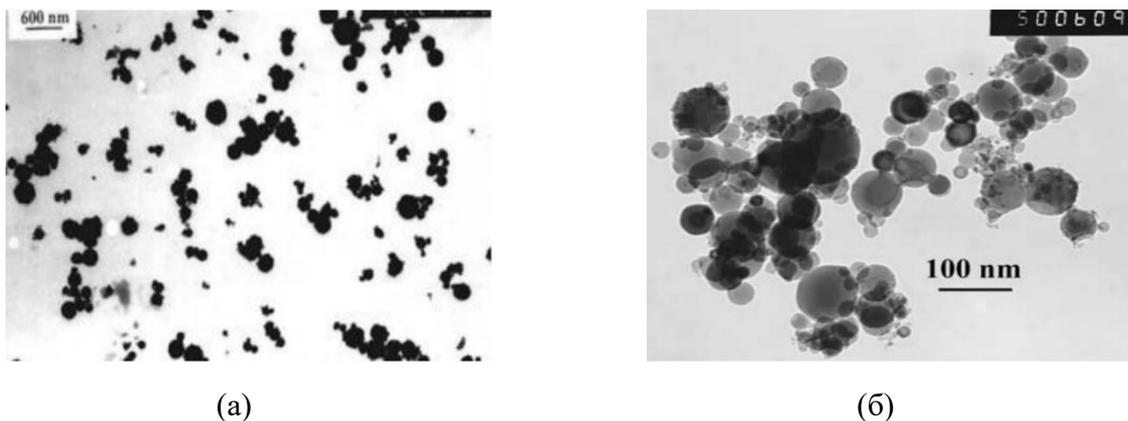


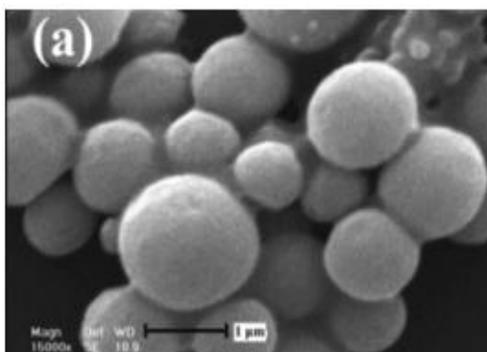
Рисунок 1.3. Микрофотографии НЧ Zn [24] (а) и Al [25].

Механизм образования НЧ в процессе конденсации газов электромагнитной суспензии (КГЭС) включает зарождение, рост частиц, коагуляцию частиц и коалесценцию. Гомогенное образование зародышей может происходить при взаимодействии между поднимающимся металлическим паром и газом-носителем [26]. Столкновение между металлическими кластерами и оставшимся металлическим паром приводит к росту частиц. В конечном счете, между металлическими кластерами может произойти коагуляция частиц и коалесценция. Средний размер частиц имеет обратную зависимость от теплопроводности и, следовательно, прямую зависимость от атомной массы газа-носителя. При столкновении более тяжелые атомы газа могут поглощать больше энергии от атомов металла в фазе горячего пара, что приводит к более высокой скорости роста металлических кластеров. Эффективность столкновения возрастает с увеличением размера частиц, приближаясь к единице для более крупных частиц. Следовательно, более тяжелые молекулы газа-носителя не только

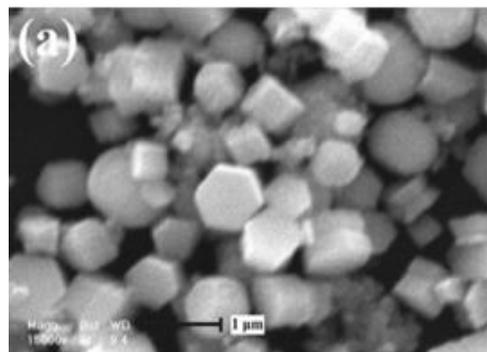
увеличивают скорость роста, но и приводят к более высокой эффективности столкновения, что еще больше увеличивает скорость роста. Кроме того, более низкая теплопроводность приводит к замедлению охлаждения газа-носителя. Следовательно, частицы, синтезированные в атмосфере гелия, должны иметь меньшие размеры, чем частицы, полученные в атмосфере азота, а НЧ, полученные в атмосфере азота, должны быть меньше, чем частицы, синтезированные в атмосфере аргона.

Методом КГЭС были получены НЧ Zn со средним размером 40 нм [27]. и ZnO (30 нм) [28]. Метод левитационной плавки заключается в размещении металлического образца в электромагнитном поле, которое генерируется индукционными катушками подходящей геометрии [29, 30, 31]. Металлическая капля расплавится, находясь в состоянии левитации. Таким образом, этот способ не содержит контейнеров и имеет минимальную вероятность попадания примесей в расплав. Из-за высоких температур, используемых в этом методе, расплавленный образец будет испаряться со скоростью, определяемой главным образом температурой и давлением паров металла. При вдувании инертного охлаждающего газа на поверхность левитируемой капли пар конденсируется в металлический порошок очень мелкого размера. На размер порошков в основном влияют скорость потока, температура и тепловые свойства газа-носителя. Таким образом, основные преимущества метода КГЭС заключаются в следующем: (а) процесс бесконтейнерный, (б) частицы имеют высокую чистоту при минимальном загрязнении, (в) не требуется восстановительная атмосфера и (г) вакуум не требуется [32, 33].

Так, были синтезированы НЧ Zn с использованием газа Ar при давлении 760 мм рт. ст. и скорости потока 15 л/мин (рис.1.4а) в форме сфер и частицы Zn, синтезированные газом He-20%Ar, охлажденным в N₂, при расходе 20 л/мин при атмосферном давлении, в форме призм (рис.1.4б).



(a)



(б)

Рисунок 1.4. Микрофотографии НЧ Zn, синтезированных при различных скоростях потока Ar при атмосферном давлении (а) и при 20 л·мин⁻¹ в атмосферных условиях с использованием охлажденного газа-носителя He-20%Ar (б) [27].

1.1.2. Применение наночастиц Zn

НЧ цинка (Zn) могут быть использованы в биомедицине, фармацевтике, катализе, косметологии, электронике, энергетике и охране окружающей среды.

Zn как элемент был открыт в 1746 г. и является 24-м наиболее распространенным элементом в земной коре [34], имеющим особое биологическое значение. Дефицит Zn в организме может привести к задержке роста и полового созревания, снижению восприимчивости к инфекциям [35]. В некоторой литературе указывается, что, делая НЧ Zn более биологически чистыми после функционализации поверхности, биологические материалы могут быть защищены от повреждений, вызванных чрезмерным образованием активных форм кислорода и эрозией [36].

НЧ Zn используются в качестве материала для антикоррозионного цинкования стали, а также аккумуляторов и сплавов. Например, добавление НЧ Zn с размером 35 нм в состав эпоксидной смолы и отвердителя привело к улучшению механических и антикоррозионных свойств [37]. Так, благодаря правильной сферической форме НЧ Zn, меньшему окислению на поверхности, гладкой и чистой поверхности сферолитов, очень малому количеству частиц, которые плавятся, деформируются и слипаются в

виноградopodobные и платформенные частицы, из которых получаются высококачественные антикоррозионные краски и покрытия.

НЧ Zn и его сплавов могут быть использованы в катализе. Например, НЧ с размером 10 нм были применены как катализаторы в синтезе метанола из CO₂ [38] и показано, что замена Zn на стадию Cu дополнительно усиливает связывание промежуточного продукта и повышает активность катализатора. Другие промотеры, которые связывают кислород в том же диапазоне, что и Zn, могут оказывать аналогичный эффект. Система Cu/ZrO₂, например, также является активным катализатором синтеза метанола [39].

НЧ Zn способствуют улучшению теплопроводности, износостойкости, увеличению сопротивления разрыва резины. Например, НЧ Zn с размером 50 нм, добавленные в натуральный (NR) или бутилкаучук (NBR) привели к снижению скорости набухания и увеличению плотности поперечных связей. Прочность на растяжение NR и NBR значительно увеличивается на 70%, а максимальное значение крутящего момента увеличивается примерно на 5%, что способствует улучшению механических и динамических механических свойств. [40, 41].

НЧ Zn могут найти применение в качестве удобрений в сельском хозяйстве [42]. Например, НЧ хитозана с цинковым комплексом использовались в полевых экспериментах для усиления удобрения твердой пшеницы, что улучшило коэффициент использования удобрений и потребляло в десять раз меньше, чем удобрение, содержащее ZnSO₄ был таким же или даже лучше [43].

НЧ Zn также действуют как антимикробные агенты. Например, биметаллические НЧ Cu/Zn размером 100 нм были синтезированы из пальмовой зелени, и было обнаружено, что НЧ, продуцируемые щелочными щелочными (*Staphylococcus aureus*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*) и газообразующими бактериями (*Clostridium perfringens*), обладают повышенной антибактериальной активностью [44].

Ожидается, что в биомедицине НЧ Zn будут использоваться для регенерации мягких тканей и заживления ран. В литературе указано, что НЧ Zn размером 130 ± 10 нм не только не оказывали цитотоксического действия на остеобластоподобные клетки и эмбриональные фибробласты, но и поддерживали рост остеобластоподобных клеток. Кроме того, НЧ Zn показали лучшую способность адсорбировать белки [45].

1.2. Дисперсные системы

1.2.1. Определение и характеристика дисперсных систем

При попадании НЧ в водную среду образуются дисперсные системы. **Дисперсная система** представляет собой многокомпонентную гетерогенную смесь различных агрегатированных состояний, состоящую из непрерывной фазы (дисперсионной среды) и прерывистой дисперсной фазы в виде частиц различных размеров, форм и агрегатированных состояний [46].

Также существует понятие «**дисперсность**», используемое для характеристики дисперсных систем. Дисперсность (D) обратно пропорциональна размеру частиц и измеряется в удельных единицах или m^{-1} . На практике дисперсность можно показать по-разному: измерить распределение частиц по размерам (рис.1.5), рассчитать средний размер частиц, а также определить интегральную удельную поверхность ($S_{уд}$, $m^2/г$).

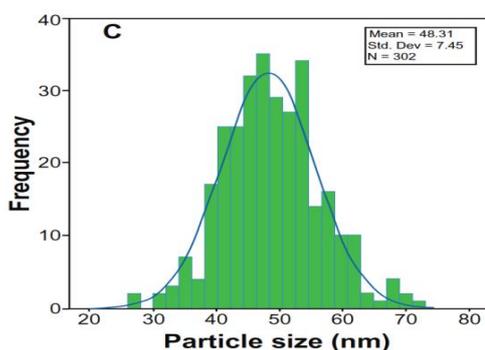


Рисунок 1.5. Распределение по размерам НЧ ZnO в растворе этанола [47].

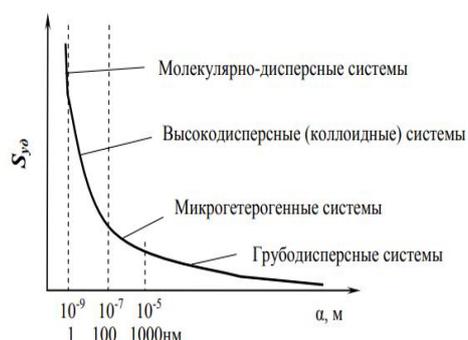


Рисунок 1.6. Зависимость удельной поверхности от размера частиц [46].

К важным свойствам дисперсных систем относятся гетерогенность, коагуляция и седиментация.

Гетерогенность, наличие границ раздела фаз отличает коллоидные системы от молекулярных растворов. Удельная поверхность дисперсной фазы велика (от единиц до сотен м²/г), и доля поверхностных атомов также велика (до ~10%), что приводит к значительному вкладу поверхностного слоя в состояние системы и обуславливает особые свойства присущ только коллоиду [48].

Коагуляция (лат. coagulatio – сгущение) или **агрегация** включает в себя адгезию и слияние частиц в дисперсной фазе, то есть частицы объединяются в более крупные агрегаты. Агломерация частиц может быть гомогенной (агломерация частиц одного типа) и гетерогенной (взаимодействие частиц различной структуры и фаз) [49].

Частицы дисперсной фазы испытывают воздействие силы тяжести (пропорциональной ускорению свободного падения g) и архимедовой силы (пропорциональной разнице в плотности компонентов) одновременно. В зависимости от соотношения этих сил частицы будут оседать или всплывать. Процесс осаждения или всплытия коллоидных частиц в золе называется **седиментацией**. Однако осаждение всегда компенсируется другим процессом, приводящим к равномерному распределению коллоидных частиц по всему объему раствора - **диффузией** под действием броуновского движения частиц.

Важнейшей характеристикой коллоидных систем является их **агрегативная устойчивость** (антикоагулянтность) – способность сохранять свой дисперсный состав. Его разновидностью является **седиментационная стабильность**, которая показывает устойчивость системы к осаждению. Это свойство наиболее четко определяется путем измерения изменения гранулометрического состава при затвердевании. Об этом можно судить и по изменению кинетики седиментации, если расширение сопровождается

образованием достаточно крупных (способных к осаждению) агрегатов или агломератов.

С термодинамической точки зрения агрегативная неустойчивость коллоидных систем обусловлена положительной свободной поверхностной энергией, сосредоточенной на межфазных поверхностях. Поскольку все системы со свободной избыточной энергией неустойчивы, это определяет способность коллоидных систем к коагуляции. Однако термодинамического объяснения недостаточно для описания процесса, так как на его основании нельзя определить механизм и скорость, т. е. динамику процесса. Согласно концепции динамики, устойчивость коллоидной системы определяется вероятностью того, что кинетическая энергия сталкивающихся частиц меньше энергии отталкивания.

Неустойчивость коллоидной системы, т. е. скорость ее затвердевания, определяется наличием сил притяжения между частицами, вероятностью столкновений частиц, вероятностью удобной ориентации частиц для слипания, наличием избыточной энергии, необходимой для преодоления сил отталкивания. сил (энергия активации) определяется вероятностью столкновения частиц.

Силы притяжения имеют разные свойства: электростатическое притяжение заряженных частиц, ковалентные связи между молекулами на поверхности соседних частиц, донорно-акцепторные и ван-дер-ваальсовы силы между молекулами на поверхности соседних частиц, электромагнитный вакуум, увеличивающийся при сближении частиц. Волновая сила (сила Казимира).

Сила отталкивания может быть электростатической силой, подобной заряженным частицам. В дисперсных системах на границе раздела частиц со средой возникает *двойной электрический слой* (ДЭС, рис.1.7), представляющий собой слой ионов, адсорбированных на поверхности из раствора или диссоциированных поверхностных соединений. Поверхность

частицы приобретает слой ионов с определенными метками, которые равномерно распределяются по поверхности и создают на ней поверхностный заряд. Эти ионы называются потенциально детерминированными (ПОИ). Ионы противоположного знака притягиваются жидкой средой к поверхности частицы и называются противоионами (ПИ). Образование двойного электрического слоя приводит к возникновению электрического потенциала, уменьшающегося с расстоянием.

Заряд, одинаковый для всех частиц, приводит к тому, что ионы электролита селективно адсорбируются на межфазных поверхностях системы с образованием ДЭС. Уменьшение электростатического отталкивания частиц в золе может происходить в результате введения в него раствора электролита. Другой причиной отталкивания является образование на поверхности частиц сольватных оболочек молекул медиатора. Такие оболочки возникают и в результате адсорбции дисперсионной фазой молекул или ионов третьего компонента системы (*стабилизатора*).

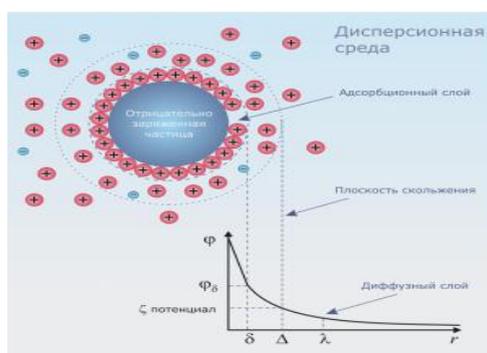


Рисунок 1.7. Строение двойного электрического слоя: ϕ – поверхностный потенциал, $\phi\delta$ – потенциал адсорбционного слоя [51].

В целом под агломерацией понимают потерю агрегатов или устойчивость к оседанию дисперсии. Коагуляция в разбавленных системах приводит к потере устойчивости к седиментации, что в конечном итоге приводит к расслоению или фазовому разделению. В концентрированных

системах коагуляция может проявляться в виде образования объемных (пространственных) структур, в которых равномерно распределена дисперсионная среда. Однако стабильные лиофилизированные дисперсии остаются диспергированными в течение длительного периода времени [50].

Также агрегативную устойчивость можно оценить по заряду поверхности. Для этого в большинстве случаев измеряют пропорциональный заряду коллоидной частицы *электрокинетический потенциал* (ξ -потенциал, мВ). При движении частиц ДЭС разрывается за счет относительного движения твердой фазы и жидкости, называемой плоскостью скольжения, которая находится посередине диффузионного слоя и адсорбционного слоя (граница положительных и отрицательных ионов). С микроскопической точки зрения потенциал поверхности скольжения меняется (от нулевой валентности до положительной или отрицательной) из-за ухода жидких ионов, что образует разницу потенциала с окружающим двойным слоем. В этом случае электродвижущая сила на поверхности скольжения называется дзета-потенциалом.

То есть ζ -потенциал представляет собой разность потенциалов между сплошной фазой и стабильным слоем жидкости, прикрепленным к дисперсным частицам. Величина ζ -потенциала определяет степень и характер взаимодействия между частицами дисперсной системы. Его можно напрямую измерить с помощью электрокинетических явлений. Методы измерения ζ -потенциала в основном включают электрофорез, электроосмос, потенциал течения и ультразвук, среди которых наиболее широко используется электрофорез.

Чем выше абсолютное значение (положительное или отрицательное) ζ -потенциала, тем больше силы отталкивания частиц друг от друга, тем выше агрегативная устойчивость дисперсной системы. В случае, когда ζ -потенциал стремится к нулю, говорят о изоэлектрическом состоянии (ИЭС) поверхности частиц – условие для протекания эффективной коагуляции. Условное

соотношение между величиной ζ -потенциала и стабильностью системы показано в таблице 1.1.

Таблице 1.1. Таблица устойчивости коллоидной системы для различных значений ζ - потенциала [51].

ζ -потенциал, мВ	Устойчивость коллоидной системы
От 0 до ± 5	Быстрая коагуляция или флокуляция
От ± 10 до ± 30	Начать становится нестабильным
От ± 30 до ± 40	Общая стабильность
От ± 40 до ± 60	Хорошая стабильность
Больше ± 61	Отличная стабильность

1.2.2. Классификация дисперсных систем

По размерам частиц и удельной поверхности, дисперсной фазе дисперсную систему делят на молекулярную, высокодисперсную и грубодисперсную (табл.1.2). Зависимость удельной поверхности системы $S_{уд}$ от размера ее частиц α представлена на рис.1.6. Видно, что переход от грубых систем к молекулярным непрерывен, а границы между ними условны. Однако каждый из этих типов систем весьма специфичен по своей природе.

Таблица 1.2. Классификация дисперсных систем по размеру дисперсной фазы [52].

Тип системы	Размер частиц
Молекулярно- и ионно- дисперсные	$< 10^{-9}$ м
Высокодисперсные	$10^{-9} - 10^{-7}$ м
Среднедисперсные	$10^{-7} - 10^{-5}$ м
Грубодисперсные	$> 10^{-5}$ м

Коллоидная химия занимается прежде всего высокодисперсными (наногетерогенными) системами (1-100 нм). Их характеристиками и особенностями являются неоднородность и высокая энергия на поверхности раздела фаз. Традиционно их называют коллоидно-дисперсионными системами или просто коллоидными системами. Примерами

микротермических систем являются порошки, суспензии, эмульсии и многие другие системы, имеющие практическое значение. Молекулярно-дисперсные системы (истинные растворы, а также газовые смеси) являются однородными, в которых отсутствуют специфические поверхности, так как отдельные молекулы не имеют фазовых поверхностей. Они не являются объектами коллоидной химии.

По дисперсионной среде и агрегатному состоянию дисперсной фазы классификация дисперсной системы более наглядно представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Дисперсии классифицируют по агрегатному состоянию.

Тип	Фазовое состояние дисперсионной среды	Фазовое состояние дисперсной фазы (частиц):		
		Г	Ж	Т
Аэрозоль	Г	-	Ж туман, облака	Т дым, пыль
Лиозоль	Ж	Г жидкие пены	Ж эмульсии	Т суспензии, взвеси
Солиозоли	Т	Г твердые пены, пористые тела	Ж жемчуг, опал	Т сплавы

В зависимости от формы частиц дисперсной фазы наиболее удобно делить дисперсные системы на:

а) линейные частицы, вытянутые в одном измерении (фибриллярные или волокнистые системы);

б) плоские или пластинчатые, имеющие два преобладающих измерения (ламеллярные или пленочные системы);

в) объемные, когда частицы имеют все три пространственных измерения примерно в равной степени; это корпускулярные системы [46].

В зависимости от силы межфазных взаимодействий различают *лиофильные* и *лиофобные* дисперсные системы. Это связано с тем, насколько близки по своим свойствам дисперсная фаза и дисперсионная среда.

В лиофильных дисперсии межмолекулярные взаимодействия в фазах немного отличаются, поэтому удельная свободная поверхностная энергия (для жидкостей поверхностное натяжение) очень мала (обычно одна сотая мДж/м²), а межфазные границы (поверхностный слой) могут быть нечеткими, а толщина обычно соизмерима с размером частиц дисперсной фазы. Лизотропная дисперсионная система термодинамически устойчива, сохраняет свою хорошую дисперсию, образуется самопроизвольно и может существовать неограниченное время при сохранении условий для ее возникновения. Типичными растворимыми дисперсионными системами являются мыла, растворы красителей, самопроизвольно образующиеся микроэмульсии, мицеллярные системы поверхностно-активных веществ и дисперсионные системы с жидкокристаллическими дисперсными фазами.

В лиофобных дисперсиях межмолекулярные взаимодействия в дисперсионной среде и дисперсной фазе существенно различаются, удельная свободная поверхностная энергия (поверхностное натяжение) велика – от единиц до сотен (и тысяч) мДж/м², фазовая граница вполне понятно. Леофобные дисперсные системы термодинамически неравновесны, большой избыток свободной поверхностной энергии приводит к процессу их перехода в энергетически более выгодное состояние. Это сопровождается расширением частиц, которое может происходить двумя путями: в результате изотермической перегонки и затвердевания, поэтому в системе существует тенденция к самопроизвольному расширению частиц дисперсной фазы. Необходимым условием существования лиофобной дисперсии является наличие стабилизатора, который адсорбируется на фазе и образует защитный слой, препятствующий агрегации частиц дисперсной фазы.

В соответствии с кинетическими свойствами дисперсной фазы все дисперсные системы делятся на две категории: свободнодисперсные и связнодисперсные. В свободнодисперсных системах частицы дисперсной фазы подвижны в дисперсионной среде и не образуют прочной связи друг с

другом. Высокодисперсная система с жидкой дисперсионной средой, обладающей текучестью, называется коллоидным раствором или золем. Исторически сложилось так, что название «золь» первоначально относилось к ультрадисперсной многофазной системе с частицами размером 1-100 нм, диспергированными в жидкой среде. В связнодисперсных системах частицы дисперсной фазы соединяются друг с другом с образованием различных пространственных структур. Состояние коллоидного раствора, который теряет текучесть из-за появления внутренней структуры, называется «гель» (от латинского *gelate*-замерзать) или студень. Процесс структурообразования называется гелеобразованием (желатинизация, желатинизирующий эффект или желеобразование). В зависимости от прочности связывания можно различать коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные структуры [46].

1.3. Агрегация наночастиц в растворах

1.3.1. Влияние pH на агрегацию наночастиц

Литературный обзор показал, что степень агрегации связана с pH системы. Когда значение pH отклоняется от изоэлектрической точки частиц, увеличивается заряд частиц, что уменьшается вероятность агрегации НЧ в водной среде (табл.1.4).

Видно, что в интересующей нас области физиологических pH (6...8) для НЧ ZnO наиболее характерен заряд $-44,4 \pm 1,0$ мВ и размер 22 нм (исходных размер частиц – 20 нм, pH=7, лимонная кислота), поэтому в присутствии органики нет существенного влияния на размер или морфологию частиц. В других литературах также были сделаны последовательные выводы о том, что в этом диапазоне pH не влияет на агрегацию. И чем ниже значение pH водного раствора, тем быстрее растворяется ZnO и тем больше в нем содержится Zn^{2+} .

Таблица 1.4. Влияние pH на агрегацию НЧ (НЧ).

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
ZnO 30, 135 и 210 нм	Среда: вода pH= 4...10 [НЧ]=100 мг/л Метод: динамическое рассеяние света (Zetasizer Nano, Malvern, США)	При увеличении pH заряд стремится к нулю, и размер увеличивается. В диапазоне pH=6...8 размер крупных частиц ~800 нм, а ZnO-30 – ~150 нм, ξ -потенциал составил +30...+10 мВ независимо от размера частиц.	[53]
ZnO 40, 200 нм	Среда: вода pH= 6...8 [НЧ]=10 мг/л Метод: динамическое рассеяние света (Zetasizer Nano, Malvern, США)	При pH = 6...8 размер агрегатов ZnO-40 немного увеличивается (от 202 до 297 нм), а ξ -потенциал частиц составил +15,3 ... +0,9 мВ. Для более крупных частиц ZnO-200 pH не влияло на заряд (34...38 мВ), хотя агрегация усиливалась при pH=8.	[54]
ZnO 20, 70 нм	Среда: Цитрат (pH=7) L-серин (pH=6) [НЧ]=20 мг/л Метод: динамическое рассеяние света (Zetasizer NanoZS system, Malvern Co. Ltd.)	Цитрат или L-серин модифицировали поверхность НЧ ZnO размером 20 и 70 нм. Результаты показывают, что модификация поверхности (различный pH) не сильно влияет на размер или морфологию частиц, но изменяет поверхностный заряд. Для ZnO-20, ZnO-20-цитрат, ZnO-20-серин, ZnO-70, ZnO-70-цитрат и НЧ ZnO-70-серина были определены как $+28.8 \pm 0.9$, -44.4 ± 1.0 , $+26.3 \pm 0.5$, $+26.3 \pm 0.9$, -41.4 ± 0.9 и $+26.1 \pm 0.4$ мВ в среднем ξ -потенциале.	[55]
ZnO 37.9, 19.2 нм	Среда: от 0 мМ (вода) до 10 мМ NaCl pH= 7.5...9 [НЧ]=20 мг/л Метод: динамическое рассеяние света (УФ-видимый спектрометр, HS-3300, Humas)	Чем ниже значение pH водного раствора, тем быстрее растворяется ZnO и тем больше в нем ионов цинка. Чем больше удельная поверхность и чем меньше размер частиц ZnO, тем больше высвобождается ионов цинка. При pH, близком к нейтральному, в отсутствие гуминовой кислоты степень агрегации НЧ ZnO увеличивалась с увеличением ионной силы NaCl. С увеличением адсорбции гуминовой	[56]

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
		<p>кислоты видно, что ζ-потенциал ZnO большого размера меняется с положительного на отрицательный. Нейтрализация заряда происходила при очень низкой концентрации гуминовой кислоты (1 мг/л). Однако ζ-потенциал ZnO малого размера существенно не меняется с увеличением концентрации гуминовой кислоты.</p>	
<p>ZnO 37.5 нм</p>	<p>Среда: NaCl, 0-80 мэкв/л, Na₂SO₄, 0-200 мэкв/л, гуминовая кислота, 0-100 мг/л. pH=7.82...11.26 [НЧ]=100 мг/л</p> <p>Метод: динамическое рассеяние света (Zetasizer Nano ZS, Malvern, MA)</p>	<p>Растворимость НЧ ZnO самая низкая между pH 8 и 12 и увеличивается с увеличением pH; Гидродинамический размер оставался постоянным при pH = 7.82, 8.77 и 11.26, тогда как размер НЧ ZnO увеличивался с 37.5 нм до 2400 и 4000 нм при pH = 9.9 и 10.56 соответственно; Значения pH сточных вод А-С составляли 7.2, 9.0 и 8.1 соответственно, а ζ-потенциалы НЧ ZnO в сточных водах А-С составляли -26.7, -11.0 и -0.1 мВ.</p>	<p>[57]</p>
<p>Zn 60 Нм</p> <p>ZnO 41 нм</p>	<p>Среда: вода pH=4...8 [НЧ]=50 мг/л</p> <p>Метод: лазерная дифракция (анализатор частиц SALD-7101, Shimadzu)</p>	<p>Показано, что pH суспензий имеет тенденцию к увеличению с 6,01 до 8,11 (НЧ Zn) и до 8,74 (НЧ ZnO) со временем после контакта двух образцов с водой; При изменении значения pH НЧ Zn от 6,0 до 8,0 кривые распределения показывали пики при 13 мкм и 2 мкм. Напротив, при изменении pH с 6,0 до 4,0 значительных изменений не наблюдалось. В результате при увеличении значения кислотности (pH = 8,0) средний диаметр НЧ Zn уменьшался до 5,2 мкм при 20-минутном перемешивании; Для НЧ ZnO ситуация иная: при достижении равновесия процесс агрегации интенсифицируется как для кислой (pH = 4,0), так и для основной (pH = 8,0) фракций по шкале pH.</p>	<p>[58]</p>
<p>Zn, Ni, Al</p>	<p>Среда: Поверхность воды (CaCl₂·2H₂O, 29.38 мг/л,</p>	<p>Согласно полученным результатам, ультразвуковая обработка суспензии оказала существенное влияние на величину дзета-потенциала. В</p>	<p>[59]</p>

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
	MgSO ₄ ·7H ₂ O, 12.33 мг/л, NaHCO ₃ , 6.48 мг/л, KCl, 0,58 мг/л УЗ=2 мин [НЧ]=100 мг/л Метод: динамическое рассеяние света (Zetasizer Nano, Malvern, США)	суспензиях НЧ Zn и Ni знак заряда частиц меняется с отрицательного на положительный: от -10 мВ до 15 мВ и от -18 мВ до 11 мВ для Zn и Ni соответственно. В то время как в суспензии НЧ Al значение ζ-потенциала увеличилось с 6 мВ до 27 мВ.	

Также из обзора ясно, что коллоидные свойства являются ключевым параметром, определяющим судьбу и токсикологию НЧ. НЧ с высокой агрегативной устойчивостью могут существовать в окружающей среде в течение более длительного времени, могут мигрировать на большее расстояние или могут также участвовать в образовании частиц, все это способствует миграции загрязняющих веществ, тем самым увеличивая возможность их биодоступности в окружающей среде или биодоступности токсичных загрязнителей [60, 61, 62]. Агрегация, осаждение и растворение являются одними из основных физических и химических процессов, которые влияют на стабильность и конечный результат НЧ в природной воде, и зависят от свойств НЧ и характеристик принимающей среды [63].

1.3.1 Поведение наночастиц в поверхностных водах

Обзор показал, что на агрегацию и осаждение в воде будут оказывать большое влияние природа и концентрация солей (табл.1.5).

Таблица 1.5. Влияние солей на агрегацию и седиментацию наночастиц (НЧ).

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
<p>TiO₂, 15 нм Nanostructure d & Amorphous Material, США</p> <p>CeO₂, <50 нм Sigma- Aldrich, Швейцария</p> <p>[НЧ]= 10 мг/л</p>	<p>Среда: вода Женевского озера pH= 8.1 ± 0.1 Ионная сила I=4.97 Мэкв /л Твердость по воде: [CaCO₃]=138 ± 2 мг/л [C]=1.12 ± 0.05 мг/л Магнитное перемешивание 100 об/мин; Время измерения: 135 мин (через 10 мин) Метод: динамическое рассеяние света.</p>	<p>Например, через 135 мин размер TiO₂ продолжал увеличиваться с максимальным значением 1200 нм, агрегация CeO₂ остановилась на диаметре < 2 мкм, ξ-потенциал увеличивался с -11 до -13,3 мВ, а стабильность НЧ повышалась.</p>	[64]
<p>ZnO, 50 нм</p> <p>Nanotek, Alfa Aesar</p> <p>[НЧ]= 10 мг/л</p>	<p>Среда: -поверхностная вода р. Де-Прерий pH=7,3, [C]=7,38 мг/л -сточная вода (Монреальская станция очистки) pH=7,2, [C]= 7,58 мг/л УЗ: 10 мин Отстаивание 1 день Метод: ионообменные колонки просвечивающий электронный микроскоп; Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Perkin Elmer NexION 300x</p>	<p>В природных водах размер НЧ был 133 – 172 нм, в сточных водах: 168 – 216 нм. Органика в поверхностных водах снижала агрегацию</p>	[65]

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
<p>Ag лабораторный синтез (соосаждение)</p> <p>[Ag]= 0.08, 1.28, 1.99, 4.50, 6.24, 16.67 мг/л</p>	<p>Среда: солоноватая вода Синливанского водохранилища</p> <p>Инкубирование 7 дн в темноте при 25°C.</p> <p>Метод: масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS, 7500Сх, Agilent, США); динамическое рассеяние света (Zetasizer Nano, Malvern, UK).</p>	<p>Стабильность НЧ в природных водах может уменьшаться в ряду: «пресная > солоноватая > морская вода». В пресной воде (низкая I) природное органическое вещество повышало стабильность НЧ. В воде умеренной солености I значительно снижает устойчивость НЧ в виде AgCl и коллоидов. В морской воде ионы Cl⁻, SO₄²⁻ и S²⁻ приводят к быстрому осаждению НЧ. НЧ Ag оставались хорошо диспергированными в слабосоленой воде. Кроме того, морфология НЧ может меняться с правильной сферической на неправильную.</p>	[66]
<p>ZnO 37 нм 100 мг/л</p>	<p>Среда: вода pH=8,5, 25°C NaCl, Na₂SO₄ I= 20...100 мМ</p>	<p>Для НЧ ZnO со средним размером 37 нм и концентрацией показано, что в слабощелочной воде при ионной силе (I) 20...100 мМ в растворах NaCl агрегация усиливается, а в растворе Na₂SO₄ размер сначала увеличивается, но при I≥40 мМ происходит дезагрегация.</p>	[67]
<p>ZnO 37, 71 и 286 нм 100 мг/л</p>	<p>Среда: вода pH=8,5, 25°C NaCl, 0...500 мэкв/л CaCl₂, 0...100 мэкв/л Na₂SO₄, 0...200 мэкв/л</p>	<p>Агрегация НЧ ZnO-71 ослабляется в ряду солей Na₂SO₄ > CaCl₂ > NaCl при концентрации солей 10, 20 и 30 мэкв/л, соответственно. Для ZnO-37 агрегация эффективнее протекает в NaCl, чем в Na₂SO₄ (10 мэкв/л)</p>	[68]

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
<p>ZnO 37.9, 19.2 нм 20 мг/л</p>	<p>Среда: вода pH=7,5, 25°C NaCl I= 0...10 мМ</p> <p>Время обработки ультразвуком: 30 минут Время измерения: 120 часов (через 20 час)</p> <p>Метод: динамическое рассеяние света (УФ- видимый спектрометр (HS- 3300, Humas)).</p>	<p>На стабильность наноматериалов в водном растворе в основном влияет ионная сила. Скорость осаждения ZnO размером 37,9 нм увеличивалась с увеличением ионной силы NaCl. Тогда как для ZnO с размером 19,2 нм осаждение при 3 мМ менее активно, чем при 0 мМ, а осаждение происходит быстрее при ионной силе 5 мМ и выше. И поведение агрегации очень согласуется с классической теорией DLVO.</p>	<p>[69]</p>
<p>Fe 18.6 ± 4.5 нм 100 мг/л</p>	<p>pH=5.0 ± 0.1, 25°C NaNO₃, I=10 мМ, NaCl, I=0,5...300 мМ, CaCl₂, I=0.032...600мМ, Na₂SO₄, I=0.01...100мМ</p> <p>pH=7.0 ± 0.1, 25°C NaNO₃, I=10 мМ NaCl, I=0,5...100 мМ, CaCl₂, I=0.032...15 мМ, Na₂SO₄, I=0.01...100мМ</p> <p>pH=7.0 ± 0.1, 25°C C= 0.1...1.0 мг/л</p> <p>CH₃COONa·3H₂O, Гуминовая кислота (ГК), фульвокислота (ФК). I=10 mM NaNO₃</p> <p>Время измерения: 15 мин (через 15 секунд)</p> <p>Метод: динамическое рассеяние света</p>	<p>В различных концентрациях растворы NaCl, CaCl₂ и Na₂SO₄ при pH=5 и pH=7 быстро агрегировали при всех концентрациях. При этом размер осадков НЧ Fe со временем увеличивается, и чем больше концентрация соли, тем больше размер. НЧ Fe более стабильны в кислых условиях.</p> <p>В присутствии органического вещества (ГК, ФК и CH₃COONa), органические вещества, в том числе ГК, ФК и CH₃COONa, значительно снижали pH изоэлектрической точки НЧ Fe. Например, при C/Fe = 0,1 в присутствии ГК, ФК и CH₃COONa изменяется от pH = 7 до 3,9 ± 0,2, 3,4 ± 0,6, 4,8 ± 0,6 соответственно.</p> <p>При более низких концентрациях органики (0,1 и 0,3 мг С/л) НЧ Fe быстро агрегировали, достигая размера 500 нм в течение 15 мин. При высоких концентрациях ГК и ФК, т. е.</p>	<p>[70]</p>

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
		<p>0,5 и 1 мг С/л, размер оставался неизменным в течение 15 мин, ГК ($35 \pm 6,2$ нм) и ФК ($33 \pm 4,5$ нм). показали, что более высокие концентрации ГК/ФК ингибируют агрегацию НЧ Fe (ГК и ФК, 0,5 и 1 мг С/л. С другой стороны, для малой органической молекулы CH_3COONa при всех), НЧ Fe агрегировали очень быстро, и размер увеличивался до 600-800 нм в течение 15 минут, и не наблюдалось существенного влияния различных концентраций CH_3COONa на агрегацию НЧ Fe, поэтому высокомолекулярные органические соединения (ГК, ФК) более стабильны. чем CH_3COONa НЧ Fe для предотвращения агрегации ($> 0,5$ мг С/л).</p>	
<p>TiO_2 25 нм 1000 мг/л</p>	<p>Среда: 1 мМ K_2HPO_4, I(NaCl) = 0.01 М pH=6, 25°C</p>	<p>В отличие от неопределенного влияния NaCl на агрегацию НЧ TiO_2, НЧ TiO_2 были полностью диспергированы в фосфате. Поэтому существенного изменения размера нет. Установлено также, что процесс интенсивной адсорбции фосфата НЧ происходит в течение 1 ч, а последующее уменьшение количества адсорбции фосфата (соответствующее десорбции) составляет до 3 ч. После этого происходит реадсорбция, которая достигает равновесия через 6 ч и достигает максимума адсорбции через 12 ч с адсорбционной емкостью $0,92 \pm 0,04$ ммоль м⁻². Адсорбция фосфатов на НЧ</p>	<p>[71]</p>

Наночастицы	Экспериментальные условия	Результат	Ссылка на статью
		TiO ₂ уменьшалась с увеличением pH и увеличивалась с увеличением ионной силы раствора.	
ZnO <50 нм 100 мг/л	<p>pH=3-12, 25°C KCl, 0.01–100 мМ, Na₂SO₄, 0.01–100 мМ, MgCl₂, 0.01–25 мМ, (pH=7)</p> <p>Промышленные сточные воды (IWW)-pH=7.56, водопроводная вода (TW)-pH=7.02 и пресная вода (FW)-pH=6.90</p> <p>Время измерения: 6 ч</p>	<p>Эффективность седиментации (SE) НЧ ZnO высока в кислых (3-6) и щелочных (10-12) условиях, что обусловлено наличием доменов растворения и комплексов соответственно.</p> <p>При низких концентрациях (0,01 мМ) эффективность осаждения составляет около 28-30%, независимо от типа электролита. Однако эффективность осаждения также увеличивалась с увеличением концентрации соли. Например, становится 90–92% при концентрации одновалентных ионов (K⁺) 100 мМ и концентрации двухвалентных ионов (Mg⁺) 25 мМ. Было исследовано седиментационное и агрегационное поведение НЧ ZnO в различных синтетических и природных водах. Накопление морской воды (SW), хозяйственно-бытовых сточных вод (DWW) и подземных вод (GW) со временем быстро увеличивается. Напротив, NP был очень стабилен и медленно агрегировался в оставшихся испытуемых водах. Кроме того, эффективность седиментации НЧ ZnO значительно снижалась в порядке отбора проб воды из окружающей среды (SW > DWW > GW > FW > TW > IWW)</p>	[72]

Таким образом, на агрегацию НЧ в поверхностных водах влияет множество факторов: размер частиц, тип и концентрация соли, рН, концентрация НЧ, природное органическое вещество и т.д. Ясно, что агрегация увеличивается с уменьшением размера [73, 74], но из-за вмешательства других факторов также могут быть случаи, когда НЧ большого размера лучше агрегируют [75]; Он более стабилен при более низких ионная сила, и агрегация происходит по мере того, как дзета-потенциал уменьшается с увеличением ионной силы [76] Высоковалентные катионы оказывают лучшее седиментационное действие на НЧ, чем низковалентные катионы [77, 78]. Увеличение рН может привести к тому, что НЧ легко агрегируются и откладываются [79]. В другой статье [80] более подробно изучается, что скорость изменения гидродинамического радиуса кластеров увеличивается по мере приближения рН к рН_{ИЭП} НЧ. Предполагается, что НЧ Zn при рН = 6...8 характеризуются повышенной агрегацией НЧ и, следовательно, более высокой скоростью седиментации, когда рН приближается к рН_{ИЭП} = 7 НЧ. Форма НЧ [81] также будет влиять на поведение седиментации в растворе, а скорость седиментации и степень седиментации будут варьироваться в зависимости от формы НЧ. Скорость диффузии (V_d) и скорость седиментации (V_s) НЧ возрастают в следующем порядке: наносферы 15 нм > наностержни > наносферы 54 нм > наноклетки 62 нм > наносферы 100 нм > наноклетки 118 нм для V_d ; Наносферы 100 нм > наноклетки 118 нм > наносферы 54 нм > наноклетки 62 нм > наностержни > наносферы 15 нм для V_s . А природные органические вещества (такие как гуминовые кислоты, фульвокислоты и др.) могут адсорбироваться на поверхности НЧ [82]. Это позволяет НЧ оставаться стабильными даже при высокой ионной силе.

Известные в литературе данные редко сопоставимы между собой в виду разнообразия НЧ.

1.4. Методы изучения коллоидных свойств наночастиц

Среди методов изучения агрегативной устойчивости на практике часто используют метод динамического рассеяния света и метод спектрофотометрии.

1.4.1. Метод динамического рассеяния света

Метод динамического рассеяния света (ДРС) (фотонная корреляционная спектроскопия или квазиупругое рассеяние света [83]) позволяет определить коэффициент диффузии частиц в жидкости путем анализа характерного времени флуктуаций интенсивности рассеянного света. Рассеянный свет от частицы регистрируется как сигнал с флуктуациями, соответствующими скорости броуновского движения частицы (рис.1.7). В полученном сигнале используется анализ корреляционного спектра для расчета автокорреляционной функции, и на ее основе строится распределение частиц по размерам [84]. Аналитическим сигналом в этом методе является интенсивность и угол рассеяния света от частицы.

Броуновское движение частиц в жидкости вызывает флуктуации локальной концентрации частиц, что приводит к локальным неоднородностям показателя преломления и, следовательно, интенсивности рассеянного света при прохождении лазерного луча через эту среду. *Коэффициент диффузии* частиц обратно пропорционален характерному времени релаксации флуктуаций интенсивности рассеянного света. Это характерное время, в свою очередь, представляет собой время затухания экспоненциальной временной корреляционной функции рассеянного света, которое измеряется с помощью цифрового коррелятора. Информация о коэффициенте диффузии частиц содержится во временной функции флуктуаций интенсивности. Согласно определению Онзагера, связь между решением уравнения диффузии и обратным временем (1.2):

$$\frac{1}{t_c} = D_t q^2 \quad (1.2)$$

где t_c – обратное время корреляции, D_t – коэффициент диффузии частиц, q – волновой вектор флуктуаций концентрации, описываемый выражением (1.3):

$$q = \frac{4\pi n}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1.3)$$

где n – показатель преломления жидкости, в которой взвешены дисперсные частицы, λ – длина волны лазерного света и θ – угол рассеяния (рис.1.8а).

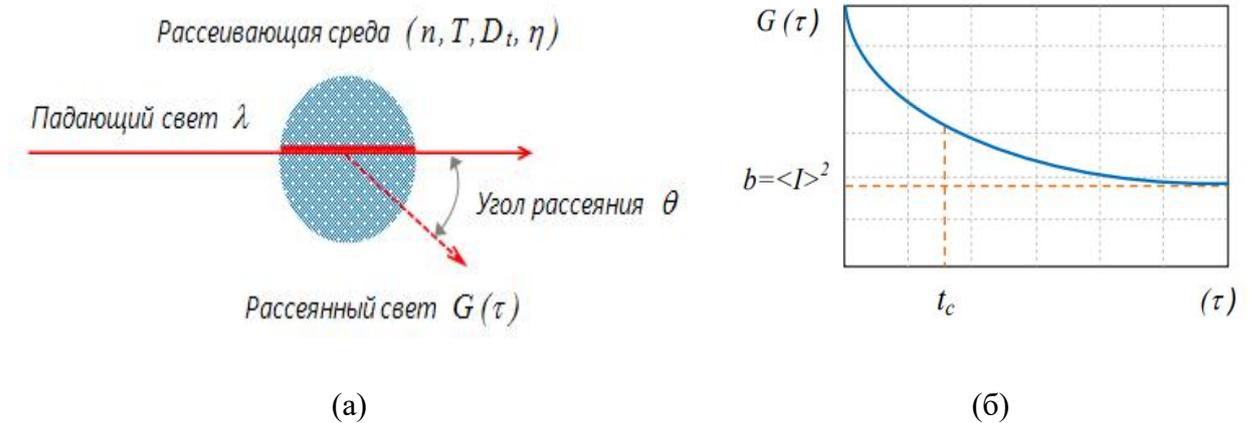


Рисунок 1.8. Схема процесса рассеяния света (а) и Автокорреляционная функция рассеянного света (б) [85].

Из рисунка 1.8б. видно, что такие константы, как t_c , могут быть получены путем измерения корреляционной функции приближенной теоретической экспоненциальной функции. Если предположим, что частицы сферические, мы можем использовать формулу Эйнштейна (1.4) для вычисления:

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R} \quad (1.4)$$

где D – коэффициент диффузии частицы, k_B – константа Больцмана, T – абсолютная температура, η – динамическая вязкость среды, R – радиус частицы.

Метод ДРС позволяет измерять размер частиц и имеет такие преимущества, как точность, быстрота и хорошая воспроизводимость. ДРС

широко используется для описания различных систем частиц, включая синтетические полимеры (например, эмульсии, ПВХ и др.), эмульсии, биологические макромолекулы, пигменты, красители, минеральные коллоиды, золи металлов и керамических частиц. Если система является монодисперсной, можно получить средний эффективный диаметр частиц. Это измерение зависит от ядра частицы, структуры поверхности, концентрации частицы и разновидностей ионов в среде. На эксперименты с помощью метода ДРС легко влияет пыль или примеси, поэтому фильтрация и центрифугирование образцов очень важны [86].

Результатом измерений методом ДРС является количественное (или объемное) распределение частиц по размерам (рис.1.9).

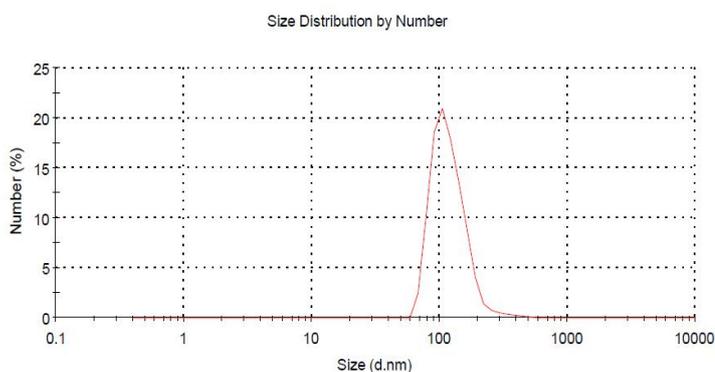


Рисунок 1.9. Количественное распределение частиц по размерам для НЧ Zn в 3% растворе глюкозы.

Для измерения ζ -потенциала традиционно в прибор, использующий ДРС встраивают доплеровский лазерный анемометр и используется кювета, в которой помещается пара электродов, генерирующих непрерывное напряжение. Частицы в образце будут двигаться к электроду с противоположным потенциалом на определенной скорости. В спектре рассеяния на доплеровской частоте существует компонент относительно частоты носителя, который пропорционален скорости движущихся частиц. Скорость частиц в поле может быть рассчитана в соответствии с фазовой функцией, и электрофоретическое движение частиц может быть определено.

$$\mu_E = \frac{v}{E} \quad (1.5)$$

где, v – скорость движения заряженных частиц в электрическом поле с напряженностью E .

$$\mu_E = \frac{2\varepsilon\zeta}{3\eta} \quad (1.6)$$

где, ζ – дзета-потенциал, μ_E – электрофоретическая подвижность, ε – диэлектрическая проницаемость, η – вязкость среды.

В статье [87] методом ДРС показано влияние рН на коллоидные свойства НЧ TiO_2 (Degussa P-25) в воде (рис.1.10).

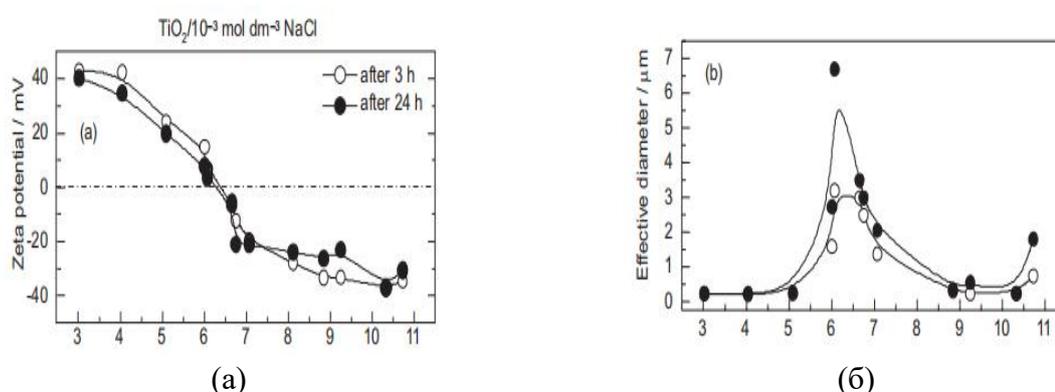


Рисунок 1.10. ζ -потенциал (а) и эффективный диаметр (б) НЧ TiO_2 в растворе NaCl в зависимости от рН после 3 и 24 ч приготовления [88].

Можно видеть, что в течение суток ζ -потенциал (рис.1.10а) и размер (рис.1.10б) не меняются. Значение рН_{ИЭС} составляет 6,25, что согласуется с большинством литературных данных для НЧ анатаза. Эффективный диаметр значительно изменился в течение 24 ч (рис.1.10б), но только около рН_{ИЭС}.

В другой работе [89] показано, что при концентрации многостенных углеродных нанотрубок $< 0,05 \text{ мас.}\%$ размер и ζ -потенциал частиц сильно зависят от их концентрации.

Например, в ряду концентраций $8.87 \cdot 10^{-5} \dots 8.87 \cdot 10^{-4} \dots 0,05 \text{ мас.}\%$ средний диаметр частиц составил $1248 \dots 508 \dots 200 \text{ нм}$, а ζ -потенциал, $-15 \dots -42 \dots -55 \text{ мВ}$, соответственно.

1.4.2. Метод спектрофотометрии

Спектрофотометрический анализ – это совокупность методов спектрального анализа молярной абсорбции, основанных на селективности поглощения электромагнитного излучения в ультрафиолетовой (УФ, длина волны – 200...380 нм), видимой (380...760 нм), инфракрасной (ИК, 2,5...15 мкм) областях спектра молекулами определяемого компонента или его соединения с подходящим реагентом [90].

В зависимости от длины волны, полосы пропускания излучения и способа измерения интенсивности светового потока различают следующие фотометрические методы:

1) Колориметрия – визуальное сравнение интенсивности окраски анализируемого раствора с интенсивностью окраски раствора (стандартного раствора) того же вещества при известной концентрации на основе интенсивности окраски анализируемого раствора;

2) Фотоколориметрия – основано на измерении интенсивности света в видимой части спектра (фильтр используется для монохромации света);

3) Спектрофотометрия - основана на использовании монохроматического света в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра; для монохромации света используются дифракционные решетки и призмы [91].

Метод анализа методом абсорбционной спектроскопии основан на обобщенном законе поглощения света. Если световой поток, его интенсивность I_0 , падает на кювету с раствором, то часть его (I_c) отражается от поверхности кюветы, часть (I_a) будет поглощена раствором, а часть (I_l) пройдет через кювету. Между этими значениями существует следующая взаимосвязь (1.7) [91]:

$$I_0 = I_c + I_a + I_l \quad (1.7)$$

Концентрация определяемого компонента определяется в соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера, который устанавливает зависимость между интенсивностью ослабления энергии излучения, проходящей через раствор, и толщиной слоя раствора: относительное количество излучения, поглощаемого и передаваемого средой, не зависит от интенсивности падающего излучения: каждый слой равной толщины поглощает равную долю падающего монохроматического излучения. Математически эта зависимость выражается уравнением (1.8):

$$I_l = I_0 \cdot e^{-kl} \quad (1.8)$$

где e – основание натурального логарифма; k – коэффициент поглощения ($k = 1/l$); l – толщина слоя раствора.

Следовательно, коэффициент поглощения k численно равен обратной величине толщины слоя раствора и зависит от природы растворенного вещества и длины волны падающего света и пропорционален концентрации вещества согласно второму закону света Бера абсорбция (C):

$$k = \varepsilon \cdot C \quad (1.9)$$

где ε – коэффициент, зависящий от природы вещества.

Объединив эти два закона, мы получаем закон Бугера-Ламберта-Бера: интенсивность светового потока, проходящего через раствор, пропорциональна интенсивности падающего светового потока и зависит от концентрации, толщины слоя раствора и природы вещества [92]:

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon Cl} \quad (1.10)$$

Из закона поглощения света Бугера-Ламберта-Бера можно сделать вывод, что коэффициент светопропускания (T , %, отношение интенсивности светового потока, проходящего через раствор к интенсивности падающего светового потока, которое варьируется от 0 до 100%) связан с оптической плотностью (A) по уравнению (1.11):

$$A = \lg(1/T) \quad (1.11)$$

В состав каждого блока входят: источник излучения, средства выбора нужного диапазона длин волн (монохроматор или фильтр), кюветный отсек, детектор, преобразователь сигналов, индикатор сигналов (шкала или цифровой счетчик). Порядок узлов может быть разным (например, монохроматор может стоять до или после кюветы). Типичными источниками излучения в спектрофотометрии являются лампы накаливания с вольфрамовыми нитями накала, дейтериевые (водородные) лампы или галогенные кварцевые лампы. Эти источники излучают в широком диапазоне спектра, что требует монохроматизации излучения.

Светопоглощение измеряют обычно в прямоугольных или цилиндрических прозрачных в области спектра кюветах из стекла. В УФ области используют кюветы из кварца. По форме кюветы бывают.

Обзор литературы показал, что спектрофотометрия активно используется для изучения агрегации посредством определения светопоглощения суспензий, в которых осаждаются частицы. Показано, что на осаждение НЧ влияет большое количество факторов, включая кислотность (рН), температуру, размер частиц, ионную силу и заряд частиц среды. В таблице 1.6 обобщены соответствующие исследования характеристик осаждения НЧ в воде с использованием спектрофотометрии.

Таблица 1.6. Применение спектрофотометрии для изучения осаждения НЧ.

Наночастицы	Условия эксперимента	Результат	Ссылка на статью
Au 60, 80, 100 и 150 нм	Среда: деионизированная вода Температура: 23 и 37°C [Au]= 5-30 мг/л Время измерения: 240 мин Длина волны: 400-1100 нм Измеряемые параметры:	При 37°C скорость осаждения увеличивалась, и раствор достиг равновесия осаждения и диффузии того же раствора в течение первых 30 мин при 23°C. Скорость агрегации в растворе увеличивается с повышением температуры. При 23°C наблюдался более высокий пик вторичного	[93]

Наночастицы	Условия эксперимента	Результат	Ссылка на статью
	Поглощение А, L Концентрат: деионизированная вода = 5x10 ⁸ частиц/мл.	поглощения около 960 нм (вызванный агрегацией). При 37°C увеличивается скорость образования агрегатов частиц, и за счет большей массы они осаждаются быстрее, чем монодисперсные НЧ в растворе.	
FeO/Fe ₂ O ₃ 30-60 нм	Дисперсионная среда: кукурузное, подсолнечное, соевое масла, говяжьи и свиные жиры, кондитерские жиры и саломасы. Температура: 25°C; Время измерения: 48 ч Длина волны: 500-850 нм Измеряемые параметры: коэффициент пропускания T, %	Установлено, что за 48 ч T, % увеличивался от 0,3% (500 нм) до 16% (800 нм). Концентрация частиц в 1 см ³ уменьшилась с 1,33·10 ¹² до 1,13·10 ¹² см ⁻³ . Концентрация уменьшалась примерно на 2,25 % каждый час.	[94]
Fe ₃ O ₄ 16-84 нм	Среда: дистиллированная вода (pH = 5,4) [Fe ₃ O ₄] = 0,05...5 г/л Время УЗ обработки: 10 мин; pH=2,9...8,8 Длина волны: 950 нм Источник магнитного поля: магнитное поле в центре 6,4 кЭ с градиентом 1,6 кЭ/см; Измеряемые параметры: Коэффициент пропускания T, %	Изменение pH оказывает умеренное влияние на скорость осаждения, в то время как состояние осаждения остается неизменным. Крупные частицы начинают оседать через 50 с без магнитного поля, а под действием градиентного магнитного поля 80% осаждения было завершено в течение первых 20 с. В течение следующих 200 с было достигнуто полное осаждение. Доказано, что за быстрым скоплением частиц в магнитном поле следует процесс воссоединения и коллективного оседания. Более мелкие частицы показали хорошее осаждение после 100 с в градиентном магнитном поле, но для осаждения в отсутствие магнитного поля требуется более 24 ч.	[95]
ZnO 50 нм	[ZnO]= 100 мг/л Среда: вода УЗ обработка в ванне с ледяной водой (5...40	При 30 мин УЗ обработке и мощности 400 Вт достигнуто наилучшее распределение частиц. При pH=7 скорость седиментации	[96]

Наночастицы	Условия эксперимента	Результат	Ссылка на статью
	<p>мин, 100...600Вт); Длина волны: 370 нм рН=3...12 Время измерения: 6 ч (интервал 6 мин) Измеряемые параметры: Поглощение света, Ads</p>	<p>была самой низкой, а при рН=9 эффективность седиментации через 6 ч была на 80% выше, чем при любом другом рН. При рН=8,5...9,5 ослабляются силы отталкивания благодаря нулевому заряду частиц.</p>	

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела ВКР является оценка перспектив развития и планирования с точки зрения финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предоставленного НИ. Коммерческая ценность зависит не только от наличия более высоких технических характеристик в конкурентной разработке, но и от того, насколько быстро разработчики смогут ответить на следующие вопросы: востребован ли продукт на рынке, какова цена, каков бюджет научных исследований и сколько времени требуется для доведения разработанного продукта до потребителя.

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.

Целью итоговой работы по идентификации является определение влияния рН, концентрации и состава соли на коллоидные свойства наночастиц Zn 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 процесс исследования рассматривались следующие конкурирующие разработки:

- 1) Исследование влияния солей на агрегацию и седиментацию наночастиц ZnO [113]

2) Оценка осаждения и агрегации наночастиц наночастиц ZnO в водной среде [114]

В таблице 4.1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности, где B_{ϕ} – технология, разработанная в результате выполнения научно-исследовательской работы, B_{ki} – конкурентная технология отработки технологии аддитивного производства методом подбора технологических параметров [115]

Таблице 4.1 – Сравнение конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0.03	4	4	4	0.12	0.12	0.12
2. Удобство в эксплуатации	0.05	5	4	4	0.25	0.2	0.2
3. Помехоустойчивость	0.01	3	3	3	0.03	0.03	0.03
4. Энергоэкономичность	0.05	4	3	3	0.2	0.15	0.15
5. Надежность	0.06	4	3	4	0.24	0.18	0.24
6. Уровень шума	0.01	3	3	2	0.03	0.03	0.02
7. Безопасность	0.09	4	3	3	0.36	0.27	0.27
8. Функциональная мощность	0.05	5	4	4	0.25	0.2	0.2
9. Простота эксплуатации	0.1	4	3	3	0.4	0.3	0.3
10. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.03	4	3	4	0.12	0.09	0.12
Экономические критерии оценки эффективности							
11. Конкурентно- способность продукта	0.1	4	2	3	0.4	0.2	0.3
12. Уровень охвата рынка	0.04	3	3	4	0.12	0.12	0.16

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
13. Предполагаемая цена	0.08	4	3	3	0.32	0.24	0.24
14. Предполагаемый срок эксплуатации	0.09	4	4	3	0.36	0.36	0.27
15. Послепродажное обслуживание	0.06	4	4	4	0.24	0.24	0.24
16. Финансирование научной разработки	0.1	4	3	2	0.4	0.3	0.2
17. Срок выхода на рынок	0.03	3	3	3	0.09	0.09	0.09
18. Наличие сертификации разработки	0.02	3	4	4	0.06	0.08	0.08
Итого	1	69	59	60	3.99	3.2	3.23

Позиция разработчиков и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале экспертными методами по каждому показателю, из которых 1 – самая слабая позиция и 5 – самая сильная. Общий вес показателей, определенных экспертным методом, должен быть равен 1. Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле [116]:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Анализ конкурирующих технических решений показывает, что решения, предложенные на данной ВКР, являются конкурентоспособными. Это связано с преимуществами метода с точки зрения простоты, безопасности эксплуатации и др. Отсюда можно сделать вывод, что данная разработка оказалась перспективной благодаря широте научных результатов и функциональности прибора.

4.1.2. SWOT-анализ

С целью изучения внешней и внутренней среды проекта был проведен SWOT-анализ, в ходе которого были подробно рассмотрены преимущества и недостатки научно-технического развития. На втором этапе SWOT-анализа составляется матрица взаимодействия проекта, в которой анализируется соответствие между каждым параметром SWOT и каждым параметром по отдельности и на основе этого выводится соответствующее решение (табл. 4.2-4.6).

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	-	-	-
	B2	+	-	+	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	+
	B5	-	+	-	+	-

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

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	+
	B4	-	-	-	+	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 4.4 – Угрозы проекта и сильные стороны

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

Таблица 4.5 – Угрозы проекта и слабые стороны

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

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Простая подготовка и высокая доступность сырья, простое в сборке и обращении оборудование. С2. Экологичность технологии С3. Метод исследования универсален и практичен. С4. ТПУ является одним из ведущих университетов в области развития нанотехнологий. С5. Высококвалифицированный персонал и исследователи.</p>		<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Экологическая токсичность материалов. Сл2. Отсутствие научных исследований в аналогичных областях. Сл3. Риск нарушения правил безопасности и различных непредвиденных ситуаций. Сл4. Комплексные условия для тестовых образцов ограничены. Сл5. Длительные сроки поставки материалов, используемых в научных исследованиях.</p>	
<p>Возможности В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ. В2. Внедрение технологии в производство. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В4. Применение нанотехнологий в очистке воды от</p>	<p>Направления развития В1С1. Высококачественное оборудование и расходные материалы доступны для этого эксперимента. В2С3. Практические методы исследования отвечают высоким требованиям технического производства. В4С5. Высококвалифицированные исследователи внедряют инновации в новых направлениях. В5С2С4. университету поддерживать финансируемые исследовательские проекты.</p>	<p>Сдерживающие факторы В3Сл5. Дополнительный спрос на новые продукты приведет к длительному процессу исследований. В4Сл4. Ограниченные комплексные условия для тестовых образцов в процессе исследования новых направлений.</p>	

загрязнений – новое направление. В5. Участие в грантах.	В1В2С1. Низкая материальная цена, используя оборудование ТПУ существующее, низкая цена производства, может увеличить объем продукции.	
Угрозы У1. Каналы сбыта продукции ограничены, появление аналогичных товаров и их ранний выход на рынок. У2. Конкуренты разрабатывают более совершенные технологии и снижают цены.	Угрозы развития У1С1С3. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса. У2С3С5 Выращивайте высококлассных исследователей, разрабатывайте новые технологии и снижайте цены.	Уязвимости: У1У2Сл5. Разработка новых технологий для увеличения объема производства. У1У2Сл3. Улучшить исследовательский процесс, чтобы снизить риск нарушения правил безопасности и рассмотреть различные непредвиденные ситуации, чтобы уменьшить воздействие на окружающую среду.

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований.

Данную НИР можно разделить на следующие этапы (табл.4.7):

- выдача задания
- выбор направления исследований
- теоретические и экспериментальные исследования
- обсуждение результатов

- составление отчета

- защита отчета

Работу выполняли 2 человека: научный руководитель (науч.рук.), инженер-дипломник (инж.).

Таблица 4.7 – 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 ВКР	инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	инженер
	4	Выбор методов исследования	инженер, научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	инженер
	6	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Обработка полученных данных	инженер
	8	Анализ полученных результатов НИР	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации ОКР)	9	Составление пояснительной записки	инженер
	10	Оформление отчета НИР	инженер
	11	Защита НИР	инженер

4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования

Оценка трудоемкости выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ сопряжена не только с отсутствием утвержденных нормативов, но и существенными трудностями в разработке концептуальных подходов к их обоснованию [116].

Если НИР проводится впервые и вследствие этого отсутствуют нормативы, то трудоемкость отдельных этапов может быть рассчитана опытно-статистическим методом. Указанный метод может быть реализован двумя способами:

1. Путем анализа, когда необходимые трудовые запасы определяются по работам, проведенным данным коллективом ранее.

2. Вероятным методом.

При первом способе опытно-статистического метода используют отчетные данные фактической трудоемкости работ, осуществляемых ранее. В отсутствии аналогичных работ определяют вероятным методом непосредственно их продолжительность на основе системы оценок.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$, используется следующая формула [117]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (4.2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$, – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.; $t_{\max i}$, – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i} \quad (4.3)$$

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

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства

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

$$T_{ki \text{ инж}} = T_{ri} \times k_{\text{кал}} \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{ri} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Например, календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.6)$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Показатели проведения исследования (рук. – руководитель, инж. – инженер)

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		$t_{ож}$, чел-дни			
	руководитель	инженер	руководитель	инженер	руководитель	инженер		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		3		1.8		1.8	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	3	3	7	7	4.6	4.6	4.6	7
3. Обзор научной литературы		8		10		8.8	8.8	13
4. Выбор методов исследования	3	3	7	7	4.6	4.6	4.6	7
5. Планирование эксперимента		7		7		7	7	10
6. Проведение эксперимента		15		30		21	21	31
7. Анализ полученных результатов НИР		3		7		4.6	4.6	7
8. Оценка эффективности результатов		7		14		9.8	9.8	15
9. Составление пояснительной записки		7		14		9.8	9.8	15
Итого	7	53	17	96	11	70.2	72	107

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (табл.4.9)

Таблица 4.9 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания и плана-графика	Исп1	3	■											
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1	7	■											
		Исп2		■											
3	Обзор научной литературы	Исп2	13		■	■									
4	Выбор методов исследования	Исп1	7				■								
		Исп2					■								
5	Планирование эксперимента	Исп2	10					■	■						
6	Проведение эксперимента	Исп2	31							■	■	■			
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	7											■	
8	Оценка эффективности результатов	Исп2	15											■	■
9	Составление пояснительной записки	Исп2	15											■	■

Примечание: ■ – Исп 1 (научный руководитель) ■ – Исп 2 (инженер)

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета на научно-технические исследования учитываются все виды затрат, связанных с их выполнением. Таких как плата за исследовательский материал, плата за специальное оборудование для научной (экспериментальной) работы, заработная плата исполнителя и т.д. [118].

Материальные затраты отражают стоимость покупных материалов и сырья, которые входят в состав, составляют основу или необходимы при изготовлении готовой продукции (табл. 4.10).

Таблица 4.10 – Затраты на завершение эксперимента

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Наночастицы цинка (Zn)	кг	0,006	1969,2	11,82
Дистиллированная вода ГОСТ 6709-72	л	5,000	38	190,00
Соль хлорида натрия (NaCl)	кг	0,035	130	4,55
Соль сульфата натрия (NaSO ₄)	кг	0,036	800	28,80
Дигидрофосфат натрия (NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O)	кг	0,118	1840	217,12
Буфер 4-(2-оксиэтил)-1-пиперазинэтансульфоновой кислоты (HEPES, C ₈ H ₁₈ N ₂ O ₄ S)	кг	0,003	20432	61,30
Гидроксид натрия (NaOH)	кг	0,0004	280	0,11
Азотная кислота (HNO ₃)	л	0,0006	430	0,26
Итого:				513,95

4.2.4 Расчет амортизации специального оборудования

Амортизация начисляется на оборудование, находящееся в эксплуатации. Окончательная стоимость объекта включает вычет амортизации в течение срока службы оборудования в статье накладных расходов. Расчет стоимости для этого проекта показан в Таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на оборудование.

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Весы ALC-110d4 (ACCULAB, Россия, точность ±0,0001 г)	1	15	57,9	57,9
2	Магнитная мешалка BioSan MS-3000 (Heidolph, Россия, 200 об/мин, элемент 5 x10 мм)	1	10	20,3	20,3
3	pH-метра ST3100-F (Ohaus, США, ±0,01 pH, Ag/AgCl электрод)	1	15	44,11	44,11
4	Ультразвуковая ванна ODA-LQ40 (ОДА Сервис, Россия, 4 л, мощность 120 Вт)	1	15	19,9	19,9
5	Спектрофотометр PD-303 (Arel, Япония, 560 нм, 25±2°C)	1	25	167,34	167,34
6	Сканирующий электронный микроскоп Merlin (Carl Zeiss, Германия)	1	35	34,350	34350
7	Zetasizer Nano (Malvern, США)	1	25	1284	1284
Итого:					1627,9 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом. Норма амортизации:

$$NA = \frac{1}{n} \quad (4.7)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m \quad (4.8)$$

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Весы:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0.067 \cdot 57900}{12} \cdot 4 = 1286,7 \text{ руб.}$$

Магнитная мешалка:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0.1 \cdot 20300}{12} \cdot 4 = 676,7 \text{ руб.}$$

pH-метра:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0.067 \cdot 44110}{12} \cdot 4 = 980,3 \text{ руб.},$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0.067 \cdot 19900}{12} \cdot 4 = 442,3 \text{ руб.},$$

Спектрофотометр PD-303:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0.04 \cdot 167340}{12} \cdot 4 = 2231,2 \text{ руб.},$$

Сканирующий электронный микроскоп:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0.0029 \cdot 34350000}{12} \cdot 4 = 327142,9 \text{ руб.},$$

Zetasizer Nano:

$$A = \frac{N_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0.04 \cdot 1284000}{12} \cdot 4 = 17120,0 \text{ руб.},$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1286,7 + 676,7 + 980,3 + 442,3 + 2231,2 + 327142,9 + 17120 = 349879,8 \text{ руб.},$$

4.2.5 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 одного работника ($Z_{\text{осн}}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p \quad (4.9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m * M}{F \partial} \quad (4.10)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; $F \partial$ – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; 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.

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя и инженера:

$$Z_m = Z_{\text{мс}}(1 + k_{\text{пр}} + k_{\partial}) \cdot k_p \quad (4.11)$$

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

Таблица 4.12 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}, руб$	k_{np}	k_d	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{он}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	11	23620,3
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	70,2	122365,62
Итого:								145985,92

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (4.12)$$

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

– для руководителя: $Z_{доп} = 0,15 \cdot 23620,3 = 3543,05$ руб.

– для инженера: $Z_{доп} = 0,15 \cdot 122365,6 = 18354,84$ руб.

4.2.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{внед} = k_{внед} (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (4.13)$$

где $k_{внед}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30% (ст. 425 НК РФ).

Для руководителя: $Z_{внед} = 0,3 \cdot (23620,3 + 3543,05) = 8149$ руб,

Для инженера: $Z_{\text{внед}} = 0,3 \cdot (122365,62 + 18354,84) = 42216,14$ руб.

4.2.7 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.14)$$

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

Считаем:

$$Z_{\text{накл}} = (5617,0 + 514,0 + 145985,9 + 21897,9 + 50365,1) \cdot 0,2 = 44876,0 \text{руб.},$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ.

Таблица 4.14 – Группировка затрат по статьям

Статьи, руб.							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
23064,1	514,0	145985,9	21897,9	50365,1	241827,0	48365,4	290192,4

4.3. 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 ходе 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 НТР рассмотрены два варианта.

Вариант 1 – текущая НТР (Использование золь НЧ оксидов металлов в качестве ингибиторов коррозии); Исследование влияния солей на агрегацию и седиментацию НЧ – вариант 2; Оценка осаждения и агрегации НЧ ZnO в водной среде – вариант 3.

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.15)$$

где I – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{Вар.1}} = \frac{290192,4}{309332} = 0,938, \quad I_{\text{финр}}^{\text{Вар.2}} = \frac{289528}{309332} = 0,936, \quad I_{\text{финр}}^{\text{Вар.3}} = \frac{309332}{309332} = 1.$$

После расчета комплексных финансовых показателей трех схем разработки установлено, что сырье для этой работы НТР дешевое, а цена оборудования умеренная, что немного отличается от двух других методов.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (табл. 4.15).

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Безопасность при использовании	0,1	4/0,4	4/0,4	3/0,3
2. Стабильность работы	0,15	4,5/0,675	4/0,75	4,5/0,675
3. Научная ценность	0,2	4/0,8	5/1	5/1
4. Практическая значимость	0,2	5/1	5/1	5/1
5. Эффективность	0,2	4/0,8	3,5/0,7	3/0,6
6. Простота	0,15	4,5/0,675	4/0,75	4,5/0,675
ИТОГО	1	26/4,35	25,5/4,3	25/4,25

$$I_{p-вар1} = 4,35; I_{p-вар2} = 4,3; I_{p-вар3} = 4,25.$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{варі}$) по формуле:

$$I_{варі} = \frac{I_{p-варі}}{I_{финр}} \quad (4.16)$$

$$I_{Вар.1} = \frac{4,35}{0,938} = 4,64, I_{Вар.2} = \frac{4,3}{0,936} = 4,59, I_{Вар.3} = \frac{4,25}{1} = 4,25,$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (табл.4.16).

Таблица 4.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,938	0,936	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	4,3	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,64	4,59	4,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 1,01 Вар. 1/Вар. 3= 1,09	Вар. 2/Вар. 1 = 0,99 Вар. 2/Вар. 3 = 1,08	Вар. 3/Вар. 1 = 0,92 Вар. 3/Вар. 2 = 0,93

Сравнение средних сводных показателей сравниваемых вариантов позволяет сделать вывод о том, что вариант 1 (данная разработка) является наиболее экономически и ресурсоэффективным, так как его сравнительный индекс эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

4.4. Выводы по разделу

В результате реализации целей настоящего раздела можно сделать следующие выводы:

1. В результате анализа конкурирующих технических решений среди решений осуществления технологической революции было выбрано одно из наиболее желательных и разумных по сравнению с другими решениями.

2. При планировании составляются графики выполнения этапов работ руководителей и инженеров, что дает возможность оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определяется следующим образом: общее количество календарных дней выполненных работ – 107 дней, общее количество календарных дней работы инженера – 105, общее количество календарных дней работы руководителя – 17, общее количество календарных дней работы инженера – 105.

3. Составлена проектно-сметная документация, стоимость проекта можно оценить в 290 192,4 руб.;

4. На основании оценки эффективности ИР можно сделать следующие выводы:

1) Значение комплексного финансового показателя ИР равно 0,938, что свидетельствует о финансовой выгодности ИР по сравнению с аналогичными исследованиями;

2) значение комплексного индекса ресурсоэффективности ИР составляет 4,35 по сравнению с 4,3 и 4,25;

3) Значение комплексного индекса эффективности ИР составляет 4,64, что является самым высоким показателем по сравнению с 4,59 и 4,25, что указывает на возможность реализации рассматриваемого ИР технического решения.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Объект исследования – электровзрывные НЧ Zn со средним размером 63 нм.

Научно-исследовательская деятельность осуществляется в лаборатории кафедры нанотехнологий и наноматериалов Томского политехнического университета (ауд. 211а 15 корпуса). Лаборатория оснащена исследовательским оборудованием в области материаловедения и технологии материалов.

Для оценки коллоидных свойств исследуемых НЧ в водных суспензиях при различных значениях pH, концентрации и солевого состава и безопасности исследовательского процесса в этой части ВКР необходимо рассмотреть правовые и организационные аспекты безопасности, потенциальные опасности и методы снижения их воздействия, экологическая безопасность научных проектов, вопросы безопасности при чрезвычайных ситуациях.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Организациям необходимо соблюдать требования трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ [119].

Только сотрудники или студенты, соответствующие возрастным требованиям (в том числе студенты по обмену, практикующий персонал, курсовые и рефераты), могут войти в лабораторию и должны работать после научно-технического инструктажа и знакомы с процедурами эксплуатации оборудования и мерами экстренной помощи. Экспериментальное оборудование, обращение с химическими реагентами и др. [120].

Согласно ТК РФ [121] индивидуальная продолжительность рабочего времени в лабораториях не превышает 36 часов в неделю в связи со специальными рабочими местами и условиями труда. По оценке условий

труда рабочая среда лаборатории классифицируется как трехуровневая, четырехуровневая или даже опасная и вредная.

Некоторые виды деятельности в нанотехнологических лабораториях осуществляются в сложных и опасных условиях. Гарантии и компенсации для таких работников связаны с:

- увеличить заработную плату;
- сокращенный рабочий день;
- дополнительный оплачиваемый отпуск;
- Обеспечить лечебно-профилактическое питание;
- Досрочная трудовая пенсия.

Кроме того, каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда. Основные эргономические требования к организации рабочего места исследователя:

- Без лишних предметов, опрятно одетый;
- Необходимые вещи должны находиться на расстоянии;
- Рабочее оборудование должно соответствовать правилам техники безопасности и содержаться в чистоте;
- Рабочее место должно быть хорошо освещено;
- Помещение должно хорошо проветриваться.

Рассмотрим организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя. Общая площадь лаборатории 12 м², размеры 3×4м, высота 3м. Поверхность пола отвечает следующим требованиям: гладкая, легкая в уходе, антистатическая, без выбоин. В номере есть аптечка и огнетушитель. Расположение столешницы обеспечивает удобство работы за ней и осмотра и ремонта расположенного на ней оборудования.

Во время лабораторной работы работники лаборатории находятся в неподвижном и подвижном состоянии системы «человек-машина». Поэтому при назначении взаимного расположения элементов рабочего места необходимо соблюдать нормы общих эргономических требований [122, 123].

Лаборатория оснащена отоплением и вентиляцией. Для отделки помещений используют диффузно-отражающие материалы. Поверхность пола соответствует следующим требованиям: ровность, удобство для очистки, наличие антистатических свойств, отсутствие выбоин. В помещении держат аптечку первой медицинской помощи и огнетушитель. Расположение рабочего стола обеспечивает удобство работы за ним и дает возможность осмотра, а также ремонта находящегося на нем оборудования.

5.2. Производственная безопасность

Исследование выполнялось в лаборатории Томского политехнического университета (ауд.210, 15 корпуса). В исследовании использовались электронные весы, ультразвуковые ванны, рН-метры, спектрофотометры, магнитные мешалки и др. Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [124]. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [125], ГОСТ 12.1.005-88 [126]
2. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [127], ГОСТ 12.1.029-80 [128], СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [129]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [130], СП 52.13330.2016 [131]

Кроме того, выявленные вредные факторы риска будут описаны в порядке Таблицы 5.1. Каждая опасность рассматривается по следующей схеме:

- 1) источник фактора;
- 2) влияние факторов на организм человека;
- 3) ввести допустимые нормы с требуемыми размерами и по возможности проанализировать соблюдение норм;
- 4) Предлагаемые защитные меры (коллективные и индивидуальные) для минимизации воздействия данного фактора.

Разрабатываются решения по снижению воздействия выявленных опасностей и опасностей на работников. Предложены мероприятия по обеспечению безопасности технологического процесса и эксплуатации оборудования.

5.2.1. Анализ показателей микроклимата

Отклонение показателя микроклимата относится к климату внутренней среды этих производств, на который влияет комплексное воздействие температуры, относительной влажности и скорости воздушного потока на организм человека.

Согласно классификации СанПиН 2.2.4.548-96 [132] инженерно-изыскательская деятельность относится к легкой категории работ (I б) по профессиональной деятельности по категории тяжести исходя из суммарного энергопотребления. Оптимальные параметры микроклимата для холодного периода года: температура 21-23°C, влажность 40-60%, скорость воздуха в помещении 0,1 м/с; для теплых периодов года: температура 22-24°C, влажность 40-60%, скорость воздуха в помещении 0,1 м/с.

Для зимней работы предусмотрено отопление помещения. Летом рабочая температура поддерживается постоянным кондиционированием воздуха. Температурная регуляция тела зависит от влажности воздуха: высокая влажность приводит к затруднению терморегуляции, а слишком

низкая – к сухости слизистых оболочек дыхательных путей. Для поддержания требуемых параметров микроклимата в рабочей зоне применяют защиту от источников теплового излучения, системы вентиляции, кондиционирования, отопления, влажной уборки и увлажнения воздуха.

Материаловедческим лабораториям необходимо осуществить гигиенические, медико-биологические и организационно-технические мероприятия, включая вентиляцию и очистку воздуха [133], расположение вредных факторов, отопление, автоматическое управление и сигнализацию, дезодорацию воздуха, использование дезинфекционного оборудования и препаратов, защитных устройств, знаков безопасности и использование перчаток и респираторов в качестве средств защиты рук и органов дыхания [134].

5.2.2. Анализ показателей шума

Гигиенические нормативы по шуму определяются национальным законодательством [135]. Источником шума в полевых условиях в основном является звук, создаваемый производственной деятельностью экспериментального оборудования. Продолжительная работа в условиях повышенного шума приведет к снижению работоспособности персонала, что приведет к угнетению психического состояния, в результате чего наступит тугоухость и частичная глухота. Кроме негативного воздействия на органы слуха, шум может повреждать и другие органы и ткани организма. Особенно поражение центральной нервной системы. Длительное воздействие шумной окружающей среды может привести к неврологическим нарушениям слуха, сопровождающимся раздражительностью, потерей памяти, апатией, депрессией и изменениями кожной чувствительности, особенно умственной отсталостью и нарушениями сна.

Источники шума в данном исследовании следует принять: магнитную мешалку и ультразвуковую ванну. Эти устройства вызывают звуковые

вибрации в рабочей зоне. В таблице 5.2 содержащиеся в Санитарных нормах [129].

Таблица 5.2 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в децибелах

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Работа инженера в лаборатории относится к категории работ с легкой степенью напряжённости и с легкой физической нагрузкой. Для рабочих мест таких работников предельно допустимый уровень шума составляет 80 дБА.

В целях обеспечения безопасности работы в лаборатории следует контролировать одновременное включение нескольких устройств для уменьшения источников шума, а также использование звукоизоляционных кожухов, средств индивидуальной защиты - шумоподавляющих наушников и т. д.

5.2.3. Анализ недостаточного освещения в рабочей зоне.

Недостаточное освещение снижает зрительную работоспособность и, следовательно, концентрацию внимания, а кроме того, может привести к таким последствиям, как развитие офтальмоонкологических заболеваний, перегрузке центральной нервной системы, негативному влиянию на психоэмоциональное состояние работающих. Помимо естественного освещения, обеспечиваемого окнами, лаборатория оборудована системой искусственного освещения.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 [136] и СП 52.13330.2016 [137] норма освещенности для научно-технических лабораторий для естественного бокового освещения $KEO=1,2 \%$, для совмещенного освещения $KEO=2,1 \%$. Для искусственного освещения при общем освещении норма 300-500 лк, при коэффициенте пульсации не более 10 %.

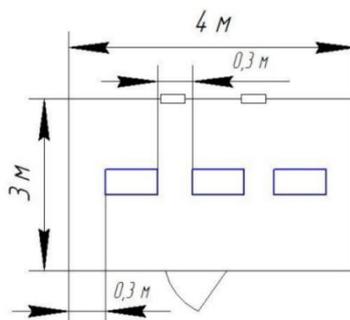


Рисунок 5.1 – План размещения светильников

Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен, соответственно, равны 70, 50 и 10%. Уровень от рабочей поверхности (H) до потолка составляет:

$$H = h - h_p - h_c = 3 - 0.80 - 0 = 2.20 \text{ м} \quad (5.1)$$

где h – высота потолков, м; h_p – высота рабочей поверхности, м; h_c – расстояние светильников от перекрытия, м.

Для освещения используются светильники типа ОД мощностью 40 Вт, для которых оптимальность расположения светильников составляет $\lambda = 1,4$. Расчетная длина между двумя рядами светильников: $L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08 \text{ м}$.

Число рядов светильников: $n = B/L = 3/3,08 = 0,97$, где B – ширина помещения, м.

Выбираем $n = 1$ ряд светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{12}{1 \cdot (4 + 3)} = 1.7 \quad (5.2)$$

Коэффициент использования светового потока $\eta = 43 \%$. Световой поток лампы ЛБ составляет $F_0 = 2480$ лм. Тогда световой поток светильника ОД, состоящего из двух ламп $F = 4960$ лм.

Необходимое число светильников в ряду: $\frac{6210 \text{ лм}}{4265,6 \text{ лм}} \approx 3$

Далее рассчитывается фактическое освещение в помещении. Число светильников в ряду 3 (число ламп 2): $\Phi = 2850 \cdot 3 \cdot 2 = 17100$ лм.

Фактическое освещение в помещении $\Phi = 17100$ лм для одного ряда светильников, т. е. для трех светильников с двумя лампами. Рассчитывается фактическое значение освещения в помещении по формуле: .

$$E_{\text{факт}} = \frac{N \cdot \eta \cdot \phi}{S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100\%} = \frac{4960 \cdot 3 \cdot 43\%}{12 \cdot 1.5 \cdot 1.15 \cdot 100\%} = 309 \text{ лк}$$

Согласно расчетам, фактическое значение освещения укладывается в диапазон освещенности искусственным светом 300-500 Лк: $E_{\text{факт}} = 309$ Лк.

5.3. Экологическая безопасность

Благодаря своим малым размерам НЧ могут проникать практически в любую среду, даже в живые организмы. Попадая в окружающую среду из разных источников, НЧ способны проникать во все области нашего мира. Схема миграции НЧ представляет собой взаимное движение НЧ между средами обитания (воздух, гидросфера и литосфера) и в направлении различных биологических объектов (человек и наземные обитатели, флора и фауна водных систем, почвы и отложения).

Эксперименты по изучению свойств НЧ в водном растворе включали приготовление порошков НЧ цинка.

При использовании метода проволочного электровзрыва для получения НЧ это может сопровождаться вскрытием контейнера и выходом газа в атмосферу, а сточные воды от очистки прибора сбрасываются в гидросферу. Во избежание этого необходимо устанавливать специальные

фильтры очистки воздуха по ГОСТ Р51251-99 [138]. Используйте фильтры грубой очистки (5–10 мкм) и фильтры тонкой очистки (0,3–5 мкм).

Используемые в лаборатории реагенты и нанопорошки не превышают предельно допустимую концентрацию в воздухе. Пары, присутствующие при исследовании, не превышали ПДК [139].

В данном исследовании использовались различные емкости для жидкости, которые могут иметь остатки взвеси на стенках. При очистке инструментов вредные вещества могут попадать в почву и воду через водопроводную систему. Для очистки воды от вредных веществ применяют такие методы, как экстракция, ректификация, адсорбция, обратный осмос, ультрафильтрация и др. Большое количество вредных веществ в воде опасно для человека, животных и растений. Количество сточных вод, поступающих в воду за исследуемый период, не превышало ПДК [140].

Отходы, образующиеся после проведения эксперимента, следует утилизировать в специально отведенных контейнерах или мешках. Когда НЧ попадают в канализацию, они могут оказывать токсическое воздействие на микроорганизмы, пресноводные организмы и млекопитающих, которые являются важными звеньями цепи жизни. Поэтому законодательство требует соблюдения правил утилизации опасных твердых отходов. Для контроля предельно допустимой концентрации НЧ, поступающих в литосферу, существует нормативный документ ГН 2.1.7.2014-06 [141].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации – это те ситуации, которые нарушают безопасность жизни.

Основные причины возникновения аварийных ситуаций делятся на внешние причины - стихийные бедствия, электроснабжение, водоснабжение, неожиданное прекращение подачи технических изделий и др.; и внутренние - сложность технологии, недостаточная квалификация персонала,

конструктивные недостатки, физический и моральный износ оборудования. , низкая трудовая и технологическая дисциплина и др.

В лаборатории наиболее вероятны аварийные ситуации, вызванные деятельностью человека. При возникновении аварийной ситуации в лаборатории должен быть обеспечен следующий комплекс мероприятий: 1) необходимость эвакуации персонала или размещения персонала в защитных сооружениях; 2) обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты; 3) организация лечения пострадавших. жертвы.

5.4.1 Анализ пожарной безопасности

Самая частая аварийная ситуация в лаборатории – это пожар. По степени пожарной опасности лабораторное помещение относится к классу П-2, так как в нем предусмотрены выбросы пыли и волокон во взвешенные вещества [142]. Существует несколько причин возгорания: (1) курение в помещении; (2) использование открытого огня; (3) перегрузка по току; (4) искрение и так далее.

Во избежание пожаров в лаборатории необходимо обеспечить правильную тепловую и электрическую работу оборудования. Все сотрудники лаборатории должны пройти инструктаж по пожарной безопасности. Лаборатория оснащена противопожарным оборудованием и первичными средствами пожаротушения, средствами индивидуальной защиты, источником воды, отвечающим требованиям пожарной безопасности.

5.5 Выводы по разделу

В результате работы в разделе «Социальная ответственность» выявлены вредные и опасные факторы при работе в лаборатории и предложены соответствующие меры по улучшению.

Необходимо соблюдать основные правила техники безопасности, которые изучаются в основном инструктаже по охране труда в лаборатории.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должен превышать допустимый предел.

При реализации данной НИР на производстве следует учитывать, что сброс отходов безвреден для окружающей среды, а ПДК вредных веществ в воздухе в процессе производства не превышает норматива.

Поэтому в данном разделе обсуждаются потенциально вредные и опасные факторы, которые могут воздействовать на человека и окружающую среду при изучении свойств наночастиц в солевых растворах в различных условиях. Эти факторы учитываются и минимизируются при проведении лабораторных работ по темам ВКР.

6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Лю Я. Особенности агрегации наночастиц в водных растворах // Сборник докладов II Международной научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов», 26-28 апреля 2022 г. –Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – С. 721-725.
2. Лю Я. Особенности агрегации наночастиц в водных растворах // Сборник трудов XIX Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов», 18-21 октября 2022 г. – Москва: Изд-во ИМЕТ РАН, 2022. – С. 161-163.
3. Лю Я., Годымчук А.Ю. Влияние состава среды на осаждение наночастиц Zn // Сборник материалов Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии», 21-23 марта 2023 г. – Минск: Изд-во БГТУ, 2023. – С. 44-47.
4. Лю Я., Годымчук А.Ю. Поведение наночастиц цинка в водных суспензиях: влияние электролитов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов: сборник докладов III Международной научно-практической конференции, Томск, 26-28 апреля 2023 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – в печати.

7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. International Standards Organization (ISO). Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects // Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. – 2008. – P.1-7.
2. Shi X., Nguyen T.A., Suo Z., Liu Y., Avci R. Effect of nanoparticles on the anticorrosion and mechanical properties of epoxy coating // Surface and Coatings Technology. – 2009. – Vol.204(3). – P.237-245.
3. Paramita P., Ramachandran M., Narashiman S., Nagarajan S., Sukumar D.K., Chung T.W., Ambigapathi M. Sol-gel based synthesis and biological properties of zinc integrated nano bioglass ceramics for bone tissue regeneration // Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2021. – Vol.32. – P.1-11.
4. Hameed S., Iqbal J., Ali M., Khalil A.T., Abbasi B.A., Numan M., Shinwari Z.K. Green synthesis of zinc nanoparticles through plant extracts: establishing a novel era in cancer theranostics // Materials Research Express. – 2019. – Vol.6(10) – P.102005.
5. Mahmood R. M. Effect of zinc nanoparticles on water pollution treatment // British Journal of Global Ecology and Sustainable Development. – 2022. – Vol.11 – P.134-149.
6. Ahmed R., Uddin M. K., Quddus M.A., Samad M. Y.A., Hossain M. M., Haque A.N.A. Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. – 2023. – Vol.9(2) – P.162.
7. Maynard A. D., Aitken R. J. Safe handling of nanotechnology // Nature Nanotechnology. – 2016. – Vol.11(12) – P.998.
8. Vimercati L., Cavone1 D., Caputi A., Marial L.D., Tria M., Prato E., Ferri G.M. Nanoparticles: an experimental study of zinc nanoparticles toxicity on marine crustaceans. general overview on the health implications in humans // Nanoparticles Toxicity and Health Implications. – 2020. – Vol.8. – P.1-19.

9. Sarker I., Moore L. R., Tetu S. G. Investigating zinc toxicity responses in marine *Prochlorococcus* and *Synechococcus* // *Microbiology Society Microbiology Society*. – 2021. – Vol.167. – P.1-11.
10. Santhi R., Shanthi C., Sathya M., Pushpanathan K. Optical properties and antibacterial activity of CdO:Zn nanoparticles // *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. – 2016. – Vol.605. – P.249-258.
11. Lead J. R., Wilkinson K. J. Aquatic colloids and nanoparticles: current knowledge and future trends // *Environmental Chemistry*. – 2006. – Vol.3(3). – P.159-171.
12. Sun H., Jiao R., An G., Xu H., Wang D. Influence of particle size on the aggregation behavior of nanoparticles: Role of structural hydration layer // *Journal of Environmental Sciences*. – 2021. – Vol.103. – P.33-42.
13. Hotze E.M., Phenrat T., Lowry G.V. Nanoparticle aggregation: challenges to understanding transport and reactivity in the environment. // *Journal of environmental quality*. – 2010. – Vol.39(6). – P.1909-1924.
14. Zhu J., Xu P., Zhao E., Zhang X., Li X., Li J. The impacts of net charge on the water dispersity of nanoparticles // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – Vol.346. – P.1-6.
15. Khan R., Inam, M. A., Zam S. Z., Park D. R., Yeom I. T. Assessment of key environmental factors influencing the sedimentation and aggregation behavior of zinc oxide nanoparticles in aquatic environment // *Water*. – 2018. Vol.10(660). – P.1-18.
16. Юдникова А.А., Годымчук А.Ю. Изменение коллоидных свойств наночастиц ZnO в водных растворах гуминовых кислот // *Вестник Томского государственного университета. Химия*. – 2021. – № 24. – С.19-26.
17. Peng Y.-H., Tsai Y.-C., Hsiung C.-E., Lin Y.-H., Shih Y.-H. Influence of water chemistry on the environmental behaviors of commercial ZnO nanoparticles in

- various water and waste water samples // *Journal of Hazardous Materials*. – 2017. – Vol.322. – P.348-356.
18. Peng Y.H., Tso C.-P., Tsai Y.-C., Zhuang C.-M., Shih Y.-H. The effect of electrolytes on the aggregation kinetics of three different ZnO nanoparticles in water // *Science of the Total Environment*. – 2015. – Vol.530-531. – P.183-190.
19. Михайлов М. Д. Химические методы получения наночастиц и наноматериалов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 259 с.
20. Ghanta S.R., Rao M.H., Muralidharan K. Single-pot synthesis of zinc nanoparticles, borane (BH₃) and closo-dodecaborate (B₁₂H₁₂)(²⁻) using LiBH₄ under mild conditions // *The Royal Society of Chemistry*. – 2013. – Vol.42(23). – P.8420-8425.
21. Яворовский Н.А. Электрический взрыв проводников – метод получения ультрадисперсных порошков: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Томск, 1982. – 24 с.
22. Давыдович В. И. Разработка технологического процесса и оборудования для электровзрывного получения порошков металлов с низкой электропроводностью: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Томск, 1987. – 24 с.
23. Gromov A.A., Förster-Barth U., Teipel U. Aluminum nanopowders produced by electrical explosion of wires and passivated by non-inert coatings: Characterisation and reactivity with air and water // *Powder Technology*. – 2006. – Vol.164. – P.111–115.
24. Сайт ООО «Передовые порошковые технологии», Россия. Режим доступа: <http://www.nanosized-powders.com>.
25. Kotov Y. A. Electric explosion of wires as a method for preparation of nanopowders // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2003. – Vol.5. – P.539-550.
26. Simchi A., Ahmadi R., Reihani S. S., Mahdavi A. Kinetics and mechanisms of nanoparticle formation and growth in vapor phase condensation process // *Materials & design*. – 2007. – Vol.28(3). – P.850-856.

27. Simchi A., Ahmadi R., Reihani S. S., Mahdavi A. Kinetics and mechanisms of nanoparticle formation and growth in vapor phase condensation process // *Materials & design*. – 2007. – Vol.28(3). – P.850-856.
28. Uhm Y. R., Han B. S., Lee M. K., Hong S. J., Rhee C. K. Synthesis and characterization of nanoparticles of ZnO by levitational gas condensation // *Materials Science and Engineering: A*. – 2007. – Vol.449. – P. 813-816.
29. Moghimi Z. A., Halali M., Nusheh M. An investigation on the temperature and stability behavior in the levitation melting of nickel // *Metallurgical and Materials Transactions B*. – 2006. – Vol.37(6). – P.997-1005.
30. El-Kaddah N., Szekely J. The electromagnetic force field, fluid flow field, and temperature profiles in levitated metal droplets // *Metallurgical Transactions B*. – 1983. – Vol.14(3). – P.401-410.
31. Hectors D., Van Reusel K., Driesen J. Experimental validation of electromagnetic-thermal coupled modelling of levitation melting // *Przeglad Elektrotechniczny*. – 2008. – Vol.84(11). – P.140-143.
32. Kermanpur A. Bulk synthesis of monodisperse Fe nanoparticles by electromagnetic levitational gas condensation method // *Materials Letters*. – 2009. – Vol.63(5). – P.575-577.
33. Ingelbrecht C., Peetermans F. Alloy preparation by levitation melting // *Nuclear Instruments and Methods in Physics*. – 1993. – Vol.334(1). – P. 116-121.
34. Rudnick R. L., Fountain D. M. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective // *Reviews of geophysics*. – 1995. – Vol.33(3). – P.267-309.
35. Prasad A. S. Zinc deficiency: has been known of for 40 years but ignored by global health organisations // *British Medical Journal*. – 2003. – Vol.326(7386). – P.409-410.
36. Proniewicz E., Tąta A., Wójcik A., Starowicz M., Pacek J., Molenda M. SERS activity and spectroscopic properties of Zn and ZnO nanostructures obtained by electrochemical and green chemistry methods for applications in biology and

- medicine // Physical chemistry chemical physics. – 2020. – Vol.22(48). – P.28100-28114.
37. Shi X., Nguyen T.A., Suo Z., Liu Y., Avci R. Effect of nanoparticles on the anticorrosion and mechanical properties of epoxy coating // Surface and Coatings Technology. – 2009. – Vol.204(3). – P.237-245.
38. Fisher I.A., Woo H.C., Bell A.T. Effects of zirconia promotion on the activity of Cu/SiO₂ for methanol synthesis from CO/H₂ and CO₂/H₂ // Catalysis letters. – 1997. – Vol.44(1). – P.11-17.
39. Zabilskiy M., Sushkevich V.L., Palagin D., Newton M.A., Krumeich F., Bokhoven J.A. The unique interplay between copper and zinc during catalytic carbon dioxide hydrogenation to methanol // Nature communications. – 2020. – Vol.11(1). – P.1-8.
40. Mostoni S., Milana P., Credico B.D., D'Arienzo M., Scotti R. Zinc-based curing activators: new trends for reducing zinc content in rubber vulcanization process // Catalysts. – 2019. – Vol.9(8). – P.664.
41. Sahoo S., Maiti M., Ganguly A., Jacob George J., Bhowmick A.K. Effect of zinc oxide nanoparticles as cure activator on the properties of natural rubber and nitrile rubber // Journal of applied polymer science. – 2007. – Vol.105(4). – P.2407-2415.
42. Kumar A., Singh K., Verma P., Singh O., Panwar A., Singh T., Kumar Y. Raliya R., Effect of nitrogen and zinc nanofertilizer with the organic farming practices on cereal and oil seed crops // Scientific reports. – 2022. – Vol.12(6938). – P.1-7.
43. Dapkekar A., Deshpande P., Oak M.D., Paknikar K.M., Rajwade J.M. Zinc use efficiency is enhanced in wheat through nanofertilization // Scientific Reports. – 2018. – Vol.8(1). – P.1-7.
44. Phan T.N., Buckner T., Sheng J., Baldeck J.D., Marquis R.E. Physiologic actions of zinc related to inhibition of acid and alkali production by oral

- streptococci in suspensions and biofilms // Oral Microbiology and Immunology. – 2004. – Vol.19(1). – P.31-38.
- 45.Neščáková Z., Zheng K., Liverani L., Nawaz Q., Galusková D., Kaňková H., Michálek M., Galusek D. Boccaccini A.R. Multifunctional zinc ion doped sol-gel derived mesoporous bioactive glass nanoparticles for biomedical applications // Bioactive Materials. – 2019. – Vol.4. – P.312-321
- 46.Громаков Н.С. Дисперсные системы и их свойства. Учебное пособие. – Казань: Изд-во КГАСУ. – 2015. – 91 с.
- 47.Zak A.K., Razali R., Majid W.A., Darroudi M. Synthesis and characterization of a narrow size distribution of zinc oxide nanoparticles // International journal of nanomedicine. – 2011. P.1399-1403.
- 48.Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М: Химия, 1989. – 465с.
- 49.Handy R. D., von der Kammer F., Lead J. R., Hasselov M., Owen R., Crane M. The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles // Ecotoxicology. – 2008. – Vol.17. – P.287-314.
- 50.Годымчук А.Ю., Савельев Г.Г., Зыкова А.П. Экология наноматериалов. – Учебное пособие, Москва: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012 – 272 с.
- 51.Sigma. A., Pack. L.P., Nagel. M. Анализаторы размеров частиц серии Photocor. – Руководство пользователя, 2020. – .124.с.
- 52.Кухтин Б.А. Чернова О.Б. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. Учебное пособие по коллоидной химии– Владимир : Изд-во ВлГУ. – 2021. – 153 с.
- 53.Godymchuk A., Papina I., Karepina E., Kuznetsov D. Behavior of ZnO nanoparticles in glycine solution: pH and size effect on aggregation and adsorption // Colloid and interface science communications. – 2020. – Vol.39. – P.100318.

54. Godymchuk A., Karepina E., Yunda E., Lyamina G., Kosova N., Kuznetsov D. Stability study of ZnO nanoparticles in aqueous solutions of carboxylate anions // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2015. – Vol.17. – P.123.
55. Kim K.M., Kim T.H., Kim H.M., Kim H.J., Gwak G.H., Paek S.M. Oh J.M. Colloidal behaviors of ZnO nanoparticles in various aqueous media // *Toxicology and Environmental Health Sciences*. – 2012. – Vol.4. – P.121-131.
56. Kim K.M., Kim T.H., Kim H.M., Kim H.J., Gwak G.H., Paek S.M. Oh J.M. Colloidal behaviors of ZnO nanoparticles in various aqueous media // *Toxicology and Environmental Health Sciences*. – 2012. – Vol.4. – P.121-131.
57. Peng Y.H., Tsai Y.C., Hsiung C.E., Lin Y.H. Shih Y.H. Influence of water chemistry on the environmental behaviors of commercial ZnO nanoparticles in various water and wastewater samples // *Journal of hazardous materials*. – 2017. – Vol.322. – P.348-356.
58. Yunda E., Godymchuk A.Y., Kosova N., Kuznetsov D.V., Senatova S. Surface Acid-Base Characteristics and their Contribution to Aggregative Stability of Nanoparticles // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol.872. – P.263 - 270.
59. Юнда Е.Н. Годымчук А.Ю., Влияние условий приготовления суспензий на электроповерхностные свойства наночастиц // *In Ресурсоэффективным технологиям-энергию и энтузиазм молодых: Сборник научных трудов V Всероссийской конференции студентов элитного технического образования, г. Томск*. – 2014. – P.90-92.
60. Liu W., Sun W., Borthwick A.G., Ni J. Comparison on aggregation and sedimentation of titanium dioxide, titanate nanotubes and titanate nanotubes-TiO₂: Influence of pH, ionic strength and natural organic matter // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2013. – Vol.434. – P.319-328.

- 61.Khan M.S., Jabeen F., Qureshi N.A., Shakeel M., Noureen A. Toxicity of zinc nanoparticles in fish: a critical review // *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. – 2015. – Vol.7(1). – P.431-439.
- 62.Nel A.E., Xia T., Mädler L., Li N. Toxic Potential of Materials at the Nanolevel // *Science*. – 2006. – Vol.311(5761). – P.622-627.
- 63.Velzeboer I., Quik J.T., Meent D., Koelmans A.A. Rapid settling of nanoparticles due to heteroaggregation with suspended sediment // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 2014. – Vol.33. – №.8. – P.1766-1773.
- 64.Ramirez L., Ramseier G.S., Zimmermann S., Stoll S. Behavior of TiO₂ and CeO₂ nanoparticles and polystyrene nanoplastics in bottled mineral, drinking and Lake Geneva waters. Impact of water hardness and natural organic matter on nanoparticle surface properties and aggregation // *Water*. – 2019. – Vol.11 (4). – P.721.
- 65.Hadioui M., Merdzan V., Wilkinson K.J. Detection and characterization of ZnO nanoparticles in surface and waste waters using single particle ICPMS // *Environmental Science and Technology*. – 2015. – Vol.49 (10). – P.6141-6148.
- 66.Li P., Su M., Wang X., Zou X., Sun X., Shi J., Zhang H. Environmental fate and behavior of silver nanoparticles in natural estuarine systems // *Journal of Environmental Sciences*. – 2020. – Vol.88. – P.248-259.
- 67.Peng Y.-H., Tsai Y.-C., Hsiung C.-E., Lin Y.-H., Shih Y.-H. Influence of water chemistry on the environmental behaviors of commercial ZnO nanoparticles in various water and waste water samples // *Journal of Hazardous Materials*. – 2017. – Vol.322. – P.348-356
- 68.Peng Y.H., Tso C.-P., Tsai Y.-C., Zhuang C.-M., Shih Y.-H. The effect of electrolytes on the aggregation kinetics of three different ZnO nanoparticles in water // *Science of the Total Environment*. – 2015. – Vol.530-531. – P.183-190
- 69.Han Y., Kim D., Hwang G., Lee B., Eom I., Kim P.J., Tong M., Kim H. Aggregation and dissolution of ZnO nanoparticles synthesized by different

- methods: Influence of ionic strength and humic acid // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2014. – Vol.451. – P.7-15.
- 70.Liu J., Louie S.M., Pham C., Dai C., Liang D. Hu Y. Aggregation of ferrihydrite nanoparticles: Effects of pH, electrolytes, and organics // *Environmental research*. – 2019. – Vol.172. – P.552-560.
- 71.Liu F., Zhang C., Zhao T., Zu Y., Wu X., Li B., Xing X., Niu J., Chen X. Qin C. Effects of phosphate on the dispersion stability and coagulation/flocculation/sedimentation removal efficiency of anatase nanoparticles // *Chemosphere*. – 2019. – Vol.224. – P.580-587.
- 72.Khan R., Inam M.A., Zam S.Z., Park D.R., Yeom I.T. Assessment of key environmental factors influencing the sedimentation and aggregation behavior of zinc oxide nanoparticles in aquatic environment // *Water*. – 2018. – Vol.10(5). – P.660.
- 73.Sikder M., Wang J., Poulin B.A., Tfaily M.M., Baalousha M. Nanoparticle size and natural organic matter composition determine aggregation behavior of polyvinylpyrrolidone coated platinum nanoparticles // *Environmental Science: Nano*. – 2020. – Vol.7(11). – P.3318-3332.
- 74.Ding G., Zhang N., Wang C., Li X., Zhang J., Li W., Li R. Yang Z. Effect of the size on the aggregation and sedimentation of graphene oxide in seawaters with different salinities // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2018. – Vol.20. – P.1-10.
- 75.Pettibone J. M., Cwiertny D.M., Scherer M., Grassian V.H. Adsorption of organic acids on TiO₂ nanoparticles: effects of pH, nanoparticle size, and nanoparticle aggregation // *Langmuir*. – 2008. – Vol.24(13). – P.6659-6667.
- 76.Bian S.W., Mudunkotuwa I.A., Rupasinghe T., Grassian V.H. Aggregation and dissolution of 4 nm ZnO nanoparticles in aqueous environments: influence of pH, ionic strength, size, and adsorption of humic acid // *Langmuir*. – 2011. – Vol.27(10). – P.6059-6068.

77. Peng C., Shen C., Zheng S., Yang W., Hu H., Liu J., Shi J. Трансформация наночастиц CuO в водной среде: влияние pH, электролитов и природного органического вещества // Наноматериалы.- 2017.- Vol.7(10). – P.326.
78. French R.A., Jacobson A.R., Kim B., Isley S.L., Penn R.L., Vaveye P.C. Влияние ионной силы, pH и валентности катионов на кинетику агрегации наночастиц диоксида титана // Наука и техника окружающей среды. - 2009.- Vol.43(5). – P.1354-1359.
79. Qiu Y., Mu Z., Wang N., Wang X., Xu M., Li, H. The aggregation and sedimentation of two different sized copper oxide nanoparticles in soil solutions: Dependence on pH and dissolved organic matter // Science of the Total Environment. - 2020.- Vol.731. – P.139-215.
80. Vikesland P.J., Rebodos R.L., Bottero J.Y., Rose J., Masion A. Aggregation and sedimentation of magnetite nanoparticle clusters. Environmental Science: Nano. – 2016. – Vol.3(3). – P.567-577.
81. Cho E.C., Zhang Q., Xia Y. The effect of sedimentation and diffusion on cellular uptake of gold nanoparticles // Nature nanotechnology. – 2011. – Vol.6(6). – P.385-391.
82. Thio B.J.R., Zhou D., Keller A.A. Influence of natural organic matter on the aggregation and deposition of titanium dioxide nanoparticles // Journal of hazardous materials. – 2011. – Vol.189(1-2). – P.556-563.
83. Schärftl W. Light scattering from polymer solutions and nanoparticle dispersionsю – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 102 p.
84. 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 наносuspensions и наноэмульсиях. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 33 с.
85. Сайт компании ООО «Фотокор». Динамическое рассеяние света. Теория. Электронный ресурс: <https://www.photocor.ru/theory/dynamic-light-scattering>.

86. Provencher S.W. A general purpose constrained regularization program for inverting noisy linear algebraic and integral equations // *Computer Physics Communications*. – 2002. – Vol.27(3). – P. 229-240.
87. Chibowski E., Holysz L., Terpilowski K. Influence of ionic surfactants and lecithin on stability of titanium dioxide in aqueous electrolyte solution // *Croatica Chemica Acta*. – 2007 – P.395-403.
88. Chibowski E., Holysz L., Terpilowski K. Influence of ionic surfactants and lecithin on stability of titanium dioxide in aqueous electrolyte solution // *Croatica Chemica Acta*. – 2007.
89. Tantra R., Schulze P., Quincey P. Effect of nanoparticle concentration on zeta-potential measurement results and reproducibility // *Particuology*. – 2010. – Vol.8. – P.279-285.
90. Tantra R., Schulze P., Quincey P. Effect of nanoparticle concentration on zeta-potential measurement results and reproducibility // *Particuology*. – 2010. – Vol.8. – P.279-285.
91. Рязанова А.С. Фотометрические методы анализа. Методические указания к лабораторным работам для студентов, магистров, аспирантов ФГБОУ ВО «КНИТУ». – Казань: Издательство КНИТУ, 2020. – 23 с.
92. Короткова Е.И., Гиндуллина Т.М., Дубова Н.М., Воронова О.А. Физико-химические методы исследования и анализа: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 168 с.
93. Giorgi F., Macko P., Curran J.M., Whelan M.P., Worth A.P., Patterson E.A. Sedimentation-diffusion behaviour of nanoparticles // *Research Square*. – 2020. – P.1-25
94. Alexandrov A., Tsykhanovska I., Gontar T., Kokodiy N. Research of sedimentation stability of lipid-magnetite suspensions by the method of spectrophotometry // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol.3. – P.4-11.

95. Medvedeva I. V., Uimin M. A., Yermakov A. Y., Mysik A. A., Byzov I. V., Nabokova T., Gaviko V. S., Shchegoleva N. N., Zhakov S., Tsurin V. A., Linnikov O. D., Rodina I. V., Platonov V. V., Osipov V. S.. Sedimentation of Fe₃O₄ nanosized magnetic particles in water solution enhanced in a gradient magnetic field // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2012. – Vol.14(740). – P.1-11.
96. Khan R., Inam, M. A., Zam S. Z., Park D. R., Yeom I. T.. Assessment of key environmental factors influencing the sedimentation and aggregation behavior of zinc oxide nanoparticles in aquatic environment // *Water*. – 2018. Vol.10(660). – P.1-18.
97. Сайт ООО «Передовые порошковые технологии». Электронный ресурс: <http://www.nanosized-powders.com>
98. Godymchuk A.Y., Yunda E.N., Kuznetsov D.V., Gusev A.A., Kosova N.I. Characterization of electroexplosive zinc nanopowders in aqueous suspensions. *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol.1085. – P.54-62
99. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М.М. Введение в физику поверхности. – Москва: Наука, 2006. – 490 с.
100. Электронный ресурс: Сайт ImageJ для скачивания: <https://imagej.nih.gov/ij>
101. Лю Я. Особенности агрегации наночастиц в водных растворах // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов: сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Томск, 26-28 апреля 2022 г. – Томский политехнический университет, 2022. – С. 721-725.
102. Qiu Y., Mu Z., Wang N., Wang X., Xu M., Li H. The aggregation and sedimentation of two different sized copper oxide nanoparticles in soil solutions: Dependence on pH and dissolved organic matter // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol.731. – P.139215.

103. Hsiung C.E., Lien H.L., Galliano A.E., Yeh C.S., Shih, Y.H. Effects of water chemistry on the destabilization and sedimentation of commercial TiO₂ nanoparticles: Role of double-layer compression and charge neutralization // *Chemosphere*. – 2016. – Vol. 151. – P.145-151.
104. Zhao T., Fang M., Tang Z., Zhao X., Wu F., Giesy J.P. Adsorption, aggregation and sedimentation of titanium dioxide nanoparticles and nanotubes in the presence of different sources of humic acids // *Science of The Total Environment*. – 2019. – Vol.692. – P.660-668.
105. Godymchuk A., Karepina E., Yunda E., Lyamina G., Kosova N., Kuznetsov D. Stability study of ZnO nanoparticles in aqueous solutions of carboxylate anions // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2015. – Vol.17. – P.123.
106. Godymchuk A., Papina I., Kuznetsov D., Karepina E. Behavior of ZnO nanoparticles in glycine solution: pH and size effect on aggregation and adsorption // *Colloids and Interface Science Communications*. – 2020. – Vol.39. – P.1-9.
107. Phenrat T., Saleh N., Sirk K., Tilton R.D., Lowry G.V. Aggregation and sedimentation of aqueous nanoscale zerovalent iron dispersions // *Environmental Science and Technology*. – 2007. – Vol.41(1). – P. 284-290.
108. Qiu Y., Mu Z., Wang N., Wang X., Xu M., Li H. The aggregation and sedimentation of two different sized copper oxide nanoparticles in soil solutions: Dependence on pH and dissolved organic matter // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol.731. – P.139215.
109. Zheng X., Li Y., Chen D., Zheng A., Que, Q. Study on analysis and sedimentation of alumina nanoparticles // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2019. – Vol.16(3). – P.510
110. Peng Y.-H., Tsai Y.-C., Hsiung C.-E., Lin Y.-H., Shih Y.-H. Influence of water chemistry on the environmental behaviors of commercial ZnO nanoparticles in various water and waste water samples // *Journal of Hazardous Materials*. – 2017. – Vol.322. – P.348-356.

111. Zhao D., Chen C., Wang Y., Ji H., Ma W., Zang L., Zhao J. Surface modification of TiO₂ by phosphate: effect on photocatalytic activity and mechanism implication // The Journal of Physical Chemistry C. – 2008. – Vol.112(15). – P.5993-6001.
112. Mohd O.F., Abdul A.H., Stoll S. Aggregation and disaggregation of ZnO nanoparticles: influence of pH and adsorption of Suwannee River humic acid // The Science of the total environment. – 2014. – Vol.468-469. – P.195-201.
113. Peng Y.H., Tso C.-P., Tsai Y.-C., Zhuang C.-M., Shih Y.-H. The effect of electrolytes on the aggregation kinetics of three different ZnO nanoparticles in water // Science of the Total Environment. – 2015. – Vol.530-531. – P.183-190
114. Khan R., Inam, M. A., Zam S. Z., Park D. R., Yeom I. T. Assessment of key environmental factors influencing the sedimentation and aggregation behavior of zinc oxide nanoparticles in aquatic environment // Water. – 2018. Vol.10(660). – P.1-18.
115. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений // Методы менеджмента качества. – 2003. –№1.- С.22-27.
116. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.
117. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
118. Гусельников М.Э. Методические указания по разработке раздела «Производственная и экологическая безопасность» выпускной квалификационной работы для студентов всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 42 с.
119. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).
120. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).

121. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.09.03.2021).
122. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
123. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
124. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017)
125. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
126. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
127. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
128. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. Классификация
129. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
130. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
131. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
132. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
133. ГОСТ 12.4.021-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы вентиляционные
134. ГОСТ Р 59123-2020 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Общие требования и классификация
135. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015)

136. СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
137. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N 1)
138. ГОСТ Р 51251-99. Фильтры очистки воздуха. Классификация. Маркировка.
139. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосфере городской и сельской жилой застройки
140. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в водных объектах питьевого и хозяйственно-бытового водопользования (утв. 30.04.2003 г.), а утверждены 13.07.2017 в редакции).
141. ГОСТ 12.4.009-83. ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Седиментационные кривые и коэффициент R^2

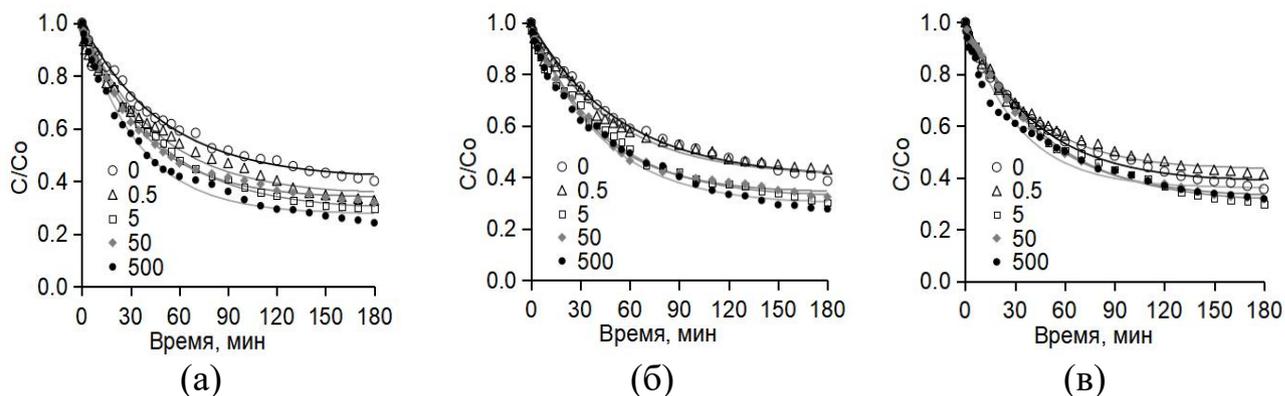


Рисунок П1.1. Седиментационные кривые суспензий НЧ Zn в растворах NaCl с разной ионной силой (мМ): при pH=6 (а), pH=7 (б) и pH=8 (в).

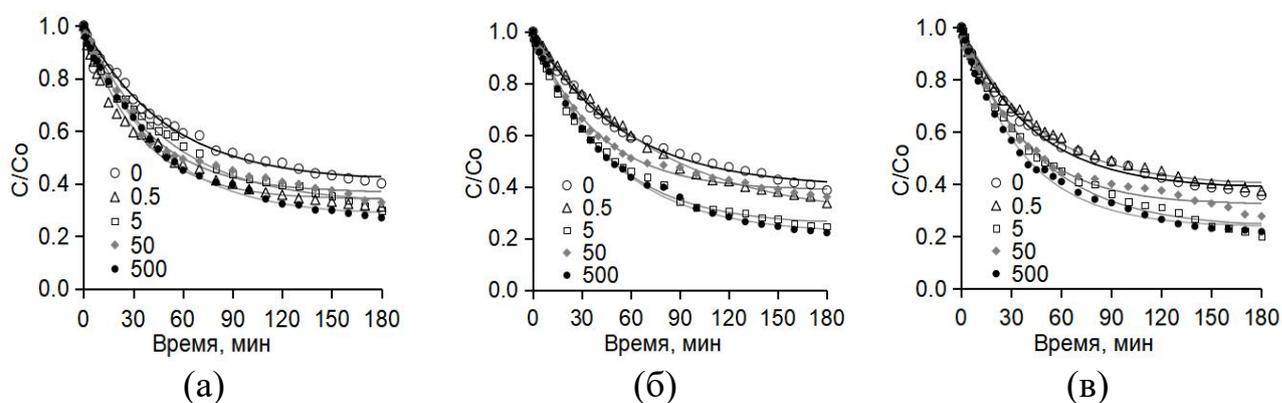


Рисунок П1.2. Седиментационные кривые суспензий НЧ Zn в растворах Na_2SO_4 с разной ионной силой (мМ): при pH=6 (а), pH=7 (б) и pH=8 (в).

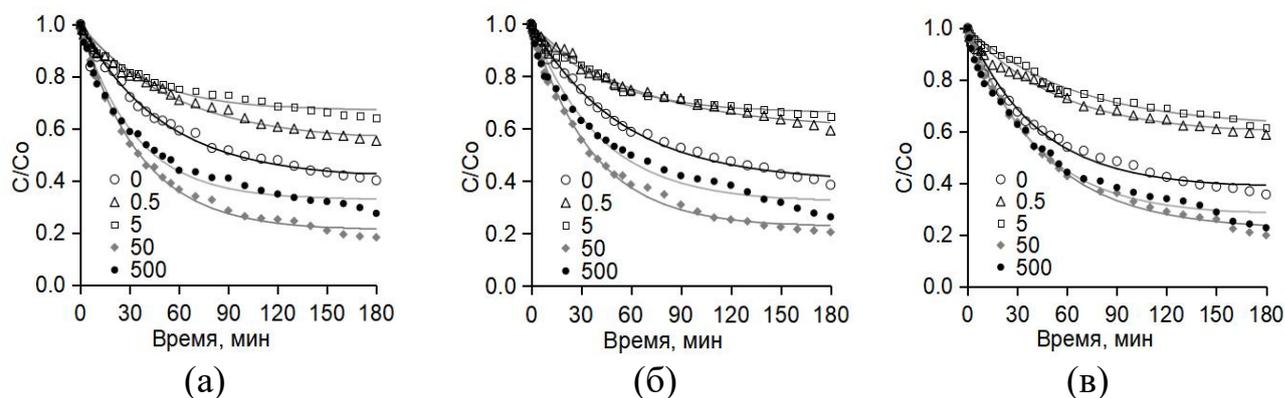


Рисунок П1.3. Седиментационные кривые суспензий НЧ Zn в растворах NaH_2PO_4 с разной ионной силой (мМ): при pH=6 (а), pH=7 (б) и pH=8 (в).

Таблица П1.1. Коэффициент детерминации R^2 для седиментационных кривых.

Среда	pH	Ионная сила, мМ				
		0	0.5	5	50	500
NaCl	6	0.9874	0.9754	0.9964	0.9977	0.9928
	7	0.9896	0.9679	0.9662	0.9909	0.9682
	8	0.9899	0.9885	0.9918	0.9965	0.9470
Na ₂ SO ₄	6	0.9874	0.9732	0.9656	0.9884	0.9921
	7	0.9896	0.9961	0.9938	0.9967	0.9979
	8	0.9899	0.9746	0.9933	0.9925	0.9938
NaH ₂ PO ₄	6	0.9874	0.9598	0.9387	0.9959	0.9827
	7	0.9896	0.9709	0.9337	0.9927	0.9606
	8	0.9899	0.9280	0.9611	0.9927	0.9718