

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

**Школа** Инженерная школа новых производственных технологий  
**Направление подготовки** 22.04.01. Материаловедение и технологии материалов  
**Отделение школы** Отделение материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Седиментационная и агрегативная устойчивость наночастиц оксида железа в водных растворах гуминовых кислот</b>

УДК 661.87'02:544.7:547.992.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ02	Чжао Чжэнчуань		

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
Профессор отделения социально-гуманитарных наук	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения общетехнических дисциплин	Антоневич О.А.	к.б.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Хасанов О.Л.	д.т.н.		

Томск – 2022 г.

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

**Школа** Инженерная школа новых производственных технологий

**Направление подготовки** 22.04.01. Материаловедение и технологии материалов

**Отделение школы** Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ О.Л. Хасанов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г.

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ02	Чжао Чжэнчуань

Тема работы:

<b>Седиментационная и агрегативная устойчивость наночастиц оксида железа в водных растворах гуминовых кислот</b>	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-33/с/от 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2022 г.
--	---------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	1) Литературные источники: базы данных <a href="http://www.sciencedirect.com">www.sciencedirect.com</a> , <a href="http://pubs.rsc.org">pubs.rsc.org</a> , <a href="http://beilstein-journals.org">beilstein-journals.org</a> . 2) Оборудование и лабораторный инвентарь НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета и кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС». 3) Объекты исследования: наночастицы Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .
---------------------------------	---

	4) Требования к результатам: зависимости, отражающие влияние размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на коллоидные свойства наночастиц Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в водной суспензии.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) провести литературный обзор по синтезу, применению и свойствам наночастиц в окружающей среде; 2) провести дисперсионный и фазовый анализ наночастиц с помощью электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и метода низкотемпературной адсорбции азота; 3) показать влияние размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на дисперсионные и электрокинетические свойства наночастиц в водных суспензиях с помощью метода динамического рассеяния света; 4) показать влияние размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на седиментационные свойства наночастиц в водных суспензиях с помощью спектрофотометрии.
<b>Перечень графического материала</b>	Микрофотографии наночастиц Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , кривые распределения частиц по размерам, графики изменения $\xi$ -потенциала наночастиц, графики влияния размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на коллоидные свойства наночастиц Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в водной суспензии.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.
Социальная ответственность	Антоневич О.А.
Раздел ВКР на английском языке	Демьяненко Н. В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>Разделы на русском языке:</b> Литературный обзор; экспериментальная часть; результаты и их обсуждение; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность	
<b>Раздел на иностранном языке:</b> Литературный обзор; экспериментальная часть	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	02.02.2022 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
4БМ02	Чжао Чжэнчуань		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ02	Чжао Чжэнчуань

Школа	ИШНПТ	Отделение	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Работа с информацией, представленной в российских и зарубежных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
---	--

**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	1. Проведение сегментации рынка, выполнение анализа конкурентных технических решений, выполнение SWOT-анализа, определение альтернатив выполнения НИ 2. Расчет бюджета научного исследования 3. Оценка сравнительной эффективности вариантов исследования, выбор оптимального варианта
--	--

**Перечень графического материала**

1. Карта сегментации рынка
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-график проведения НИОКР по теме
4. Таблицы

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>13.04.2022 г.</b>
---	----------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Профессор отделения социально-гуманитарных наук	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ02	Чжао Чжэнчуань		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ02	Чжао Чжэнчуань

Школа	ИШНПТ	Отделение	Отделение материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

<b>Седиментационная и агрегативная устойчивость наночастиц оксида железа в водных растворах гуминовых кислот</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b> - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. - Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования:</i> наночастицы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <i>Область применения:</i> «мокрые» методы диагностики наночастиц <i>Рабочая зона:</i> лаборатория <i>Размеры помещения:</i> 3*4м <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> аналитические весы ALC-110d4, спектрофотометр PD-303, ультразвуковая ванна ODA-LQ40, ПЭВМ, вытяжной вентилятор; <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> взвешивание, ультразвуковое перемешивание, спектрофотометрический анализ, статистическая обработка данных</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022). ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности; ГОСТ Р 56748.1-2015 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения; ГОСТ Р 50923-96 Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;</p>
<p><b>2. Производственная безопасность</b></p>	<p>1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Превышение уровня шума. 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.</p>

<p>- анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов - расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p>4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 5. связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем ультразвуковых колебаний. <b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения.</p>	
<p><b>3. Экологическая безопасность</b></p>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> аэрозоли наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и реагентов. <b>Воздействие на литосферу:</b> осаждение наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на близлежащей территории. <b>Воздействие на гидросферу:</b> сброс суспензий и реагентов в канализацию, в сточные воды. <b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы из вентиляционных систем, содержащие низкие концентрации аэрозолей наночастиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и реагентов.</p>	
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b></p>	<p>Возможные ЧС: пожар; разлив концентрированных веществ; случайное высвобождение нано порошка и превышение ПДК; Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>	
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>		<p>12.03.2022</p>

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент отделения общетехнических дисциплин</p>	<p>Антоневич О.А.</p>	<p>к.б.н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4БМ02</p>	<p>Чжао Чжэнчуань</p>		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
 Уровень образования магистр  
 Отделение школы Отделение материаловедения  
 Период выполнения весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2022 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела	Максимальный балл раздела
30.03.2022	1. Литературный обзор	20
30.04.2022	2. Экспериментальная часть	20
30.05.2022	3. Обсуждение результатов и оформление работы	30
18.05.2022	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	10
26.05.2022	5. Социальная ответственность	10
25.05.2022	6. Обязательное приложение на иностранном языке	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Хасанов О.Л.	д.т.н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

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



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 101 с., 19 рис., 24 табл., 125 источник, 1 прил.

**Ключевые слова:** наночастицы оксида железа, агрегация, гуминовые кислоты, динамическое рассеяние света, седиментация.

**Объектами исследования** являются наночастицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Целью выпускной квалификационной работы** является показать влияние размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на коллоидные свойства наночастиц оксида железа в водных суспензиях.

**В работе проведено** исследование влияния концентрации ( $10^{-12}$ ... $10^{-2}$  мг/л) гуминовой кислоты, размера и формы наночастиц на коллоидные свойства (распределение частиц по размерам, дзета-потенциал и скорость седиментации) наночастиц оксида железа с номинальным размером 18, 38 и 80 нм в водных суспензиях с применением методов просвечивающей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, спектрофотометрии и динамического рассеяния света.

**Результаты исследования** показали, что в присутствии гуминовых кислот частицы образуют стабильные дисперсные системы в течение двух недель, а влияние гуминовых кислот на дисперсионные и электрокинетические свойства заметно только при концентрации  $> 10^{-6}$  мг/л. Отмечено, что агрегация частиц усиливается при увеличении концентрации гуминовых кислот в диапазоне ( $10^{-6}$ ... $10^{-2}$  мг/л), уменьшения размеров частиц (18...80 нм) и усложнениях их формы.

**Область применения:** данные, полученные в результате исследования, могут быть использованы для изучения влияния концентрации гуминовых кислот на коллоидные свойства водных суспензий наночастиц оксида железа.

**Экономическая значимость работы:** стабильность водной суспензии наночастиц оксида железа была наилучшей, когда концентрация гуминовой кислоты составляла  $10^{-6}$  мг/л.

### **Используемые в работе сокращения:**

НЧ – наночастицы;

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-18 – наночастицы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> со номинальным размером 18 нм;

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-38 – наночастицы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> со номинальным размером 38 нм;

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-80 – наночастицы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> со номинальным размером 80 нм;

ГК – гуминовая кислота;

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия;

ДРС – динамическое рассеяние света;

РФА – рентгенофазовый анализ;

d<sub>ср</sub> – средний размер агрегатов в суспензии;

ξ-потенциал – дзета потенциал;

ДЭС – двойной электрический слой;

БЭТ – Брунауэра-Эммета-Теллера;

T – коэффициент светопропускания;

A – адсорбция.

## Содержание

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	<b>9</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>14</b>
<b>1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР</b> .....	<b>15</b>
1.1 Наночастицы.....	15
1.1.1 <i>Определение и виды наночастиц</i> .....	15
1.1.2 <i>Получение наночастиц оксида железа</i> .....	15
1.1.3 <i>Применение наночастиц оксида железа</i> .....	17
1.1.4 <i>Экотоксичность наночастиц оксида железа</i> .....	18
1.2. Дисперсные системы .....	18
1.2.1 <i>Определение и виды дисперсных систем</i> .....	18
1.2.2 <i>Агрегация и седиментация дисперсных систем</i> .....	20
1.2.3 <i>Агрегация и седиментация наночастиц в поверхностных водах</i> .....	21
1.3 Метод определения свойства суспензии .....	23
1.4. Постановка задач исследования .....	25
<b>2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ</b> .....	<b>27</b>
2.1. Объекты исследования .....	27
2.2. Исследование состава и свойств наночастиц.....	27
2.2.1 <i>Рентгенофазовый анализ</i> .....	27
2.2.1 <i>Электронная микроскопия</i> .....	28
2.2.2 <i>Метод низкотемпературной адсорбции азота</i> .....	28
2.3. Исследование коллоидных свойств суспензий.....	29
2.3.1 <i>Приготовление растворов и суспензий</i> .....	29
2.3.2 <i>Исследование седиментационных свойств</i> .....	30
2.3.3 <i>Исследование дисперсионных и электрокинетических свойств</i>	30
<b>3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ</b> .....	<b>32</b>

3.1. Состав и морфология исследуемых наночастиц .....	32
3.2. Дисперсионные и электрокинетические свойства суспензий .....	34
3.2.1. Кинетика агрегации наночастиц.....	34
3.2.2. Влияние концентрации гуминовых кислот .....	36
3.2.3. Влияние размера и формы наночастиц.....	37
3.3. Седиментационные свойства суспензий .....	39
3.3.1. Влияние концентрации гуминовых кислот .....	39
3.3.2. Влияние размера и формы наночастиц.....	41
3.4. Выводы.....	42
<b>4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....</b>	<b>44</b>
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения .....	44
4.1.1. Анализ конкурентных технических решений.....	44
4.1.2 SWOT-анализ .....	46
4.2. Планирование научно-исследовательских работ .....	49
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	49
4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования.....	50
4.2.3. Бюджет научно-технического исследования.....	54
4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	60
4.4. Выводы.....	62
<b>5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>64</b>
5.1. Введение .....	64

5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	65
5.3. Производственная безопасность .....	67
5.3.1 Расчет освещенности помещения НИР .....	70
5.4. Экологическая безопасность .....	72
<b>Меры защиты атмосферы осуществляются в рамках требований .....</b>	<b>73</b>
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	75
5.6. Выводы.....	76
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>78</b>
<b>СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ .....</b>	<b>91</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>92</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Благодаря растущему применению [1] и производству наночастицы оксида железа будут попадать в поверхностные воды при определенных условиях оказывать токсичное действие на гидробионты [2, 3] и гидрофиты [4]. В литературе имеются противоречивые данные о влиянии размера наночастиц на их экотоксичность, согласно которым для одних наночастиц при уменьшении размера токсичность усиливается [5], в то время как для других токсичность будет ослабевать [6].

В гидросфере коллоидные свойства (размер и заряд) частиц зависят как от свойств самих частиц (размер [7], форма [8], концентрация, состав [9]), так и от свойств окружающей среды (природа и концентрация органических веществ [10], электролитов [11] и кислотность [12]). Не смотря на накопленный экспериментальный задел, для прогнозирования токсичности наночастиц данных об их коллоидном поведении в поверхностных водах крайне недостаточно.

Целью выпускной квалификационной работы являлось показать влияние размера наночастиц и концентрации гуминовых кислот на коллоидные свойства наночастиц оксида железа в водных суспензиях.

# 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Наночастицы

### *1.1.1 Определение и виды наночастиц*

Наночастицы (НЧ) – это частицы, которые имеют размер, который условно ограничивается величиной менее 100 нм в любом направлении [13,14].

Существует множество стандартов классификации наночастиц, вот несколько общих классификаций. Например, НЧ делят по происхождению на НЧ естественного (сажа [15]) или НЧ искусственного происхождения (фуллерены, [16]).

По размеру НЧ классифицируют на кластеры (1...10 нм) и собственно НЧ (10...100 нм). Также встречаются более крупные – ультрадисперсные частицы (100...1000 нм) [17].

В настоящее время производят НЧ разной формы, например шаровидные ( $\text{SiO}_2$  [18]), игольчатые (Ni [19]), трубчатые (углеродные нанотрубки [20]), кубовидные (Fe [21]) и др.

По составу различают углеродные (углеродная нанотрубки [22], фуллерены, графен [23]), металлические (Ag [24]), полимерные наночастицы [25].

В настоящее время синтезируют НЧ оксида железа разного состава, включая гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [26], маггемит ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [27], магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) [28] и гетит ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) [29].

### *1.1.2. Получение наночастиц оксида железа*

Наиболее распространенные методы синтеза НЧ оксида железа включают совместное осаждение, термическое разложение и гидротермальный синтез.

При реализации метода соосаждения происходит кристаллизация фазы в растворе с прекурсором. Размер и форма НЧ и их физические и химические свойства зависят от типа используемой соли (хлориды, сульфаты, нитраты, перхлораты и т.д.), соотношения ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , температуры, pH, ионной силы среды и других параметров реакции (например, скорость перемешивания,

скорость добавления основного раствора) [30]. НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  не стабильны и легко окисляются до  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  или растворяются в кислой среде. Во избежание возможного окисления на воздухе синтез НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  необходимо проводить в анаэробных условиях. Исходя из этого, НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  можно использовать для получения НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  путем окисления или отжига в атмосфере кислорода.

В работе [31] сообщается о синтезе монодисперсных НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (диаметр 8,5 нм) методом соосаждения без ПАВ. Реакция протекала в водном растворе с молярным соотношением  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} = 0,5$  и  $\text{pH}=11\dots12$ , и при необходимости с последующим окислением аэрацией до образования  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .

НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (39 нм) были синтезированы соосаждением при  $70^\circ\text{C}$  из ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  раствором  $\text{N}(\text{CH}_3)_4\text{OH}$  с последующей обработкой при  $250^\circ\text{C}$ . НЧ магнетита до гидротермальной стадии имеют средний размер 12 нм и сильно окисляются при контакте с воздухом [32].

Часто для синтеза НЧ оксида железа используют разложение в фазе органического раствора, например,  $\text{Fe}(\text{N-нитрозофенилгидроксиламина})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{ацетилацетоната})_3$  или  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  с последующим окислением и получением высококачественных монодисперсных НЧ  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , что обычно требует относительно более высоких температур и сложной операции. Разложение  $\text{Fe}(\text{ацетилацетоната})_3$  при  $265^\circ\text{C}$  в фениловом эфире в присутствии спирта, олеиновой кислоты, и олеиламина применяли для синтеза монодисперсных НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером 4-16 нм [33]. Используя меньшие НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (30 нм) в качестве затравки, можно синтезировать более крупные монодисперсные НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  диаметром до 20 нм и диспергировать их в неполярном растворителе с помощью метода роста, опосредованного затравкой. Процесс не требует процедуры выбора размера и легко масштабируется для массового производства. Синтезированные сборки наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  могут быть легко преобразованы в НЧ  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  путем отжига при  $250^\circ\text{C}$  в кислороде в течение 2 часов.

Гидротермальный синтез включает различные мокро-химические технологии кристаллизации вещества в герметичной емкости из высокотемпературного водного раствора ( $130\dots250^\circ\text{C}$ ) при высоком давлении



паров (0,3...4 МПа). Этот метод также использовался для выращивания монокристаллических частиц без дислокаций, и зерна, образующиеся в этом процессе, могут иметь лучшую кристалличность, чем зерна, полученные в других процессах, поэтому гидротермальный синтез склонен к получению высококристаллических НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Гидротермальная обработка является одним из успешных способов выращивания кристаллов НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Кроме того, гидротермальный синтез позволяет получать необычные наноструктуры оксида железа, такие как нанокубы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (15 нм [34]), полые сферы оксида железа (16-22 нм [35]) и др.

### *1.1.3. Применение наночастиц оксида железа*

Наночастицы оксида железа имеют большой потенциал в современных медицинских приложениях в качестве контрастных веществ для магнитно-резонансной томографии и терапевтических средств для лечения рака [36, 37]. НЧ  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  полезны для записи и хранения данных из-за его химической и физической стабильности [38]. Другие применения включают зонды ядерного магнитного резонанса для разведки нефти [39].

Недавно магнитные НЧ были преобразованы в чувствительные суперпарамагнитные агенты, из которых приготовили сенсоры, предназначенные для обнаружения молекулярных взаимодействий в биологических средах [40].

Еще одним важным применением наночастиц оксида железа является разделение белков или клеток *in vitro*, и методы магнитной сепарации имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными процедурами разделения. Процесс настолько прост, что все этапы очистки могут быть выполнены в одной пробирке, что устраняет необходимость в дорогостоящей системе жидкостной хроматографии [41].

Кроме того, наночастицы оксида железа также могут быть использованы для защиты окружающей среды в связи с их высокой адсорбционной способностью по отношению к маслам [42] и тяжелым металлам [43]. Полимерные

покрытия с нанесенными НЧ оксида железа могли поглощать масло в три раза больше своего собственного веса [44].

#### ***1.1.4. Экоотоксичность наночастиц оксида железа***

НЧ оксида железа широко используются во всех сферах жизни, но при использовании этих наночастиц наночастицы попадают в экологическую среду, а НЧ оксида железа токсичны, особенно после попадания в экологическую среду. Показывает экотоксичность для некоторых водных животных, растений, и т. д.

Согласно исследованиям [45], НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (30 нм) при концентрации  $\geq 10$  мг/л подавляют развитие у эмбрионов рыбок данио, приводя к гибели, задержке вылупления и уродству. НЧ и субмикронные частицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (22 и 280 нм) могут вызывать воспаление и опосредовать окисление в легких крыс при разных концентрациях [46], а НЧ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  50 нм) вызывают легкий фиброз в легких крыс [47].

В тоже время показано, что НЧ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (7 нм) малотоксичны для огурца и салата [48].

Исследование наночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (50 нм) [49] показало, что НЧ ингибируют рост водорослей и обнаруживают значительную токсичность, когда дафния подвергалась воздействию концентраций  $> 100$  мг/л Fe.

## **1.2. Дисперсные системы**

### ***1.2.1 Определение и виды дисперсных систем***

Дисперсные системы – гетерогенные системы из двух или большего числа фаз с сильно развитой поверхностью раздела между ними. Одна из фаз образует непрерывную дисперсионную среду, в которой распределена дисперсная фаза в виде мелких кристаллов, твердых аморфных частиц, капель или пузырьков [50].

Наиболее общая классификация дисперсных систем основана на различии в агрегатном состоянии дисперсионной среды и дисперсной фазы. Сочетания трёх

видов агрегатного состояния позволяют выделить восемь видов двухфазных дисперсных систем (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Классификация дисперсных систем [51]

Обозначение Фаза/среда	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Название и пример
Г/Г	Газообразная	Газообразная	не образуется
Ж/Г	Жидкая	Газообразная	Аэрозоли: туманы, облака
Т/Г	Твёрдая	Газообразная	Аэрозоли (пыли, дымы), порошки
Г/Ж	Газообразная	Жидкая	Газовые эмульсии и пены
Ж/Ж	Жидкая	Жидкая	Эмульсии: нефть, крем, молоко
Т/Ж	Твёрдая	Жидкая	Суспензии и золи: пульпа, ил, взвесь, паста
Г/Т	Газообразная	Твёрдая	Пористые тела: поролон, пемза
Ж/Т	Жидкая	Твёрдая	Капиллярные системы: жидкость в пористых телах, грунт, почва
Т/Т	Твёрдая	Твёрдая	Твёрдые гетерогенные системы: сплавы, бетон, ситаллы

По кинетическим свойствам дисперсные системы можно разделить на два класса: свободнодисперсные, в которых дисперсная фаза подвижна, связнодисперсные системы – системы с твердой дисперсионной средой, в которой частицы дисперсной фазы связаны и не могут перемещаться [51].

Также системы классифицируют по степени дисперсности. Для свободнодисперсных и связнодисперсных систем классификации по дисперсности имеют существенные отличия.

По степени раздробленности (дисперсности) свободнодисперсные системы можно разделить на три класса: ультрамикроретерогенные (коллоидные) системы (размер частиц от 1 до 100 нм), микроретерогенные системы (от 0,1 до 10 мкм), грубодисперсные системы ( $>10^{-3}$  см) [52].

По степени раздробленности (дисперсности) связнодисперсные системы можно разделить на три класса: микропористые системы (размер пор до 2 нм); мезопористые системы (от 2 до 200 нм) и макропористые системы (> 200 нм).

### *1.2.2. Агрегация и седиментация дисперсных систем*

Агрегация (коагуляция, агломерация) представляет собой образование скоплений частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде в результате дестабилизации коллоидных систем [53]. Во время этого процесса частицы, диспергированные в жидкой фазе, прилипают друг к другу и самопроизвольно образуют нерегулярные скопления частиц, хлопья или агломераты. Агрегация частиц может быть вызвана добавлением солей или других химических веществ, называемых коагулянтом [54].

Агрегационное состояние дисперсных систем традиционно оценивают через изменение размерных и электрокинетических характеристик частиц. В качестве размерных свойств определяют распределение частиц по размерам [55], а заряд частиц оценивают по величине дзета-потенциала ( $\xi$ -потенциала) или электрофоретической подвижности частиц [56]

Седиментация – процесс оседания либо всплытия коллоидных частиц в золе. Однако седиментации всегда противодействует другой процесс, ведущий к равномерному распределению коллоидных частиц по всему объему раствора – диффузия, осуществляемая под действием броуновского движения частиц [57].

Характер седиментации [ 58 ] определяется характеристиками частиц, такими как размер, взаимодействие между частицами, плотность частиц, которая в основном зависит от гранулярных, физико-химических или гидродинамических условий, или весовой концентрации [ 59 ]. Однако в диапазоне микронных размеров характер поверхности раздела твердое

тело/жидкость играет важную роль в модификации распределения частиц по размерам из-за таких общих явлений, как дисперсия, агломерация, агрегация или даже растворение. Таким образом, изменения полярности жидкой среды могут включать в себя изменение потенциальной поверхности, что, в свою очередь, может влиять на распределение частиц по размерам и поведение седиментации.

### ***1.2.3. Агрегация и седиментация наночастиц в поверхностных водах***

Свойства самих наночастиц сильно влияют на стабильность суспензии, такие как размер и форма частиц. Помимо влияния самих наночастиц, на агрегацию и седиментацию суспензии влияют и внешние факторы, такие как pH, гуминовая кислота, ионная сила и др. Таблица 1.2 о влиянии размера наночастиц и концентрации гуминовых кислот на агрегацию и седиментацию взвесей составлена на основе анализа исследований других авторов. В таблице 1.2 перечислены состав и размер наночастиц, а также то, как воздействующие факторы влияют на агрегацию и седиментацию суспензии.

Таблица 1.2. Влияние размера НЧ и концентрации ГК на агрегацию и седиментацию

Наночастицы	Фактор влияния	Механизм	Источник
TiO <sub>2</sub> (50нм)	Концентрация ГК 0...60 мг/л	НЧ были более стабильны при увеличении концентрации ГК, стабильны при концентрациях 20 и 50 мг/л	[60]
TiO <sub>2</sub> (10нм)	Концентрация ГК 0...250 мг/л	Увеличение концентрации ГК замедляло скорость агрегации и седиментации НЧ TiO <sub>2</sub>	[61]
TiO <sub>2</sub> (20нм)	Концентрация ГК 0...10 мг/л	Увеличение концентрации ГК значительно уменьшало размер агрегатов НЧ	[62]
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20нм)	Концентрация ГК 0...100 мг/л	Наличие ГК замедляет агрегацию НЧ	[63]
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20нм)	Концентрация ГК 10...100 мг/л	Повышенная концентрация ГК увеличивает стабильность НЧ	[64]
NaOH-магнетит (5нм) ТМАОН-магнетит (4нм)	Размер НЧ	ТМАОН-магнетит осаждается быстрее, чем NaOH-магнетит	[65]
CuO (80, 50нм)	Размер НЧ	Более крупные НЧ оседают без агрегации, в то время как более мелкие НЧ сначала агрегируют, а затем ускоряют седиментацию.	[66]
Pt (20, 95нм)	Размер НЧ	Чем меньше размер НЧ, тем больше размер агрегата НЧ.	[67]
TiO <sub>2</sub> (5, 32нм)	Размер НЧ	Чем меньше размер первичных НЧ, тем больше степень агрегации, и НЧ меньшего размера имеют несколько большую скорость осаждения.	[68]
ZnO (4нм)	Концентрация ГК 20...100 мг/л	Повышенная концентрация ГК улучшает стабильность суспензии.	[69]

### 1.3 Метод определения свойства суспензии

Динамическое рассеяние света, также известное как фотонно-корреляционная спектроскопия или квазиупругое светорассеяние, представляет собой метод определения физических характеристик, используемый для измерения распределения частиц по размерам в растворах или суспензиях, а также сложного поведения жидкости.

Дисперсные НЧ рассеивают падающий свет пропорционально шестой степени своего радиуса [70]. Когда частицы имеют размер  $< 1/10$  длины волны падающего света ( $\lambda$ ), рассеянный свет переносит ту же энергию (упругое рассеяние) к падающему свету и не зависит от угла (рэлеевское рассеяние) [71]. Однако, когда размер частиц превышает этот порог  $\lambda/10$ , тогда рэлеевское рассеяние заменяется анизотропным рассеянием Ми, где рассеянный свет не равен по энергии (неупругое рассеяние) падающему свету и зависит от угла (рис.1.1) [72], где рассеянный свет наиболее интенсивен в направлении падающего света [73].

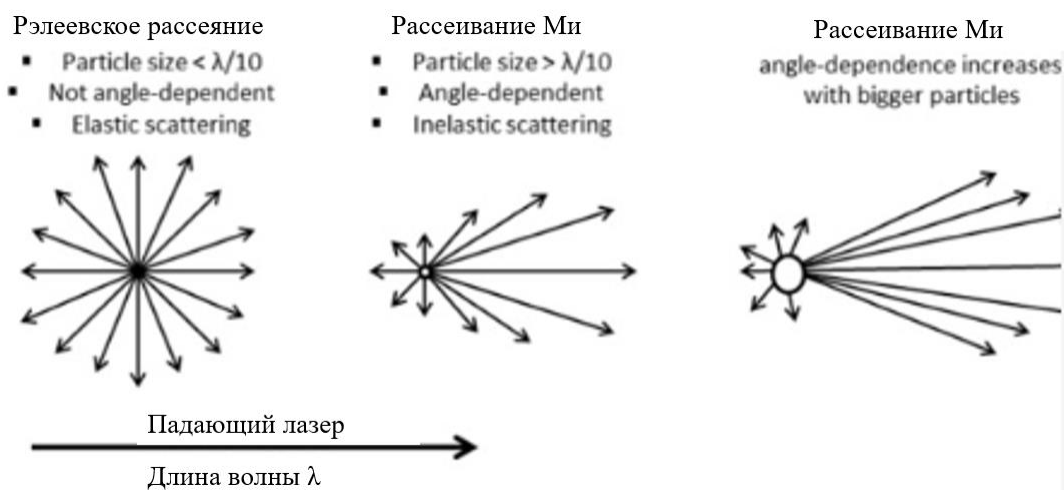


Рисунок 1.1. Схема, показывающая различия между рассеянием Рэля и рассеянием Ми [74].

$\xi$ -потенциал также называется электрокинетическим потенциалом и представляет собой потенциал в плоскости скольжения/сдвига коллоидной частицы, движущейся под действием электрического поля [75].  $\xi$ -потенциал отражает разность потенциалов между адсорбционным или двойным электрическим слоем [76] электрофоретически подвижных частиц и окружающим их слоем диспергатора на плоскости скольжения. Внутренний слой двойного электрического слоя (рис.1.2) состоит преимущественно из ионов/молекул с зарядом, противоположным заряду частицы (слой Штерна). За пределами слоя Штерна электростатические эффекты из-за поверхностного заряда на частицах уменьшаются в соответствии с законом Дебая, который гласит, что с расстоянием каждой длины Дебая поле уменьшается в  $\frac{1}{e}$  раз [77].

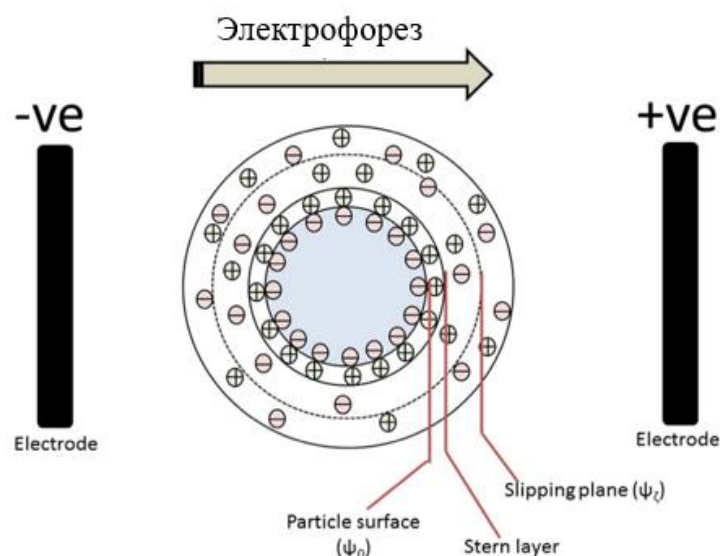


Рисунок 1.2. Схема, изображающая ДЭС на отрицательно заряженной частице [78].

Непосредственно поверх поверхности частиц находится прочно прилипший слой (слой Штерна), состоящий из ионов противоположного заряда, т.е. в данном случае положительных ионов. За слоем Штерна развивается диффузный слой,



состоящий как из отрицательных, так и из положительных зарядов. Во время электрофореза частица с адсорбированным слоем движется к электродам (в данном случае к положительному электроду), при этом плоскость скольжения становится границей между подвижными частицами и диспергатором.  $\xi$ -потенциал представляет собой электрокинетический потенциал на этой плоскости скольжения.

#### **1.4. Постановка задач исследования**

Литературный обзор показал, что НЧ оксида железа очень востребованы для биомедицинских приложений и защиты окружающей среды, а их методы синтеза позволяют получать самые разные частицы с контролируемым составом и размером. Попадание в окружающую среду может быть губительно для экологии при определенных условиях.

Также обзор показал, что после попадания в поверхностные воды их поведение зависит от размера, концентрации НЧ и от наличия концентрации гуминовых кислот. Видно, что токсичность наночастиц сильно связана с их коллоидными свойствами, и экспериментальных данных о поведении наночастиц крайне недостаточно.

Целью выпускной квалификационной работы являлось показать влияние размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на коллоидные свойства наночастиц оксида железа в водных суспензиях.

Для достижения цели поставлены следующие экспериментальные задачи:

- 1) провести дисперсионный и фазовый анализ наночастиц с помощью электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и метода низкотемпературной адсорбции азота;

- 2) показать влияние размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на дисперсионные и электрокинетические свойства наночастиц в водных суспензиях с помощью метода динамического рассеяния света;
- 3) показать влияние размера и формы наночастиц и концентрации гуминовых кислот на седиментационные свойства наночастиц в водных суспензиях с помощью спектрофотометрии.

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения**

#### ***4.1.1. Анализ конкурентных технических решений***

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

1) Национальный институт охраны труда и здоровья. Отдел Токсикология и молекулярная биология. Директор-Джон Говард, доктор Медицинская наука. Вашингтон, Америка [86].

2) Институт экологической медицины. Молекулярная ориентация токсикологии. Ответственное лицо - профессор Бенгт Фадил. Стокгольм, Швеция [87].

В таблице 4.1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1. – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности пользователей	0,06	5	3	3	0,2	0,12	0,12
2. Энергоэффективность	0,13	5	4	2	0,65	0,52	0,26
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,09	4	1	5	0,2	0,05	0,25
4. Помехоустойчивость	0,1	5	2	3	0,4	0,16	0,24
5. Потребность в ресурсах памяти	0,07	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. Простота эксплуатации	0,08	5	2	2	0,3	0,12	0,12
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Финансирование научной разработки	0,05	4	5	3	0,12	0,15	0,09
3. Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	3	0,4	0,4	0,24
4. Наличие сертификации разработки	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	5	0,15	0,12	0,15
6. Срок выхода на рынок	0,07	5	5	5	0,15	0,15	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>4,86</b>	<b>3,62</b>	<b>3,67</b>	<b>0,34</b>	<b>0,25</b>	<b>0,23</b>

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

Разработанная технология очень конкурентоспособна. Цена на разработанный метод значительно ниже, чем у конкурентов, и сопоставима с

европейскими аналогами. При использовании этой технологии производительность пользователя может быть улучшена. Основным преимуществом данной технологии является обеспечение качества и сохранности груза на всем пути следования, скорости доставки и современных технологий транспортировки и хранения подвески.

#### **4.1.2 SWOT-анализ**

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.2. - 4.5.

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

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		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. – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 4.5. – Интерактивная матрица проекта «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><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Низкая стоимость исходного сырья</p> <p>С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции</p> <p>С3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками</p> <p>С4. Экологичность технологии</p> <p>С5. Квалифицированный персонал</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Невысокие объемы производства</p> <p>Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования</p>	
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Внедрение технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Выход на зарубежные рынки</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос</p> <p>В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство</p> <p>В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах</p> <p>В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследования выявить и предотвратить появление брака</p>

<p style="text-align: center;"><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок</p> <p>У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен</p>	<p style="text-align: center;"><b>Угрозы развития</b></p> <p>У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса</p>	<p style="text-align: center;"><b>Уязвимости:</b></p> <p>У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства</p> <p>У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака</p>
---	--	--

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. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.7.



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
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	инженер
	8	Корректировка расчетов	научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Оценка эффективности результатов	инженер
	10	Составление пояснительной записки	инженер
	11	Подготовка к защите темы	инженер

#### 4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожи}$  использована следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макс}}{5}, \quad (4.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни ;  
 $t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни ;  $t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях  $T_p$ ), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях :

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.7.

Таблица 4.8. – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление ТЗ и плана-графика	1,1		2		2,1		2,4	2,9
2. Календарное планирование ВКР	1,1	1,1	2	2	2,3	1,46	1,46	2
3. Обзор научной литературы		8		10		8,8	8,8	13
4. Выбор методов		8		10		8,8	8,8	13
5. Планирование эксперимента		21		22		21,4	21,4	32
6. Проведение эксперимента		7		12		9	9	14
7. Анализ полученных результатов НИР		3		5		3,8	3,8	6
8. Корректировка расчетов		5		8		6,2	6,2	9
9. Оценка результатов		7		10		8,2	8,2	12
10. Составление записки		7		10		8,2	8,2	12
11. Подготовка к защите темы		8		10		8,8	8,8	13
<b>Итого</b>	2,2	75,1	4	99		84,66	84,66	126

*Примечание:* Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – студент-инженер.

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

Таблица 4.9. – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1 Исп2	2,9	█	█											
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	2		█	█	█									
3	Обзор научной литературы	Исп2	13		█	█				█	█					
4	Выбор методов исследования	Исп2	13				█	█	█							
5	Планирование эксперимента	Исп2	32					█	█	█						
6	Проведение эксперимента	Исп2	14							█	█					
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	6								█	█	█	█	█	
8	Корректировка расчетов	Исп1 Исп1	9								█	█	█			█
9	Оценка эффективности результатов	Исп1 Исп2	12								█	█	█			█
10	Составление пояснительной записки	Исп2	12									█	█	█		█
11	Подготовка к защите темы	Исп2	13										█	█	█	█

Примечание: █ Исп 1 (научный руководитель), █ – Исп 2 (инженер)

### 4.2.3. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

#### **Расчет материальных затрат научно-технического исследования**

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 4.10.).

Таблица 4.10. – Затраты на получение образца нано-порошок Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./г	Итого затраты, руб.
нано-порошок Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,0г	150	750
Вода дистиллированная ГОСТ 6709-72, л	1	200	200
Гуминовая кислота	1	300	300
Маски	1	15	15
Мыло туалетное ГОСТ 28546-2002 ГОСТ 790-89	1	37	37
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			1324 руб

#### **Расчет амортизации специального оборудования**

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (таблица 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	Спектрофотометр PD-303 (Arel, Япония)	1	10	60	60
2	Лазерный анализатор SALD-7101 (Shimadzu, Япония)	1	10	500	500
3	Ультразвуковая ванна ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 55 Вт)	1	10	35	35
4	Весы ALC-110d4 Acculab, Россия, точность ±0,0001	1	10	50	50
5	Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия	1	10	45	45
6	Zetasizer Nano ZS 90 (Malvern, США)	1	10	450	450
<b>Итого:</b>					1130 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.3)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.4)$$

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

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

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1. \quad (4.5)$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Спектрофотометр:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 60000}{12} \times 4 = 20000 \text{ руб} \quad (4.6)$$

Лазерный анализатор:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 5000000}{12} \times 4 = 166666 \text{ руб.} \quad (4.7)$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 35000}{12} \times 4 = 1166 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

Весы:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 50000}{12} \times 4 = 16666 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Аквадистиллятор:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 45000}{12} \times 4 = 1500 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

Zetasizer Nano

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 4500000}{12} \times 4 = 150000 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 20000 + 166666 + 1166 + 16666 + 1500 + 150000 = 355998 \text{ руб}$$

## Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.12)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_o$  – 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.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.15)$$



– для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_\delta) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.16)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_\delta$  – 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	$k_{np}$	$k_\delta$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	9	19325,7
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	120	219630,6
Итого:								238956,3

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{бон} = K_{бон} \times Z_{осн} = 0,15 \times 19325,7 = 2898,9 \text{ руб.} \quad (4.17)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{бон}} = K_{\text{бон}} \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 219630,6 = 32944,59 \text{ руб,} \quad (4.18)$$

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

### **Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{бон}}) = 0,3 \times (19325,7 + 2898,9) = 6667,38. \quad (4.19)$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{бон}}) = 0,3 \times (219630,6 + 32944,59) = 76642,2 \quad (4.20)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### **Накладные расходы**

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Седиментационная и агрегативная устойчивость наночастиц оксида железа в водных растворах гуминовых кислот» по форме, приведенной в таблице 4.14.

Таблица 4.14. – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
355998	1324	238956,3	35843,45	82439,92	564261,67	112852,33	827369

### 4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегрального показателя ресурсоэффективности.

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

Таблица 4.15. – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

исследования Критерии	Объект	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Ремонтпригодность		0,1	3/0,3	4/0,4	5/0,5
2. Стабильность работы		0,1	3/0,3	4/0,4	4/0,4
3. Долговечность		0,15	3/0,45	3/0,45	5/0,75
4. Безопасность при использовании установки		0,20	5/1	5/1	5/1
5. Помехоустойчивость		0,15	3/0,15	4/0,6	4/0,6
6. Потребность в ресурсах памяти		0,15	4/0,6	3/0,45	4/0,6
7. Простота эксплуатации		0,15	5/0,75	4/0,6	5/0,75
ИТОГО		1	26/3,55	27/3,9	32/4,6

$$I_{p-вар1} = 3,55; I_{p-вар2} = 3,9; I_{p-вар3} = 4,6.$$

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

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I \frac{вари}{финр}}. \quad (4.21)$$

$$I_{вар1} = \frac{3,55}{1} = 3,55, I_{вар2} = \frac{3,9}{0,99} = 3,93, I_{вар3} = \frac{4,6}{0,92} = 5.$$

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

Таблица 4.16. – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,55	3,9	4,6
2	Интегральный показатель эффективности	3,55	3,93	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,91 Вар. 1/Вар. 3= 0,77	Вар. 2/Вар. 1 = 1,08 Вар. 2/Вар. 3 = 0,84	Вар. 3/Вар. 1 = 1,3 Вар. 3/Вар. 2 = 1,2

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

#### 4.4. Выводы

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НТР как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 126 дней; общее

количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 120; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 9;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 827,369 рублей;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,6, по сравнению с 3,55 и 3,9;

2) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5, по сравнению с 3,55 и 3,93, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### 5.1. Введение

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

В лаборатории ТПУ находится следующее оборудование: лазерный анализатор частиц SALD-7101, Shimadzu, Япония; рабочий стол с компьютером; магнитная мешалка MS-3000 Biosan, Латвия; ультразвуковая ванна ГРАД

28-35, Россия-30 мин, Мощность генератора, 110 Вт; 1 вытяжной шкаф; 2 шкафа для хранения лабораторной посуды; 1 шкаф для хранения химикатов; 2 рабочих стола; 1 раковина.

В ходе исследований была разработана метод ведения работ в лаборатории. Для определения массы навески 0,20 г нано-порошка Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> проводили взвешивание на аналитических весах Acculab ALC-210D4, Германия. Для определения дисперсионного состава нано-порошка Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с помощью метода лазерной дифракции готовили суспензии на основе дистиллированной воды. Затем суспензию помещали в ультразвуковую ванну на 5, 15 и 30 минут и после заливали в лазерный анализатор частиц SALD-7101, Shimadzu, Япония для получения распределения частиц по размерам. Обработка данных осуществлялась на ПЭВМ ASUS Flying Fortress 6.

## 5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовая норма трудового законодательства, а именно Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ [ 88 ], регулирует трудовую деятельность лаборантов, выполняющих научно-исследовательскую работу.

Режим рабочего времени. Начало, окончание или общая продолжительность рабочего дня определяется соглашением работников лаборатории и работодателя. Реализуется в режимах: нормированного рабочего времени (пятидневная с двумя выходными днями (ТК РФ ст. 100)) и гибкого рабочего времени (ТК РФ ст. 102).

Трудовое законодательство Российской Федерации регулирует трудовую деятельность работников лабораторий применительно к вредным и опасным условиям труда. Для предотвращения вредного и опасного воздействия химических веществ работники бесплатно обеспечиваются средствами индивидуальной защиты (ст. 221 ТК РФ).

Оплата труда работников лабораторий, работающих во вредных и (или) опасных условиях труда, повышена и устанавливается работодателем в размере не менее 4% от заработной платы (ст. 147 ТК РФ).

Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, и т.д. В лаборатории вредные условия труда 2 класса (допустимые условиями труда) согласно [89]),

Отчего: работникам предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый семидневный отпуск (ст.117 ТК РФ), работники должны проходить обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры для пригодности и предупреждения проф. заболеваний (ст.213 ТК РФ).

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 [90], в химико-аналитических лабораториях могут работать лица старше 18 лет, прошедшие медицинский осмотр. Допускается после прохождения вступительного инструктажа по соблюдению



техники безопасности. Через регулярные (два раза в год) и разовые брифинги. В студии определены ответственные за соблюдение техники безопасности, хранение материалов, обеспечение средствами индивидуальной защиты (СИЗ) и аптечками. Помещение рабочего доступа является помещением для анализа и должно быть оборудовано вытяжной вентиляцией, водопроводом, раковинами и канализацией. Стены оклеены, на полу линолеум.

Согласно ГОСТ Р 56748.1-2015 [ 91 ], выбор мер безопасности НК производится путем оценки рисков НК, в которых участвуют сами работники. Выбор мер безопасности должен основываться на точных или предполагаемых литературных данных об опасности, уровнях воздействия НЧ. В таблице 5.1 обобщен опыт использования мер безопасности НЧ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Техпроцесс с использованием НЧ оксидов железа является герметичным. Скрининг и физикальное обследование органов дыхания рабочих. Меры безопасности ингаляции НЧ и попадания на кожу: технические меры (вентиляция), СИЗ, СИЗОД.

Таблица 5.1 – Сведения об применении мер безопасности НЧ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Наноматериал	Технологический процесс	Меры безопасности	Уровень экспозиции с применением мер безопасности	Источник
Оксид железа	Золь-гель распыление	Местная вытяжная вентиляционная система	7200-12000 НЧ/см <sup>3</sup>	[92]

Согласно ГОСТ Р 50923-96 [93], элементами рабочего места оператора являются: рабочий стол, рабочее кресло, монитор, клавиатура. Рабочее место не должно нагружать опорно-двигательный аппарат.

### 5.3. Производственная безопасность

Условия труда в лабораториях и электрооборудовании могут привести к возникновению вредных и опасных для работающих факторов. Работает как в лаборатории, так и на ноутбуке (ПК) по ГОСТ 12.0.003-2015 [ 94 ], характеризующийся факторами, указанными в таблице 5.2:

Таблица 5.2 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте лаборатории

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха и (или) аэрозольным составом воздуха	[95, 96,97, 98, 99]
Связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем ультразвуковых колебания	[100]
Недостаток необходимого искусственного освещения	[101]
Химические вещества, косвенно действующие на организм работающего, обусловленные свойствами этих химических веществ воспламеняться, гореть, тлеть, взрываться и т.п.	[102]
Вещества, обладающие избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии	[103, 104]
Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов	[105]

#### Анализ опасных и вредных производственных факторов

1) Связано с чрезмерным загрязнением воздуха в зоне дыхания, то есть связано с физическим состоянием воздуха и/или аномальным аэрозольным составом воздуха. Источником этого фактора являются НЧ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, гуминовая кислота, пары азотной, серной и соляной кислот. Возможны химические ожоги горла, хроническая бронхиальная астма.

При выполнении эксперимента в лаборатории, в основном попадают в рабочую зону вредные примеси (нано-порошок  $Fe_2O_3$  и пары азотной, серной и соляной кислот). Для контроля вредных примесей, необходимо соблюдать предельно допустимые концентрации ПДК, описанные в ГОСТ 12.1.005-88 [106]. Данные по контролю ПДК попадающих вредных веществ в лаборатории описаны в таблице 5.3.

Оксид железа имеет большое применение в промышленности и поэтому создается масса лабораторий по производству данного типа нано-порошка. Каждый день при работе с нано-порошком операторы сталкиваются с прямым попаданием наночастиц в организм.

Наночастицы  $Fe_2O_3$  приводят к целому спектру ответов тканей в организме. Попадание наночастиц может привести к летальному исходу, генерации активных форм кислорода, а также к воспалительным процессам внутренних органов. Если частицы вдохнуть, при естественном процессе диффузии они могут попасть во все отделы дыхательной системы человека.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 [106]

Название вещества	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
$Fe_2O_3$	6	A*	4	Ф*
Азотная кислота	2	A	3	-
Серная кислота	1	A	2	-
Соляная кислота	5	A	2	-
A-аэрозоль				
Ф-аэрозоли. преимущественно фиброгенного действия				

2) Связанные с акустическими колебаниями в производственных условиях, характеризующиеся повышенным уровнем ультразвуковых колебаний. Источником фактора является длительная эксплуатация ультразвуковой ванны ODA-LQ40, центрифуги 5702. Заболевания рабочих: потеря слуха, головная боль. Допустимый уровень звукового давления на рабочем месте не должен превышать значения, указанного в таблице 5.4 [107].

Таблица 5.4 – Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах [107]

Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, кГц	Уровень звукового давления, дБ
12,5	80
16	80 (90)
20	100
25	105
31,5-100,0	110

В лаборатории уровни звукового давления на рабочем месте составляют: Ультразвуковая ванна ODA-LQ40 - 80 дБ (17,7 кГц) и 57..60 дБ (22 кГц) Центрифуга 5702 - <64 дБ (17,7 кГц). В лаборатории уровень звукового давления не превышает допустимого [107]. Снижают действие этого фактора, поглощая крышку бани и центрифугу.

3) Недостаток необходимого искусственного освещения. Источник фактора – люминесцентные лампы. Работник подвергается напряжению глаз. Согласно ГОСТ Р 55710-2013 (Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений) [108], нормы освещенности приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Нормы освещенности [108]

Наименование помещения	Освещенность Е <sub>экс</sub> , лк	Равномерность освещенности U <sub>0</sub>	Коэф. пульсации К <sub>п</sub> , %
Лаборатории	500	>0,60	>10
Фармацевтическое производство			

В лаборатории требования отвечают нормам [108]. Рабочий стол находится между рядами светильников ЛПО 2x36-CSVT (люминисцентные лампы, 40 Вт) и боковым оконным проемом.

4) Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов. Источник – электрооборудование. Опасность электрических ожогов, электротравмы 1, 2 степени. Снижение влияния фактора достигается изоляцией проводки и приборов, использованием сетевого фильтра с предохранителем в сеть 220 В, 50/60 Вт. Мощности составляют 3 кВт у дистиллятора ДЭ-4 и 2,6. 340 Вт у остальных приборов. Настольные приборы имеют малые величины напряжений: <36 В [109], не требующие специального заземления.

### ***5.3.1 Расчет освещенности помещения НИР***

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

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

В помещениях люминисцентные лампы типа ОД используются в качестве источников света для искусственного освещения. Лампы наружного освещения (двусторонние лампы с открытым цоколем) предназначены для помещений с хорошей отражающей способностью потолка и стен, а также допускают умеренную влажность и пыль. В соответствии с гигиеническими требованиями

на рабочем месте следует использовать естественное и искусственное освещение. Лаборант продолжал работать на ПК и улучшил зрение. В соответствии со стандартом освещения и отраслевым стандартом для внутреннего освещения при использовании с ПК, рекомендуется использовать от 300 люкс до 500 люкс для общего освещения.

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

Рекомендуемое комнатное освещение -  $E = 300$  люкс со средней разницей на темном фоне.  $q_{\text{п}} = 70$ ,  $q_{\text{с}} = 50$ ,  $q_{\text{з}} = 10$ , где  $q_{\text{п}}$  – коэффициент отражения светового потока от потолка;  $q_{\text{с}}$  – коэффициент отражения светового потока от стен.

$$H = h - h_{\text{п}} - h_{\text{с}} = 3 - 0,9 - 0,1 = 2 \text{ м}$$

где  $h_{\text{п}}$  – высота рабочей поверхности;  $h_{\text{с}}$  – расстояние светильников от перекрытия.

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

Число рядов светильников:  $n = b/L = 3/3 = 1$ , где  $b$  – ширина помещения. Выбирал  $n=1$  ряда светильников. Тогда индекс освещения:

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

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

$$\eta = \frac{q_{\text{п}} + q_{\text{с}} + q_{\text{з}}}{3} = \frac{70\% + 50\% + 10\%}{3} = 43,33\%.$$

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

Определим необходимое число светильников в ряду:

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

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

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

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

Расстояние между светильниками:

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

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

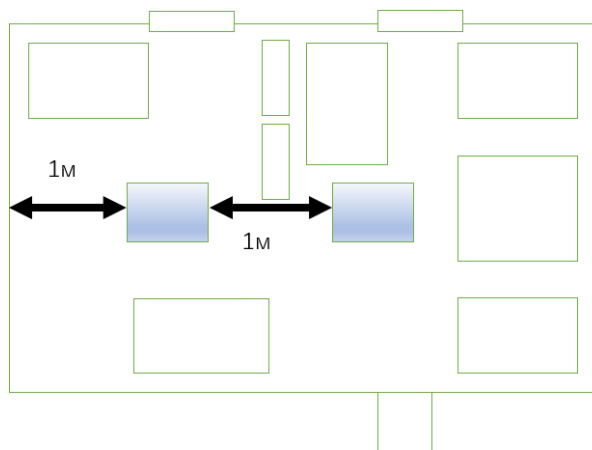


Рисунок 5.1. План размещения светильников

#### 5.4. Экологическая безопасность

Экологическая безопасность в лаборатории, причастной к химической и нанотехнологической промышленности, производит хоть и малотоннажные, но разнообразные остро токсичные отходы, требующих особых мер защиты атмо-,

гидро-, литосферы и работников. При оценке нанотоксичности требования безопасности обращаются к научной литературе.

**Воздействие на атмосферу** в проектируемом решении: выбросы из вентиляционных систем, содержащие низкие концентрации аэрозолей НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и реагентов. Источники загрязнения – реагенты (гуминовая кислота) и нанопорошки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Загрязнители – пары и взвешенные высвобожденные НЧ в рабочей зоне.

Высвобождение НЧ и паров реагентов приводит к кластеризации мобильных и устойчивых к седиментации аэрозолей. Они вызывают глобальные загрязнения [110]: кислотные дожди, отложения в водоемах, эрозию почв. Актуальны риски болезней легких работников от ингаляции веществ.

ПДК в рабочей зоны равны [111]: НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  –  $0,5 \text{ мг/м}^3$ ; гуминовая кислота –  $10 \text{ мг/м}^3$ . Нормы в атмосфере городских поселений равны [112]: НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  –  $\text{ПДК}_{\text{ср.сут.}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$ ; гуминовая кислота – ОБУВ= $1,2 \text{ мг/м}^3$ .

В лаборатории ПДК НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и реагентов не превышают норм.

**Меры защиты атмосферы осуществляются в рамках требований [113]** мероприятиями: контролем чистоты помещения, фильтрацией воздуха, только влажной уборкой помещения.

**Воздействие на гидросферу** в проектируемом решении: сброс суспензий и реагентов в канализацию, в сточные воды. Источниками загрязнения становятся химические реагенты и НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Загрязнители – суспензии и растворы в сточных водах. Химическая лаборатория – источник более разнообразных стоков в гидросферу [114]. Химические вещества изменяют свойства воды (рН, ПАВ, жёсткость), повреждают коррозией турбины очистных сооружений Томска. Отчего, во-первых, поступает вода низкого качества [114].



Во-вторых, возникает поломка дорогого оборудования водопроводных станций. НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  усугубляют эти процессы. Возникает необходимость в дополнительных методиках нейтрализации [115], ионного обмена и сорбции [116] сточной воды лаборатории.

**Воздействие на литосферу** в проектируемом решении: коагуляция и седиментация взвешенных НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на близлежащей территории. Источники – нанопорошки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Загрязнители – НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , которые прилипают к обуви и диффундируют через вентиляцию, седиментируют на территории.

Попав в почву, влияние НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  уникально от разнообразия их коллоидных свойств и реакционной активности. На близлежащей территории происходит аккумуляция НЧ в гумусе, в ингибирование всхожести растений, окислительный стресс микробиоты [117]. ПДК вредных веществ в почве регламентируется СанПиН 1.2.3685-21 [112]. Для частиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (в перерасчете на Fe) – ПДК= 28,7 мг/кг.

В лаборатории, контактирующие с НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  отходы, согласно [118], утилизируются отдельно. Проводится периодическая только влажная уборка [119].

**Воздействие на селитебную зону:** аэрозоли НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и реагентов способны преодолеть фильтры вентиляции, попасть в атмосферу, на близлежащую жилую территорию; НЧ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  проникают в альвеолярную область легких, раздражают слизистую, накапливаются в организме жителей.

Здание 15 корпуса ТПУ, в котором находится лаборатория, находится в жилой зоне (150-200 м). От чего лаборатории подразделяются на IV категорию по интенсивности гигиенического класса по выделению вредных веществ. Лаборатория расположена в общежитии университета и имеет придомовую

благоустроенную территорию, на которой запрещен выгул собак (санитарный заповедник).

### **5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация, это сочетание опасных событий или событий, которые угрожают безопасности. В лаборатории возможны чрезвычайные ситуации (ЧС): пожар; разлив конц. веществ; случайное высвобождение НЧ  $Fe_2O_3$  и превышение ПДК.

Пожар. Причины возгорания в лаборатории: реагенты (спирт,) токи короткого замыкания электрооборудования, перегрузка, неисправность ноутбука или электросети. Специфика лаборатории связана с наличием электрооборудования и ЛВЖ (этанол), от чего в помещении вероятнее возникновение пожаров категорий: А (пожары твердых горючих веществ и материалов (дерево, бумага, пластмасса)), В (пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (спирт, кислоты)), Е (пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением) [ 120 ]. Изоляция приборов должна защищать человека от поражения электрическим током [[121]].

Согласно ГОСТу 12.1.004-91 [ 122 ], в лаборатории корпуса №15 соблюдаются нормы пожарной безопасности. При ЧС срабатывает пожарная сигнализация, и оповещающая о эвакуации через два возможных выхода, согласно плану эвакуации (рис. 5.2). Предотвращение возгорания обеспечивается: сетевыми фильтрами, нанесенными на деревянные поверхности красками, наличием полиэтиленовыми клеенок, выполнением мебели из керамики.

Первичные средства пожаротушения являются: порошковый огнетушитель АВСЕ-1 Триумф, песок, пожарный кран, аптечки Мирал. При пожаре в лаборатории, работники обязаны позвонить в пожарную службу, выключить вентиляцию, включить пожарную тревогу, покинуть здание.



Рисунок 5.2 – План эвакуации при пожарах и других ЧС

## 5.6. Выводы

Таким образом, в лаборатории представленные элементы производства обладают физическими, химическими свойствами и обеспечивают их безопасность. Расчеты освещенности показывают соответствие лабораторным стандартам. Реагенты и НЧ  $Fe_2O_3$  имеют низкую экологическую безопасность, но высокотоксичны для атмосферы, горных пород и гидросферы. Гарантируется пожарная безопасность.

Лаборатория по электробезопасности характеризуется как пыльное помещение с химически активной средой [123], а персонал имеет I, II группу по электробезопасности, согласно Правилам по охране труда при эксплуатации

электроустановок (Приказ Минтруд России от 15.12.2020 г. N 903н). Тяжесть труда в лаборатории характеризуется категорией Ib (Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением, энерготраты 140-174 Вт) [112]. По взрывопожарной и пожарной опасности помещение лаборатории приписывается к категории А (повышенная взрывопожаро-опасность) [124].

А реагенты и НЧ  $Fe_2O_3$ , имеющие в данном случае значительное негативное воздействие на окружающую среду, указываются 2 категорией – умеренным негативным воздействием на окружающую среду (по обращению с отходами производства и потребления в части, касающейся отходов II класса опасности (с проектной мощностью менее 0,3 тонны в час) и отходов III класса (менее 1 тонны в час)) [125].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

- 1 Gupta A.K., Gupta M. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications // *Biomaterials*. – 2005. – Vol.26. – P.3995-4021
- 2 Baun A., Hartmann N. B., Grieger K. Ecotoxicity of engineered nanoparticles to aquatic invertebrates: a brief review and recommendations for future toxicity testing // *Ecotoxicology*. – 2008. – Vol.17. – P.387-395
- 3 Song L., Martina G.V., Willie J.G. A comparative analysis on the in vivo toxicity of copper nanoparticles in three species of freshwater fish // *Chemosphere*. – 2015. – Vol.139. – P.181-189
- 4 Ma S., Lin D. The biophysicochemical interactions at the interfaces between nanoparticles and aquatic organisms: adsorption and internalization // *Royal Society of Chemistry*. – 2013. – Vol.15. – P.145-160
- 5 Huo S., Jin S., Ma X., Xue X. Ultrasmall gold nanoparticles as carriers for nucleus-based gene therapy due to size-dependent nuclear entry // *American Chemical Society*. – 2014. – Vol.6. – P.5852-5862
- 6 Yang H., Du L., Tian X., Fan Z., Sun C. Effects of nanoparticle size and gestational age on maternal biodistribution and toxicity of gold nanoparticles in pregnant mice // *Toxicology Letters*. – 2014. – Vol.230. – P.10-18
- 7 Fisher M. L., Colic M., Rao M. P., Lange F. F. Effect of silica nanoparticle size on the stability of alumina/silica suspensions // *Journal of the American Ceramic Society*. – 2004. – Vol.84. – P.713-718
- 8 Kim H. J., Lee S-H., Lee J-H., Jang S. P. Effect of particle shape on suspension stability and thermal conductivities of water-based bohemite alumina nanofluids // *Energy*. – 2015. – Vol.90. – P.1290-1297
- 9 Li S., Wang J., Zhao S., Cai W. Effect of surface modification and medium on the rheological properties of silica nanoparticle suspensions // *Ceramics International*. – 2016. – Vol.42. – P.7767-7773

- 
- 10 Baalousha M. Aggregation and disaggregation of iron oxide nanoparticles: Influence of particle concentration, pH and natural organic matter // *Science of The Total Environment*. – 2009. – Vol.407. – P.2093-2101
  - 11 Reza E, Riyaz K., Mohammad M. Stability, flocculation, and rheological behavior of silica suspension-augmented polyacrylamide and the possibility to improve polymer flooding functionality // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – Vol.332. – 114572
  - 12 Al-Gebory L., Mengü M. P. The effect of pH on particle agglomeration and optical properties of nanoparticle suspensions // *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. – 2018. – Vol.219. – P.46-60
  - 13 Murr L. E. Classifications and structures of nanomaterials // *Handbook of Materials Structures, Properties, Processing and Performance*. – 2015. – Vol.1. – P.719-746
  - 14 Braga D., Grepioni F. From molecule to molecular aggregation: clusters and crystals of clusters // *Accounts of Chemical Research*. – 1994. – Vol.7. – P.51-56
  - 15 Su Z., Zhou W., Zhang Y. New insight into the soot nanoparticles in a candle flame // *Chemical Communications*. – 2011. – Vol.47. – P.4700-4702
  - 16 Semenov K. N., Andrusenko E. V., Charykov N. A. Carboxylated fullerenes: Physico-chemical properties and potential applications // *Progress in Solid State Chemistry*. – 2017. – Vol.47-48. – P.19-36
  - 17 Hagler G.S.W., Baldauf R.W., Thoma E.D. Ultrafine particles near a major roadway in Raleigh, North Carolina: Downwind attenuation and correlation with traffic-related pollutants // *Atmospheric Environment*. – 2009. – Vol.43. – P.1229-1234
  - 18 Lu Y., Fan H., Stump A., Brinker C. J. Aerosol-assisted self-assembly of mesostructured spherical nanoparticles // *Nature*. – 1999. – Vol.398. – P.223-226
  - 19 Zhang D., Ni X., Zheng. Synthesis of needle-like nickel nanoparticles in water-in-oil microemulsion // *Materials Letters*. – 2005. – Vol.59. – P.2011-2014
  - 20 Belin T., Epron F. Characterization methods of carbon nanotubes: a review // *Materials Science and Engineering: B*. – 2005. – Vol.119. – P.105-118

- 
- 21 Chen Y., Chen S., Chen Q., Zhou Z., Sun S. Electrochemical preparation of iron cuboid nanoparticles and their catalytic properties for nitrite reduction // *Electrochimica Acta*. – 2008. – Vol.53. – P.6938-6943
- 22 Harris P.J.F. Carbon nanotube composites // *International Materials Reviews*. – 2013. – Vol.18. – P.31-43
- 23 Ke Q., Wang J. Graphene-based materials for supercapacitor electrodes – A review // *Journal of Materiomics*. – 2016. – Vol. 2. – P.37-54
- 24 Mulfinger L., Solomon S. D. Synthesis and study of silver nanoparticles // *Journal of Chemical Education*. – 2007. – Vol.84. – 322
- 25 Tuncel D., Demir H.V. Conjugated polymernanoparticles // *Nanoscale*. – 2010. – Vol.2. – P. 484-494
- 26 Chao C., Qu J., Yan W., Zhu J., Wu Z., Song W. Low-Cost Synthesis of Flowerlike  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanostructures for Heavy Metal Ion Removal: Adsorption Property and Mechanism // *Langmuir*. – 2012. – Vol.28. – P.4573-4579
- 27 Tronc E., Ezzir A., Cherkaoui R., Chanéac C. Surface-related properties of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2000. – Vol. 221. – P.63-79
- 28 Yao Y., Miao S., Liu S., Ma L., Sun H., Wang S. Synthesis, characterization, and adsorption properties of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@graphene nanocomposite // *Chemical Engineering Journal*. – 2012. – Vol.184. – P.326-332
- 29 He J., Ma W., He J., Zhao J., Yu J. Photooxidation of azo dye in aqueous dispersions of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ $\alpha$ -FeOOH // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2002. – Vol. 39. – P.211-220
- 30 Binh V.T., Purcell S.T., Semet V., Feschet F. Nanotips and nanomagnetism // *Applied Surface Science*. – 1998. – Vol.130-132. – P.803-814
- 31 Young S.K., Subhash R. Synthesis and characterization of nanometer-size Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles // *Chemistry of Materials*. – 1996. – Vol.8. – P.2209-2211
- 32 Daou T.J., Pourroy G. Hydrothermal synthesis of monodisperse magnetite nanoparticles // *Chemistry of Materials*. – 2006. – Vol.18. – P.4399-4404

- 
- 33 Sun S., Zeng H. Size-controlled synthesis of magnetite nanoparticles // *Journal of the American Chemical Society*. – 2002. – Vol.124. – P.8204-8205
- 34 Wang S., Min Y. Synthesis and magnetic properties of uniform hematite nanocubes // *The Journal of Physical Chemistry C*. 2007. – Vol.111. – P.3551-3554
- 35 Titirici M., Antonietti M., Thomas A. Generalized synthesis of metal oxide hollow spheres using a hydrothermal approach // *Chemistry of Materials*. – 2006. – Vol.18. – P.3808-3812
- 36 Wang Q, Shen M, Zhao T, Xu Y, Lin J, Duan Y. Low toxicity and long circulation time of polyampholyte-coated magnetic nanoparticles for blood pool contrast agents // *Scientific Reports*. – 2015. – Vol.5. – P.7774
- 37 Benyettou F., Lalatonne Y., Chebbi I., Benedetto M.D., Serfaty J.-M., Lecouvey M. A multimodal magnetic resonance imaging nanoplatfrom for cancer theranostics // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2011. – Vol.13. – P.10020-10027
- 38 Sharrock M.P., Bodnar R.E. Magnetic materials for recording: An overview with special emphasis on particles // *Journal of Applied Physics*. – 1985. – Vol.57. – P.3919-3924
- 39 Raj K., Moskowitz R. Commercial applications of ferrofluids // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 1990. – Vol.85. – P.233-245
- 40 Perez J.M., Loughin O.T., Simeone F.J., Weissleder R., Josephson L. DNA-based magnetic nanoparticle assembly acts as a magnetic relaxation nanoswitch allowing screening of DNA-cleaving agents // *Journal of the American Chemical Society*. – 2002. – Vol.124. – P.2856-2857
- 41 Kumar C.S. Weinheim: Wiley-VCH // *Nanotechnologies for the life sciences*. – 2005. – Vol.1. – 183
- 42 Zhang H., Zhong X. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Polypyrrole/Au nanocomposites with core/shell/shell structure: synthesis, characterization, and their electrochemical properties // *Langmuir*. – 2008. – Vol.24 – P.13748-13752



- 
- 43 Sadjad M., Beate K. Field-scale demonstration of in situ immobilization of heavy metals by injecting iron oxide nanoparticle adsorption barriers in groundwater // *Journal of Contaminant Hydrology*. – 2021. – Vol.237 –. 103741
- 44 Chen M., Jiang W. Synthesis of highly hydrophobic floating magnetic polymer nanocomposites for the removal of oils from water surface // *Applied Surface Science*. – 2013. – Vol.286 – P.249-256
- 45 Zhu X., Tian S., Cai Z. Toxicity assessment of iron oxide nanoparticles in zebrafish (*Danio rerio*) early life stages // *PLOS ONE*. – 2012. – Vol.7 –. 46286
- 46 Mo T., Wei Y. Comparative study of pulmonary responses to nano- and submicron-sized ferric oxide in rats // *Toxicology*. – 2008. – Vol. 247 – P. 102-111
- 47 Brigitta S., Erzsébet T. Potential toxic effects of iron oxide nanoparticles in in vivo and in vitro experiments // *Applied Toxicology*. – 2012. – Vol. 32 – P.446-453
- 48 Barrena R., Casals E., Colón J. Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles // *Chemosphere*. – 2009. – Vol.75. – P.850-857
- 49 Zhang Y., Dringen R., Petters C., Rastedt W. Toxicity of dimercaptosuccinate-coated and un-functionalized magnetic iron oxide nanoparticles towards aquatic organisms // *Environmental Science: Nano*. – 2016. – Vol.3. – P.754-767
- 50 Mohammad T.H., Nutanndra K.R. Pharmaceutical suspensions // *General Principles of Suspensions*. – 2009. – P.39-65.
- 51 Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия. – 1975. – 512 с.
- 52 Хрусталеv В. В., Контява О. В., Казюлевич С. Р. Физическая химия реальных и коллоидных растворов практикум. – Минск: БГМУ. – 2018. – 138 с.
- 53 Годымчук А.Ю., Савельев Г.Г., Зыкова А.П. Экология наноматериалов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2012. – 272 с.
- 54 Liu F., Zhang C., Zhao T., Zu Y. Effects of phosphate on the dispersion stability and coagulation // *Chemosphere*. – 2019. – Vol.221. – P.580-587
- 55 Musumeci T., Ventura C.A., Giannone I., Puglisi G., PLA/PLGA nanoparticles for sustained release of docetaxel // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2006. – Vol.325. – P.172-179

- 
- 56 Sabuncu A. C., Grubbs J., Qian S., Ali B. Probing nanoparticle interactions in cell culture media // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2012. – Vol.95. – P.96-102
- 57 Headley T.R., Tanner C.C. Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: a review. NIWA Client Report: HAM2006-123. – Hamilton: National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd, 2006. – 100 p.
- 58 Fitch B. Sedimentation of flocculent suspensions: State of the art // *AIChE Journal*. – 1979. – Vol.25. – P.913-930
- 59 Garrido, P., Concha, F., Bürger, R. Settling velocities of particulate systems: Unified model of sedimentation, centrifugation and filtration of flocculated suspensions // *International Journal of Mineral Processing*. – 2003. – Vol.72. – P.57-74
- 60 Hsiung C., Lien H., Galliano A. Effects of water chemistry on the destabilization and sedimentation of commercial TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Role of double-layer compression and charge neutralization // *Chemosphere*. – 2016. – Vol.151. – P.145-151
- 61 Zhu M., Wang H., Keller A. A. The effect of humic acid on the aggregation of titanium dioxide nanoparticles under different pH and ionic strengths // *Science of The Total Environment*. – 2014. – Vol.487. – P.375-380
- 62 Liu W., Sun W., Ni J. Comparison on aggregation and sedimentation of titanium dioxide, titanate nanotubes and titanate nanotubes-TiO<sub>2</sub>: Influence of pH, ionic strength and natural organic matter // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2013. – Vol.434. – P.319-328
- 63 Dickson D., Liu G., Li C., Cai Y. Dispersion and stability of bare hematite nanoparticles: Effect of dispersion tools, nanoparticle concentration, humic acid and ionic strength // *Science of The Total Environment*. – 2012. – Vol.419. – P.170-177
- 64 Mohammed B. Aggregation and disaggregation of iron oxide nanoparticles: Influence of particle concentration, pH and natural organic matter // *Science of The Total Environment*. – 2009. – Vol.407. – P.2093-2101

- 
- 65 Vikesland P. J., Rebodos R. L. Aggregation and sedimentation of magnetite nanoparticle clusters // *Environmental. Science.: Nano.* – 2016. – Vol.3. – P.567-577
- 66 Qiu H., Mu Z., Wang N., Wang X. 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. – 139215
- 67 Mithun S., Poulin B., Mohammed B. Effect of Nanoparticle Size and Natural Organic Matter Composition on the Bioavailability of Polyvinylpyrrolidone-Coated Platinum Nanoparticles to a Model Freshwater Invertebrate // *Environmental Science & Technology.* – 2021. – Vol.55. – P.2452-2461
- 68 Pettibone J., Cwiertny D., Michelle S., Grassian V. Adsorption of Organic Acids on TiO<sub>2</sub> Nanoparticles: Effects of pH, Nanoparticle Size, and Nanoparticle Aggregation // *Langmuir.* – 2008. – Vol.24. – P.6659-6667
- 69 Bian S., Mudunkotuwa I. A., Michelle S., 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. – P.6059-6068
- 70 Rademeyer P., Carugo D., Lee J. Y., Stride E. Microfluidic system for high throughput characterisation of echogenic particles // *Royal Society OF Chemistry.* – 2015. – Vol.15. – P. 417-428
- 71 Fan X., Zheng W., Singh D.J. Light scattering and surface plasmons on small spherical particles // *Light: Science and Applications.* – 2014. – Vol.3. – P.179
- 72 Ross D J., Sigel R. Mie scattering by soft core-shell particles and its applications to ellipsometric light scattering // *Physical Review E.* – 2012. – Vol.85(5.). – 056710
- 73 Hong S.-H., Winter J. Size dependence of optical properties and internal structure of plasma grown carbonaceous nanoparticles studied by in situ Rayleigh-Mie scattering ellipsometry // *Journal of Applied Physics.* – 2006. – Vol.100. – 064303
- 74 Bhattacharjee S. DLS and zeta potential – What they are and what they are not? // *Journal of Controlled Release.* – 2016. – Vol.235. – P.337-351

- 
- 75 Kaszuba M., Corbett J. High-concentration zeta potential measurements using light-scattering techniques // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* – 2010. – Vol.368. – P.4439-4451
- 76 Ruiz-Cabello F., Trefalt G., Maroni P. Electric double-layer potentials and surface regulation properties measured by colloidal-probe atomic force microscopy // *Physical Review E.* – 2014. – Vol.90. – 012301
- 77 Chen Z., Wei Z., Chen Y., Dames C. Anisotropic Debye model for the thermal boundary conductance // *Physical Review B.* – 2013. – Vol.87. – P.125426
- 78 Bhattacharjee S. DLS and zeta potential – What they are and what they are not? // *Journal of Controlled Release.* – 2016. – Vol.235. – P.337-351
- 79 Курзина И.А., Годымчук А.Ю., Качаев А.А. Рентгенофазовый анализ нанопорошков. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Отрасли nanoиндустрии. Области применения наноматериалов», Томск: ТПУ, 2010 – 17 с.
- 80 Кендзиро О., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. – М.: Наука, 2006. – 490 с.
- 81 Касимова Л.В. Способ получения стимулятора роста растений. Патент РФ 2213452, приоритет от 06.06.2001 г.
- 82 Balasubramanian C., Joseph B., Gupta P. X-ray absorption spectroscopy characterization of iron-oxide nanoparticles synthesized by high temperature plasma processing // *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena.* – 2015. – Vol.196. – P.125-129
- 83 Xu S., Habib A. H., Gee S. H., McHenry M. E. Spin orientation, structure, morphology, and magnetic properties of hematite nanoparticles // *Journal of Applied Physics.* – 2015. – Vol.177. – 17A315
- 84 He Y.T., Wan J., Tokunaga T. Kinetic stability of hematite nanoparticles: the effect of particle sizes // *Journal of Nanoparticle Research.* – 2008. – Vol.10. – P.321-332

- 
- 85 Liu J., Legros S., Ma G. Influence of surface functionalization and particle size on the aggregation kinetics of engineered nanoparticles // *Chemosphere*. – 2012. – Vol.87. – P.918-924
- 86 Roth G. A., Howard J. Potential occupational hazards of additive manufacturing // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. – 2019. – Vol. 16. – P.321-328
- 87 Fadeel B., Farcal L., Hardy B. Advanced tools for the safety assessment of nanomaterials // *Nat Nanotechnol*. – 2018. – Vol. 13. – P.537-543
- 88 Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации: Трудовой кодекс РФ № 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022): [принят Государственной думой 21 декабря 2001 года]. – Москва, 2001. – 290 с.
- 89 Российская Федерация. Законы. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020): [принят Государственной думой 23 декабря 2013 года]. – Москва, 2013. – 28 с.
- 90 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): Утверждены Федеральным государственным агентством «Центр экологического контроля и анализа» 4 сентября 2003 г. - Москва: Минприроды РФ, 2003. - 30 с.
- 91 ГОСТ Р 56748.1-2015. нанотехнологии. наноматериалы. Управление рисками. Часть 1 Общие положения: Дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127486> (дата обращения: 1.04.2022). - Текст: Электронный.
- 92 Mhlmann C., Welter J., Klenke M., Sander J. Workplace exposure at nanomaterial production processes // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2009. – Vol.170. – 012004.
- 93 ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения: дата введения 2016-07-01.

- 
- 94 ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01.
- 95 ГОСТ 10262-73 Реактивы. Цинка окись. Технические условия.
- 96 ГОСТ Р 56748.1-2015 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения.
- 97 ГОСТ 4461-77 Реактивы. Кислота азотная. Технические условия.
- 98 ГОСТ 4328-77 Реактивы. Натрия гидроокись. Технические условия.
- 99 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
- 100 ГОСТ 12.1.001-89 Ультразвук. Общие требования безопасности.
- 101 ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений
- 102 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
- 103 ГОСТ 10262-73 Реактивы. Цинка окись. Технические условия.
- 104 ГОСТ Р 56748.1-2015 Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения.
- 105 ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
- 106 ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ. – 2008. – 48 с.
- 107 ГОСТ 12.1.001-89. Ультразвук. Общие требования безопасности: дата введения 1991-01-01.
- 108 ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01.

- 
- 109 ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности: дата введения 1978-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
- 110 Анциферова И.В. Источники поступления наночастиц в окружающую среду // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – №.2. – С. 54-66.
- 111 ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989-01-01.
- 112 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: (СанПин 1.2.3685-21): санитарные правила и нормы: утвержден постанов. глав. гос. санитар. врача РФ от 28.01.2021 N 2. – Москва: Минюст, 2008. – 1143 с.
- 113 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): утверждены ФГУ «Центр экологического контроля и анализа» 04.09.2003. – Москва: Министерство природных ресурсов РФ, 2003. – 30 с.] [ГОСТ Р 56748.1-2015. Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения: дата введения 2016-07-01.
- 114 Соловьёв Н.А., Широкова И.Г. Источники химического загрязнения и их влияние на гидросферу и здоровье человека // Царскосельские чтения. – 2011. – №XV. – Р. 402–409.
- 115 Гайнуллина Г.Р., Федоров Г.Ю. Очистка сточных вод от кислот и щелочи // Вестник магистратуры. – 2014. – №12-1 (39). – С. 53–55.
- 116 Вертинский А.П. Физико-химические методы очистки сточных вод: проблемы, современное состояние и возможные пути усовершенствования // Инновации и инвестиции. – 2019. – №11. – Р. 257–261.

- 
- 117 Цицуашвили В. С., Минкина Т. М., Невидомская Д. Г. Воздействие наночастиц меди на растения и почвенные микроорганизмы (обзор литературы) // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 3(39). – С. 93–100.
- 118 ГОСТ Р 56748.1-2015. Нанотехнологии. Наноматериалы. Менеджмент риска. Часть 1 Общие положения: дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127486> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст: электронный.
- 119 ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): утверждены ФГУ «Центр экологического контроля и анализа» 04.09.2003. – Москва: Министерство природных ресурсов РФ, 2003. – 30 с.
- 120 Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021): [принят Государственной думой 4 июля 2008 года]. – Москва, 2008. – 117 с.
- 121 Perez J.M., Loughin O.T., Simeone F.J., Weissleder R., Josephson L. DNA-based magnetic nanoparticle assembly acts as a magnetic relaxation nanoswitch allowing screening of DNA-cleaving agents // Journal of the American Chemical Society. – 2002. – Vol.124. – P.2856-2857
- 122 ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования: дата введения 1992-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст: электронный.
- 123 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. – Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 500 с.
- 124 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: (СП 12.13130.2009): свод правил: утвержден Приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. N 182. – Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 35 с.



---

125 Российская Федерация. Постановление. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: Постановление от 31 декабря 2020 г. N 2398: [принят правительством РФ от 31.12.2020]. – Москва: Правительство РФ, 2020. – 11 с.

## СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

1. Чжао Ч., Годымчук А.Ю. Влияние концентрации гуминовых кислот на осаждение наночастиц // Труды конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов", 27-22 апреля 2021. - г.Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – С.399-402.
2. Zhao Z., Godymchuk A. Sedimentation stability of differently shaped and sized nanoparticles //Abstracts of Ahi Evran International Conference on Multidisciplinary Scientific Research, 1-2 November 2021. – Kilhill, Turkey: Kirsehir Ahi Evran University, 2021 – P.246-247.
3. Чжао Ч., Годымчук А.Ю. «Влияние размера наночастиц на их коллоидные свойства в пресной воде» на II Международной научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов", 26-28 апреля 2022 г., Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – в печати.

## Приложение А

Sedimentation and aggregation stability of iron oxide nanoparticles in aqueous solutions of humic acids

Студент:

Группа	ФИО.	Подпись	Дата
4БМ02	Чжао Чжэнчуань		

Консультант школы ШБИП:

Должность	ФИО.	Ученая степень	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения иностранных языков	Демьяненко Н.В.	-		

## 1. LITERATURE REVIEW

### 1.1 Nanoparticles

#### *1.1.1 Definition and types of nanoparticles*

Nanoparticles (NPs) are particles that have a size that is conditionally limited to less than 100 nm in any direction. [13,14].

There are many standards for classifying nanoparticles, here are a few common classifications. For example, NPs are divided by origin into natural NPs (soot [15]) or NPs of artificial origin (fullerenes, [16]).

By size, NPs are classified into clusters (1...10 nm) and NPs themselves (10...100 nm). There are also larger particles – ultrafine particles (100...1000 nm) [17].

Currently, NPs of various shapes are produced, for example, spherical ( $\text{SiO}_2$ [18]), needle-shaped (Ni [19]), tubular (carbon nanotubes [20]), cuboid (Fe [21]), etc.

The composition distinguishes carbon (carbon nanotubes [22], fullerenes, graphene [23]), metallic (Ag, Fe, Al, Au nanoparticles [24]), polymer (conjugated polymer nanoparticles) [25].

Iron oxide NPs of various compositions are currently being synthesized, including hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [26], maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [27], magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) [28] and goethite ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) [29].

#### *1.1.2. Preparation of iron oxide nanoparticles*

The most common methods for synthesizing iron oxide NPs include coprecipitation, thermal decomposition, and hydrothermal synthesis.

When implementing the coprecipitation method, the phase crystallizes in solution with a precursor. The size and shape of NPs and their physical and chemical properties depend on the type of salt used (chlorides, sulfates, nitrates, perchlorates, etc.), the ratio of  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions, temperature, pH, ionic strength of the medium, and other reaction parameters (for example, stirring rate, stock solution addition rate) [30].  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs are not stable and easily oxidize to  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  or dissolve in an acidic medium. To avoid possible oxidation in air, the synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs must be carried out under anaerobic conditions. Based on this,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs can be used to obtain  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  NPs by oxidation or annealing in an oxygen atmosphere.

In [31] reports on the synthesis of monodisperse  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs (diameter 8.5 nm) by coprecipitation without surfactants. The reaction proceeded in an aqueous solution with a molar ratio of  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} = 0.5$  and  $\text{pH}=11\dots12$ , and, if necessary, followed by oxidation by aeration to form  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs (39 nm) were synthesized by coprecipitation at  $70^\circ\text{C}$  from  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions with an  $\text{N}(\text{CH}_3)_4\text{OH}$  solution followed by treatment at  $250^\circ\text{C}$ . Magnetite NPs before the hydrothermal stage have an average size of 12 nm and are strongly oxidized upon contact with air [32].

Often, for the synthesis of iron oxide NPs, decomposition in the phase of an organic solution, for example,  $\text{Fe}(\text{N-nitrosophenylhydroxylamine})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{acetylacetonate})_3$ , or  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  is used, followed by oxidation and the production of high-quality monodisperse  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  NPs, which usually requires relatively higher temperatures and complex operation. The decomposition of

$\text{Fe}(\text{acetylacetonate})_3$  at  $265^\circ\text{C}$  in phenyl ether in the presence of alcohol, oleic acid, and oleylamine was used to synthesize monodisperse  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs with a size of 4-16 nm [33]. Using smaller  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs (30 nm) as a seed, larger monodisperse  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs up to 20 nm in diameter can be synthesized and dispersed in a nonpolar solvent using a seeded growth method. The process does not require a sizing procedure and is easily scaled up for mass production. The synthesized assemblies of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles can be easily converted into  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  NPs by annealing at  $250^\circ\text{C}$  in oxygen for 2 hours.

Hydrothermal synthesis includes various wet-chemical technologies for the crystallization of a substance in a sealed container from a high-temperature aqueous solution ( $130 \dots 250^\circ\text{C}$ ) at a high vapor pressure ( $0.3 \dots 4 \text{ MPa}$ ). This method has also been used to grow single crystal particles without dislocations, and the grains formed in this process can have better crystallinity than grains produced in other processes, so hydrothermal synthesis tends to produce highly crystalline  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs. Hydrothermal treatment is one of the successful methods for growing crystals of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs. In addition, hydrothermal synthesis makes it possible to obtain unusual iron oxide nanostructures, such as  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanocubes (15 nm [34]), iron oxide hollow spheres (16-22 nm [35]), etc.

### ***1.1.3. Applications of iron oxide nanoparticles***

Iron oxide nanoparticles have great potential in modern medical applications as magnetic resonance imaging contrast agents and cancer therapeutics [36, 37].  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  NPs are useful for data recording and storage due to its chemical and

physical stability [38]. Other applications include NMR probes for oil exploration [39].

Recently, magnetic NPs have been converted into sensitive superparamagnetic agents, from which sensors have been prepared to detect molecular interactions in biological media [40].

Another important application of iron oxide nanoparticles is the separation of proteins or cells in vitro, and magnetic separation methods have a number of advantages over traditional separation procedures. The process is so simple that all purification steps can be performed in a single tube, eliminating the need for an expensive liquid chromatography system [41].

In addition, iron oxide nanoparticles can also be used for environmental protection due to their high adsorption capacity for oils [42] and heavy metals [43]. Polymer coatings coated with iron oxide NPs could absorb oil three times their own weight [44].

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Objects of study

Industrial iron oxide nanoparticles with nominal (declared by manufacturers) average sizes of 18, 38 and 80 nm were chosen as objects of study (Table 2.1).

Table 2.1. Characterization of nanoparticles according to manufacturers

Designation of nanoparticles in work	Compound	Particle size, nm	Colour	Receiving method	Manufacturer
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -18	$\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (maghemite)	18	Black	-	Nanografi Nanotechnology, Turkey
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -38		18...38	Black		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -80	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (hematite)	60...100	Dark brown	Electrical conductor explosion	Advanced Powder Technologies LLC, Russia

### 2.2. Study of the composition and properties of nanoparticles

#### 2.2.1. X-ray phase analysis

To determine the phase composition, the method of X-ray phase analysis (XPA) was used. XRF is based on a physical phenomenon - diffraction - the phenomenon of strong scattering of waves by a periodic scatterer grating at certain angles of incidence and wavelengths. The simplest case of such a phenomenon occurs when light is scattered by a diffraction grating. A similar phenomenon is observed in the scattering of X-rays used in X-ray phase analysis, in which the crystal lattice of the phase acts as a scatterer [79]. Particle analysis was carried out on an X-ray diffractometer 7000S



(Shimadzu, Japan, Nano-Center TPU, Tomsk) using  $\text{CuK}\beta$  radiation, voltage 40 kV, current through the tube 30 mA and counter speed 1.5 degrees/min in the range 10...120 degrees. The result was a radiograph, the data of which were compared with radiographs in the literature.

### ***2.2.1. electron microscopy***

The size and shape of the particles were studied using scanning (SEM) and transmission (TEM) electron microscopy, performed by employees of the Department of Functional Nanosystems and High-Temperature Materials, National University of Science and Technology MISiS, Moscow. The methods are based on the principle of interaction of an electron beam with the object under study [80].

SEM images were obtained using a VEGA3 microscope (TEM, Tescan, Czech Republic, resolution up to 8 nm, accelerating voltage 30 kV). TEM was performed on a JEM-1400 electron microscope (Jeol, Japan, resolution 0.24 nm, accelerating voltage 120 kV).

According to TEM and SEM data, the sizes of at least 100 particles and 100 aggregates were measured using the Image J program. The diameter of the circle into which the particle fits was taken as the particle size. The result was the particle size distribution and the calculated arithmetic mean particle size.

### ***2.2.2. Low temperature nitrogen adsorption method***

The method of low-temperature nitrogen adsorption is based on the Brunauer-Emmett-Teller (BET) theory, according to which gas molecules are adsorbed on the surface of a solid material in a monolayer.

The value of the specific surface of the samples ( $S_{sp}$ ) was determined using a Sorbi device (META, Russia, Nano-Center TPU, Tomsk), which allows nitrogen adsorption at  $-196^{\circ}\text{C}$  and desorption at  $-100^{\circ}\text{C}$ . The obtained value  $S_{sp}$  was used to calculate the conditional average surface particle size  $d_{av}$ , assuming that all particles have the same diameter and their shape is spherical according to the experimental formula (2.1):

$$d = \frac{6}{\rho \cdot S_{sp}} \quad (2.1),$$

where  $d_{av}$  is the average surface diameter of particles, m;  $\rho$  – substance density (for  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\rho=5242$ ),  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $S_{sp}$  is the specific surface area of particles,  $\text{m}^2/\text{kg}$ .

### **2.3. Study of colloidal properties of suspensions**

In this work, the following colloidal properties of nanoparticles were studied: sedimentation (deposition rate), dispersion (size), and electrokinetic (charge) properties of particles.

#### ***2.3.1. Preparation of solutions and suspensions***

As a source of humic acids, the peat humic preparation "Gumostim" was used, isolated by peroxide-ammonia hydrolysis of lowland sedge peat of the "Dark" deposit of the Tomsk region in the Siberian Research Institute of Agriculture and Peat [81] with the following characteristics: pH - 6.3, content of humic acids -  $40.8 \pm 4.1$  mg/l, fulvic acids -  $4.14 \pm 0.41$  mg/l, phenolic compounds - 0.09 mg/l.

In the work, surface water was modeled by preparing aqueous solutions with different concentrations of humic acid (HA) ( $10^{-12}$  ...  $10^{-2}$  mg / l) based on distilled water (pH =  $6.5 \pm 0.6$ , conductivity 0.2  $\mu\text{S}$ , Water distiller DE-4 TZMOI, Tyumen

Mediko, Russia) at  $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Solutions were prepared by serial dilution. The solutions were used for work for 1 hour, after which they were disposed of.

To prepare suspensions, nanoparticles were weighed (ALC-110d4 Acculab balance, Russia, accuracy  $\pm 0.0001$ ) in a 60 ml plastic container. After that, 50 ml of the prepared solution was added to the nanoparticles (concentration 100 mg/l). The containers with suspensions were covered with a lid and stirred in an ODA-LQ40 ultrasonic bath (ODA, Russia, 340 W) for 15 min.

### ***2.3.2. Study of sedimentation properties***

The sedimentation properties of the suspension were evaluated by the change in the light transmission coefficient (T) and adsorption coefficient (A) for 60 min. The measurements were carried out in a cylindrical glass cuvette using a PD-303 spectrophotometer (Apel, Japan) at a wavelength of 340 nm at room temperature  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Distilled water was used as a reference (100% transmission).

As a result, curves  $C/C_0=f(t)$  were built, characterizing the change in the concentration of NPs in suspensions in the process of deposition,  $C$  is adsorption (A) over time, and  $C_0$  is initial adsorption ( $A_0$ ).

The NP deposition rate was determined as the change in coefficients over 60 min ( $\Delta T_{60, \%}$  or  $\Delta A_{60}$ ).

### ***2.3.3. Study of dispersion and electrokinetic properties***

The dispersion and electrokinetic properties of the suspensions were evaluated from the change in the average particle size and electrokinetic potential ( $\xi$ -potential) using the dynamic light scattering (DLS) method on a Zetasizer Nano device (Malvern,

USA, laser length 340 nm). For measurement, 1 ml of the suspension was placed in a U-shaped cuvette, and measurements were taken three times at 25°C. The resulting numerical size distributions were used to calculate the average size of particles/aggregates according to formula (2.2):

$$d_{cp} = \sum d \frac{q(\%)}{100(\%)}, \quad (2.2)$$

where  $d_{av}$  is the average volumetric diameter of particles;  $d$  is the particle size in the dispersion;  $q$  is the differential distribution of particles in the dispersion, %.