

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние pH и размера наночастиц Al₂O₃ на адсорбцию красителей из водных растворов

УДК 547.97:544.723:546.62-31-022.532

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ92	Райгель Мария Дмитриевна		

Руководитель ВКР

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Скачкова Л.А.			

Приложение 2 «Раздел на английском языке»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»	Хасанов О.Л.	профессор, д.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения
P1	Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов
P2	Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау
P3	Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения.
P6	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов
P7	Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы
P8	Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях
P9	Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции
P10	Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности
P11	Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии.
P12	Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Хасанов О.Л.

«15» марта 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ92	Райгель Марии Дмитриевне

Тема работы:

Влияние pH и размера наночастиц Al₂O₃ на адсорбцию красителей из водных растворов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	59-76/С от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.05.2021 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1) Источники литературы: базы данных www.sciencedirect.com и www.elibrary.ru . 2) Оборудование и лабораторный инвентарь НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета. 3) Объекты исследования: нанопорошки Al ₂ O ₃ с разным размером, полученные плазмохимическим синтезом и электровзрывом проводников; синтетические красители. 4) Требования к результатам: микрофотографии наночастиц, зависимости, описывающие влияние значения pH и размера наночастиц на адсорбционные свойства частиц Al ₂ O ₃ в растворах красителей, фотографии эксперимента.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) провести литературный обзор по классификации, применению, методам получения и свойствам наночастиц Al_2O_3 ; 2) определить фазовый состав и морфологию наночастиц Al_2O_3 с помощью рентгенофазового анализа, просвечивающей электронной микроскопии и низкотемпературной адсорбции азота; 3) показать влияние pH раствора, типа красителя и размера наночастиц Al_2O_3 на эффективность адсорбции красителей с помощью метода спектрофотокolorиметрии; 4) описать процессы сорбции красителей на поверхности наночастиц с помощью кинетических моделей.
Перечень графического материала	Микрофотографии нанопорошков, кривые распределения частиц по размерам, графики адсорбционной способности наночастиц в водных суспензиях в зависимости от pH среды и размера частиц, расчеты кинетических моделей.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	Кащук И.В.
5. Социальная ответственность	Скачкова Л.А.
Приложение. Раздел на английском языке	Демьяненко Н.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Разделы на русском языке: 1. Литературный обзор, 2. Экспериментальная часть, 3. Результаты и их обсуждение, 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение и 5. Социальная ответственность.

Разделы на иностранном языке: Литературный обзор, экспериментальная часть.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.03.2021 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		15.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ92	Райгель М.Д.		15.03.2021

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы Отделение материаловедения
 Период выполнения весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2021	1. Литературный обзор	20
30.04.2021	2. Экспериментальная часть	20
01.06.2021	3. Обсуждение результатов и оформление работы	30
23.05.2021	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	10
23.05.2021	5. Социальная ответственность	10
23.05.2021	6. Приложение на иностранном языке	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор НОИЦ «Нanomатериалы и нанотехнологии»	Хасанов О.Л.	д.т.н., профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает 88 с., 18 рис., 38 табл., 66 источников и 3 прил.

Ключевые слова: наночастицы Al_2O_3 , красители, адсорбция, рН, размер частиц, кинетика адсорбции, спектрофотокolorиметрия.

Объектом исследования являются наночастицы Al_2O_3 .

Целью выпускной квалификационной работы являлось определение влияния рН раствора, типа красителя и размера частиц Al_2O_3 на эффективность и кинетику адсорбции красителей из водных сред.

На примере промышленных наночастиц Al_2O_3 со средним размером от 40 до 250 нм проведено исследование влияния значения рН (4, 7 и 10), типа красителя, метода синтеза, состава и размера частиц на степень и кинетику адсорбции в водных растворах кислотного (эозина Н) и основного (метилового голубого) красителей. Показано, что в кислотном красителе на эффективность и кинетику сорбции оказывает значительное влияние рН, размер и состав частиц, в то время как в основном красителе только метод синтеза частиц. Адсорбция на наночастицах Al_2O_3 в большинстве случаев протекает по механизму, описываемому моделью псевдо-второго порядка.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики. В работе проведено исследование влияния значения рН, типа красителя и размера наночастиц Al_2O_3 на эффективность и кинетику адсорбции красителей из водных растворов с применением методов рентгенофазового анализа, электронной микроскопии, низкотемпературной адсорбции азота, спектрофотокolorиметрии и центрифугирования.

Степень внедрения: получены условия, при которых достигается максимальная степень адсорбции для извлечения красителей из водных сред. По результатам работы сделаны доклады на международных конференциях: Cukurova 6th International Scientific Researches Conference (г.Адана, Турция, 5-6 марта 2021г.) и Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии» (г. Минск, Беларусь, 21 января 2021 г.).

Область применения: полученные данные могут быть использованы для разработки сорбентов извлечения красителей из сточных вод текстильной и полиграфической промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы: получены условия (величина рН и размер частиц), при которых достигается максимальная степень адсорбции для извлечения красителей из водных сред с помощью наночастиц Al_2O_3 .

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	11
1.1 Наночастицы: классификация и получение	11
1.1.1 <i>Определение и классификация наночастиц</i>	<i>11</i>
1.1.2 <i>Получение наночастиц Al_2O_3</i>	<i>12</i>
1.1.3 <i>Свойства и применение наночастиц Al_2O_3</i>	<i>13</i>
1.2 Адсорбция: определение и методики расчета параметров	14
1.2.1 <i>Явление адсорбции</i>	<i>14</i>
1.2.2 <i>Кинетические исследования адсорбции</i>	<i>15</i>
1.3 Адсорбция красителей наночастицах Al_2O_3	16
1.4 Постановка задачи исследования	19
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	20
2.1 Объекты исследования	20
2.2 Определение морфологии наночастиц	21
2.3 Определение фазового состава	22
2.4 Определение концентрации красителя	22
2.5 Выдерживание наночастиц в растворе красителя	23
2.6 Изучение кинетики адсорбции	24
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	25
3.1 Характеристика наночастиц	25
3.2 Адсорбционные свойства наночастиц	26
3.2.1 <i>Влияние типа красителя на эффективность сорбции</i>	<i>27</i>
3.2.2 <i>Влияние pH на степень извлечения красителей</i>	<i>27</i>
3.2.3 <i>Влияние метода синтеза, размера и состава наночастиц на степень извлечения красителей</i>	<i>28</i>
3.3 Механизм адсорбции красителей на наночастицах	30
3.3.1 <i>Влияние pH и типа красителя на кинетику адсорбции</i>	<i>30</i>
3.3.2 <i>Влияние размера и состава частиц на кинетику адсорбции</i>	<i>31</i>
3.4 Выводы по главе	33

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	36
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	36
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	36
4.1.2 SWOT-анализ.....	37
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	39
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	39
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	40
4.3 Бюджет научно-технического исследования.....	43
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	43
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	43
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	44
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	45
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	46
4.3.6 Накладные расходы.....	47
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	47
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	47
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования	48
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	48
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	49
4.5 Выводы по разделу	49
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	52
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	52
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	52
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя...53	53
5.2 Производственная безопасность	54
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	54
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов.....	54

5.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя	56
5.3 Экологическая безопасность	60
5.3.1 Анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду	60
5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	60
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	61
5.5 Выводы по разделу	62
6. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ	63
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Результаты рентгенофазового анализа	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Кинетические кривые диффузионных процессов	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Раздел на английском языке	77

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый рост индустриализации вызвал крупномасштабное загрязнение водоносных горизонтов, что создает угрозу не только для здоровья населения, но и угрожает жизни многочисленных видов флоры и фауны, вызывая тем самым потерю биоразнообразия. Красители являются опасными загрязнителями сточных вод [1], и для их удаления в большинстве случаев предпочитают адсорбцию [2]. Однако, несмотря на то, что адсорбенты просты в эксплуатации, эффективность природных сорбентов значительно уступает синтетическим.

Наиболее распространенными сорбентами красителей являются растения, микроорганизмы, сельскохозяйственные отходы, природные цеолиты [3], при этом все больше работ посвящено применению наноразмерных материалов для эффективного извлечения красителей из водных сред. Известны примеры изучения адсорбционных свойств наноматериалов при очистке воды от красителей, включая углеродные наноматериалы [4], наночастицы Fe_2O_3 [1] и наночастицы Al_2O_3 [5]. Несмотря на то, что адсорбенты на основе алюминия давно используются, в литературе недостаточно данных по адсорбции красителей на наночастицах оксида алюминия.

Целью выпускной квалификационной работы является определение влияния pH раствора, типа красителя и размера частиц Al_2O_3 на эффективность и кинетику адсорбции красителей из водных сред.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Наночастицы: классификация и получение

1.1.1 Определение и классификация наночастиц

Наноматериалы – это дисперсные или массивные материалы (структурные элементы – зерна, кристаллиты, кластеры), геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм и имеющие качественно новые свойства, функциональные и эксплуатационные характеристики, которые проявляются вследствие наномасштабных размеров [6]. *Нанопорошок* – совокупность находящихся в соприкосновении индивидуальных твердых тел (наночастиц или их агрегатов) с размерами от 1 до 100 нм во всех трех измерениях [7]. *Наночастицы* – частицы, размер которых хотя бы в одном измерении находится в диапазоне 1...100 нм [8].

Существует несколько видов классификации наноматериалов: по геометрической размерности, по структурным признакам, по размеру частиц [9].

В соответствии с размерностью различают 0D, 1D, 2D и 3D. 0D нанообъекты – объекты, у которых все 3 пространственных размера лежат в нанометровом диапазоне. Примером служат квантовые точки [8]. 1D нанообъекты – объекты, которые имеют нанометровые размеры в двух измерениях, а в третьем – макроскопический размер. К ним относят нанопроволоки, которые имеют зеркальную симметрию, и растут вдоль направления [001] [10]. Примерами 1D нанообъектов могут быть углеродные нанотрубки диаметром 5 нм и длиной 25 мкм [11], нановолокна хитозана и целлюлозы диаметром 122 нм [12], нанопроволоки из полипиррола размером 120 нм [13]. 2D нанообъекты – объекты, которые имеют нанометровый размер только в одном измерении, а в двух остальных этот размер будет макроскопическим. К таким объектам относят тонкие приповерхностные слои однородного материала (рис.1.1) [14] в виде листов прямоугольной формы с поперечным размером более 1 мм.

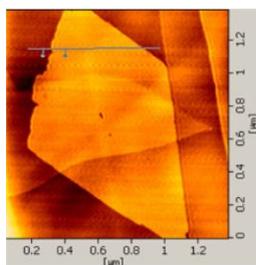


Рисунок 1.1. АСМ изображение нанопленки [14].

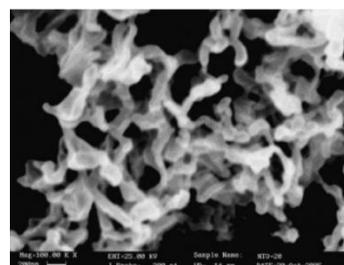


Рисунок 1.2. СЭМ изображение полимерных частиц [15].

3D нанообъекты – это объекты, волоконные, многослойные и поликристаллические материалы, в которых вышеперечисленные 0D, 1D, 2D являются структурными элементами. К ним относятся частицы полимера (5-нитро-2,4-дигидро-3Н-1,2,4-триазол-3-он) (рис.1.2) [15], имеющие ширину 70-90 и длину 200-300 нм.

Наночастицы также различают по форме: сферические (ZnO размером 10 нм, рис.1.3а [16]) или стержни (Fe₂O₃ размером 80x15 нм, рис.1.3б [17]).

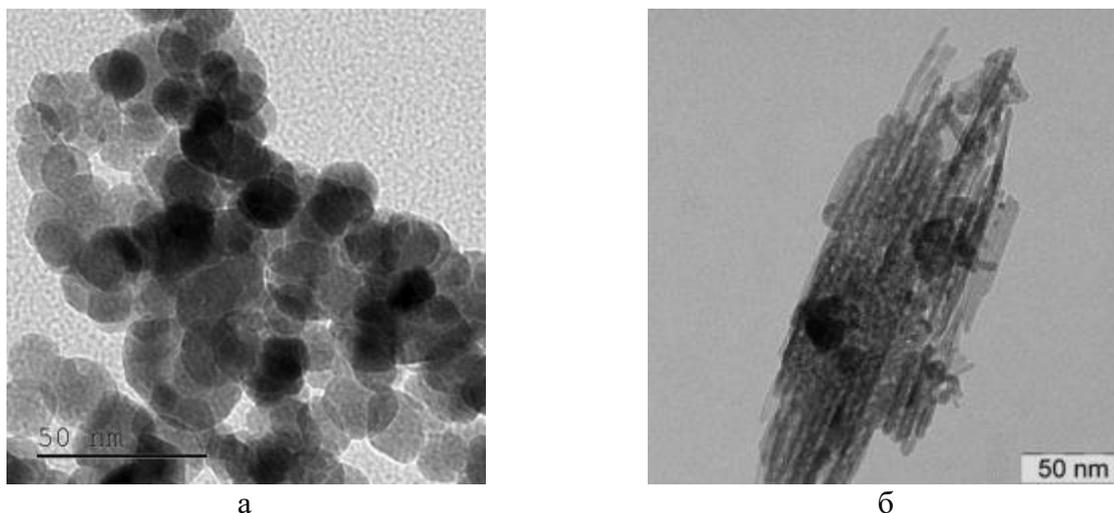


Рисунок 1.3. Изображения наночастиц ZnO (а) [16] и Fe₂O₃ (б) [17].

1.1.2 Получение наночастиц Al₂O₃

Нанопорошки металлов и их соединений являются самым распространенным видом наноматериалов, производство которых растет с каждым годом. От всего рынка нанопорошков 80 % составляют нанопорошки оксидов металлов (из которых 15 % – Al₂O₃, 11,4 % – ZnO, 10% – TiO₂) [18].

Все группы методов получения нанопорошков можно условно разделить на две группы: физико-химические и физические [6]. Химические методы получения нанопорошков включают: технологии химического осаждения из паровой фазы; технологии высокоэнергетического синтеза; технологии осаждения из растворов; использование восстановительных процессов. Физические методы получения нанопорошков включают: методы физического осаждения из паровой фазы; метод распыления струи; механическое размельчение.

Золь-гель метод – наиболее часто используемый метод, поскольку получается высококачественный продукт воспроизводимого состава [19]. В статье [5] авторы получали наночастиц Al₂O₃ методом осаждения золь-геля в этаноле. Осаждающий агент (1 М жидкий аммиак), добавляли по каплям в раствор этанола при непрерывном перемешивании, что приводило к образованию белого осадка Al(OH)₃. Полученный

осадок фильтровали и промывали этанолом с последующей сушкой в печи при температуре 90°C в течение 6 ч. Затем высушенный белый гель прокаливали в муфельной печи при 600°C в течение 3 ч в присутствии воздуха при скорости нагрева 10°C/мин. После прокаливания порошок измельчали и просеивали. В результате были получены наночастицы размером 30...35 нм и удельной поверхностью 128 м²/г.

В статье [20] авторы получали наночастицы методом распылительной сушки и химическим осаждением. Готовили раствор на основе дистиллированной воды и сульфата алюминия и выдерживали при 60°C в течение 24 ч. Химическое осаждение порошков проводили с использованием 1 М растворов гидроксида натрия. В ходе эксперимента использовали следующие параметры сушки: скорость газового потока 140 л/мин, относительная интенсивность распыления 35...56% , T = 60...80°C, P = 120 Па, время работы установки 3...10 мин, размер сопла 5,5 мкм. Полученный порошок сушили при температуре 550°C в течение 3 часов. В результате были получены частицы со средним размером 100 нм.

В статье [21] порошки оксида алюминия получали из распыленных водных растворов солей в потоке воздуха, нагретого до состояния низкотемпературной плазмы (5000 - 6000 К), с использованием высокочастотной установки мощностью 70 кВт. Электронно-микроскопические исследования показали, что средний размер частиц составляет 30 нм. Фазовый анализ показал, что порошок оксида алюминия находится в сильно неравновесном состоянии и содержит 5 структурных модификаций: ромбическую (α), кубическую (γ), тетрагональную, гексагональную (ϵ) и моноклинную (θ).

В статье [22] авторами был получен порошок γ -Al₂O₃ с размером частиц 65 нм путем электровзрыва проволоки. Алюминиевую проволоку (диаметром 0,25 мм и длиной 210 мм) помещали между электродами и подавали импульсный ток плотностью 10⁴...10⁶ А/мм². В результате проволока расплавлялась, превращаясь в пар, который быстро охлаждался из-за столкновения с окружающим газом, равномерно конденсируясь в порошок.

1.1.3 Свойства и применение наночастиц Al₂O₃

Наноматериалы характеризуются уникальными механическими, химическими, фотокаталитическими, сорбционными и биологическими свойствами, отличающимися от свойств обычных материалов.

В последние десятилетия наиболее всесторонне изученными оксидами металлов являются наночастицы оксида титана. Благодаря своей фотостабильности, разумной цене, высокой фотокаталитической активности и биологической и химической стабильности

[23]. TiO_2 на сегодняшний день является самым распространенным фотокатализатором. Наночастицы TiO_2 обладают небольшой селективностью, что делает эти наночастицы пригодными для деградации всех видов загрязняющих веществ, таких как полициклические ароматические углеводороды [24], хлорированные органические соединения [25], пестициды [26], фенолы [27], цианиды [26], мышьяк [28] и тяжелые металлы [29]. Фотокаталитические свойства наночастиц TiO_2 могут убивать широкий спектр микроорганизмов, таких как грамположительные и грамотрицательные бактерии, а также вирусы, водоросли, грибы и простейшие [30]. TiO_2 относительно дешевле любого другого наноматериала и обладает хорошей термической и химической стабильностью и низкой токсичностью для человека [31]. В дополнение к своим фотокаталитическим свойствам, он широко используется для очистки сточных вод и борьбы с биообрастанием. Основное преимущество наночастиц TiO_2 заключается в том, что они имеют бесконечный срок службы и остаются неизменными в процессе деградации микроорганизмов и органических соединений [32].

Покрытие из нанопорошка Al_2O_3 размером 20...60 нм увеличивает микротвердость и прочность на сжатие и уменьшает скорость абразивного износа по сравнению с подложкой [33].

Нанопорошок Al_2O_3 используется для повышения коррозионной стойкости и износостойкости сельскохозяйственной техники [34], для производства герметиков [35], солнечных панелей [36], в производстве датчиков [37], полупроводников [38], в качестве адсорбентов красителей [5].

1.2 Адсорбция: определение и методики расчета параметров

1.2.1 Явление адсорбции

Адсорбция – это поглощение поверхностью твёрдого тела или поверхностным слоем жидкости газов, растворённых веществ или твёрдых частиц какого-то вещества. Вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, называется адсорбентом, а поглощаемое вещество – адсорбатом.

Явление адсорбции всегда связано с границей раздела фаз. Адсорбция может происходить на любой поверхности раздела фаз: «жидкость – газ», «твёрдое тело – газ», «твёрдое тело – раствор», «жидкость – жидкость» [39]. На любой границе раздела фаз существует так называемый «поверхностный слой» – переходная область от одной объёмной фазы к другой. Поверхностный слой имеет очень малую толщину (всего несколько молекул), но в нем сосредоточен весь избыток поверхностной энергии и массы вещества.

Адсорбция на границе «твердое тело–раствор» представляет собой изменение концентрации растворенного вещества (т.е. числа молей вещества в единице объема) в поверхностном слое по сравнению с его концентрацией в объеме жидкой фазы. Этот вид адсорбции является самым сложным, так как с одной стороны необходимо учитывать взаимодействие между молекулами растворителя и растворенного вещества, а с другой стороны – сложное строение поверхности твердого адсорбента.

Адсорбция – процесс самопроизвольный, сопровождающийся уменьшением свободной поверхностной энергии (за счет уменьшения поверхностного натяжения) и как результат – система переходит в устойчивое равновесное состояние [39].

1.2.2 Кинетические исследования адсорбции

Кинетика адсорбции – раздел физической химии, который изучает закономерности протекания адсорбции во времени [40]. Оценка кинетики представляет значительную информацию о пути, механизме и скорости процесса адсорбции.

Экспериментальное исследование кинетики сорбции заключается в определении лимитирующей (наиболее медленной) стадии путем подбора соответствующей модели, описывающей экспериментально полученные данные в координатах степени достижения равновесия ($F = q_m/q_e$) от времени (t) с максимальным коэффициентом аппроксимации. В общем случае кинетические зависимости представляют собой выпуклые кривые, выходящие на плато в области больших времен. То есть в большинстве случаев процесс сорбции протекает с высокой скоростью на начальных этапах и замедляется по мере приближения к состоянию равновесия.

Для описания процесса сорбции применяют в кинетические модели, учитывающие химическую стадию, и модели, построенные на предположении о лимитировании скорости сорбции диффузионными стадиями массопереноса. К первой группе моделей относятся модели псевдо-первого и псевдо-второго порядков, модель модифицированного второго порядка и модель Еловича. Ко второй группе относят модель внешней (пленочной) диффузии, модель внутренней (гелевой) диффузии, смешанно-диффузионную модель, учитывающую оба транспортных процесса.

Модель кинетики псевдо-первого порядка в линейной форме [41] согласно уравнению (1.1):

$$\log(q_e - q_m) = \log q_e - k \cdot \frac{t}{2,303} \quad (1.1)$$

где t – время контакта, q_e – адсорбционная емкость в равновесии, q_m – адсорбционная емкость в момент времени, k – коэффициент равновесия.

Физический смысл описания кинетической зависимости моделью псевдо-первого порядка состоит в том, что скорость всего сложного диффузионно-химического процесса сорбции лимитируется межмолекулярными взаимодействиями типа сорбат-сорбат [42].

Модель кинетики псевдо-второго порядка в линейной форме [43], согласно уравнению (1.2):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (1.2)$$

где t – время контакта, q_e – адсорбционная емкость в равновесии, q_t – адсорбционная емкость во время контакта, k – коэффициент равновесия.

Физический смысл описания кинетической зависимости моделью псевдо-второго порядка состоит в том, что скорость процесса сорбции лимитируется реакцией между сорбатом и функциональной группой сорбента в соотношении 1:1 [42].

Для наиболее достоверной идентификации механизма сорбции необходимо выполнить ряд экспериментов, выявляющих влияние различных факторов на кинетику процесса. К числу таких параметров относятся: начальная концентрация сорбата, размер частиц сорбента, интенсивность (скорость) перемешивания сорбционного раствора, температура.

Известно [44], что для внешнедиффузионных процессов кинетическая кривая, представленная в координатах $-\lg(I-F)$ от (t) , описывается линейной функцией. В случае выполнения этого условия (как правило, на начальных этапах сорбции при малых временах контакта) в определенный промежуток времени пленочная диффузия лимитирует скорость процесса.

Для внутридиффузионных процессов [44] кинетическая кривая, представленная в координатах F от $t^{1/2}$ линеаризована на начальном участке.

1.3 Адсорбция красителей наночастицах Al_2O_3

Согласно литературному обзору адсорбционные свойства наночастиц Al_2O_3 исследуются многими авторами (табл.1.1). Видно, что на адсорбцию влияют такие параметры, как pH, количество адсорбента, концентрация красителя и размер частиц. Но в целом, оксид алюминия рассматривается как эффективный сорбент.

Таблица 1.1. Адсорбция красителей на оксиде алюминия

Частицы	Краситель	Эксперимент	Результат	Ссылка
Al ₂ O ₃ глинозем 0,123 мкм 50000 мг/л	1) желтый моноклортриазин 2) желтый дихлортриазин (50 мг/л) Температура 30, 40, 50, 60°C pH = 4,4...4,7	Перемешивание 70...150 об/мин и фильтрация суспензии; концентрацию красителя определяли с помощью спектрометра CELM-E Model 225D при 396нм	Максимальная адсорбционная емкость: для желтого моноклортриазина – при 60°C (21 мг/г), для желтого дихлортриазина – при 50°C (51,74мг/г). Оптимальное значение pH =4,5.	[45]
Al ₂ O ₃ модифицир ованный олеиновой кислотой 4000 мг/л	1) Кислотный оранжевый 2) родамин 6G 3) кислотно – основной родамин В (10 мг/л) pH = 2..10	Суспензии встряхивали в течение 7 дн до равновесия. Концентрацию красителей определяли спектрофотометрически после центрифугирования растворов при 3500 об/мин	С увеличением pH адсорбция -уменьшается для кислотного оранжевого, - увеличивается для родамина 6G. Для родамина В макс.адсорбция при pH=10, при переходе к pH=8 адсорбция уменьшалась, а затем менялась незначительно.	[46]
Al ₂ O ₃ 3...6 мкм 200...25000 мг/л	Сибасгон реактивный желтый (400 мг/л) Время контакта 5...105 мин, скорость перемешивания 4) 10..350 об/мин	В колбу 250 мл добавляли 100 мл раствора красителя и навеску оксида алюминия, и перемешивали при температуре 20°C и pH 7. Концентрацию красителя определяли с помощью спектрофотометра при 396 нм	Оптимальной начальной концентрацией сорбента является 15000 мг/л, временем контакта – 90 мин, скоростью вращения – 250 об/мин.	[47]
γ-Al ₂ O ₃ 500 нм 1000 мг/л	Конго красный 100 мг/л Метод получения (Золь – гель метод и золь-гель метод с последующим прокаливаем нанопорошка)	После контакта (90...120 мин) отбирали суспензию, центрифугировали (5000 об/мин). Концентрацию красителя определяли с помощью спектрофотометра (500 нм) и калибровочной кривой 6...100 мг/л.	Прокаливание нанопорошка привело к увеличению поверхности и количеству пор, следовательно, высокой адсорбционной способности частиц.	[48]
Al ₂ O ₃ 50 нм 400...2000 мг/л	Черный G 50..500 мг/л pH = 2..7	Суспензии в колбах в течение 4,5 ч при 35±2°C на вращающемся шейкере. Концентрацию красителя определяли с помощью спектрофотометра (1065 нм).	Скорость адсорбции уменьшается с увеличением времени контакта. Равновесие через 4,5 ч. Максимальная степень извлечения – 25,6% при [Al ₂ O ₃]=100 мг/л. С увеличением pH уменьшается степень удаления красителя (от 34,04 до 5,12%).	[49]

В работе [5] авторы исследовали адсорбцию анионного красителя оранжевого G (50 мг/л) из водных растворов с помощью наночастиц Al_2O_3 с размером 35 нм, полученных золь-гель методом. Остаточную концентрацию красителя определяли с помощью УФ-видимого спектрофотометра при 480 нм (рис.1.4). Показано, что максимальное удаление красителя (96,8%) при начальной концентрации красителя 50 мг/л происходит при рН=2,5. Процент удаления значительно снижался с увеличением рН, и минимальное удаление (40,2%) было зафиксировано при рН=9,5 для концентрации красителя 125 мг/л.

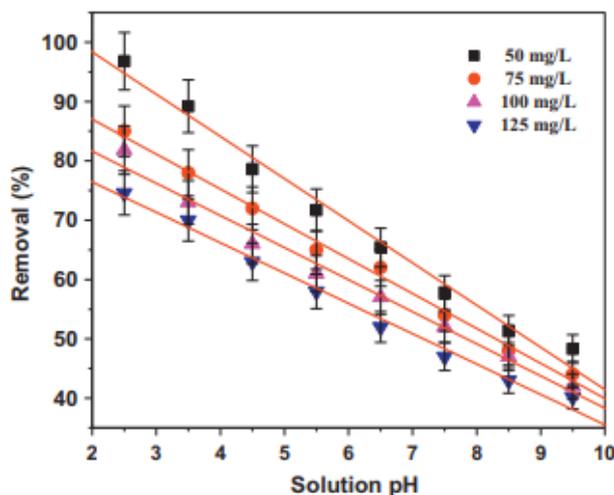


Рисунок 1.4. Влияние рН на адсорбцию оранжевого G на наночастицах Al_2O_3 размером 35 нм (30°C, концентрация наночастиц 1,0 г/л) [5].

Для исследования процесса адсорбции были рассчитаны кинетические модели псевдо-первого и псевдо-второго порядков и сделан вывод, что кинетика соответствует модели псевдо-второго порядка, так как коэффициент аппроксимации $R_1^2 < R_2^2$ (табл.1.2).

Таблица 1.2. Результаты расчетов адсорбционной емкости и кинетики [5]

рН	q _e , мг/г	Модель псевдо-первого порядка		Модель псевдо-второго порядка	
		R ₁ ²	k ₁ , мин ⁻¹	R ₂ ²	k ₂ , г·мг ⁻¹ ·мин ⁻¹
2,5	48,5	0,972	0,13	0,999	0,0023
4,5	39,3	0,976	0,09	0,999	0,0011
8,5	26,7	0,983	0,04	0,999	0,0006

Несмотря на то, что адсорбенты на основе алюминия давно используются, а наночастицы алюминия обладают низкой стоимостью производства и высокой эффективностью адсорбции, в литературе недостаточно данных по адсорбции красителей на наночастицах оксида алюминия.

1.4 Постановка задачи исследования

Проведенный литературный обзор показал, что благодаря необычным свойствам наночастицы оксидов металлов вызывают повышенный интерес, в связи с этим их производство и области применения растут. Одной из областей применения нанопорошков оксидов металлов является адсорбция красителей.

Наноадсорбенты на основе оксидов металлов получили широкое применение, так как обладают низкой стоимостью производства и высокой эффективностью адсорбции, а также простотой эксплуатации. Несмотря на то, что адсорбенты на основе Al_2O_3 давно используются, в литературе недостаточно данных по адсорбции красителей на наночастицах оксида алюминия.

Целью выпускной квалификационной работы являлось определение влияния pH раствора, типа красителя и размера частиц Al_2O_3 на эффективность и кинетику адсорбции красителей из водных сред.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены следующие задачи:

- 1) определить фазовый состав и морфологию наночастиц Al_2O_3 с помощью рентгенофазового анализа, просвечивающей электронной микроскопии и метода низкотемпературной адсорбции азота;
- 2) показать влияние pH раствора, типа красителя, размера и состава наночастиц Al_2O_3 на эффективность адсорбции красителей с помощью метода спектрофотокolorиметрии;
- 3) описать процессы сорбции красителей на поверхности наночастиц с помощью кинетических моделей.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Объекты исследования

Для проведения экспериментов использовали промышленные наночастицы Al_2O_3 разного размера и производства (табл. 2.1). Для исследований (табл.2.2) также использовали синтетические красители с разной кислотно-основной природой, использующиеся в медицине, как краситель мазков крови [50], при лечении метгемоглобинемии [51] и псориаза [52].

Таблица 2.1. Характеристика объектов исследования согласно данным производителей

Порошок	Метод получения	Производитель	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Состав
Al_2O_3 -40	Плазмохимический синтез	Nanostructured & Amorphous Materials, Inc., США https://www.nanoamor.com/inc/sdetail/23069	21	α - Al_2O_3
Al_2O_3 -50	Электрический взрыв проводников	ООО «Передовые порошковые технологии», Россия http://www.nanosized-powders.com/production/nanopowders/al2o3.php	26	α - Al_2O_3
Al_2O_3 -140	Плазмохимический синтез	ООО «Плазмотерм», Россия https://plasmotherm.ru/catalog/nanopowders/113279/	9,6	Смесь α - Al_2O_3 и γ - Al_2O_3
Al_2O_3 -250	Плазмохимический синтез	Plasmachem, Германия http://www.plasmachem.com/shop/en/39--aluminium-oxid	10	α - Al_2O_3

Таблица 2.2.Красители

Название красителя формула	Обозначение в работе	CAS	Тип	Молярная масса, г/моль	Цвет
Эозин Н $\text{C}_{20}\text{H}_6\text{Br}_4\text{Na}_2\text{O}_5$	Эозин	17372-87-1	Кислотный	691,86	Оранжевый
Метиленовый голубой $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$	МГ	61-73-4	Основной	319,86	Голубой
Метилловый оранжевый $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$	МО	547-58-0	Кислотно-основный	327,34	Оранжевый
Метилловый красный $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$	МК	493-52-7	Кислотно-основный	269,30	Красный
Малахитовый зеленый	МЗ	569-64-2	Кислотно-основный	364,92	Зеленый

Название красителя формула	Обозначение в работе	CAS	Тип	Молярная масса, г/моль	Цвет
$C_{23}H_{25}ClN_2$					
Бриллиантовый зеленый $C_{27}H_{34}N_2O_4S$	БЗ	CAS 633-03-4	Основной	482,64	Зеленый

2.2 Определение морфологии наночастиц

Для исследования нанопорошков с помощью просвечивающей электронной микроскопии готовятся суспензии на основе химического раствора и наночастиц Al_2O_3 . Суспензию обрабатывают ультразвуком, после чего капли суспензии наносят на кремниевую подложку и помещают в колонну микроскопа. Исследование проводится в высоком вакууме. В верхней части колонны микроскопа электронной пушкой испускается электронный пучок, который за счет разности потенциалов между анодом и катодом направляется к апертурной диафрагме. Затем пучок проходит через электромагнитные линзы осветителя и попадает на исследуемый образец. После прохождения через образец электронов в объективной линзовой системе формируется изображение. Получающееся в итоге изображение, формирующееся на флуоресцентном экране, можно наблюдать через окно камеры наблюдения или экран компьютера.

Морфологию частиц (форму, размер, структуру поверхности) определяли с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-1400 (Jeol, Япония) при ускоряющем напряжении 120 кВ вакууме ($\sim 10^{-6}$ Па). В качестве источника электронов использовался катод LaB₆. При приготовлении образцов исследуемые порошки наносились на стандартные медные сетки с аморфной углеродной подложкой. Полученные светло-польные или темно-польные изображения обрабатывали с помощью программы ImageJ, результатом являлось построенное распределение частиц по размерам, по которому определяли средний размер частиц.

Для обработки микрофотографий использовали специальную программу ImageJ. Открывали микрофотографию, задавали масштаб, измеряли диаметры окружности, в которые вписывается частица, измеряли все различимые частицы на изображении. Далее открывали новое изображение, задавали новый масштаб, если он отличался от предыдущего изображения, измеряли все частицы. Полученные результаты сохраняли, и с помощью программы Microsoft Excel строили распределение наночастиц по размерам.

Методом низкотемпературной адсорбции азота определяли величину удельной поверхности порошков ($S_{уд}$). Для исследования использовали прибор SorbiPrep (META, Россия). Метод основан на теории молекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета, Теллера

(метод БЭТ). Теория БЭТ заключается в измерении объема газообразного азота, адсорбированного твердым телом при температуре жидкого азота.

Измерения проводили не менее трех раз, погрешность измерения составляла 0,2 м²/г. Полученное значение $S_{уд}$ использовали для вычисления условного среднеповерхностного размера частиц d , допуская, что все частицы одного диаметра и их форма сферическая по экспериментальной формуле (2.1):

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

где d – среднеповерхностный диаметр, м; ρ – плотность материала; $S_{уд}$ – площадь удельной поверхности порошков, м²/кг.

2.3 Определение фазового состава

Для определения фазового состава применяли рентгенофазовый анализ. В основе метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке соединений, которое подчиняется условию Вульфа–Брэгга [53]:

$$2 d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = n\lambda, \quad (2.2)$$

где n – целое число, описывающее порядок дифракционного отражения; λ – длина волны рентгеновского луча; d_{hkl} – расстояние между плоскостями; θ_{hkl} – угол между пучком рентгеновских лучей и плоскостью.

В ходе рентгенофазового анализа исследуемый образец помещают на пути рентгеновских лучей и регистрируют дифракционную картину, возникающую в результате взаимодействия лучей с веществом. На следующем этапе исследования анализируют дифракционную картину путем сравнения экспериментального набора значений углов и интенсивности с табличными значениями, которые представлены в картотеке.

В данной работе РФА исходных нанопорошков проводили на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu, Япония). Запись рентгенограмм выполнялась с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения в диапазоне углов 2θ от 15 до 90°. Расшифровку проводили с помощью картотеки ICSD (International Center for Diffraction Data).

2.4 Определение концентрации красителя

Для построения калибровочной шкалы готовили раствор с концентрацией красителя 100 мг/л (аналитические весы ALC-110d4 (Acculab, США, точность 0,0001 г) на основе дистиллированной воды (дистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень-Медико, Россия, pH=6.2). Из готового раствора методом разбавления готовили растворы с концентрацией красителя 1...100 мг/л.

Раствор с заданной концентрацией наливали в измерительную кювету спектрофотометра PD-303 (Arel, Япония) и измеряли оптическую плотность (A) при максимальной длине волны (табл. 2.3). По результатам строили калибровочный график зависимости значение оптической плотности от концентрации: $A=f(C)$ (рис.2.1).

Таблица 2.3. Длина волны света, при которой максимальное поглощение, нм

Краситель	Цвет раствора	Длина волны света, при которой максимальное поглощение, нм
Эозин	Оранжевый	520
МГ	Голубой	630
МО	Оранжевый	660
МК	Красный	660
МЗ	Зеленый	680
БЗ	Зеленый	675

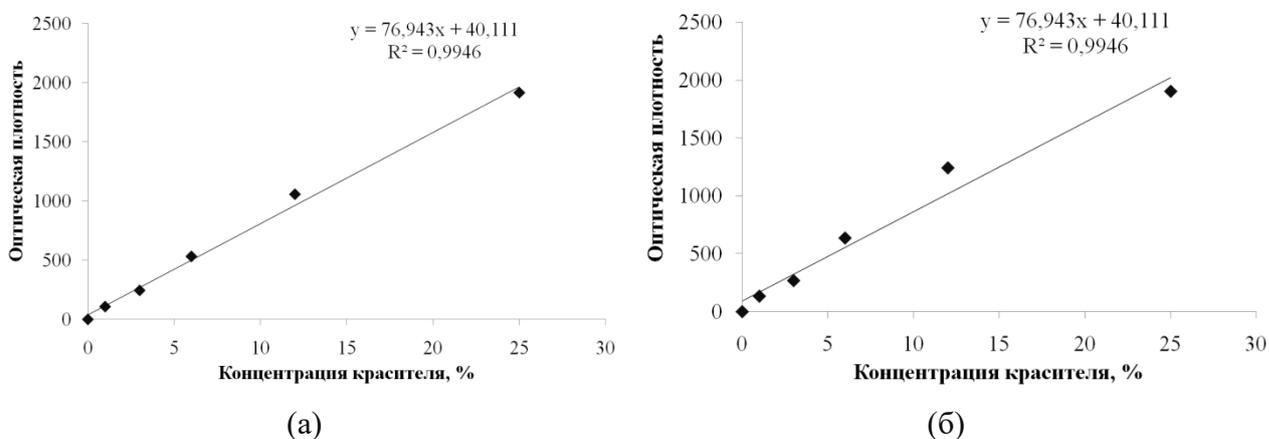


Рисунок 2.2. Калибровочного графика для: эозина (а) и МГ (б).

2.5 Выдерживание наночастиц в растворе красителя

Для приготовления суспензии навески порошков 1 г/л (аналитические весы ALC-110d4 (Acculab, США, точность 0,0001 г) заливали раствором красителя на основе дистиллированной воды (дистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень-Медико, Россия, pH=6.2). Величину pH в растворе красителя доводили с помощью титрования 0,1 М растворами HNO_3 и NaOH. Величину pH определяли с помощью pH-метра Starter 2100 (OHAUS, Китай). Наночастицы выдерживали в сводном растворе красителя с концентрацией 25 мг/л (для эозина Н) и 6 мг/л (для метиленового голубого) с разным значением pH и разным размером наночастиц в пластиковом контейнере с закручивающейся крышкой. На протяжении 60 мин растворы обрабатывали в ультразвуковой (УЗ) ванне LQ-40 (ODA, Россия, мощность 120 Вт) при 25°C. Каждые 15 мин УЗ ванну выключали, и из раствора отбирали по 7 мл суспензий, и включали УЗ дальше для обработки. Отобранную аликвоту центрифугировали Centrifuge 5702 (Eppendorf, Германия, 4 400 об/мин) для отделения частиц в течение 15 мин.

В эксперименте с разными красителями к 0,08 г наночастиц Al_2O_3 -40 прилили 50 мл раствора красителя, приготовленного на основе дистиллированной воды с концентрацией красителя 2,5 мг/л. Наночастицы на протяжении всего эксперимента обрабатывали ультразвуком (ультразвуковая ванна LQ-40, ODA, Россия, мощность 120 Вт). После выдерживания 60 мин суспензии центрифугировали (4 400 об/мин, 15 мин).

В полученных центрифугатах измеряли оптическую плотность на спектрофотометре PD-303 (Arel, Япония) и соотносили с концентрацией на калибровочном графике.

Степень извлечения красителя ($q, \%$) рассчитывали по формуле (2.3):

$$q = \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \cdot 100, \% \quad (2.3)$$

где C_o – начальная концентрация красителя, C_t – концентрация красителя в момент времени.

2.6 Изучение кинетики адсорбции

Для описания процесса сорбции применили кинетические модели, учитывающие химическую стадию, и модели, построенные на предположении о лимитировании скорости сорбции диффузионными стадиями массопереноса. К первой группе моделей относятся модели псевдо-первого и псевдо-второго порядков. Ко второй группе относят модель внешней (пленочной) диффузии, модель внутренней (гелевой) диффузии смешанно-диффузионную модель, учитывающую оба транспортных процесса.

Адсорбционную емкость ($q_e, \text{мг/г}$) рассчитывали по формуле (2.4):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m}, \frac{\text{мг}}{\text{г}} \quad (2.4)$$

где C_o – начальная концентрация красителя, C_e – концентрация красителя в равновесии, V – объем раствора, m – масса адсорбента.

Параметры адсорбции рассчитывали аналогично работе [54]. Для описания кинетики сорбции использовали кинетические модели псевдо-первого и псевдо-второго порядков, которые в линейной форме описывается уравнениями (2.5) и (2.6), соответственно:

$$\lg(q_e - q_m) = \lg q_e - k \cdot \frac{t}{2,303} \quad (2.5)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.6)$$

где t – время контакта, q_e – адсорбционная емкость в равновесии, q_t – адсорбционная емкость во время контакта, k – константа скорости адсорбции.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ92	Райгель Марии Дмитриевне

Школа	ИШНПТ	Отделение	ОМ
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	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Кащук И. В.	к.т.н доцент		08.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ92	Райгель М. Д.		08.02.2021

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. 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.

Практической значимостью магистерской диссертации является разработка технологии эффективной адсорбции красителей из водных растворов с помощью промышленных наночастиц оксида алюминия.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки эффективной адсорбции красителей на поверхности наночастиц различных оксидов металлов TiO_2 и Fe_2O_3 .

Детальный анализ необходим, так как адсорбция на разных наночастицах имеет свои достоинства и недостатки. 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 (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
2. Простота изготовления	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
3. Удобство в эксплуатации	0,13	5	5	5	0,65	0,65	0,65
4. Эффективность	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,45
5. Безопасность	0,09	3	3	3	0,27	0,27	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
2. Срок выхода на рынок	0,12	5	5	3	0,6	0,48	0,36
3. Конкурентоспособность продукта	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
Итого	1	35	31	30	4,43	3,86	3,65

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

$$K = \sum B_i * B_i \quad (4.1)$$

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

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Из таблицы 4.1 видно, что разрабатываемый продукт конкурентоспособен, по сравнению с конкурентной продукцией, за счет таких показателей, как эффективность и цена сырья. Эффективность является одним из наиболее важных критериев, поскольку он влияет на конечный результат. Другими наиболее важными критериями являются простота изготовления и удобство в эксплуатации, так как данные критерии влияют на время проведения процесса и эффективность работы.

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

4.1.2 SWOT-анализ

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

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

Таблица 4.2. Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Низкая цена исходного сырья	СЛ1. Недостаточно информации о влиянии наночастиц на здоровье человека и окружающую среду
С2. Высокая эффективность удаления красителя	СЛ2. Большие погрешности эксперимента
С3. Новизна исследования	
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ТПУ	У1. Выявление токсичности разработки на здоровье человека и окружающую среду
В2. Появление потенциального спроса на разработки	У2. Появление аналогов и более ранних их выход на рынок
В3. Внедрение технологии в промышленности	У3. Отсутствие финансового обеспечения исследования
В4. Внедрение на мировой рынок	

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

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

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

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

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2
	B1	-	+
	B2	+	+
	B3	+	+
	B4	+	+

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

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	-	-	+
	У2	+	+	+
	У3	-	-	+

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

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2
	У1	+	+
	У2	-	+
	У3	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7. Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: 1. Низкая цена исходного сырья; 2. Высокая эффективность удаления красителя; 3. Новизна исследования.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: 1. Недостаточно информации о влиянии наночастиц на здоровье человека и окружающую среду; 2. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
Возможности: 1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ; 2. Появление потенциального спроса на новые разработки; 3. Внедрение технологии в текстильной промышленности; 4. Внедрение на мировой рынок.	Благодаря низкой стоимости сырья появляется возможность проводить больше экспериментов для выявления еще более эффективного метода адсорбции красителей, и внедрять данный метод в текстильную промышленность для очистки сточных вод.	Нанотехнологии являются развивающейся областью, поэтому в литературе недостаточно данных о влиянии наночастиц на организм человека и окружающую среду, а также поведение наноматериалов в тех или иных условиях.
Угрозы: 1. Выявление токсичности разработки на здоровье человека и окружающую среду; 2. Появление аналогов и более ранний их выход на рынок; 3. Отсутствие финансового обеспечения научного исследования.	Исследования адсорбции красителей с помощью наноматериалов получили свое развитие недавно, поэтому предстоит провести еще эксперименты для определения поведения наноматериалов и их влияние на человека и окружающую среду, которые без финансового обеспечения провести сложно. Также существует риск, что другие наноматериалы покажут более лучшие результаты и благодаря этому выйдут на рынок быстрее.	Так как недостаточно информации о наноматериалах и их поведении и влиянии на человека и окружающую среду и при различных условиях наноматериалы ведут себя по-разному, затруднителен выход на рынок.

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

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

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

Таблица 4.8.Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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

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

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

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

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

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

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.4):

$$T_{ki\text{ кал}} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.4)$$

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

Календарный коэффициент определяется по формуле (4.5):

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.5)$$

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях (ср.) T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	3	-	5	-	3,8	-	3,8	6
2. Календарное планирование выполнения НИР	1	3	3	5	1,8	2,6	2,2	3

3. Обзор научной литературы	-	7	-	14	-	7	7	10
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	3	6	5	8	3,8	6,8	5,3	8
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	1	3	3	5	1,8	3,8	1,1	2
10. Составление пояснительной записки	-	10	-	15	-	12	12	18
Итого:	8	62	16	94	11,2	70,8	70	105

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

Таблица 4.10. Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ													
				февраль			март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение тех. задания, утверждение плана-графика	Руководитель	6	■													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Руководитель Инженер	3	■	■												
3	Обзор научной литературы	Инженер	10		■	■											
4	Выбор методов исследования	Инженер	6			■											
5	Планирование эксперимента	Руководитель Инженер	8			■	■										
6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер	9				■										
7	Проведение эксперимента	Инженер	25					■	■	■							
8	Обработка полученных данных	Инженер	18								■	■	■				
9	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель Инженер	2										■	■			
10	Составление пояснительной записки	Инженер	18												■	■	■

Примечание: ■ -руководитель, ■ -инженер.

4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении суспензий, состоящих из наночастиц оксида алюминия и красителя растворенных в дистиллированной воде. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11. Затраты на получение суспензий

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Нанопорошки Al_2O_3	г	45	5,2	234
Красители	г	15	3,5	52,5
HCl	мл	100	1,8	180
NaOH	г	100	0,15	15
Резиновые перчатки	шт	25	1,5	37,5
Итого:				519

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле (4.6):

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.6)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле (4.7):

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.7)$$

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

Таблица 4.12. Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Аналитические весы ALC-110d4 (Acculab, США)	1	5	0,3	20	57900	9650
2	Дистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ (Тюмень-Медико, Россия)	1	5	0,3	20	21660	3610
3	Спектрофотометр PD-303 (Arel, Япония)	1	5	0,3	20	69100	11517
4	pH-метр Starter2100 (OHAUS, Китай)	1	2	0,3	50	34000	14167
5	Ультразвуковая ванна LQ-40 (ODA, Россия)	1	5	0,3	20	20400	3400
6	Центрифуга Centrifuge 5702 (Eppendorf, Германия)	1	7	0,3	14	406500	47425
Итого:		89768					

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле (4.8):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.8)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл.4.13).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя) (4.9):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_\phi} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.9)$$

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

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

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера) (4.10):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя (4.11):

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

- для инженера (4.12):

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.12)$$

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

Таблица 4.13. Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант	Консультант по экономической части	Консультант по социальной ответственности
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней				
выходные дни:	118	118	118	118
праздничные дни:	17	17	17	17
Потери рабочего времени				
отпуск:	28	28	28	28
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219	219	219

Таблица 4.14. Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	к _т	Z _{гс} , руб.	k _{np}	к _д	к _р	Z _м , руб.	Z _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	Z _{осн} , руб.
Руководитель	ППС 3	0,15	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	11,2	24049,76
Инженер		0,15	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	70,8	123411,48
Итого										147461,24

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя (4.13):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 24049,76 = 3607,46 \quad (4.13)$$

– для инженера (4.14):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 123411,48 = 18511,72 \quad (4.14)$$

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

Общая заработная плата исполнителей работы представлена в таблице 4.15.

Таблица 4.15. Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{ит}$, руб.
Руководитель	24049,76	3607,46	27657,22
Инженер	123411,48	18511,72	141923,2
		Итого	169580,4

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина этих отчислений определяется по формуле (4.15):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	24049,76	3607,46
Инженер	123411,48	18511,72
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого	50874,13	

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле (4.16):

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

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов $k_{\text{нр}}$ допускается взять в размере 16 %.

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.17.

Таблица 4.17. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Проект	Исп.1	Исп.2	
Материальные затраты НИИ	519	2760	780	Пункт 4.3.1
Затраты на оборудование для научных работ	89768	89768	89768	Пункт 4.3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	169580,4	169580,4	169580,4	Пункт 4.3.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22119,18	22119,18	22119,18	Пункт 4.3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	50874,13	50874,13	50874,13	Пункт 4.3.5
Накладные расходы	53257,71	53616,27	53299,47	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат	386118,4	388718	386421,2	Сумма ст. 1- 6

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

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

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены наночастицы TiO_2 и Fe_2O_3 .

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{текущ.проект} = 386118,4$ руб, $\Phi_{исп.1} = 388718$ руб, $\Phi_{исп.2} = 386421,2$ руб.

$$I_{финр}^{исп.пр} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{386118,4}{388718} = 0,9933$$

$$I_{финр}^{исп.пр} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{388718}{388718} = 1$$

$$I_{финр}^{исп.пр} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{386421,2}{388718} = 0,9941$$

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

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (табл. 4.18).

Таблица 4.18. Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исполнитель 2	Исполнитель 3
1. Удобство в эксплуатации	0,3	5	5	5
2. Стабильность результатов	0,3	4	4	3
3. Надежность	0,25	4	3	2
4. Материалоёмкость	0,15	4	4	4
Итого	1	4,3	4,05	3,5

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,3;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,05;$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,5.$$

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (4.18):

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (4.18)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,3}{0,9933} = 4,33, I_{исп.2} = \frac{4,05}{1} = 4,05, I_{исп.3} = \frac{3,5}{0,9941} = 3,52.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (табл. 4.19).

Таблица 4.19. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9933	1	0,9941
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	4,05	3,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,33	4,05	3,52
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,94	0,81

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

4.5. Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

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

2. В ходе планирования для руководителя, магистранта, консультантов по экономической части и социальной ответственности был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей.

Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 105 дней; общее количество дней, в течение которых работал магистрант, составляет 70,8 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 11,2 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 386118,4 рублей;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,9933, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,3, по сравнению с 4,05 и 3,5;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,33, по сравнению с 4,05 и 3,52, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Задание для раздела «Социальная ответственность»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ92	Райгель Марии Дмитриевне

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

Тема ВКР:

Влияние pH и размера наночастиц Al_2O_3 на адсорбцию красителей из водных сред.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объект исследования – нанопорошки Al_2O_3 . Методика – адсорбция красителей из водных сред с помощью промышленных наночастиц. Рабочая зона – лаборатория ОМ ТПУ. Область применения – текстильная промышленность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Методические рекомендации ПНД Ф 12.13.1-03 «Правила безопасной работы в химической лаборатории». ГОСТ 12.0.004-90 «Организация обучения безопасности труда» 01.07.1991. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Опасными и вредными факторами производственной среды являются: отклонения микроклиматических параметров воздушной среды на рабочем месте, отклонения освещенности рабочего места, взаимодействие человека с химическими веществами, повышенный уровень ультразвуковых колебаний.
3. Экологическая безопасность:	Во время исследования происходит загрязнение атмосферы, биосферы, гидросферы, литосферы наночастицами Al_2O_3 и красителями.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть во время проведения исследования: пожар, землетрясение, наводнение, ураган. Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является пожар.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
22.02.2021	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Скачкова Л.А.			22.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ92	Райгель М.Д.		22.02.2021

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе рассматриваются вопросы охраны труда, техники безопасности, охраны окружающей среды, связанные с исследованием адсорбции красителей с помощью наночастиц в лабораторных условиях, а также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье сотрудников лаборатории опасных и вредных факторов и создание безопасных условий труда для обслуживающего персонала.

Быстрый рост индустриализации вызвал крупномасштабное загрязнение водоносных горизонтов, что создает угрозу не только для здоровья населения, но и угрожает жизни многочисленных видов флоры и фауны, вызывая тем самым потерю биоразнообразия. Красители являются опасными загрязнителями сточных вод [1], и для их удаления в большинстве случаев предпочитают адсорбцию с помощью промышленных наночастиц [2].

В данном разделе рассматриваются вопросы охраны труда, техники безопасности, охраны окружающей среды, связанные с исследованием адсорбции красителей с помощью наночастиц Al_2O_3 в лабораторных условиях, а также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье сотрудников лаборатории опасных и вредных факторов и создание безопасных условий труда для персонала.

Выполнение выпускной квалификационной работы осуществляется в лаборатории ТПУ. Объектом исследования являются нанопорошки Al_2O_3 . Целью выпускной квалификационной работы является определение влияния pH раствора, типа красителя и размера частиц Al_2O_3 на эффективность и кинетику адсорбции красителей из водных сред.

Оборудование, используемое во время проведения исследования: аналитические весы ALC-110d4 (Acculab, США), дистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ (Тюмень-Медико, Россия), pH-метр Starter 2100 (ОНАУС, Китай), ультразвуковая ванна LQ-40 (ODA, Россия), спектрофотометр PD-303 (ApeI, Япония), центрифуга Centrifuge 5702 (Eppendorf, Германия).

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям ТК РФ [55].

Согласно Приказу Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г, необходимо проводить обязательные

предварительные и периодические медицинские осмотры работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В методических рекомендациях ПНД Ф 12.13.1-03 изложены основные правила безопасной работы в химической лаборатории, включая правила пожарной и электробезопасности, правила хранения и безопасной работы с химическими реактивами, а также способы оказания первой помощи при несчастных случаях.

Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников согласно ГОСТ 12.0.004-90 Организация обучения безопасности труда 01.07.1991.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место человека, работающего в лаборатории, должно быть организовано согласно требованиям:

1. При организации рабочего места необходимо учитывать следующие рекомендации: цвета окраски потолка - белый или светлый цветной; стен - сплошные, светло-голубые; пола - темно-серый, темно-красный или коричневый. Интерьер должен содержать не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Оборудование и приборы имеют светлые цвета с высококонтрастными надписями к ним. Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшением зрительного утомления.

2. Полы помещений химических лабораторий должны быть из водонепроницаемого и кислотоупорного материала, нескользкими, обладать низкой теплопроводностью, обеспечивать возможность влажной уборки и дезинфекции. Не допускается применение ворсовых покрытий на основе химических волокон. Стены и потолки помещений должны быть гладкими, легко моющимися, устойчивыми к действию дезинфицирующих средств.

3. Помещения лаборатории обеспечены электроэнергией, централизованными системами холодного и горячего водоснабжения, водоотведения, приточно-вытяжной вентиляцией, вытяжными шкафами с принудительной вентиляцией для работы с химическими веществами и их суточного хранения, отоплением, кондиционированием, пожарной сигнализацией, средствами пожаротушения.

4. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным

требованиям эргономики. Столы оборудуются с трех сторон бортиками высотой 20 мм и покрытием, устойчивым к слабым растворам кислот и щелочей.

5. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе оборудовании, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Объектом исследования являются наночастицы оксида алюминия. Влияние этих частиц на здоровье человека мало изучено. Частицы способны проникать в организм через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт, кожу [56]. Далее они попадают в кровь, минуя барьер клеточной мембраны, после чего получают свободный доступ в клетки, изменяя ее структуру, вызывая воспаления и повреждения тканей.

Современные средства индивидуальной защиты не эффективны из-за высокой дисперсности наночастиц. Существует необходимость разработки новых технологических подходов для обеспечения более высокого уровня безопасности работников.

5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов

В таблице 5.1 представлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования.

Таблица 5.1. Опасные и вредные факторы

Факторы ГОСТ 12.0.003-2015	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Микроклиматические условия труда	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21[57]
2. Освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95[58]
3. Электробезопасность	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [59]
4. Воздействие ультразвука	-	-	+	СанПиН 1.2.3685-21 [57]
5. Взаимодействие с химическими веществами	+	+	-	ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [60]

1. Микроклимат в рабочей зоне оказывает влияние на тепловое состояние человека, которое определяет самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Характеризуется температурой, относительной влажностью, скоростью движения воздуха и интенсивностью теплового облучения. Оптимальными условиями в лаборатории являются: средняя температура воздуха 22°C, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха не более 0,1 м/с.

В лаборатории предусмотрены следующие нормы производственной санитарии:

- температура в помещении: в холодный период +15...+24 °С; в тёплый период +16...+27 °С.
- влажность воздуха в помещениях: в холодный период не более 75 %; в тёплый период не более 55 - 75 %.
- скорость движения воздуха: в холодный период 0,1 – 0,4 м/с; в теплый период 0,1 – 0,5 м/с.

2. Свет влияет на физиологическое состояние человека. Правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление, способствует развитию близорукости. При недостаточном освещении увеличивается вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму. Нормируемыми параметрами для систем искусственного освещения являются: величина минимальной освещенности $L_{\text{доп}}$, допустимая яркость в поле зрения $L_{\text{доп}}$, а также показатель ослепленности P и коэффициент пульсации $K_{\text{п}}$ (СанПиП 23–05–95) [58].

3. Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности являются: оголенные части проводов или отсутствие изоляции, отсутствие заземления, замыкания, статическое напряжение.

4. Во время исследования человек подвергается воздействию воздушного ультразвука от работающей ультразвуковой ванны. Установка издает низкочастотный ультразвук (40 кГц), что соответствует допустимым условиям. Но при систематическом воздействии у персонала могут наблюдаться функциональные изменения центральной и периферической нервной системы, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов, гуморальные нарушения.

5. Еще один фактор, который возникает на рабочем месте при проведении исследования, является взаимодействие с концентрированной азотной кислотой. При

попадании на кожу она вызывает тяжелые ожоги, а пары раздражают верхние дыхательные пути, вызывают конъюнктивиты и поражают роговицы глаз.

5.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий: соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей путём ограждения токоведущих частей, применением блокировки аппаратов, предупреждающих надписей, применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений. Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79 [59].

Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается работать на неисправных электрических приборах и установках, перегружать электросеть, переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы, загромождать подходы к электрическим устройствам.

Обо всех обнаруженных дефектах следует немедленно сообщить электрику. В случае перерыва в подаче электроэнергии электроприборы должны быть немедленно выключены.

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача.

Для предотвращения поражения работников и студентов лаборатории электрическим током применяются следующие меры:

- Все токопроводящие элементы покрыты изоляционным слоем, в помещениях с повышенной влажностью проводка проверяется не реже чем раз в год, данное требование прописано в правилах технической безопасности электроустановок. В лаборатории эти требования применяются как к приборам, так и к вытяжным шкафам;

- Обеспечение механических преград к токовыводящим элементам, данное условие достигается установкой заслонок и блокировок;
- Все оборудование заземлено;
- Весь персонал и студенты лаборатории проходят инструктаж по технике безопасности не реже чем раз в год.

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 [65] и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83 [66].

Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами (не менее одного на этаж) с пожарными рукавами. В каждом рабочем помещении должны быть в наличии огнетушители и песок, а в помещениях с огнеопасными и легковоспламеняющимися веществами – дополнительные средства пожаротушения.

В помещении лаборатории на видном месте должен быть вывешен план эвакуации сотрудников в случае возникновения пожара. Распоряжением по лаборатории из числа сотрудников назначается группа (3 – 5 человек), которая организует все противопожарные мероприятия. Все сотрудники лаборатории должны быть обучены правилам обращения с огне- и взрывоопасными веществами, газовыми приборами, а также должны уметь обращаться с противогазом, огнетушителем и другими средствами пожаротушения, имеющимися в лаборатории.

В помещениях лаборатории и в непосредственной близости от них (в коридорах, под лестницами) запрещается хранить горючие материалы и устанавливать предметы, загромождающие проходы и доступ к средствам пожаротушения. Курить разрешается только в отведенном и оборудованном для этой цели месте. Без разрешения начальника лаборатории и лица, ответственного за противопожарные мероприятия, запрещается установка лабораторных и нагревательных приборов, пуск их в эксплуатацию, переделка электропроводки.

Для ликвидации небольших очагов пожара на территории объекта имеются первичные средства тушения пожара – огнетушители, ящики с песком, асбестовые одеяла (кошмы) [59].

Для обеспечения пожаробезопасности лаборатории выполнены следующие требования:

- Все сотрудники и студенты лаборатории ознакомлены с правилами пожарной безопасности, при работе с используемыми реактивами, соблюдают меры предосторожности с ними;

- Объем хранящихся ЛВЖ и ГЖ не превышает разрешенный объем, хранение веществ, пары которых могут приводить к возгоранию и пожару;
- Все работы, связанные с работой с ЛВЖ и ГЖ проводятся исключительно в исправленных вытяжных шкафах;
- Приточно-вытяжную вентиляцию включают за 30 минут до начала работы в лаборатории;
- По окончании работы выключают воду и электроприборы, используемые во время работы;
- В каждой лаборатории или в коридоре рядом с выходом из помещения расположены средства пожаротушения, а именно: огнетушитель, асбестовая или суконная кошма, ящик с сухим песком и совком. Каждый работник и студент лаборатории проходят инструктаж о применении средств пожаротушения.

Для обеспечения безопасности при взаимодействии с химическими веществами в лаборатории выполнены следующие требования:

- Кислота хранится в стеклянной емкости с хорошо закрывающейся резиновой крышкой в вытяжном шкафу;
- Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией;
- Персонал и студенты используют средства индивидуальной защиты – резиновые перчатки и лабораторный халат;
- Помещение имеет в наличии средство для ликвидации разливов химических веществ (нейтрализующий агент).

При попадании кислоты на кожу необходимо промыть пораженные места обильным количеством воды и обработать нейтрализующим веществом. При попадании кислоты на одежду, необходимо снять ее, не допуская проникновения кислоты через одежду и контакта с кожей. При любом воздействии опасного химического вещества необходимо обратиться за медицинской помощью.

Произведем расчет искусственного освещения лаборатории длиной 10 м, шириной 8 м и высотой 4 метра. Высота рабочей поверхности 0,8 м. Требуется создать освещенность 300 лк. Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_n = 70 \%$. Коэффициент запаса $k = 2$, коэффициент неравномерности $Z = 1,2$. Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения $\lambda = 1,4$. Выбираем светильники типа ОД, Приняв $h_c = 0,1$ м, получаем:

$$h = 4 - 0,1 - 0,8 = 3,1 \text{ м}, L = 1,4 \cdot 3,1 = 4,2 \text{ м}, \text{ и } L/3 = 1,4 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 5 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,2 м), при этом разрывы между

светильниками в ряду составят 25 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рису.5.1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 40$.

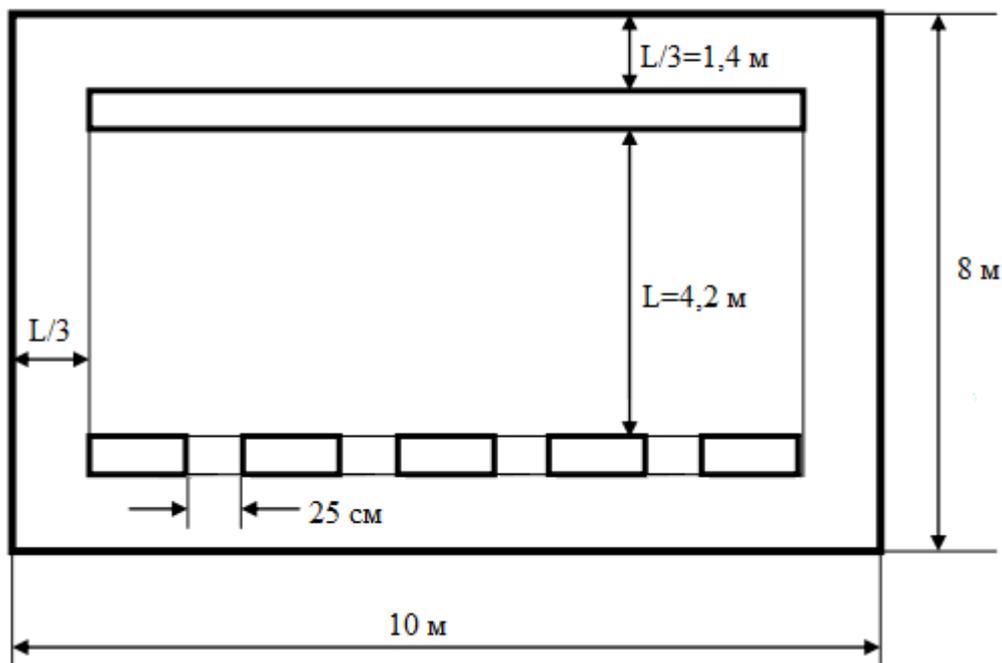


Рисунок 5.1. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{80}{3,1 \cdot 18} = 1,43$$

Отсюда следует, что коэффициент использования светового потока равен 0,56.

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 80 \cdot 2 \cdot 1,1}{40 \cdot 0,56} = 2357 \text{ лм}$$

Ближайшая стандартная лампа – ЛД 40 Вт с потоком 2300 лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$\frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} = \frac{2300 - 2357}{2357} \cdot 100 = -2,48\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 40 \cdot 40 = 1600 \text{ Вт.}$$

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду

Во время проведения исследований наночастицы, благодаря малому размеру, способны проникать в самые различные области нашего мира [61]. При попадании наночастиц в воздух могут образовываться устойчивые во времени аэрозоли, которые затем проникают в наземные биологические объекты через воздух с дыханием, кожу и пищеварительный тракт. Посредством сорбции наночастицы из аэрозолей поглощаются растениями, активно проникая в растительный мир, являющийся источником пищи практически для всех биообъектов. Диспергированные наночастицы в воздухе могут абсорбироваться водой озер и рек, а выпадающие в осадок будут попадать в почву и грунты.

Попадание наночастиц в почвы может происходить из атмосферы (осаждение, адсорбция, адгезия), из гидросферы (растворение-осаждение, адсорбция, адгезия) и из биологических объектов (при их жизнедеятельности и разложении). При попадании в почвы наночастицы могут нарушать ее микробиологический состав, оказывая опосредованно влияние на плодородность. Из почвы наночастицы могут проникать в бентос, который насыщается питательными веществами при переработке почвы, и далее, по пищевой цепочке, в водоросли и более сложные организмы животного мира.

Наночастицы, содержащиеся в воздухе, могут оседать на листьях и других наземных частях растений, а наночастицы из гидросферы и литосферы будут взаимодействовать с частями растений, находящимися соответственно в этих средах. Накопление наночастиц на поверхности растений может влиять на фотосинтез и газообмен [62], а, следовательно, на его жизнедеятельность.

Наночастицы, содержащиеся в воде, могут взаимодействовать с беспозвоночными. Например, наночастицы оседают на наружном скелете и щетинках и накапливаются в пищеварительно-выделительном тракте дафний, вызывая нарушение двигательной деятельности и смертность организмов [63].

5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

В целях обеспечения надежности и безопасности работы, предусматривается ряд мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение технологического процесса: очистка технологических и вентиляционных выбросов и сточных вод.

Очистке подлежат технологические и вентиляционные выбросы. В настоящее время существует большое количество различных методов очистки воздуха от различных вредных загрязнений. При выборе способов и методов очистки воздуха следует учитывать

следующие факторы: характер технологического процесса, гигроскопичность, токсичность улавливаемой среды.

Из-за большого разнообразия растворимых и нерастворимых загрязнителей, попадающих в сточные воды, создать универсальный способ их обезвреживания и удаления не представляется возможным. Поэтому применяют целый набор методов, каждый из которых ориентирован на работу с той или иной группой веществ. Все эти приемы можно разделить на несколько категорий: механические, химические, биологические и биохимические, физико-химические. Каждая из перечисленных технологий очистки включает в себя несколько ступеней, требующих применения определенных технических устройств, химикатов и биологически активных препаратов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В ходе эксплуатации оборудования может возникнуть ряд внештатных ситуаций, включая утечку химикатов в лаборатории, внезапное отключение электроэнергии, выход оборудования из строя, возгорание оборудования и резкое ухудшение состояния сотрудников.

В результате производственной аварии в помещении лаборатории может возникнуть возгорание, прорыв отопительной системы, распространение ядовитых веществ и т.д. В этом случае необходимо эвакуировать персонал и студентов из лаборатории, локализовать распространение ядовитых веществ или пламени, вызвать спецслужбы, пострадавшим оказать первую помощь.

В случае, когда в лаборатории атмосфера оказалась заражена ядовитыми веществами, сотрудникам и студентам необходимо надеть противогазы и обесточить лабораторию. После дезактивации ядовитых веществ помещение лаборатории должно быть проветрено.

Если возникло возгорание в зависимости от объекта возгорания необходимо применять различные виды средств пожаротушения согласно с ГОСТ Р 22.0.01-94[64]:

- Если возгорание распространилось на одежду можно применять воду;
- Если возгорание произошло вблизи работающей электроустановки необходимо применить порошковый огнетушитель.

При возникновении чрезвычайной ситуации, когда необходимо покинуть лабораторию, необходимо следовать плану эвакуации, который приложен на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2. План эвакуации

Практическая значимость работы заключается в возможности изучить правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, проанализировать опасные и вредные факторы при работе в лаборатории, рассмотреть комплекс мер, для правильной и безопасной работы в лаборатории и разработать порядок действий в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

5.5 Выводы по разделу

Таким образом, в разделе «социальная ответственность» были рассмотрены следующие пункты: организационные мероприятия, в котором описаны требования к рабочему месту (цветовая гамма помещения, материалы стен и пола, интерьер, конструкция рабочих стола и стула); опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть в лаборатории (отклонение микроклимата, недостаточное освещение рабочей зоны, воздействие тока и ультразвука на человека, взаимодействия человека с химическими веществами) и мероприятия по снижению уровня их воздействия; также рассмотрено влияние объекта и процесса исследования на окружающую среду и описаны мероприятия по ее защите, чрезвычайные ситуации и мероприятия по предотвращению их.

6. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Райгель М.Д., Годымчук А.Ю. Влияние pH на адсорбцию красителя эозина Н с помощью наночастиц Al_2O_3 // Инновационные материалы и технологии: Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, 19-21 января 2021 г. – Минск: БГТУ, 2021. – С.117-120.

2. Raygel M. Effect of pH on the adsorption of Eosin N dye on Al_2O_3 nanoparticles // Abstracts of the Cukurova 6th International Scientific Researches Conference, Adana, Turkey, 5-6 March 2021.– Adana: ISPEC Publishing House, 2021. – P.30.

7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Noreen S., Mustafa G., Ibrahim S.M., Naz S., Iqbal M., Yaseen M., Javed T., Nisar J. Iron oxide (Fe_2O_3) prepared via green route and adsorption efficiency evaluation for an anionic dye: kinetics, isotherms and thermodynamics studies // *Research and Technology*. – 2020. – Vol.9. – P. 4206-4217.
2. Srinivasan A., Viraraghavan T. Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: a review // *Journal of Environmental Management*. – 2010. – Vol.91. – P.1915-1929.
3. Benjelloun M., Miyah Y., Evrendilek G.A., Zerrouq F., Lairini S. Recent advances in adsorption kinetic models: their application to dye types // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2021. – Vol.14. – P.103031.
4. Azari A., Nabizadeh R., Nasser S., Mahvi A.H., Mesdaghinia A.R. Comprehensive systematic review and meta-analysis of dyes adsorption by carbon-based adsorbent materials: Classification and analysis of last decade studies // *Chemosphere*. – 2020. – Vol. 250. – P.126238.
5. Banerjee S., Dubey S., Gautam R.K., Chattopadhyaya M.C., Sharma Y.C. Adsorption characteristics of alumina nanoparticles for the removal of hazardous dye, Orange G from aqueous solutions // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2019. – Vol.12. – P.5339-5354.
6. Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов А.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. – Москва: Международный университет природы, общества и человека «Дубна» Филиал «Угреша», 2007. – с. 125.
7. Гусев А.И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
8. Blank V.D., Seepujak A., Polyakov E.V., Batov D.V., Kulnitskiy B.A., Parkhomenko Yu.N., Skryleva E.A., Bangert U., GutierrezSosaA., Harvey A.J.. Growth and characterization of BNC nanostructures // *Carbon*. – 2009. – Vol.47. – P. 3167-3174.
9. Бенда А.Ф. Наноматериалы. Проблемы безопасности, экологии и этики в применении наноматериалов. – М.: МГУП имени И. Федорова, 2014. – 130 с.
10. Huang B., Cao M.H., Wu X.L., Nie F.D., Huang H., Hu C.W. Twinned TATB nanobelts: synthesis, characterization, and formation mechanism // *CrystEngComm*. – 2011. – Vol. 24. – P. 6658-6664.
11. Qian Wei-Mao, Vahid Mohammad Hossein, Sun Yu-Liang, Heidari Ali, Barbaz-Isfahani Reza, Saber-Samandari Saeed, Khandan AmirSalar, Toghraie Davood. Investigation on the effect of functionalization of single-walled carbon nanotubes on the mechanical properties of

epoxy glass composites: Experimental and molecular dynamics simulation//Journal of Materials Research and Technology. – 2021. – Vol.12. – P. 1931-1945.

12. Sakib Mohammad Nazmus, Mallik Abul K., Rahman Mohammed Mizanur. Update on chitosan-based electrospun nanofibers for wastewater treatment: A review// Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. – 2021. – Vol.2. – P. 1-17.

13. Bach-Toledo Larissa, Hryniewicz Bruna M., Marchesi Luís F., Dall’Antonia Luiz H., Vidotti Marcio, Wolfart Franciele. Conducting polymers and composites nanowires for energy devices: A brief review// Materials Science for Energy Technologies. 2020. – Vol.3. – P. 78 – 90.

14. Yang G.C., Hu L., Zhou Y., Hu Y.J., Huang H., Nie F.D. Synthesis of one-molecule-thick single-crystalline nanosheets of energetic material for high-sensitive force sensor//Scientific Reports. – 2012. – Vol.2. – P.698.

15. Yang G.C., Nie F.D., Li J.S., Guo Q.X., Qiao Z.Q. Preparation and characterization of nano-NTO explosive //Journal of Energetic Materials. – 2007. – Vol. 25. – P. 35-47.

16. Umavathi Saraswathi, Mahboob Shahid, Govindarajan Marimuthu, Al-Ghanim Khalid A., Ahmed Zubair, Virik P., Al-Mulhm Norah, Subash Muruges, Gopinath Kasi, Kavitha C. Green synthesis of ZnO nanoparticles for antimicrobial and vegetative growth applications: A novel approach for advancing efficient high quality health care to human wellbeing// Saudi Journal of Biological Sciences. – 2021. – Vol.28. – P.1808-1815.

17. Чеканова А.Е. Биосовместимые магнитные наноматериалы на основе оксида железа (III). Автореферат дисс. к.х.н., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 2018. – 23 с.

18. Мировой рынок нанопорошков в 2003-2009 годах // Маркетинговые отчеты Abercade Consulting Электронный ресурс: <http://abercade.ru/research/reports/3831.html>.

19. Жабрев В. А., Мошников В. А., Таиров Ю. М. и др. Золь-гель технология: учеб.пособие. – СПб: СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2004. 160 с.

20. Лямина Г.В., Качаев А.А., Колосов П.В., Чеprasова М.Ю. Получение нанопорошков оксида алюминия и циркония из растворов их солей методом распылительной сушки //Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т.33.–№2. – С.119-124.

21. Zhukov1 I., Vorozhtsov1 S., Promakhov1 V., Bondarchuk1 I., Zhukov1 A., Vorozhtsov A. Plasma-chemical method for producing metal oxide powders and their application// Journal of Physic. – 2015. – Vol. 652. – P. 1 – 5.

22. Wu Y., Hao S., Yang Y., Wang M., Deng J. Electrical explosion of wair applying in nanometer materials preparation// Journal of Physics. – 2020. – Vol. 1549. – P. 1 – 5.

23. Guesh K., Mayoral A., Márquez-Álvarez C., Chebude Y., I. Díaz. Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ supported on zeolites tested in real wastewaters from the textile industry of Ethiopia//*Microporous Mesoporous Mater.* – 2016. – Vol. 225.– P. 88-97.
24. Guo M., Song W., Wang T., Li Y., Wang X., Du X. Phenyl-functionalization of titanium dioxide-nanosheets coating fabricated on a titanium wire for selective solid-phase microextraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from environment water samples//*Talanta.* – 2015. – Vol.144. – P.998–1006.
25. Ohsaka T., Shinozaki K., Tsuruta K., Hirano K.. Photo-electrochemical degradation of some chlorinated organic compounds on n-TiO₂ electrode//*Chemosphere.* – 2008. – Vol.73. – P.1279-1283.
26. Kim S.H., Lee S.W., Lee G.M., Lee B.-T., Yun S.-T., Kim S.-O.. Monitoring of TiO₂-catalytic UV-LED photo-oxidation of cyanide contained in mine wastewater and leachate// *Chemosphere.* – 2016. Vol. 143.– P.106–114.
27. Nguyen A.T., Hsieh C.-T., Juang R.-S.. Substituent effects on photodegradation of phenols in binary mixtures by hybrid H₂O₂ and TiO₂ suspensions under UV irradiation// *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* -2016. – Vol. 62. – P.68-75.
28. Moon G., Kim D., Kim H., Bokare A.D., Choi W.. Platinum-like behavior of reduced Graphene oxide as a Cocatalyst on TiO₂ for the efficient Photocatalytic oxidation of Arsenite// *Environ. Sci. Technol. Lett.* -2014. – Vol. 1. P.185–190.
29. Chen Z., et al. One-pot synthesis of Mn-doped TiO₂ grown on graphene and the mechanism for removal of Cr(VI) and Cr(III)// *Journal of Hazardous Materials.*– 2016. – 310. – P.188-198.
30. Foster H.A., Ditta I.B., Varghese S., Steele A. Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: spectrum and mechanism of antimicrobial activity // *Applied Microbiology and Biotechnology.* – 2011. – Vol. 90. – P.1847 - 1868.
31. Park J.-Y., Lee C., Jung K.-W., Jung D.. Structure related Photocatalytic properties of TiO₂//*Bulletin of the Korean Chemical Society.* – 2009. – Vol. 30. – P.402-404.
32. Liou J.-W., H.-H. Chang. Bactericidal effects and mechanisms of visible light responsive titanium dioxide Photocatalysts on pathogenic Bacteria//*Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis.* – 2012. – Vol.60.–P.267-275.
33. Abd-Elwaheda M.S., Sadouna A.M., Elmahdyb M. Electroless-plating of Ag nanoparticles on Al₂O₃ for enhanced mechanical and wear properties of Cu-Al₂O₃ nanocomposites// *Journal of Materials Research and Technology.* – 2020. – Vol.9. – P.13749-13758.

34. Федотов А.В. Применение оксигидроксида и оксида алюминия для повышения коррозионной стойкости и износостойкости сельскохозяйственной техники// Техника и оборудование для села. – 2019. - №10. – С.38-42.
35. Курбангалеева А. Р., Хакимуллин Ю. Н., Дресвянников А. Ф., Петрова Е. В. Влияние наноразмерного оксида алюминия на свойства тиоколовых и уретановых герметиков //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. №7. – с. 326-238.
36. Shankar Amalraj, Prawin Angel Michael. Synthesis and characterization of Al₂O₃ and CuO nanoparticles into nanofluids for solar panel applications// Results in Physics. – 2019. – Vol. 15. – P.1-7.
37. Gessner T., Gottfried K., Hoffmann R. Metal oxide gas sensor for high temperature application // Microsystem Technologies. – 2000. – Vol. 5. – P. 169-174.
38. Kim J.H., Kim E.K., Lee C.H., Song M.S., Kim Y.-H., Kim J. Electrical properties of metal-oxide semiconductor nano-particle device // Physica E. – 2005. – Vol. 1-4. – P. 432-435.
39. Письменко В.Т., Калюкова Е.Н. Коллоидная химия. Методические указания к лабораторной работе по коллоидной химии. Ульяновск: УЛГТУ, 2007. – 76 с.
40. Шумяцкий Ю.И. Адсорбционные процессы. Москва: Колос С, 2005. – 164 с.
41. Saima Noreen, Ushna Khalid, Sobhy M. Ibrahim, Tariq Javed, Ambreen Ghani, Saima Naz, Munawar Iqbal. ZnO, MgO and FeO adsorption efficiencies for direct sky Blue dye: equilibrium, kinetics and thermodynamics studies//Journal of materials research and technology. – 2020. - Vol. 9.– P. 5881-5893.
42. Крижановская О.О., Синяева Л.А., Карпов С.И., Селеменев В.Ф., Бородина Е.В., Рёсснер Ф.. Кинетические модели при описании сорбции жирорастворимых физиологически активных веществ высокоупорядоченными неорганическими кремнийсодержащими материалами// Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. – Т. 14. – №. 5. – с. 784-794.
43. Saima Noreen, Ushna Khalid, Sobhy M.Ibrahim, Tariq Javed, Ambreen Ghani, SaimaNaz, Munawar Iqbal. ZnO, MgO and FeO adsorption efficiencies for direct sky Blue dye: equilibrium, kinetics and thermodynamics studies//Journal of materials research and technology. – 2020. - Vol. 9.– P. 5881-5893.
44. Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена. – М.: Издательство иностранной литературы, 1962. – 492 с. Кокотов Ю.А., Пасечник В.А. Равновесие и кинетика ионного обмена. – Л.: Химия, 1970. – 336 с.

45. Moreira R.F.P.M., Peruch M.G., Kuhnen N.C. Adsorption of textile dyes on alumina. Equilibrium studies and contact time effects//Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 1998. – Vol.15.
46. Хохлова Т.Д.. Адсорбция красителей на оксиде алюминия, модифицированном олеиновой кислотой//Химия. – 2006. – №5. – с. 335-338.
47. Wasti A., M. Ali Awan. Adsorption of textile dye onto modified immobilized activated alumina// Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences. – 2014.–Vol. 20. – P. 26-31.
48. Ghosh S., Bose P., Basak S., Naskar M.K.. Solvothermal-assisted evaporation-induced self-assembly process for significant improvement in the textural properties of Al₂O₃, and study dye adsorption efficiency// Journal of Asian Ceramic Societies. – 2015. – Vol.3. – P.198-205.
49. R. J. Bhargavi U. Maheshwari S. Gupta. Synthesis and use of alumina nanoparticles as an adsorbent for the removal of Zn(II) and CBG dye from wastewater// International Journal of Industrial Chemistry. – 2015. – Vol.6. – P.31-41.
50. Luo T., Zhou T., Qu J. Discrimination of wet or dried arterial and venous blood for forensic applications via eosin fluorescence life time//Sensors and Actuators B: Chemical. – 2020. – vol. 304.
51. Yusim Y., Livingstone D. , Sidi A. Blue dyes, blue people: the systemic effects of blue dyes when administered via different routes/ Journal of Clinical Anesthesia. - №2007. – Vol.19. – P. 19 315-321.
52. Salah M. , Samy N. , Fade M. I. Methylene blue mediated photodynamic therapy for resistant plaque psoriasis// Journal of Drugs in Dermatology. – 2009. - №8. - P.42-49.
53. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 232 с.
54. Desai P., Gonawala K., Mehta M. Comparative study for adsorptive removal of coralene blue bgfs dye from aqueous solution by MgO and Fe₂O₃ as an adsorbent // Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Vol.7. – P. 45-56.
55. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)
56. Янущик А. Н.. Макарова А. М. и др. Влияние наночастиц на окружающую среду и здоровье человека // Молодой ученый. — 2018. — № 17 (203). — С. 126-128.
57. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
58. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

59. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
60. ГОСТ 12.4.011 - 89 ССБТ. "Средства защиты работающих. Общие требования и классификация"
61. Годымчук А.Ю., Савельев Г. Г., Зыкова А. П. Экология наноматериалов: учебное пособие. — М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. — 272 с.
62. Huang C. P., Cha D. K., Ismat S. S. Progress report: short-term chronic toxicity of photocatalytic nanoparticles to bacteria, algae, and zooplankton // Proceedings of the Progress Review Workshop «Nanotechnology and the Environment II», August 18-20, 2004, Philadelphia, PA, USA — 2004. — P. 117-118.
63. Lovern S. B., Klapner R. D. Daphnia magna mortality when exposed to titanium nanoparticles and fullerene (C60) nanoparticles // Environmental Toxicology Chemistry. — 2006. — V. 25. — P. 1132-1137.
64. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения
65. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Основные положения
66. ГОСТ 12.4.009-83. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание

CHAPTER 1. LITERARY REVIEW

Nanoparticles: classification and preparation

Definition and classification of nanoparticles

Nanomaterials are dispersed or massive materials (structural elements-grains, crystallites, clusters), whose geometric dimensions do not exceed 100 nm in at least one dimension and have qualitatively new properties, functional and operational characteristics, which are manifested due to nanoscale dimensions. A nanopowder is a collection of individual solid bodies (nanoparticles or their aggregates) in contact with each other with sizes from 1 to 100 nm in all three dimensions. Nanoparticles are particles whose size in at least one dimension is in the range of 1 ... 100 nm.

Nanomaterials are classified according to their geometric dimension, structural features, and particle size.

According to the dimension, 0D, 1D, 2D, and 3D are distinguished. 0D nanoobjects are objects that have all three spatial dimensions in the nanometer range. An example is quantum dots. 1D nanoobjects are objects that have nanometer-sized in two dimensions, and macroscopic in the third. These include nanowires that have mirror symmetry, and grow along the direction [001]. Examples of 1D nanoobjects can be carbon nanotubes with a diameter of 5 nm and a length of 25 microns, chitosan and cellulose nanofibers with a diameter of 122 nm, and 120 nm-sized polypyrrole nanowires. 2D nanoobjects are objects that have a nanometer size in only one dimension, and in the other two, this size will be macroscopic. Such objects include thin near-surface layers of homogeneous material (Fig.P3.1) in the form of rectangular sheets with a transverse size of more than 1 mm.

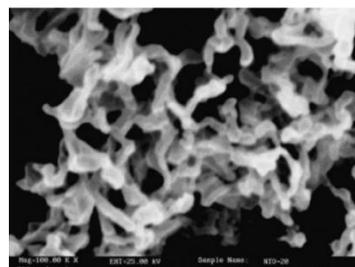
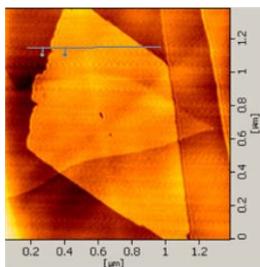


Figure P3.1. AFM image of the nanofilm. Figure P3.2. SEM image of polymer particles.

3D nanoobjects are objects, fiber, multilayer and polycrystalline materials, in which the above 0D, 1D, 2D are structural elements. These include polymer (5-nitro-2,4-dihydro-3H-1,2,4-triazol-3-one) particles (Fig.P3.2), having a width of 70-90 nm and a length of 200-300 nm.

According to the shape of the nanoparticles, they are classified into spherical (ZnO with a size of 10 nm, Fig.P3.3a) and rods (Fe₂O₃ with a size of 80x15 nm, Fig.P3.3b).

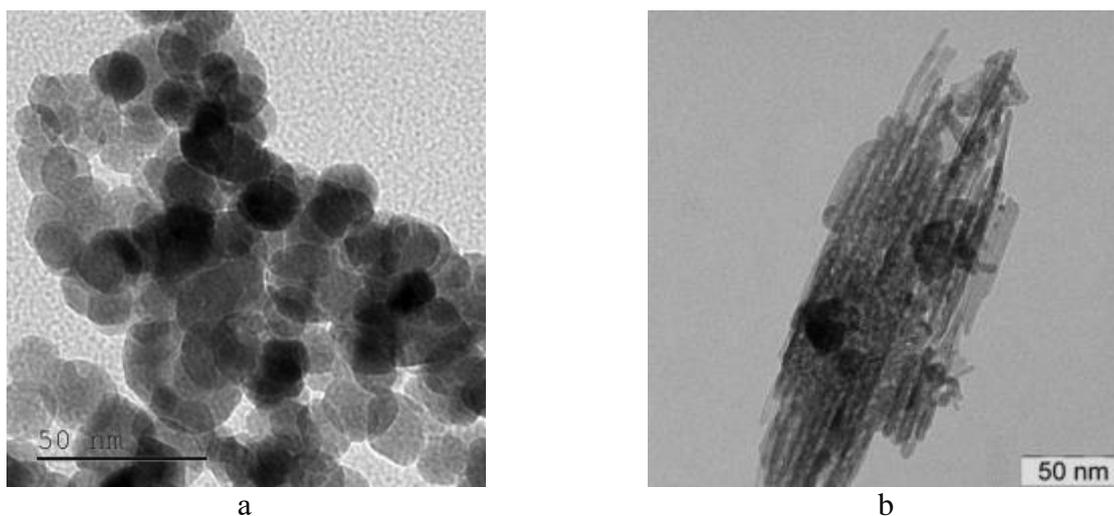


Figure P3.3. Images of ZnO (a) and Fe₂O₃ (b) nanoparticles.

Preparation of Al₂O₃ nanoparticles

Nanopowders of metals and their compounds are the most common type of nanomaterials, the production of which is growing every year. Of the entire nanopowder market, 80% are metal oxide nanopowders (of which 15% are Al₂O₃, 11.4% are ZnO, and 10% are TiO₂).

All groups of methods for producing nanopowders can be divided into two groups: physico-chemical and physical. Chemical methods for producing nanopowders include chemical vapor deposition technologies, high-energy synthesis technologies, solution deposition technologies, and the use of reduction processes. Physical methods for producing nanopowders include physical vapor deposition methods, jet spray method, mechanical pulverization.

The sol-gel method is the most commonly used method, since a high-quality product of reproducible composition is obtained. In the article the authors obtained Al₂O₃ nanoparticles by the method of sol-gel deposition in ethanol. The precipitating agent (1 M liquid ammonia) was added drop by drop to the ethanol solution with continuous stirring, which resulted in the formation of a white Al(OH)₃ precipitate. The resulting precipitate was filtered and washed with ethanol, followed by drying in a furnace at 90°C for 6 hours. Then, the dried white gel was calcined in a muffle furnace at 600°C for 3 hours in the presence of air at a heating rate of 10°C/min. After calcination, the powder was ground and sieved. As a result, nanoparticles with a size of 30...35 nm and a specific surface area of 128 m²/g were obtained.

In the article, the authors obtained nanoparticles by spray drying and chemical deposition. A solution based on distilled water and aluminum sulfate was prepared and kept at 60°C for 24 hours. Chemical precipitation of the powders was carried out using 1 M solutions of

sodium hydroxide. During the experiment, the following drying parameters were used: the gas flow rate of 140 l/min, the relative spray intensity of 35 ... 56%, $T = 60\text{...}80^\circ\text{C}$, $P = 120\text{ Pa}$, the unit operating time of 3 ... 10 minutes, the nozzle size of 5.5 μm . The resulting powder was dried at a temperature of 550°C for 3 hours. As a result, particles with an average size of 100 nm were obtained.

In the article, the authors obtained aluminum oxide powders from sprayed aqueous solutions of salts in an air stream heated to a low-temperature plasma state (5000-6000 K) using a high-frequency installation with a power of 70 kW. Electron microscopic studies have shown that the average particle size is 30 nm. Phase analysis showed that the aluminum oxide powder is in a strongly nonequilibrium state and contains 5 structural modifications: rhombic (α), cubic (γ), tetragonal, hexagonal (ϵ) and monoclinic (θ).

In the article, the authors obtained a powder of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ with a particle size of 65 nm by electric wire explosion. An aluminum wire (0.25 mm in diameter and 210 mm in length) was placed between the electrodes and a pulse current of 104-106 A/mm^2 was applied. As a result, the wire melted, turning into steam, which quickly cooled due to the collision with the surrounding gas, evenly condensing into a powder.

Properties and applications of Al_2O_3 nanoparticles

Nanomaterials are characterized by unique mechanical, chemical, photocatalytic, sorption, and biological properties that differ from those of conventional materials.

In recent decades, the most comprehensively studied metal oxides are titanium oxide nanoparticles. Due to its photostability, reasonable price, high photocatalytic activity, and biological and chemical stability, TiO_2 is by far the most common photocatalyst. TiO_2 nanoparticles have a low selectivity, which makes these nanoparticles suitable for the degradation of all types of pollutants, such as polycyclic aromatic hydrocarbons, chlorinated organic compounds, pesticides, phenols, cyanides and heavy metals. The photocatalytic properties of TiO_2 nanoparticles can kill a wide range of microorganisms, such as Gram-positive and gram-negative bacteria, as well as viruses, algae, fungi, and protozoa. TiO_2 is relatively cheaper than any other nanomaterials and has good thermal and chemical stability and low toxicity to humans. In addition to its photocatalytic properties, it is widely used for wastewater treatment and biofouling control. The main advantage of TiO_2 nanoparticles is that they have an infinite service life and remain unchanged during the degradation of microorganisms and organic compounds.

The coating of Al_2O_3 nanopowder with a size of 20 ... 60 nm increases the microhardness and compressive strength and reduces the rate of abrasive wear compared to the substrate.

Al₂O₃nanopowderis used to increase the corrosion resistance and wear resistance of agricultural machinery, for the production of sealants, solar panels, in the production of sensors, semiconductors, as dye adsorbents .

Adsorption of dyes on Al₂O₃ nanoparticles

According to the literature review, the adsorption properties of Al₂O₃ nanoparticles are studied by many authors (table P3.1). It can be seen that the adsorption is affected by parameters such as pH, the amount of adsorbent, the dye concentration, and the particle size. But in general, aluminum oxide is considered as an effective sorbent.

Table P1.1. Adsorption of dyes on aluminum oxide

Particles	Dyes	Experiment	Result
Al ₂ O ₃ 0,123 mm 50000 mg/l	yellow monochlorotriazine yellow dichlorotriazine (50 mg / l) Temperature 30, 40, 50, 60°C pH = 4.4...4.7	The suspensions were mixed at 70 ... 150 rpm and filtered. the dye. Concentration was determined using a CELM-E Model 225D spectrometer at 396nm	Maximum adsorption capacity: for yellow monochlorotriazine-at 60°C (21 mg / g), for yellow dichlorotriazine – at 50°C (51.74 mg/g). The optimal pH value is 4.5.
Al ₂ O ₃ modified with oleic acid 4000 mg/l	Acid Orange Rhodamine 6G acid-base rhodamine B (10 mg / l) pH = 2..10	The suspension was shaken for 7 days until equilibrium. The dye concentration was determined spectrophotometrically after centrifugation of the solutions at 3500 rpm	With increasing pH, adsorption - decreases for acidic orange, - increases for rhodamine 6G. For rhodamine B, the max. adsorption at pH=10, at the transition to pH=8, the adsorption decreased, and then changed slightly.
Al ₂ O ₃ 3...6 mm 200...25000 mg/l	Cibacron Jet Yellow (400 mg / l) Contact time 5...105 min, mixing speed 10..350 rpm	100 ml of dye solution and a sample of aluminum oxide were added to a 250 ml flask and mixed at a temperature of 20°C and pH 7. The dye concentration was determined using a spectrophotometer at 396 nm	The optimal initial concentration of the sorbent is 15,000 mg / l, the contact time is 90 minutes, and the rotation speed is 250 rpm.
γ-Al ₂ O ₃ 500 nm 1000 mg/l	Congo red 100 mg / l Preparation method (Sol-gel method and sol-gel method followed by calcination of nanopowder)	After contact (90...120 min) the suspension was taken and centrifuged (5000 rpm) The dye concentration was determined using a spectrophotometer (500 nm) and a calibration curve of 6...100 mg/l	Calcination of the nanopowder resulted in an increase in the surface area and the number of pores, hence the high adsorption capacity of the particles.
Al ₂ O ₃ 50 nm 400...2000 mg/l	Black G 50..500 mg / l pH = 2..7	The suspensions in the flasks were stirred for 4.5 hours at 35±2°C on a rotating shaker. The dye concentration was determined using a spectrophotometer (1065 nm).	The rate of adsorption decreases with increasing contact time. Balance in 4.5 hours. The maximum recovery rate is 25.6% at [Al ₂ O ₃]=100 mg / l. With increasing pH, the degree of dye removal decreases (from 34.04 to 5.12%). As the concentration of Al ₂ O ₃ increases, the percentage of dye removal increases.

In the article, the authors investigated the adsorption of an anionic dye orange G (50 mg/l) from aqueous solutions using Al₂O₃ nanoparticles with a size of 35 nm, obtained by the sol-gel method. The residual dye concentration was determined using a UV-visible spectrophotometer at 480 nm (Fig.P3.4).It is shown that the maximum removal of the dye (96.8%) at the initial dye concentration of 50 mg/l occurs at pH=2.5. The percentage of removal significantly decreased with increasing pH, and the minimum removal (40.2%) was recorded at pH=9.5 for the dye concentration of 125 mg/l.

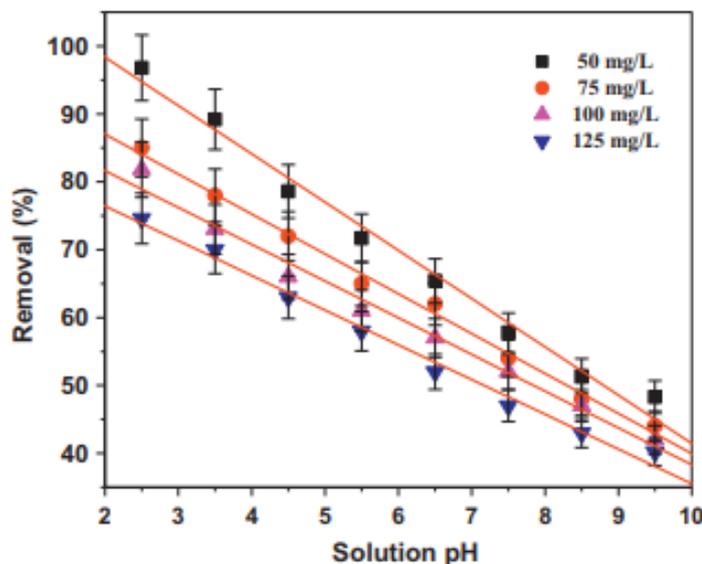


Figure P3.4. Effect of pH on the adsorption of orange on Al₂O₃nanoparticles with a size of 35 nm (30°C, nanoparticle concentration of 1.0 g/l).

To study the adsorption process, the kinetic models of the pseudo-first and pseudo-second orders were calculated and it was concluded that the kinetics corresponds to the pseudo-second order model, since the approximation coefficient $R_1^2 < R_2^2$ (table P3.2).

Table P3.2. Results of calculations of the adsorption capacity and kinetics

pH	q _e , mg/g	Pseudo-first-ordermodel		Pseudo-second-ordermodel	
		R ₁ ²	k ₁ , min ⁻¹	R ₂ ²	k ₂ ,g·mg ⁻¹ ·min ⁻¹
2,5	48,5	0,972	0,13	0,999	0,0023
4,5	39,3	0,976	0,09	0,999	0,0011
8,5	26,7	0,983	0,04	0,999	0,0006

Despite the fact that aluminum-based adsorbents have long been used, and aluminum nanoparticles have a low production cost and high adsorption efficiency, there is insufficient data in the literature on the adsorption of dyes on aluminum oxide nanoparticles.

Adsorption: determination and calculation methods of parameters

Adsorption phenomenon

Adsorption is the absorption of gases, solutes or solid particles of a substance by the surface of a solid or by the surface layer of a liquid. The substance on the surface of which the adsorption occurs is called an adsorbent, and the absorbed substance is called an adsorbate.

The phenomenon of adsorption is always associated with the phase boundary. Adsorption can occur on any surface of the phase interface: «liquid-gas», «solid – gas», «solid – solution», «liquid – liquid». At any phase interface, there is a so-called «surface layer». The surface layer is a transition region from one bulk phase to another. The surface layer has a very small thickness (only a few molecules), but it contains all the excess surface energy and mass of the substance.

Adsorption at the «solid–solution» interface is a change in the concentration of a solute (i.e., the number of moles of a substance per unit volume) in the surface layer compared to its concentration in the volume of the liquid phase. This type of adsorption is the most complex, since on the one hand it is necessary to take into account the interaction between the solvent and solute molecules, and on the other hand-the complex structure of the surface of the solid adsorbent.

Adsorption is a spontaneous process, accompanied by a decrease in the free surface energy (due to a decrease in the surface tension) and as a result-the system goes into a stable equilibrium state.

Kinetic studies of adsorption

Adsorption kinetics is a branch of physical chemistry that studies the patterns of adsorption over time. The kinetics assessment provides significant information about the path, mechanism, and rate of the adsorption process.

The experimental study of the sorption kinetics consists in determining the limiting (slowest) stage by selecting an appropriate model that describes the experimentally obtained data in the coordinates of the degree of achieving equilibrium ($F = q_m/q_e$) from time (t) with the maximum approximation coefficient. In general, the kinetic dependences are convex curves that reach a plateau in the region of large times. That is, in most cases, the sorption process proceeds at a high speed in the initial stages and slows down as it approaches the equilibrium state.

To describe the sorption process, kinetic models that take into account the chemical stage and models based on the assumption that the sorption rate is limited by the diffusion stages of mass transfer are used. The first group of models includes the pseudo-first and pseudo-second order models, the modified second order model, and the Elovich model. The second group

includes an external (film) diffusion model, an internal (gel) diffusion model, and a mixed diffusion model that takes into account both transport processes.

A model of pseudo-first-order kinetics in linear form according to equation (P3.1):

$$\log(q_e - q_m) = \log q_e - k \cdot \frac{t}{2,303} \quad (\text{P3.1})$$

where t is the contact time, q_e is the adsorption capacity at equilibrium, q_m is the adsorption capacity at time, and k is the equilibrium coefficient.

A model of pseudo-second-order kinetics in linear form according to equation (P3.2):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (\text{P3.2})$$

where t is the contact time, q_e is the adsorption capacity at equilibrium, q_t is the adsorption capacity at contact, and k is the equilibrium coefficient.

The physical meaning of the description of the kinetic dependence by the pseudo-second-order model is that the rate of the sorption process is limited by the reaction between the sorbate and the functional group of the sorbent in a ratio of 1 to 1.

For the most reliable identification of the sorption mechanism, it is necessary to perform a number of experiments that reveal the influence of various factors on the kinetics of the process. These parameters include the initial concentration of the sorbate, the size of the sorbent particles, the intensity (speed) of mixing the sorption solution, and the temperature.

It is known that for external diffusion processes, the kinetic curve, represented in the coordinates $-\lg(1-F)$ of (t) , is described by a linear function. If this condition is met (as a rule, at the initial stages of sorption with small contact times), the film diffusion limits the speed of the process in a certain period of time.

For intradiffusion processes, the kinetic curve represented in coordinates F from $t^{1/2}$ is linearized at the initial site.

CHAPTER 2. THE EXPERIMENTAL PART

Research objects

For the experiments, industrial Al_2O_3 nanoparticles of different sizes and production were used (table P3.3). For research purposes (table P3.4) also used synthetic dyes with different acid-base nature, used in medicine as a dye for blood smears, in the treatment of methemoglobinemia and psoriasis.

Table P3.3. Characteristics of research objects according to manufacturers data

Powder	Method	Manufacturer	Specific surface area, m^2/g	Composition
Al_2O_3 -40	Plasma chemical synthesis	https://www.nanoamor.com/inc/sdetail/23069	21	α - Al_2O_3
Al_2O_3 -50	Electrical explosion of conductors	http://www.nanosized-powders.com/production/nanopowders/al2o3.php	26	α - Al_2O_3
Al_2O_3 -140	Plasma chemical synthesis	https://plasmotherm.ru/catalog/nanopowders/113279/	9,6	α - Al_2O_3 γ - Al_2O_3
Al_2O_3 -250	Plasma chemical synthesis	http://www.plasmachem.com/shop/en/39--aluminium-oxid	10	α - Al_2O_3

Table P3.4. Dyes

Dye name and formula	Designation in the work	CAS	Type	Molarmass, g/mol	Colour
Eosin N	Eosin	17372-87-1	Acidic	691,86	Orange
Methylene Blue	MB	61-73-4	Basic	319,86	Blue
Methylene Orange	MO	547-58-0	Acid-base	327,34	Orange
Methylene Red	MR	493-52-7	Acid-base	269,30	Red
Malachite Green	MG	569-64-2	Acid-base	364,92	Green
Diamond Green	DG	CAS 633-03-4	Basic	482,64	Green

Determination of nanoparticle morphology

Suspensions based on a chemical solution and Al_2O_3 nanoparticles are prepared for the study of nanopowders using transmission electron microscopy. The suspension is treated with ultrasound, after which the suspension drops are applied to a silicon substrate and placed in a microscope column. The study is carried out in a high vacuum. In the upper part of the microscope column, an electron beam is emitted by an electron gun, which, due to the potential difference between the anode and the cathode, is directed to the aperture diaphragm. Then the beam passes through the electromagnetic lenses of the illuminator and falls on the test sample. After the electrons pass through the sample, an image is formed in the objective lens system. The

resulting image, which is formed on a fluorescent screen, can be viewed through a surveillance camera window or a computer screen.

The morphology of the particles (shape, size, surface structure) was determined using a transmission electron microscope JEM-1400 (Jeol, Japan) at an accelerating voltage of 120 kV in a vacuum ($\sim 10^{-6}$ Pa). The LaB₆ cathode was used as the electron source. When preparing the samples, the studied powders were applied to standard copper meshes with an amorphous carbon substrate. The resulting light-field or dark-field images were processed using the ImageJ program, and the result was a plotted particle size distribution, which was used to determine the average particle size.

To process micrographs, we used a special program called ImageJ. We opened a microphotograph, set the scale, measured the diameter of the circle in which the particle fits, and measured all the distinguishable particles in the image. Then they opened a new image, set a new scale, if it was different from the previous image, and measured all the particles. The obtained results were stored, and the size distribution of nanoparticles was plotted using the Microsoft Excel program.

The specific surface area of the powders (S_d) was determined by the method of low-temperature nitrogen adsorption. The SorbiPrep device (META, Russia) was used for the study. The method is based on the theory of molecular adsorption of Brunauer, Emmet, and Teller (the BET method). The BET theory is to measure the volume of nitrogen gas adsorbed by a solid at the temperature of liquid nitrogen.

The measurements were carried out at least three times, the measurement error was 0.2 m²/g. The obtained value of S_d was used to calculate the conditional average surface particle size d , assuming that all particles are of the same diameter and their shape is spherical according to the experimental formula (P3.3):

$$d = \frac{6}{\rho \cdot S_{yd}}, \quad (\text{P3.3})$$

where d is the average surface diameter, m; ρ is the density of the material; S_{yd} is the specific surface area of the powders, m²/kg.

Determination of the phase composition

X-ray phase analysis was used to determine the phase composition. The method is based on the phenomenon of X-ray diffraction on a three-dimensional crystal lattice of compounds, which obeys the Wulf-Bragg condition:

$$2 d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = n\lambda, \quad (\text{P3.4})$$

where n is an integer describing the order of diffraction reflection; λ is the wavelength of the X-ray beam; d_{hkl} is the distance between the planes; θ_{hkl} is the angle between the X-ray beam and the plane.

In the course of X-ray phase analysis, the test sample is placed in the path of X-rays and the diffraction pattern resulting from the interaction of the rays with the substance is recorded. At the next stage of the study, the diffraction pattern is analyzed by comparing the experimental set of angle and intensity values with the tabular values that are presented in the card file.

In this work, the X-ray diffraction of the initial nanopowders was performed on an XRD-7000 diffractometer (Shimadzu, Japan). X-ray images were recorded using CuK α radiation in the range of 2θ angles from 15 to 90°. The decoding was carried out using the ICPDS (International Center for Diffraction Dating) card file.

Determination of the dye concentration

To construct the calibration scale, a solution with a dye concentration of 100 mg/l (analytical balance ALC-110d4 (Acculab, USA, accuracy 0.0001 g) was prepared on the basis of distilled water (distiller DE-4 TZMOI, Tyumen-Medico, Russia, pH=6.2). Solutions with a dye concentration of 1...100 mg/l were prepared from the finished solution by dilution.

A solution with a given concentration was poured into a measuring cell of the PD-303 spectrophotometer (Apel, Japan) and the optical density (A) was measured at the maximum wavelength (Table P3.5). Based on the results, a calibration graph of the dependence of the optical density value on the concentration was constructed: $A=f(C)$ (Fig.P3.5).

Table P3.5. The wavelength of light at which the maximum absorption, nm

Dyes	Color of the solution	The wavelength of light at which the maximum absorption, nm
Eosin	Orange	520
MB	Blue	630
MO	Orange	660
MK	Red	660
MG	Green	680
DG	Green	675

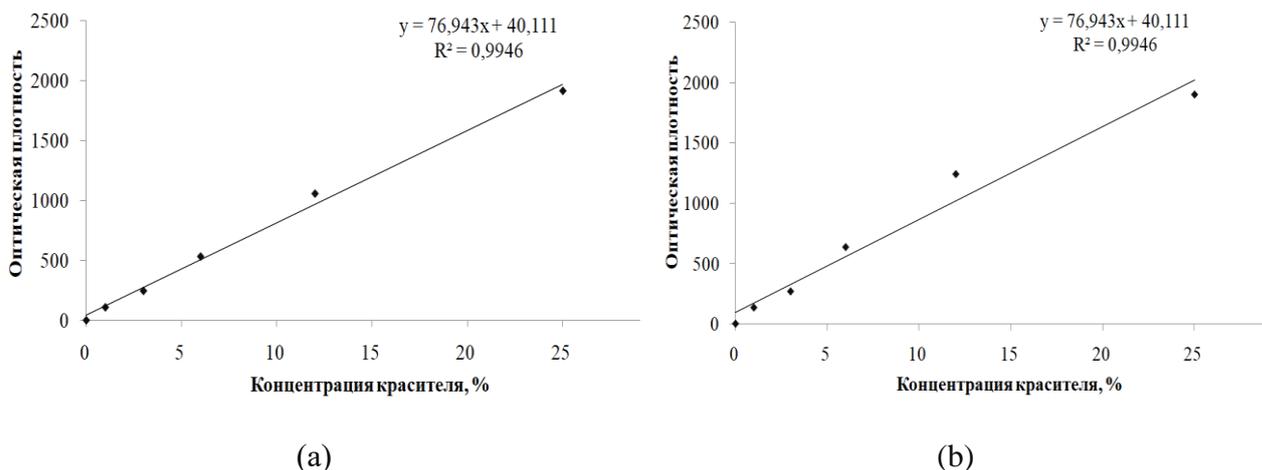


Figure P3.5. Calibration graph for: eosin (a) and MB (b).

Aging of nanoparticles in a dye solution

To prepare the suspension, powder samples of 1 g/l (analytical scales ALC-110d4 (Acculab, USA, accuracy 0.0001 g) were filled with a dye solution based on distilled water (distiller DE-4 TZMOI, Tyumen-Medico, Russia, pH=6.2). The pH value in the dye solution was adjusted by titration with 0.1 M solutions of HNO₃ and NaOH. The pH value was determined using the Starter 2100 pH meter (OHAUS, China). The nanoparticles were kept in a composite dye solution with a concentration of 25 mg/l (for eosin H) and 6 mg / l (for methylene blue) with different pH values and different sizes of nanoparticles in a plastic container with a screw cap. For 60 minutes, the solutions were treated in an ultrasonic bath LQ-40 (ODA, Russia, power 120 W) at 25°C. Every 15 minutes, the ultrasound bath was turned off, and 7 ml of suspensions were taken from the solution, and the ultrasound was turned on further for processing. The selected quota was centrifuged by Centrifuge 5702 (Eppendorf, Germany, 4,400 rpm) to separate the particles for 15 minutes.

In an experiment with different dyes, 50 ml of a dye solution prepared on the basis of distilled water with a dye concentration of 2.5 mg/l was added to 0.08 g of Al₂O₃-40 nanoparticles. The nanoparticles were treated with ultrasound throughout the experiment (LQ-40 ultrasonic bath, ODA, Russia, 120 W power). After holding for 60 minutes, the suspensions were centrifuged (4,400 rpm, 15 min).

In the obtained centrifuges, the optical density was measured on a PD-303 spectrophotometer (Apel, Japan) and correlated with the concentration on the calibration graph.

Study of adsorption kinetics

To describe the sorption process, we used kinetic models that take into account the chemical stage, and models based on the assumption that the sorption rate is limited by the diffusion stages of mass transfer. The first group of models includes pseudo-first-order and

pseudo-second-order models. The second group includes the model of external (film) diffusion, the model of internal (gel) diffusion and the mixed-diffusion model, which takes into account both transport processes.

The adsorption capacity (q_e , mg / g) was calculated using the formula (P3.5):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m}, \frac{mg}{g} \quad (\text{P3.5})$$

where C_o is the initial concentration of the dye, C_e is the concentration of the dye in equilibrium, V is the volume of the solution, m is the mass of the adsorbent.

To describe the sorption kinetics, the kinetic models of pseudo-first and pseudo-second orders were used, which are described in linear form by equations (P3.6) and (P3.7), respectively:

$$\lg(q_e - q_m) = \lg q_e - k \cdot \frac{t}{2,303} \quad (\text{P3.6})$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (\text{P3.7})$$

where t is the contact time, q_e is the adsorption capacity in equilibrium, q_t is the adsorption capacity during contact, and k is the adsorption rate constant.