



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

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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Совместное влияние промышленных наночастиц Ni и гуминовых кислот на корнеобразование пшеницы</b>

УДК 633.11:635.073:[546.74+547.992]

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ12	Хэ Яньни		

Руководитель ВКР

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор отделения социально-гуманитарных наук	Гасанов М.А.О.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Приложение. Раздел на английском языке»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
старший преподаватель отделения иностранных языков	Демьяненко Н. В.	—		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

## Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Осуществлять сбор и критический анализ информации, включая научные публикации, патенты, маркетинговые исследования в области материаловедения и технологии материалов
P2	Управлять научно-исследовательским и производственным проектом, включая критический анализ проблемных ситуаций, оценки потенциала коллектива и самооценки
P3	Способен представлять и защищать результаты своей работы и деятельности коллектива, включая планы научно-исследовательских работ, производственных проектов, научные публикации и доклады с использованием современных коммуникативных технологий, в том числе на иностранном языке.
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Ориентироваться в современных технологиях новых материалов с учетом экономичности, требований готовой продукции и интеллектуального потенциала предприятия, производства или научной группы
P6	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических наноматериалов и изделий, включая эксплуатацию соответствующего оборудования.
P7	Эксплуатировать оборудование и обрабатывать экспериментальные результаты с целью изучения структуры и свойств материалов, диагностики их эксплуатационных характеристик
P8	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов



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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ О.Л. Хасанов  
« 02 » марта 2023 г.

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ12	Хэ Яньни

Тема работы:

<b>Совместное влияние промышленных наночастиц Ni и гуминовых кислот на корнеобразование пшеницы</b>
---

Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 61-7/с от 02.03.2023 г.
-------------------------------------	----------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2023 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<p>1) Источники литературы: базы данных <a href="http://www.sciencedirect.com">www.sciencedirect.com</a>, <a href="http://link.springer.com">link.springer.com</a>, <a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a>, <a href="http://setac.onlinelibrary.wiley.com">setac.onlinelibrary.wiley.com</a>.</p> <p>2) Оборудование и лабораторный инвентарь НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета.</p> <p>3) Объекты исследования: наночастицы Ni, семена пшеницы сорта «Ирень».</p> <p>4) Требования к результатам: характеристика размера и формы наночастиц Ni, распределения частиц по размерам и седиментационные кривые для наночастиц Ni, зависимости, демонстрирующие влияние концентраций наночастиц от 30 до 1000 мг/л и гуминовых кислот (от <math>10^{-6}</math> до <math>10^{-2}</math> мг/л) на этапе замачивания семян на длину корней, показатель всхожести 3-суточных проростков и корневой индекс 7-суточных проростков пшеницы, методические указания к проведению лабораторной работы, публикации в трудах конференций.</p>
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) провести литературный обзор по получению, применению, коллоидным и биологическим свойствам наночастиц Ni; 2) охарактеризовать наночастицы с помощью сканирующей электронной микроскопии и метода низкотемпературно адсорбции азота; 3) показать влияние концентрации наночастиц и состава среды на их коллоидные свойства в почвенной среде с помощью метода лазерной дифракции и спектрофотометрии; 4) установить влияние концентрации наночастиц и гуминовых кислот на длину корня, показатель всхожести и корневой индекс проростков пшеницы с помощью морфометрического анализа.
<b>Перечень графического материала</b>	Микрофотографии наночастиц, распределение частиц по размерам, кривые седиментации, графики и таблицы, демонстрирующие изменения длины корня, скорости прорастания и корневого индекса проростков пшеницы в различных условиях эксперимента.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.О.
Социальная ответственность	Антоневич О.А.
Раздел ВКР на английском языке	Демьяненко Н.В.

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

<b>Разделы на русском языке:</b> 1. Литературный обзор, 2. Экспериментальная часть, 3. Результаты и их обсуждение, 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, 5. Социальная ответственность
<b>Раздел на иностранном языке:</b> 2. Экспериментальная часть (Experimental Part)

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	02.03.2023 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4БМ12	Хэ Яньни		



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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
Уровень образования магистр  
Отделение школы Отделение материаловедения  
Период выполнения весенний семестр 2022 /2023 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:	25.05.2022 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2023	1. Литературный обзор	20
15.04.2023	2. Экспериментальная часть	20
15.05.2023	3. Результаты и их обсуждение	30
20.05.2023	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	10
20.05.2023	5. Социальная ответственность	10
20.05.2023	6. Приложение на иностранном языке	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

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

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4БМ12	Хэ Яньни

<b>Школа</b>	Инженерная школа новых производственных технологий	<b>Отделение школы</b>	Отделение материаловедения
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление</b>	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** (с точным указанием обязательных чертежей)

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.2023
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	к.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4БМ12	Хэ Яньни		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4БМ12	Хэ Яньни

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление</b>	<b>22.04.01 Материаловедение и технологии материалов</b>

Тема ВКР:

<b>Совместное влияние промышленных наночастиц Ni и гуминовых кислот на корнеобразование пшеницы</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<b>Введение</b> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	Объект исследования: <u>наночастицы Ni</u> Область применения: <u>Влияние концентраций наночастиц технического никеля и гуминовых кислот на растения</u> Рабочая зона: лаборатория, 3x4 м Количество и наименование оборудования рабочей зоны: аналитические весы ALC-110d4, спектрофотометр PD-303, ультразвуковая ванна ODA-LQ40, термостате ТС-1/80; Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: взвешивание, ультразвуковое перемешивание, спектрофотометрический анализ, выращивание семян, статистическая обработка данных
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – эксплуатация объекта исследования и рабочей зоны; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ. – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях. – ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. – ГОСТ Р 56748.1-2015 Нанотехнологии. Менеджмент риска – ГОСТ Р 50923-96 Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде.
<b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b> анализ и расчет уровня вредных и опасных производственных факторов	Отклонение показателей микроклимата, превышение уровня шума, недостаточная освещенность рабочей зоны, опасность вдыхания наночастиц, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, расчет системы искусственного освещения.
<b>3. Экологическая безопасность</b>	Воздействие на селитебную зону, литосферу, гидросферу и атмосферу аэрозолей наночастиц Ni и реагентов.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Возможные ЧС: пожар; разлив концентрированных веществ; случайное высвобождение нано порошка и превышение ПДК; Наиболее типичная ЧС: пожар
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
08. 05.2023	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4БМ12	Хэ Яньни		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа изложена на 101 страницах, включая 24 рисунок, 29 таблиц, 2 приложения, 115 источников.

**Ключевые слова:** наночастицы Ni, агрегация, гуминовые кислоты, пшеница, корневой индекс.

**Объектами исследования** являются промышленные наночастицы Ni со средним размером 70 нм.

**Целью выпускной квалификационной работы** является установление влияния концентрации наночастиц Ni и гуминовых кислот на длину корня, показатель всхожести и корневой индекс проростков пшеницы.

**Результаты исследования показали,** что замачивание семян в суспензии с концентрацией наночастиц Ni 30 мг/л оказывало стимулирующее влияние на развитие корней пшеницы на 25%, но в диапазоне концентраций 30...1000 мг/л действие наночастиц ослаблялось. В присутствии гуминовой кислоты ( $10^{-6}$  мг/л) токсичность наночастиц Ni (100 мг/л) снижалась, и эффект усиливался с увеличением концентрации гуминовой кислоты.

**Степень внедрения:** разработаны методические рекомендации для выполнения лабораторной работы на тему «Влияние наночастиц на корнеобразование пшеницы» в рамках курса «Наноматериалы и окружающая среда: применение и оценка рисков» для студентов, обучающихся по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии новых материалов».

**Область применения:** полученные результаты могут быть использованы для изучения коллоидных и биологических свойств наночастиц.

**Экономическая эффективность/значимость работы:** замачивание в водной суспензии никеля с концентрацией 30...100 мг/л оказывает стимулирующее действие на корнеобразование растений, когда концентрация гуминовой кислоты составляла  $10^{-2}$  мг/л.

**Используемые в работе сокращения:**

НЧ – наночастицы;



ГК – гуминовая кислота;  
РХ – раствор Хьюитта;  
ДВ – дистиллированная вода;  
СЭМ – сканирующая электронная микроскопия;  
 $d_{agr}$  – средний размер агрегатов в суспензии, нм;  
 $S_{уд}$  – удельная поверхность наночастиц, м<sup>2</sup>/г;  
БЭТ – метод Брунауэра-Эммета-Теллера;  
Т – коэффициент светопропускания;  
А – коэффициент адсорбции;  
 $k_{sed}$  – константа скорости осаждения, мин<sup>-1</sup>;  
 $C/C_0$  – концентрация частиц в суспензии;  
 $C_{res}/C_0$  – остаточная концентрация в суспензии.

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>12</b>
<b>ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....</b>	<b>13</b>
1.1. Наночастицы.....	13
1.1.1. <i>Определение и классификация НЧ .....</i>	<i>13</i>
1.1.2. <i>Получение наночастиц Ni .....</i>	<i>14</i>
1.1.3. <i>Применение наночастиц Ni.....</i>	<i>16</i>
1.2. Дисперсные системы .....	17
1.2.1. <i>Классификация дисперсных систем .....</i>	<i>17</i>
1.2.2. <i>Агрегация наночастиц в биологических растворах .....</i>	<i>18</i>
1.3. Биологические свойства наночастиц .....	21
1.3.1. <i>Положительное влияние наночастиц на растения .....</i>	<i>21</i>
1.3.2. <i>Отрицательное влияние наночастиц на растения.....</i>	<i>21</i>
1.3.3. <i>Токсичность наночастиц в присутствии гуминовых кислот.....</i>	<i>24</i>
1.4. Методики проращивания семян в лаборатории.....	26
1.5. Постановка задач исследования .....	28
<b>ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....</b>	<b>29</b>
2.1. Объекты исследования .....	29
2.2. Определение морфологии наночастиц .....	29
2.3. Приготовление растворов и суспензий наночастиц.....	30
2.4. Исследование коллоидных свойств суспензий.....	31
2.4.1. <i>Исследование дисперсионных свойств суспензий.....</i>	<i>31</i>
2.4.2. <i>Исследование седиментационных свойств суспензий.....</i>	<i>32</i>
2.5. Исследование биологических свойств суспензий .....	33
2.5.1. <i>Тест-объекты: семена пшеницы.....</i>	<i>33</i>
2.5.2. <i>Замачивание семян.....</i>	<i>33</i>
2.5.2. <i>Культивирование проростков .....</i>	<i>34</i>
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....</b>	<b>35</b>
3.1. Характеристика наночастиц.....	35
3.2. Коллоидные свойства наночастиц.....	35
3.2.1. <i>Влияние концентрации частиц.....</i>	<i>35</i>
3.2.2. <i>Влияние состава среды .....</i>	<i>37</i>
3.2.3. <i>Влияние гуминовых кислот .....</i>	<i>39</i>

3.3. Биологические свойства наночастиц .....	41
3.3.1. Влияние концентрации наночастиц.....	41
3.3.2. Влияние гуминовых кислот .....	42
3.5. Выводы.....	44
<b>ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности     проведения исследований с позиции ресурс эффективности     и ресурсосбережения.....</b>	<b>47</b>
4.1.1. Анализ конкурентных технических решений.....	47
4.1.2. SWOT-анализ.....	49
<b>4.2. Планирование научно-исследовательских работ.....</b>	<b>51</b>
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	51
4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования .....	52
4.2.3. Бюджет научно-технического исследования.....	55
<b>4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,     бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</b>	<b>61</b>
<b>4.4. Выводы.....</b>	<b>63</b>
<b>5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>64</b>
<b>5.1. Введение .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	<b>65</b>
<b>5.3. Производственная безопасность .....</b>	<b>66</b>
5.3.1. Расчет освещенности помещения НИР.....	70
<b>5.4. Экологическая безопасность .....</b>	<b>72</b>
<b>5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....</b>	<b>74</b>
<b>5.6. Выводы.....</b>	<b>75</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>77</b>
<b>СПИСОК ТРУДОВ СТУДЕНТА.....</b>	<b>90</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Методические указания к проведению лабораторной работы.....</b>	<b>91</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Experimental part.....</b>	<b>96</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Наночастицы никеля (НЧ Ni) обладают уникальными физическими и химическими свойствами, благодаря чему применяются для изготовления катализаторов [1], магнитных [2] и проводящих материалов [3], покрытий [4]. Благодаря растущему спросу увеличивается число источников выброса наночастиц в окружающую среду [5]. При попадании в почву НЧ в зависимости от условий (концентрация и размер частиц, pH и состав среды) могут быть токсичны для почвенных организмов [6] и растений [7]. Поэтому исследование поведения НЧ в почвенных средах и их влияния на растения является важной задачей нанокотоксикологии.

Поэтому при попадании в почвенную среду НЧ неизбежно будут взаимодействовать с ее компонентами. Гуминовые вещества – сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, образующихся при разложении и гумификации отмерших растений и играющие важную роль в питании растений. Например, цинковое минеральное питание растений улучшается в присутствии наночастиц, смешанных с гуминовыми кислотами [8]. В связи с этим становится важным получение данных о конкурирующем или синергетическом влиянии гуминовых кислот и НЧ на растения.

**Целью выпускной квалификационной работы** является установление влияния концентрации НЧ и гуминовых кислот на морфометрические параметры проростков пшеницы на ранней стадии развития.

# ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1. Наночастицы

### 1.1.1. Определение и классификация НЧ

В настоящее время производят НЧ с самыми разными свойствами, разным составом и формами.

По размерности НЧ классифицируют на нульмерные (0D), одномерные (1D), двумерные (2D) и трехмерные (3D). Нульмерные наноматериалы – это материалы, размеры которых в любом измерении составляет  $<100$  нм. Примерами являются кластеры AuCu [9], квантовые точки CdS [10] и НЧ Ni [11]. Одномерные наноматериалы – это материалы, которые имеют нанометровые размеры в двух измерениях, а в третьем – макроскопический размер), например, углеродные нанотрубки [12], волокна ZnO [13] и нанонити Au [14]. 2D наноматериалы имеют нанометровый размер только в одном измерении [15], например, плёнки VO [16], покрытия TiO [17], мембраны SiO<sub>2</sub> [18].

Наночастицы (НЧ) – изолированный твёрдофазный объект, имеющий отчётливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трёх измерениях составляют  $<100$  нм [19]. Хотя в большинстве определений, принятых за рубежом НЧ называют частицы, для которых размеры как минимум в одном измерении попадают в нанодиапазон [20]

НЧ по размеру делят на кластеры (1...10 нм), собственно НЧ (10...100 нм), ультрадисперсные частицы (100...1000 нм) [21], а также микроскопические (1...10 мкм).

По форме НЧ можно разделить на сферические (например, TiO<sub>2</sub> [22]), игольчатые (CuO [23]), трубчатые (La<sub>0.67</sub>Sr<sub>0.33</sub>MnO<sub>3</sub> [24]) и др. В отношении наночастиц Ni из литературы известны следующие формы: палочкообразный [25], кубический [26] и прямоугольный [27].

По фазовому составу наноматериалы делят на однофазные и многофазные и могут быть органического и неорганического происхождения. В первом случае это фуллерены, углеродные нанотрубки, графен [28], наноматериалы на полимерной основе [29], наногели, липосомы и другие виды наночастиц. К неорганическим относятся наноматериалы из металлов, сплавов, интерметаллидов, простых и сложных оксидов и солей металлов [30]. НЧ Ni относят к металлическим наноматериалам.

НЧ могут иметь аморфную и мелкокристаллическую структуру, а также различные кристаллические модификации одного соединения.

### *1.1.2. Получение наночастиц Ni*

Среди методов синтеза НЧ Ni выделяются химическое осаждение, плазмохимический синтез, химическое восстановление и электрический взрыв проволоки.

Химические осаждения металлических НЧ представляет собой двухстадийный процесс. На первом этапе получают полимерные комплексы Ni, а на втором этапе с помощью разложения получают НЧ металлов.

С помощью химического осаждения метода были синтезированы НЧ моноклинных Ni с размером 24 нм [31]. Авторы смешали 20 г фенола, 15 мл формальдегида и 15 мл раствора Ni<sup>2+</sup> с последующим добавлением 25 мл уксусной кислоты и концентрированной HCl и нагреванием при 45°C до появления розового полимерного комплекса. После сушки комплекс подвергли термическому разложению при 800°C, выдерживанию в растворе HCl в течение 24 ч.

НЧ Ni также могут быть получены плазмохимическим синтезом, при котором происходит плавление тугоплавких металлов (анод) с последующим испарением при воздействии дугового разряда в плазме с последующим охлаждением с образованием НЧ. Например, можно использовать в качестве плазмообразующего газа Ar или смесь Ar и H<sub>2</sub> [32], который вводится после

вакуумирования дуговой камеры. Анод представляет собой цилиндрический никелевый слиток, помещенный поверх водоохлаждаемой меди. После зажигания дуги с поверхности сырья образуются металлические пары. НЧ растут после зародышеобразования, затвердевания и столкновений. При концентрации  $H_2$  50 об.% образуются НЧ Ni со средним размером 63 нм.

Метод восстановления заключается в выборе одной или нескольких подходящих растворимых солей металлов, приготовление раствора, перевод каждого элемента в ионное или молекулярное состояние, а затем выбор подходящего осадителя для адсорбции и других операций. Так, НЧ Ni получали методом восстановления [33] ацетилацетоната Ni с помощью боргидрида или супергидрида натрия в присутствии гексадециламина и триоктилфосфиноксида. 0,2 г ацетилацетоната Ni растворяли в 5 мл одихлорбензола при 100 °С и быстро вводили в смесь, содержащую 40 мл дихлорбензола, 0,5–1,5 г триоктилфосфиноксида, расчетное количество гексадециламина и 0,15 г боргидрида натрия. При 120-160°С и интенсивном перемешивании смесь нагревали до 180°С и выдерживали в течение 30 мин в атмосфере Ar. После изменения цвета от светло-желтого до темного образовывались НЧ Ni с размером 3-11 нм.

Электрический взрыв проводников (ЭВП) – явление взрывного разрушения при прохождении через металлический проводник импульса тока высокой плотности, при котором образуется плотная металлическая плазма, разлетаются продукты взрыва и образуются мелкие частицы при охлаждении.

В исследовании [34] никелевые провода диаметром 0,8 мм и длиной 80 мм использовались для того, чтобы вызвать электрические взрывы в жидких средах, таких как вода, этанол, изопропанол и ацетон. Линия взрыва расположена на конце электрода. После установки проводов закройте крышку камеры; При этом провода погружаются в жидкость. Два конденсатора подключены параллельно. Емкость и максимальное зарядное напряжение составляют 52 мкФ и 40 кВ соответственно. В различных жидких средах

гранулометрический состав НЧ никеля колеблется от нескольких микрон до десятков нанометров.

На рынке НЧ Ni производят следующие промышленные компании: OCHV (<https://ochv.ru/>, Россия), Hongwu material technology (<http://www.xuzhounano.com/products/show-1.html>, КНР) и Lullaby (<http://wuhanlullaby.com/>, КНР). В России известно получение НЧ с помощью ЭВП в компании Передовые порошковые технологии ([www.nanosized-powders.com](http://www.nanosized-powders.com), г.Томск).

Производство является активным источником выделения НЧ в окружающую среду [35].

### *1.1.3. Применение наночастиц Ni*

НЧ Ni нашли применение в катализе, мониторинге окружающей среды, легкой промышленности и биомедицине.

Показано, что НЧ Ni представляют большой интерес для сенсорных применений. Высокая удельная поверхность, адсорбционная способность и способность способствовать быстрому переносу электронов, приводит к улучшению чувствительности, селективности, сроку службы и дальности обнаружения сенсоров. Например, в этой работе НЧ Ni размером 10–20 нм были электрофоретически нанесены на стеклянную подложку из оксида индия и олова и функционализированы диметилсульфоксидом для обнаружения пищевых токсинов (токсины желтого аспергилла) [36]. НЧ Ni, нанесенные на пористую кремниевую матрицу, имели характеристики широкого линейного диапазона, низкий предел обнаружения и хорошую селективность для определения глюкозы [37].

Интересным является применение НЧ для легкой промышленности. Например, в работе [38] после добавления НЧ Ni (90 нм) молекулы олигомера-полиэфира преимущественно адсорбируются на поверхности наночастиц, что облегчает растекание краски и улучшает диспергирование. Также есть



примеры создания присадок для уменьшения трения с добавлением НЧ Ni (10 нм) [39].

В каталитической промышленности есть также разработки для применения НЧ Ni. Например, хорошую эффективность как катализаторы показали НЧ Ni (40-70 нм) для гидротермолиза между водой и тяжелой нефтью при впрыске пара [40]), НЧ Ni (7 нм), покрытые полиэтиленгликолем, – для синтеза спиропиранов биологического и фармакологического значения [41], а НЧ Ni (5-8 ± 1.2 нм) – парового риформинга метана [42].

В экологии НЧ Ni (10-30 нм) могут быть использованы в качестве адсорбентов для очистки промышленных сточных вод, особенно сточных вод, содержащих краситель Конго красный (емкость до 966,7 мг/г). (емкость до 966,7 мг/г [43].

В работе [44] НЧ NiO (16 нм) исследовались в качестве наноносителей для доставки доксорубина как препарата против рака мочевого пузыря. НЧ NiO продемонстрировали сильное суперпарамагнитное поведение. Наибольшая загрузка лекарственным средством (67%) была достигнута, когда количество НЧ составляло 0,01 г.

## **1.2. Дисперсные системы**

### *1.2.1. Классификация дисперсных систем*

Дисперсные системы – это многокомпонентные гетерофазные смеси, состоящие из сплошной, непрерывной фазы (дисперсионной среды), и прерывистой дисперсной фазы в виде частиц. Дисперсную систему можно классифицировать по разным свойствам.

Например, дисперсные системы классифицируют в зависимости от агрегатного состояния дисперсионной среды. Различают аэрозоли (дисперсионная среда – газ, например, дымы и пыли), лиозоли (жидкость, включая золи и суспензии) и солиозоли (среда является твердой фазой, например, пористые нанокомпозиты, гели). В природе примерами дисперсных

систем могут быть туман, в котором дисперсионной средой является воздух, а дисперсной фазой – капли жидкости.

По размеру частиц дисперсной фазы дисперсные системы делят на грубодисперсные (размер частиц –  $10^{-7} \dots 10^{-5}$  м), коллоидно-дисперсные ( $10^{-9} \dots 10^{-7}$  м) и молекулярно(ионно) дисперсные (истинные растворы, размер частиц  $< 10^{-9}$  м). Последние дисперсные системы не рассматриваются в науках о коллоидах и наноматериалах, потому что не содержат дисперсной фазы в виде кристаллических материалов [45].

По форме частицы дисперсные системы могут включать волокнистые, пластинчатые, сферические и другие частицы.

Классификация дисперсных систем по интенсивности межфазового взаимодействия позволяет их разделять на лиофильные (термодинамически устойчивые) и лиофобные (термодинамически неравновесные). НЧ при попадании в почвенные растворы образуют лиофобные дисперсные системы [46].

К важным свойствам дисперсных систем относят агрегацию (коагуляция).

Агрегация – это процесс формирования кластеров частиц посредством образования химических связей между частицами. [ 47 ]. Агрегацию дисперсных систем наиболее часто оценивают по изменению распределения частиц по размерам.

### *1.2.2. Агрегация наночастиц в биологических растворах*

Литературный обзор показывал, что на агрегацию НЧ в почвенных растворах, физиологических жидкостях, поверхностных водах, составляющих важную часть биологических растворов в окружающей среде оказывает большое влияние целый ряд факторов, включая размер, концентрацию и форму наночастиц, состав и рН самого раствора, а также способы физического воздействия (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Агрегация наночастиц в биологических растворах

№	Наночастицы	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
1	ZnO (99%) 30, 135, 210 нм  Nanostructured & Amorphous Materials, Inc. (США), Plasmotherm (Russia), и Empils-zinc Ltd. (Россия)	pH=4, 6, 7, 8, 10; УЗ обработка: 10 мин; Среда: Дистиллированная вода; Раствор глицина	Дистиллированная вода: При pH = 4 наибольшую степень агрегации имеют НЧ ZnO-30, а при pH = 6...8 НЧ ZnO-135 имеют степень агломерации 6...9, что выше ZnO-30 (2...4) и ZnO-210(4...5). При pH > 8 степень агрегации более крупных голых частиц увеличивалась, а мелкие резко агрегировались. Для НЧ ZnO-30, ZnO-135 и ZnO-210 степень агрегации в воде при pH = 10 составила 36, 5 и 4 соответственно. В глицине: При pH=4...6...7 значения $d_{ср}$ ZnO-30 составляют 1445...717...478 нм соответственно. Напротив, в щелочных растворах при pH = 8...10 степень агрегации составляет 3, 1 и 0,5 для ZnO-30, ZnO-135 и ZnO-210 соответственно.	[48]
2	Ag (99.5%) 10 нм  Nanostructured and Amorphous Materials, Inc (Houston, TX)	[Ag]= 2 мг/л; УЗ 90 мин; Среда: лизосомальная жидкость, pH=4.5; интерстициальная жидкость, pH=7.4; Температура: 38°C; Центрифугирование: 30 мин; Время: 72ч	В воде: средний диаметр 11,7±3,5 нм. В Искусственной лизосомальной жидкости: 8-12 нм. В искусственной интерстициальной жидкости: Стабильной суспензии нет. Причина этой нестабильности может быть связана с увеличением силы ионной силы ионов по сравнению с водой и искусственной жидкостью.	[49]
3	SiO <sub>2</sub> 30 и 53 нм	Среда: [NaCl] = 0.1, 0.5, 1.0 М; [Мышиная сыворотка] = 5, 10, 25 %; Температура: 37 °С; Время: 5 ч	53 нм: SiO <sub>2</sub> при концентрациях NaCl 0,0, 0,1, 0,5 и 1,0 М показал стабильность 71%, 68%, 54% и 51%. Концентрации в сыворотке мышей были 89%, 81% и 70% стабильными при 5%, 10% и 25%. 30 нм: Стабилизация составила 67, 56, 44 и 38% при увеличении концентрации NaCl соответственно. Стабильность составила 52...75% при	[50]

№	Наночастицы	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
			увеличении концентрации в сыворотке мышы.	
4	Se 80.5±2.8 нм  Chemie Brunschwig (Basel, BS, Switzerland)	[Se] = 0.5, 1, 5, 10 мг/л; УЗ 20 мин; Среда: Вода Женевского озера, pH= 8.5±0.1; Питательные среды, pH= 7.0±0.2; Время: 48 ч	При 0,5 мг/л средний диаметр НЧ Se увеличился от 106 нм до 445,0 нм за 48 ч. При 5,0 и 10 мг/л диаметр оставался постоянным в течение 48 ч. При >5 мг/л, средний диаметр НЧ Se увеличивался со временем до 400 нм в диаметре через 48 ч.	[51]
5	CuO (99%) 50, 80 нм  Macklin (КНР)	[CuO]=50 мг/л УЗ 1 мин; Среда: 1) почвенный раствор SC pH=8.05, I=3.82 M, [C] = 13.6 мг/л. 2) почвенный раствор JX pH=5.81, I= 1.79 M, [C] = 3.14 мг/л. 3) GD: pH= 5.29, I = 6.97 M, [C]= 17.3 мг/л.	В почвенном растворе JX наблюдалась значительная агрегация CuO-80 (550 нм). НЧ CuO-80 также подвергаются незначительной гомополимеризации (390 нм) в почвенном растворе GD. В других почвенных растворах средний гидродинамический диаметр НЧ CuO- 80 стабилизировался при стационарном размере.	[52]
6	Ag (99.9%) 73, 180 нм  Sigma-Aldrich  TiO <sub>2</sub> (99.9%) 79, 164 нм  Particle Technology (Германия).	[Ag]=5 мг/л УЗ 10 мин; Среда: Почвенный раствор сельхозугодий (с растворенной органикой- ферма); 2 mM Ca <sup>2+</sup> (без растворенной органики- фермы); Время: 16 ч; pH= 7	Растворенное органическое вещество не влияло на агрегацию Ag180 (d = 400 нм). Ag-73 без растворенной органики, степень агрегации больше, чем с растворенной органикой. На степень агрегации TiO <sub>2</sub> растворенная органика не влияет. Степень агрегации TiO <sub>2</sub> -79 больше, чем у TiO <sub>2</sub> -164, а средние размеры частиц составляют: 1100 и 240 нм соответственно.	[53]
7	Fe, 50-100 нм;	[НЧ] =500 мг	В отсутствие полиакрилата	[54]

№	Наночастицы	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
	P-Fe (НЧ Fe, модифицированные полиакрилатом натрия), S-Fe (НЧ Fe, модифицированные крахмалом) 100 нм	/л УЗ 60 мин; Среда: Деонизированная вода	натрия/крахмала Fe осаждал почти 70% НЧ в течение 20 минут с плохой стабильностью.	

### 1.3. Биологические свойства наночастиц

#### 1.3.1. Положительное влияние наночастиц на растения

В литературе есть примеры положительного влияния никель-содержащих НЧ на растения. Например, при культивировании в гидропонных условиях дикого фенхеля (*Nigella arvensis* L.) при замачивании семян в среде с концентрацией НЧ NiO (5-8 нм) 50 мг/л увеличилась биомасса растения по сравнению с контролем на 48 % для побегов [55]. Авторы связывают стимулирующее действие на корнеобразование с антиоксидантным действием НЧ NiO.

На примере кинзы показано, что НЧ Ni (20 нм) повышали уровень фотосинтетических пигментов, включая хлорофилл и каротиноиды в высоких концентрациях (80 мг/л) [56].

#### 1.3.2. Отрицательное влияние наночастиц на растения

Обзор литературы показывает, что на корнеобразование, скорость роста биомассы и физиологию побегов влияют концентрация НЧ (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Отрицательное влияние НЧ металлов растения.

№	Наночастицы	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
1	NiO <50 нм  Sigma-Aldrich, Inc., КНР.	[NiO]=1...100 мг/л, УЗ 30 мин; Среда: среда для культивации водорослей, pH=8,2; вода Millipore-Q; Тест-растение: Морские водоросли Chlorella vulgaris; Температура: 23°C Световой режим: 12:12 ч.	24 ч: нормальная скорость роста растений при концентрациях 1...10 мг/л. 72 ч: >60% ингибирование роста и сильное повреждение клеток водорослей при концентрациях 10 и 30 мг/л. При 100 мг/л НЧ NiO $d_{ср}$ частиц составил 439 и 706 нм, в воде и в среде водорослей	[57]
2	NiO (99.5%) 5-8 нм  Iranian Nanomaterial Company.	[NiO]= 50...2500 мг/л; УЗ 90 мин; Среда: растворо Хоугланда; Тест-растение: Поле Нигелла (Nigella arvensis L.) 27°C; Световой режим (день:ночь): 12:12 ч.	НЧ NiO: 50 мг/л, максимальная сухая масса стебля и корня (1,12 и 0,37 г), 2500 мг/л, наименьшая сухая масса стебля и корня (0,55 и 0,28)	[55]
3	НЧ Ni(OH) <sub>2</sub> 3.4 нм  микро- Ni(OH) <sub>2</sub> 24 мкм  Specialties Private Limited, Mumbai, India	[Ni(OH) <sub>2</sub> ]= 300 мг/кг Среда: деионизированная вода; Тест-растение: Соя Температура: 24-20°C; Световой режим: 16:8 ч	Через 7 дней семена, имели всхожесть 63 и 88% после обработки НЧ Ni(OH) <sub>2</sub> и микро-Ni(OH) <sub>2</sub> , соответственно, по сравнению с 72% в контроле. Семена, покрытые микро- Ni(OH) <sub>2</sub> , были на 46% и 719% длиннее, чем контрольные семена и семена НЧ Ni(OH) <sub>2</sub> , соответственно.	[58]
4	Ni (99.5%) 20 нм  Nanoamor Co., Iran.	[Ni] = 200, 400 и 800 мг/л; УЗ 20 мин; Среда: дистиллированная вода; Комнатная температура; Тест-растение: Кориандр	Длина корня: контроль, 200, 400, 800 мг/л =7,2, 6,5, 5, 4,4 мм. Общая зола процент растений кориандра, обработанных наночастицами никеля в дозах: 200, 400 и 800 мг/л: 72, 69, 44, 37 %. Среднее содержание хлорофиллов и каротиноидов в растениях не имело явной зависимости от концентрации НЧ Ni.	[59]

№	Наночастицы	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
5	NiO (99%) 10-20 нм  US Research Nanomaterials in Houston	[NiO]=50, 250, 500 мг/л Среда: Деионизированная вода; Тест-растение: Китайская капуста; Температура: 25°C; Световой режим: 16:8 ч	Длина корня: Концентрация НЧ NiO: 0, 50, 250, 500 мг/л = 5,9, 6,2, 7, 2,4 мм. Содержание каротиноидов: Концентрация НЧ NiO: 0, 50, 250, 500 мг/л = 1,2, 1, 0,87, 0,68 мг/г. Содержание антоцианов: Концентрация НЧ NiO: 0, 50, 250, 500 мг/л = 0,27, 0,41, 0,57, 0,72 мг/г.	[60]
6	NiO (99.9%) 30 нм  MTI Corporation (Richmond, CA, США).	[NiO]=1...1000 мг /л УЗ 3 мин; Среда: L. gibba среда; pH=6.5±0.1 Тест-растение: Водное растение Lemna gibba L.; Время: 24 ч; Световой период: 16:8 ч;	при концентрации НЧ: 0, 1, 10, 100, 1000 мг/л содержание активного O <sub>2</sub> : 100, 190, 200, 205, 490 %. На производство активных форм кислорода сильно влияет реакция растений на стрессовые факторы, при этом резко увеличивается уровень активных форм кислорода, что может вызвать серьезное повреждение клеточных структур.	[61]
7	Ni 5 нм	[Ni]=0, 5 мг/л Среда: Деионизированная вода; Тест-растение: Амарант; Время: 12 ч	Все размерно-массовые параметры растений, обработанных НЧ никеля, были на 26-41% ниже, чем в контроле.	[62]
8	NiO (99.95%) 5 нм  «Гирмет», Россия	[NiO]= 0.01, 0.1, 1 и 10 мг/л; УЗ 45 мин; Среда: Деионизированная вода; Тест-растение: Пшеница (Triticum aestivum L.); Температура: 24 °С; Время: 10 дней	НЧ NiO не изменяли и не стимулировали процесс роста при низких концентрациях (0,01 и 0,1 мг/л). При 1 мг/л длина корней уменьшилась в 2 раза, сырая масса – в 1,9 раза, длина проростков – в 1,3 раза. При 10 мг/л длина корня уменьшалась в 3 раза, сырая масса - в 2,7 раза, длина проростков - в 1,9 раза.	[63]
9	NiO (99.8%) < 50 нм  Sigma Aldrich, (St. Louis, США)	[NiO]= 10...500 мг/л; УЗ 45 мин; Среда: Деионизированная вода; Тест-растение: Лук	Процентное увеличение образования активных форм кислорода в кончиках корней лука: 10...63...500 мг/л = 25...55...62 %. Стабильность геномной	[64]

№	Наночастицы	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
		(Allium сера); Температура: 23°C	матрицы: 10...62,5 ...500 мг/л = 71...73...49 %.	
10	NiO (99.5%) 30 нм  MTI Corporation (Richmond, CA, США).	[NiO]= 0.1...100 мг/л; УЗ обработка: 5 мин; Среда: Деионизированная вода; Тест-растение: Микроводоросли (C. vulgaris); Температура: 23°C; Время: 92 ч	Общее содержание хлорофилла снизилось на 75, 80, 85 и 87% по сравнению с контролем, соответственно, для лечебных концентраций 0,1, 1, 10 и 100 мг/л НЧ NiO.	[65]

### 1.3.3. Токсичность наночастиц в присутствии гуминовых кислот

Гуминовые кислоты – сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, образующихся при разложении отмерших растений и их последующей гумификации. Гуминовые кислоты играют важную роль в питании растений. Более того, в присутствии наночастиц, смешанных с гуминовыми кислотами, цинковое минеральное питание растений улучшается [8].

Таблица 1.3. Взаимное влияние НЧ и органических веществ на токсичность НЧ.

Наночастицы	Тест-объект Органическое вещество	Результаты	Источник
Нульвалентное Fe 50 нм 85% $S_{уд} > 25 \text{ м}^2/\text{г}$ $[\text{Fe}^0] = 1, 5 \text{ г/л}$	Почвенные дрожжи <i>Trichosporon cutaneum</i>  Гуминовые вещества: окисленный оксигумолит X6 и гуминовая кислота X3A 0.3 г/л	При концентрации НЧ Fe 1 г/л, X6 и X3A ослабляли токсичность НЧ (>80% клеток сохраняли жизнеспособность). Защитный эффект в опытной группе при концентрации НЧ 5 мг/л был относительно низким.	[66]
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20 нм 99.9%	Мицелиальный осадок P. <i>Chrysosporium</i>	Под влиянием 50 мг/л ДНА <sub>1</sub> и различных концентраций нано-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[67]



[Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]= 10, 25, 50, 75 и 100 мг/л	Растворенная гуминовая кислота ДНА <sub>1</sub> и ДНА <sub>4</sub> Подготовлено из НА <sub>1</sub> и НА <sub>4</sub> 0, 10, 50 мг/л	(10 и 50 мг/л) жизнеспособность клеток была выше, чем при воздействии только НЧ. Напротив, под влиянием ДНА <sub>4</sub> жизнеспособность клеток была ниже, чем у клеток, подвергнутых воздействию только НЧ, и активность постепенно снижалась с увеличением концентрации ДНА <sub>4</sub> (0, 10 и 50 мг/л).	
Cu ZnO 25 нм [Cu]=0.01-7 мг/л [ZnO]=0.5-100 мг/л	Дафния <i>Daphnia magna</i>  Гуминовые вещества реки Суванни (SR-NOM)  1,10,20 мг/л	Присутствие SR-NOM не оказало существенного влияния на комбинированную токсичность НЧ Cu + ZnO: наблюдалось значительное снижение смертности при воздействии Cu, но присутствие SR-NOM значительно усиливало токсичность суспензий ZnO.	[68]
Ag 28.95±10.17 нм [Ag]= 0, 5, 15, 30, 45 и 60 мкг/л	Микроводоросли <i>Chlorella vulgaris</i> Гуминовая кислота реки Суванни 5 мгС/л	Органическое вещество оказывало смягчающее действие на токсичность НЧ Ag, а значительное увеличение биомассы и содержания хлорофилла а наблюдалось в средах, обработанных более высокими уровнями НЧ Ag	[69]

Таким образом, видно, что разные органические вещества по-разному влияют на токсичность НЧ. Например, оксигумолит Х6 и гуминовая кислота Х3А оказывают ингибирующее действие на токсичность НЧ Fe, а ДНА4 оказывает усиленное влияние на токсичность НЧ Fe. Одно и то же органическое соединение по-разному действует на разные НЧ: например, органическое соединение SR-NOM может ингибировать токсичность НЧ Cu, но усиливать токсичность НЧ ZnO.

#### 1.4. Методики проращивания семян в лаборатории

Существует множество способов проращивания семян в лаборатории, три из которых описаны ниже: метод бумажного рулона, метод чашки Петри и метод песка.

Метод прокатки заключается в том, чтобы завернуть семена во влажное бумажное полотенце, свернуть бумажное полотенце и зафиксировать его, поместить в лоток и добавить соответствующее количество воды [70].

Метод чашки Петри заключается в том, чтобы поместить семена в фильтровальную бумагу на дне чашки Петри и добавить соответствующее количество воды. Поместить в инкубатор при 27°C в темноте [71].

Песочный метод – это семена высевали в песок на глубину 2 см с поливом, когда влажность почвы немного ниже полевой вместимости [72].

Таблица 1.4. Методики проращивания семян в лаборатории (светорежим: день/ночь, ч).

Семя	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
Баклажан <i>Aydin siyahi</i>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Смочите бумагу водой.</li><li>2. Разложите семена в ряд.</li><li>3. Накройте семена другим влажным бумажным полотенцем и сверните.</li><li>4. Держите рулонную бумагу скрепкой.</li><li>5. Держите рулон вертикально в лотке.</li><li>6. Добавьте в лоток 5 мл воды.</li></ol> <p>Среда: Дистиллированная вода; 25°C, 35/20°C- 24/24ч ... 8/16ч; Через 72 ч семена высевали в смесь</p>	При 25°C всхожесть семян колебалась от 72% до 84%. Повышение температуры с 30 до 35°C в условиях переменного температурного режима улучшило всхожесть семян, с максимальной скоростью 87.5% прорастания при 35/20°C - 16/8 ч.	[69]

Семя	Условия эксперимента	Основные результаты	Ссылка
	сфагнома и перлита (2:1); 24 ± 2°C; 16/8 ч.		
Рис <i>Oryza sativa</i>	Предварительное 24 ч замачивание семян [ZnO]= 0, 20 и 40 мг/л в дистиллированной воде. 1. Фильтровальная бумага на дне чашки Петри. 2. Смочите 5 мл дистиллированной воды. 3: Поместить в инкубатор при 27°C в темноте.	При 20 мг/л ZnO длина корня 5,7 см по сравнению с контролем 2,1 см. Длина стебля при 20 мг/л ZnO – 2,8 см.	[67]
Кукуруза <i>Khai Mook</i>	Предварительное замачивание 10 семян в суспензии НЧ золота [Au]=0, 50, 100 и 150 мг/л в дистиллированной воде в течение 24 ч. Семена высевали в песок на глубину 2 см с поливом, когда влажность почвы немного ниже полевой вместимости, а семенам исполнится 10 дней. Средняя температура 30/24 °C (день/ночь).	В 100 мг/л суспензии НЧ – максимальная всхожесть (80 %) по сравнению с 43 и 56 % для незамоченных и в контроле. Масса стебля была наибольшей при 100 мг/л (90 мг) по сравнению с 74 мг при 50 мг/л.	[68]

## 1.5. Постановка задач исследования

Таким образом, литературный обзор показал, что наночастицы – являются продуктом, имеющим большие перспективы. Так, НЧ Ni обладают уникальными физическими и химическими свойствами, благодаря чему применяются для изготовления катализаторов, сенсоров, автомобильных присадок, бактерицидных средств, носителей лекарств и проводящих покрытий. При этом НЧ синтезируют самыми разными способами, в процессе которых могут образовываться аэрозоли НЧ (в воздухе рабочей зоны) и лиозоли (смывы в канализации). Накапливаясь в почве, НЧ Ni в зависимости от условий (концентрация и размер частиц, рН и состав среды) в большинстве случаев могут быть токсичны для растений. Гуминовые кислоты играют важную роль в питании растений, и оказывают большое влияние на свойства металлических НЧ. Поэтому исследование влияния НЧ на растения является важной задачей нанозотоксикологии.

**Целью выпускной квалификационной работы** является определение влияния концентрации наночастиц и гуминовых кислот на морфометрические параметры проростков пшеницы на ранней стадии развития.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

- охарактеризовать НЧ с помощью сканирующей электронной микроскопии и метода низкотемпературно адсорбции азота;
- показать влияние концентрации НЧ и состава среды на их коллоидные свойства в почвенной среде с помощью метода лазерной дифракции и спектрофотометрии;
- установить влияние концентрации НЧ и концентрации гуминовых кислот на длину корня, показатель всхожести и корневой индекс проростков пшеницы с помощью морфометрического анализа.

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

Конечная исследовательская работа «Адсорбционные свойства наночастиц оксида цинка в растворе аргинина» посвящена изучению действия наночастиц никеля на растения в различных концентрациях и средах. Объектом исследования являются НЧ Ni со средним размером 70 нм. Исследование включало приготовление растворов реагентов (Хьютта, гуминовая кислота). Суспензию НЧ Ni перемешивали в ультразвуковой ванне. Агрегацию и седиментацию частиц измеряют с помощью лазерного транспортера и спектрофотометрии.

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

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

### 4.1.1. Анализ конкурентных технических решений.

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

1) Национальный институт охраны труда и здоровья, отдел Токсикология и молекулярная биология. Директор – Джон Говард, доктор медицинских наук, Вашингтон, Америка [82].

2) Институт экологической медицины, подразделение молекулярной токсикологии. Ответственное лицо – профессор Бенгт Фадил, Стокгольм, Швеция [83].

3) НИТУ «МИСиС», НИЦ «Конструкционные керамические наноматериалы». Главное ответственное лицо – Валентин Романовский, Москва, Россия.

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

Таблица 4.1. – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкуренто-способность			
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	Б <sub>к3</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>	К <sub>к3</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Повышение производительности труда пользователя	0,03	5	3	5	3	0,15	0,09	0,15	0,09
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	3	4	3	0,25	0,15	0,2	0,15
3. Помехоустойчивость	0,04	2	2	3	2	0,08	0,08	0,12	0,08

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкуренто-способность			
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	Б <sub>к3</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>	К <sub>к3</sub>
4. Энергоэкономичность	0,08	4	4	3	4	0,32	0,32	0,24	0,32
5. Надежность	0,06	5	4	3	5	0,3	0,24	0,18	0,3
6. Уровень шума	0,05	3	3	3	2	0,15	0,15	0,15	0,1
7. Безопасность	0,1	5	4	3	4	0,5	0,4	0,3	0,4
8. Функциональная мощность	0,1	3	1	5	5	0,3	0,1	0,5	0,5
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>									
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	4	2	5	2	0,32	0,16	0,4	0,16
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	2	4	3	0,25	0,1	0,2	0,15
3. Цена	0,08	5	5	2	2	0,4	0,4	0,16	0,16
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	4	3	5	0,45	0,36	0,27	0,45
5. Послепродажное обслуживание	0,06	3	3	4	4	0,18	0,18	0,24	0,24
6. Финансирование научной разработки	0,09	3	4	2	3	0,27	0,36	0,18	0,27
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	2	3	0,2	0,16	0,08	0,12
Итого	1	4,1	3,3	3,4	3,5	0,31	0,24	0,25	0,27

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

Разработанная технология очень конкурентоспособна. Цена на разработанный метод значительно ниже, чем у конкурентов, и сопоставима с европейскими аналогами. При использовании этой технологии производительность пользователя может быть улучшена. Таким образом, с точки зрения безопасности, удобства эксплуатации и цены данный проект актуален.

#### 4.1.2. SWOT-анализ

SWOT-анализ – это инструмент стратегического анализа проекта, заключающийся в исследовании неконтролируемых факторов внешней и внутренней среды проекта, его контролируемых сильных и слабых сторон [84].

На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.2. - 4.5.

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

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

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

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

Таблица 4.4. – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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



Таблица 4.5. – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

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

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6. – Результаты SWOT-анализа

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

<p>У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок</p> <p>У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен</p>	<p>У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса</p>	<p>У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства</p> <p>У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака</p>
--	--	--

Таким образом, SWOT-анализ проекта выделил научную перспективность новой аналитической методики. Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

## **4.2. Планирование научно-исследовательских работ**

### *4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования*

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7. – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения 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	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	инженер
	8	Корректировка расчетов	научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Оценка эффективности результатов	инженер
	10	Составление пояснительной записки	инженер
	11	Подготовка к защите темы	инженер

#### 4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования

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

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

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни ;  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой

работы, человеко-дни;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

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

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

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

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

$$T_{ki \text{ инж}} = T_{pi} \cdot K_{\text{кал}} \quad (4.3),$$

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

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$K_{\text{кал инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4),$$

где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – общее количество праздничных дней в году (2023 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.7.

Таблица 4.8. – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1. Составление ТЗ и плана-графика	1,1		2		2,1		2,1	3
2. Календарное планирование ВКР	1,1	1,1	2	2	2,3	1,46	1.88	3
3. Обзор научной литературы		8		10		8,8	8,8	13
4. Выбор методов		8		10		8,8	8,8	13
5. Планирование эксперимента	1	21	2	22	1,4	21,4	11.4	17
6. Проведение эксперимента		7		12		9	9	14
7. Анализ полученных результатов НИР		3		5		3,8	3,8	6
8. Корректировка расчетов	1	5	2	8	1,4	6,2	3.8	6
9. Оценка результатов	1	7	2	10	1.4	8,2	4.8	7
10. Составление записки		7		10		8,2	8,2	12
11. Подготовка к защите темы		8		10		8,8	8,8	13
<b>Итого</b>	<b>3,2</b>	<b>76,1</b>	<b>6</b>	<b>109</b>	<b>7.2</b>	<b>84,6</b>	<b>71,38</b>	<b>107</b>

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

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

Таблица 4.9. – Диаграмма Ганта

	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3	■												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1		■	■	■	■									
		Исп2	3				■									
3	Обзор научной литературы	Исп2	13		■	■	■				■					
4	Выбор методов исследования	Исп2	13					■	■							
5	Планирование эксперимента	Исп2 Исп2	17					■	■	■						
6	Проведение эксперимента	Исп2	14							■	■					
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	6									■	■	■		
8	Корректировка расчетов	Исп1 Исп1	6								■	■			■	■
9	Оценка эффективности результатов	Исп1 Исп2	7								■	■				
10	Составление пояснительной записки	Исп2	12										■			
11	Подготовка к защите темы	Исп2	13											■	■	■

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

#### 4.2.3. Бюджет научно-технического исследования

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

#### Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Таблица 4.10. – Затраты на дневной эксперимент

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./г	Итого затраты, руб.
нано-порошок Ni	5,0 г	100	500
Вода дистиллированная ГОСТ 6709-72, л	12	200	200 2400
Гуминовая кислота	1	300	300
Перчатки	1	15	15
Мыло туалетное ГОСТ 28546-2002 ГОСТ 790-89	1	37	37
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			3264 руб

### Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (табл. 4.11.).

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

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

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

Амортизация:

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

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

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

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1. \quad (4.7),$$

Таблица 4.11. – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Спектрофотометр PD-303 (Arel, Япония)	1	10	60	60
2	Лазерный анализатор SALD-7101 (Shimadzu, Япония)	1	10	500	500
3	Ультразвуковая ванна ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 55 Вт)	1	10	35	35
4	Весы ALC-110d4 Acculab, Россия, точность ±0,0001	1	10	50	50
5	Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия	1	10	45	45
6	Термостат ТС-1/80 (СПУ, Россия)	1	10	39,7	39,7
<b>Итого:</b>					<b>729,7 тыс. руб.</b>

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Спектрофотометр:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 60000}{12} \times 4 = 20000 \text{ руб} \quad (4.8),$$

Лазерный анализатор:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 5000000}{12} \times 4 = 166666 \text{ руб.} \quad (4.9),$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 35000}{12} \times 4 = 1166 \text{ руб.} \quad (4.10),$$



Весы:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 50000}{12} \times 4 = 16666 \text{ руб.} \quad (4.11),$$

Аквадистиллятор:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 45000}{12} \times 4 = 1500 \text{ руб.} \quad (4.12),$$

Термостат:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \times m = \frac{0,1 \times 39710}{12} \times 4 = 1323,6 \text{ руб.} \quad (4.13),$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 20000 + 166666 + 1166 + 16666 + 1500 + 1323,6 = 207321,6 \text{ руб}$$

### **Основная заработная плата исполнителей темы**

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

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

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (4.14),$$

где  $Z_{он}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 4.8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.15),$$

Где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.16),$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_0) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.17),$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_0) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.18),$$

где  $Z_{мс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $K_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $K_0$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $K_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.12. – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.13. – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, \text{руб}$	$K_{np}$	$K_0$	$K_p$	$Z_m, \text{руб}$	$Z_{он}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн}$	$Z_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	7,2	15460,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	84,6	147466,3
Итого:								162926,9

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{бон} = K_{бон} \times Z_{осн} = 0,15 \times 15460,6 = 2319,1 \text{ руб.} \quad (4.19),$$

– для инженера:

$$Z_{\text{бол}} = K_{\text{бол}} \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 147466,3 = 21969,9 \text{ руб.}, \quad (4.20),$$

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

### Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{бол}}) = 0,3 \times (15460,6 + 2319,1) = 5333,9. \quad (4.21),$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{бол}}) = 0,3 \times (147466,3 + 21969,9) = 50830,9 \quad (4.22),$$

Где  $K_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### Накладные расходы

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

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

Таблица 4.14. – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
207321,6	3264	162926,9	24289	56164,8	453966,3	18158,65	472124,95

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

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

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

Таблица 4.15. – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Ремонтпригодность	0,1	4	3	4	5
2. Стабильность работы	0,1	5	2	4	4
3. Долговечность	0,15	4	3	3	2
4. Безопасность при использовании установки	0,20	5	5	5	5
5. Помехоустойчивость	0,15	3	3	4	4
6. Потребность в ресурсах памяти	0,15	4	4	3	4
7. Простота эксплуатации	0,15	5	5	4	5
ИТОГО	1	30	25	26	29

$$I_{p-Tn} = 4,3 ; I_{p-вар1} = 3,75; I_{p-вар2} = 3,9; I_{p-вар3} = 4,15.$$

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

$$I_{вари} = \frac{I_{р-вари}}{I \frac{вари}{финр}} \quad (4.23),$$

$$I_{р-Тп} = \frac{4,3}{0,97} = 4,43, I_{вар1} = \frac{3,75}{1} = 3,75$$

$$I_{вар2} = \frac{3,9}{0,99} = 3,93, I_{вар3} = \frac{4,15}{0,95} = 4,36$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (табл. .16.).

Таблица 4.16. – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,75	3,9	4,15
2	Интегральный показатель эффективности	4,43	3,75	3,93	4,36
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.Тп/Вар. 1 = 1,15 Вар.Тп/Вар. 2 = 1,1 Вар.Тп/Вар. 3= 1,04	Вар.1/Вар. Тп= 0,87 Вар.1/Вар. 2 = 0,96 Вар. 1/Вар. 3= 0,9	Вар.2 /Вар. Тп= 0,9 Вар. 2/Вар. 1 = 1,04 Вар. 2/Вар. 3 = 0,94	Вар.3 /Вар. Тп= 0,97 Вар. 3/Вар. 1 = 1,11 Вар. 3/Вар. 2 = 1,06

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

#### 4.4. Выводы

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

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

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 107 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 121; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 17;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 472124,95 рублей;

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

1) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,3, по сравнению с 3,75, 3,9 и 4,15;

2) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,43, по сравнению с 3,75, 3,93 и 4,36, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### 5.1. Введение

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

В лаборатории ТПУ находится следующее оборудование: лазерный анализатор частиц SALD-7101, Shimadzu, Япония; рабочий стол с компьютером; магнитная мешалка MS-3000 Biosan, Латвия; ультразвуковая ванна ГРАД 28-35, Россия; термостат ТС-1/80, Россия; 1 вытяжной шкаф; 2 шкафа для хранения лабораторной посуды; 1 шкаф для хранения химикатов; 2 рабочих стола; 1 раковина.

В ходе исследований была разработана метод ведения работ в лаборатории. Для определения массы навески нано-порошка Ni проводили взвешивание на аналитических весах Acculab ALC-210D4, Германия. Для определения дисперсионного состава нано-порошка Ni с помощью метода лазерной дифракции готовили суспензии на основе различных сред. Затем суспензию помещали в ультразвуковую ванну на 10 и 15 минут и после заливали в лазерный анализатор частиц SALD-7101, Shimadzu, Япония для получения распределения частиц по размерам. Замоченные в суспензии семена пшеницы помещали в термостате ТС-1/80 для выращивания.

## 5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовая норма трудового законодательства, а именно Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ [85], регулирует трудовую деятельность лаборантов, выполняющих научно-исследовательскую работу.

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

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

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

Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, и т.д. В лаборатории вредные условия труда 2 класса (допустимые условиями труда) согласно [86]),

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

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 [87], в химико-аналитических лабораториях могут работать лица старше 18 лет, прошедшие медицинский осмотр.



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

Согласно ГОСТ Р 56748.1-2015 [88], выбор мер безопасности НК производится путем оценки рисков НК, в которых участвуют сами работники. Выбор мер безопасности должен основываться на точных или предполагаемых литературных данных об опасности, уровнях воздействия НЧ. В таблице 5.1 обобщен опыт использования мер безопасности НЧ Ni. Техпроцесс с использованием НЧ Ni является герметичным. Скрининг и физикальное обследование органов дыхания рабочих. Меры безопасности ингаляции НЧ и попадания на кожу: технические меры (вентиляция), СИЗ, СИЗОД.

Таблица 5.1 – Сведения об применении мер безопасности НЧ Ni

Наноматериал	Технологический процесс	Меры безопасности	Уровень экспозиции с применением мер безопасности	Источник
Ni	суспензия наночастиц	Местная вытяжная вентиляционная система	7200-12000 НЧ/см <sup>3</sup>	[89]

Согласно ГОСТ Р 50923-96 [90], элементами рабочего места оператора являются: рабочий стол, рабочее кресло, монитор, клавиатура. Рабочее место не должно нагружать опорно-двигательный аппарат.

### 5.3. Производственная безопасность

Условия труда в лабораториях и электрооборудовании могут привести к возникновению вредных и опасных для работающих факторов. Работает как в

лаборатории, так и на ноутбуке (ПК) по ГОСТ 12.0.003-2015 [ 91 ], характеризующийся факторами (табл. 5.2).

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

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха и (или) аэрозольным составом воздуха	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ 10262-73 Реактивы. Цинка окись. Технические условия [92]</li> <li>• ГОСТ Р 56748.1-2015. нанотехнологии. наноматериалы. Управление рисками. Часть 1 Общие положения: Дата введения 01.07.2016. [88]</li> <li>• ГОСТ 4461-77 Реактивы. Кислота азотная. Технические условия. [93]</li> <li>• ГОСТ 4328-77 Реактивы. Натрия гидроксид. Технические условия[94]</li> <li>• ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [87]</li> </ul>
Связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем ультразвуковых колебания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ 12.1.001-89 Ультразвук. Общие требования безопасности: дата введения 1991-01-01. [95]</li> </ul>
Недостаток необходимого искусственного освещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01. [96]</li> </ul>
Вещества, обладающие избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ 10262-73 Реактивы. Цинка окись. Технические условия[92]</li> <li>• ГОСТ Р 56748.1-2015. нанотехнологии. наноматериалы. Управление рисками. Часть 1 Общие положения: Дата введения 2016-07-01. – URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/1200127486">https://docs.cntd.ru/document/1200127486</a> (дата обращения: 1.04.2022). - Текст: Электронный. [97]</li> </ul>
Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. [98]</li> </ul>

## Анализ опасных и вредных производственных факторов

### 1) Чрезмерное загрязнение воздуха в зоне дыхания.

Источником этого фактора являются НЧ Ni, гуминовая кислота, пары азотной, серной и соляной кислот. Возможны химические ожоги горла, хроническая бронхиальная астма.

При выполнении эксперимента в лаборатории, в основном попадают в рабочую зону вредные примеси (нано-порошок Ni и пары азотной, серной и соляной кислот). Для контроля вредных примесей, необходимо соблюдать предельно допустимые концентрации ПДК, описанные в ГОСТ 12.1.005-88 [99]. Данные по контролю ПДК попадающих вредных веществ в лаборатории описаны в таблице 5.3.

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

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

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации в воздухе [99]

Название вещества	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Ni	0,05	a*	1	K, A*
Азотная кислота	2	a	3	-
Серная кислота	1	a	2	-
Соляная кислота	5	a	2	-

**2) Связанные с акустическими колебаниями в производственных условиях, характеризующиеся повышенным уровнем ультразвуковых колебаний.** Источником фактора является длительная эксплуатация ультразвуковой ванны ODA-LQ40, центрифуги 5702. Заболевания рабочих: потеря слуха, шум в ушах, головная боль. Допустимый уровень звукового давления на рабочем месте не должен превышать значения, указанного в таблице 5.4 [95].

Таблица 5.4 – Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах [95]

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

В лаборатории уровни звукового давления на рабочем месте составляют: Ультразвуковая ванна ODA-LQ40 - 80 дБ (17,7 кГц) и 57..60 дБ (22 кГц) Центрифуга 5702 - <64 дБ (17,7 кГц). В лаборатории уровень звукового давления не превышает допустимого [95]. Снижают действие этого фактора, поглощая крышку бани и центрифугу.

**3) Недостаток необходимого искусственного освещения.** Источник фактора – люминесцентные лампы. Работник подвергается напряжению глаз. Согласно ГОСТ Р 55710-2013 (Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений) [96], нормы освещенности приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Нормы освещенности [96]

Наименование помещения	Освещенность $E_{экс}$ , лк	Равномерность освещенности $U_0$	Коеф. пульсации $K_p$ , %
Лаборатории	500	>0,60	>10
Фармацевтическое производство			

В лаборатории требования отвечают нормам [96]. Рабочий стол находится между рядами светильников ЛПО 2x36-CSVT (люминисцентные лампы, 40 Вт) и боковым оконным проемом.

**4) Вещества, обладающие избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии.** Вещества, обладающие избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии. Источник – НЧ ZnO. Порошок никеля является веществом и промышленным канцерогеном, который в производственных условиях может вызывать аллергические заболевания. Работники склонны к аллергии и хроническим опухолевым заболеваниям легких и различных органов (ПДК = 0,05 мг/м<sup>3</sup> [100]).

**5) Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов.** Источник – электрооборудование. Опасность электрических ожогов, электротравмы 1, 2 степени. Снижение влияния фактора достигается изоляцией проводки и приборов, использованием сетевого фильтра с предохранителем в сеть 220 В, 50/60 Вт. Мощности составляют 3 кВт у дистиллятора ДЭ-4 и 2,6. 340 Вт у остальных приборов. Настольные приборы имеют малые величины напряжений: <36 В [101], не требующие специального заземления.

### *5.3.1. Расчет освещенности помещения НИР*

Дано помещение с размерами: длина  $A = 4,3$  м, ширина  $B = 6,5$  м, высота  $H = 2,5$  м. Высота рабочей поверхности  $h_{rp} = 0,83$  м. Светильники ЛПО 2x36 (1,245x0,4x0,05 м) с двумя люминесцентными лампами ОД, 40 Вт, 220 В.

Рассчитаем высоту подвеса:  $h_{п} = H - h_{свеса} = 2,5 \text{ м} - 0,05 \text{ м} = 2,45 \text{ м}$ . Высота подвеса  $h_{п} = 2,45$  м допустима с учетом наименьшей допустимой  $h_{п}$  сдвоенных светильников с люминесцентными лампами ( $2,45 < 4,0$  м). Определим расчетную высоту светильника над рабочей поверхностью:  $h = h_{п} - h_{rp} = 2,45 \text{ м} - 0,83 \text{ м} = 1,62 \text{ м}$ .

Рассчитаем расстояние между рядами светильников:  $L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,62 \approx 2,27$  м. Учитываем, что критерий оптимальности расположения светильников для люминесцентных ламп ОД без защитной решётки  $\lambda = 1,4$ .

Расстояние от стены до торца светильника:  $L/3 = 2,27/3 \approx 0,76$  м. Определим количество рядов светильников:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3}L}{L} + 1 = \frac{6,5 - \frac{2}{3} \cdot 2,27}{2,27} + 1 = 3,19 \approx 3 \quad (5.1),$$

Определим количество светильников в ряду:

$$n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3}L}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{4,3 - \frac{2}{3} \cdot 2,27}{1,245 + 0,5} = 1,59 \approx 2 \quad (5.2),$$

Расстояние между светильниками в ряду:  $(A - n_{\text{св}} \cdot l_{\text{св}})/3 = (4,3 - 2 \cdot 1,245 \text{ м})/3 \approx 0,60$  м. Разместим светильники в 3 ряда. В каждом ряду 2 светильника ОД с 2 люминесцентными лампами типа мощностью 40 Вт (с длиной  $l_{\text{св}}=1,245$  м). Начертим план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами (рис. 5.1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N_{\text{л}} = 2(n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}}) = 2 \cdot (3 \cdot 2) = 12$ .

Рассчитаем индекс помещения:  $i = S/h(A+B) = (A \cdot B) / h(A+B) = (4,3 \text{ м} \cdot 6,5 \text{ м}) / 1,62 \text{ м} \cdot (4,3 \text{ м} + 6,5 \text{ м}) = 1,60$ . Коэффициент использования светового потока  $\eta$  для сочетания коэффициентов отражения (свежепобеленный потолок  $\rho_{\text{п}}=70\%$ , свежепобеленные стены с окнами без штор  $\rho_{\text{н}}=50\%$ ) и индекса помещения ( $i=1,60$ ) равен табличному значению  $\eta=56\%$ . Коэффициент запаса  $K_3$  для помещения со средним выделением пыли равен 1,8. Нормативная освещенность лаборатории  $E_{\text{н}} = 500$  лк (Приложение Л [102] и [96]). Определи световой поток  $\Phi$ :

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{500 \text{ лк} \cdot 27,95 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,56} = 4118 \text{ лм} \quad (5.3),$$

Ближайшая стандартная лампа – ЛД 65 Вт с потоком 3750 лм. Проверка:

$$-10\% \leq \frac{3750 \text{ лм} - 4118 \text{ лм}}{3750 \text{ лм}} \cdot 100\% \leq +20\% \Rightarrow -10\% \leq -9,8\% \leq +20\% \quad (5.4),$$

Тогда электрическая мощность осветительной системы:  $P=12 \cdot 65 \text{ Вт} = 12 \cdot 65 \text{ Вт} = 780 \text{ Вт}$ . Лаборатория соответствует требованиям освещенности.

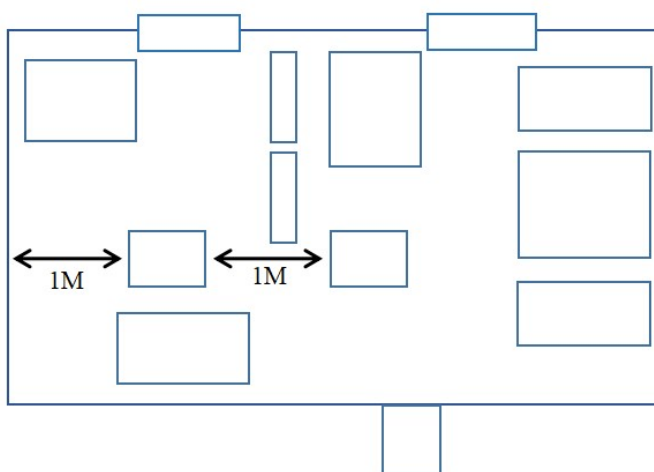


Рисунок 5.1. План размещения светильников

#### 5.4. Экологическая безопасность

Экологическая безопасность в лаборатории, причастной к химической и нанотехнологической промышленности, производит хоть и малотоннажные, но разнообразные остро токсичные отходы, требующих особых мер защиты атмо-, гидро-, литосферы и работников. При оценке нанотоксичности требования безопасности обращаются к научной литературе.

**Воздействие на атмосферу** в проектируемом решении: выбросы из вентиляционных систем, содержащие низкие концентрации аэрозолей НЧ Ni и реагентов. Источники загрязнения – реагенты (гуминовая кислота) и нанопорошки Ni. Загрязнители – пары и взвешенные высвобожденные НЧ в рабочей зоне.

Высвобождение НЧ и паров реагентов приводит к кластеризации мобильных и устойчивых к седиментации аэрозолей. Они вызывают глобальные загрязнения [103]: кислотные дожди, отложения в водоемах, эрозию почв. Актуальны риски болезней легких работников от ингаляции веществ.

ПДК в рабочей зоны равны [99]: НЧ Ni – 0,05 мг/м<sup>3</sup>; гуминовая кислота – 10 мг/м<sup>3</sup>. Нормы в атмосфере городских поселений равны [104]: НЧ Ni – ПДК<sub>ср.сут.</sub> = 0,001 мг/м<sup>3</sup>; гуминовая кислота – ОБУВ=1,2 мг/м<sup>3</sup>.

В лаборатории ПДК НЧ Ni и реагентов не превышают норм.

**Меры защиты атмосферы осуществляются в рамках требований** [105, 97] мероприятиями: контролем чистоты помещения, фильтрацией воздуха, только влажной уборкой помещения.

**Воздействие на гидросферу** в проектируемом решении: сброс суспензий и реагентов в канализацию, в сточные воды. Источниками загрязнения становятся химические реагенты и НЧ Ni. Загрязнители – суспензии и растворы в сточных водах. Химическая лаборатория – источник более разнообразных стоков в гидросферу [106]. Химические вещества изменяют свойства воды (рН, ПАВ, жёсткость), повреждают коррозией турбины очистных сооружений Томска. Отчего, во-первых, поступает вода низкого качества [106]. Во-вторых, возникает поломка дорогого оборудования водопроводных станций. НЧ Ni усугубляют эти процессы. Возникает необходимость в дополнительных методиках нейтрализации [107], ионного обмена и сорбции [108] сточной воды лаборатории.

**Воздействие на литосферу** в проектируемом решении: коагуляция и седиментация взвешенных НЧ Ni на близлежащей территории. Источники – нанопорошки Ni. Загрязнители – НЧ Ni, которые прилипают к обуви и диффундируют через вентиляцию, седиментируют на территории.

Попав в почву, влияние НЧ Ni уникально от разнообразия их коллоидных свойств и реакционной активности. На близлежащей территории происходит аккумуляция НЧ в гумусе, в ингибирование всхожести растений, окислительный стресс микробиоты [109]. ПДК вредных веществ в почве регламентируется СанПиН 1.2.3685-21 [104]. Для частиц Ni (в перерасчете на Ni) – ПДК= 4 мг/кг.

В лаборатории, контактирующие с НЧ Ni отходы, согласно [97], утилизируются отдельно. Проводится периодическая только влажная уборка [105].



**Воздействие на селитебную зону:** аэрозоли НЧ Ni и реагентов способны преодолеть фильтры вентиляции, попасть в атмосферу, на близлежащую жилую территорию; НЧ Ni проникают в альвеолярную область легких, раздражают слизистую, накапливаются в организме жителей.

Здание 15 корпуса ТПУ, в котором находится лаборатория, находится в жилой зоне (150-200 м). Отчего лаборатории подразделяются на IV категорию по интенсивности гигиенического класса по выделению вредных веществ. Лаборатория расположена в общежитии университета и имеет придомовую благоустроенную территорию, на которой запрещен выгул собак (санитарный заповедник).

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

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

Пожар. Причины возгорания в лаборатории: реагенты (спирт,) токи короткого замыкания электрооборудования, перегрузка, неисправность ноутбука или электросети. Специфика лаборатории связана с наличием электрооборудования и ЛВЖ (этанол), от чего в помещении вероятнее возникновение пожаров категорий: А (пожары твердых горючих веществ и материалов (дерево, бумага, пластмасса)), В (пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (спирт, кислоты)), Е (пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением) [ 110 ]. Изоляция приборов должна защищать человека от поражения электрическим током [111].

Согласно ГОСТу 12.1.004-91 [ 112 ], в лаборатории корпуса №15 соблюдаются нормы пожарной безопасности. При ЧС срабатывает пожарная сигнализация, и оповещающая о эвакуации через два возможных выхода,

согласно плану эвакуации (рис. 5.2). Предотвращение возгорания обеспечивается: сетевыми фильтрами, нанесенными на деревянные поверхности красками, наличием полиэтиленовыми клеенок, выполнением мебели из керамики.

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

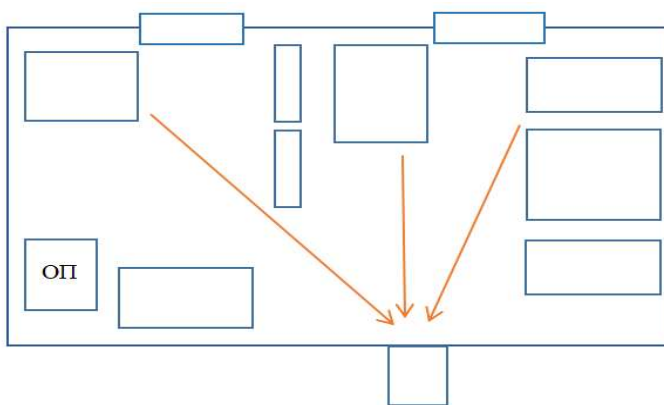


Рисунок 5.2 – План эвакуации при пожарах и других ЧС

## 5.6. Выводы

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

Лаборатория по электробезопасности характеризуется как пыльное помещение с химически активной средой [113], а персонал имеет I, II группу по электробезопасности, согласно Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ Минтруд России от 15.12.2020 г. N 903н). Тяжесть труда в лаборатории характеризуется категорией Iб (Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся

физическим напряжением, энерготраты 140-174 Вт) [104]. По взрывопожарной и пожарной опасности помещение лаборатории приписывается к категории А (повышенная взрывопожаро-опасность) [114].

А реагенты и НЧ Ni, имеющие в данном случае значительное негативное воздействие на окружающую среду, указываются 1 категорией – умеренным негативным воздействием на окружающую среду (по обращению с отходами производства и потребления в части, касающейся отходов I класса опасности (с проектной мощностью менее 0,1 тонны в час) [115].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li W., Zhu J.H., Qi J.H., Application of nano-nickel catalyst in the viscosity reduction of Liaohe extra-heavy oil by aqua-thermolysis // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. – 2007. – Vol.35. – P.176-180.
2. Kale V.N., Kumaraguru S., Saravanan G., Jalaluddeen A.S., Rajkumar P., Subadevi R., Sivakumar M., Gnanamuthu R. Influence of nickel strike as adhesive layer on electrodeposited Zn-Co-Ni alloy and their performance in metal-finishing // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – Vol.40. – P.248-258.
3. Rana G., Dhiman P., Kumar A., Dai-Viet N.V., Sharma G., Sharma S. Naushad M. Recent advances on nickel nano-ferrite: A review on processing techniques, properties and diverse applications // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2021. – Vol.175. – P.182-208.
4. Rezaga F.Y.B., Balela M.D.L. Synthesis and characterization of nickel-coated copper nanowires for flexible conductive thin film applications // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – Vol.22. – P. 241-247.
5. Gomes S. I. L., Roca C.P., Scott-Fordsmand J.J., Amorim M.J.B. High-throughput transcriptomics: Insights into the pathways involved in (nano)nickel toxicity in a key invertebrate test species // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 254. – P. 131-140.
6. Adeel M., Ma C., Ullah S., Rizwan M., Hao Y., Chen C., Jilani G., Shakoor N., Li M., Wang L., Tsang D.C.W., Rinklebe J., Rui Y., Xing B. Exposure to nickel oxide nanoparticles insinuates physiological, ultrastructural and oxidative damage: A life cycle study on *Eisenia fetida* // *Environmental Pollution*. –2019. –Vol.254. – P.113032.
7. Molas J., Baran S. Relationship between the chemical form of nickel applied to the soil and its uptake and toxicity to barley plants // *Geoderma*. – 2004. – Vol.122. – P. 247-255. Gong N., Shao K., Che C., Sun Y. Stability of nickel oxide

---

nanoparticles and its influence on toxicity to marine algae *Chlorella vulgaris* // *Marine Pollution Bulletin*. –2019. –Vol.149. –P.110532.

8. Rahale C. S., Lakshmanan A., Sumithra M.G., Ranjith K. E., Humic acid involved chelation of ZnO nanoparticles for enhancing mineral nutrition in plants // *Solid State Communications*. – 2021. – Vol.333. – P.114355.

9. Rocha-Rocha O., Cortez-Valadez M., Calderón-Ayala G., Martínez-Nuñez C.E., Pedroza-Montero M., Flores-Acosta M., Confined clustering of AuCu nanoparticles under ambient conditions // *Physics Letters A*. – 2019. – Vol. 383. – P.125985.

10. Kandasamy K., Surendhiran S., Jagan K.S.G., Kumar G.S., Syed Khadar Y.A., Rajasingh P., Green synthesis of CdS Quantum dots for photocatalytic and anti-corrosive applications in aqueous media // *Applied Surface Science Advances*. – 2023. – Vol. 13. – P.100364.

11. Kong W., Fu Y., Zhang J., Sun Y., Stabilized Ni nanoparticles derived from silicate via hydrothermal method for carbon dioxide reforming of methane // *Chemical Physics Letters*. – 2020. – Vol. 739. – P.137027.

12. Zhu D., Kong L., Laboratory evaluation of carbon nanotubes modified bio-asphalt // *Case Studies in Construction Materials*. – 2023. – Vol. 18. – P.e01944.

13. Ли Х., Ан К., Ли С., Ким Ч.П., Ким Х., Чжон С.Е., Чо Ч.Р., Волокна с нанополосами ZnO: изготовление, чувствительный №2 газ и механизм их восприятия // *Приложение. Физика. Письмо* . – 2011. – Vol. 98. – P.193114.

14. Liu S., Yin S., Jiao S., Zhang H., Wang Z., Xu Y., Li X., Wang L., Wang H., Au nanowire modified with tannic acid for enhanced electrochemical synthesis of ammonia // *Materials today energy*. – 2021. – Vol. 21. – P.100828.

15 . Журавлева Н.Г., Шляхтин О.А., Нанообъект // Словарь нанотехнологических терминов. Электронный ресурс: <https://thesaurus.rusnano.com/>

16. Ma Y., Yu X., Liu Z., Meng K., Xu J., Li X., Hou H., Liu Z., Full-scale simulation and experimental verification of the phase-transition temperature of a VO

---

nanofilm as smart window materials // *Materials Today Communications*. – 2023. – Vol. 35. – P.105758.

17. Khan G.R., Malik S.I., Ag-enriched TiO nanocoating apposite for self-sanitizing/ self-sterilizing/ self-disinfecting of glass surfaces // *Materials Chemistry and Physics*. – 2022. – Vol. 282. – P.125803.

18. Cho M., Jeon G. G., Sang M., Kim T. S., Suh J., Shin S. J., Choi M. J., Kim H. W., Kim K., Lee J. Y., Noh J. Y., Kim J. H., Kim J., Park N., Yu K. J., Ultra-thin thermally grown silicon dioxide nanomembrane for waterproof perovskite solar cells // *Journal of Power Sources*. – 2023. – Vol. 563. – P.232810.

19 . Тезаурус Роснано. Электронный ресурс: <https://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1399>

20. Khan I., Saeed K., Khan I. Nanoparticles: properties, applications and Toxicities // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2019. – Vol.12. – P.908-931. Buzea C., Pacheco I. Nanomaterials and their classification // *Advanced Structured Materials*. – 2017. – Vol. 62. – P.3-45.

21. Hagler G.S.W., Baldauf R.W., Thoma E.D. Ultrafine particles near a major roadway in Raleigh, North Carolina: Downwind attenuation and correlation with traffic-related pollutants // *Atmospheric Environment*. – 2009. – Vol.43. – P.1229–1234

22. Sundrarajan M., Bama K., Bhavani M., Jegatheeswaran S., Ambika S., Sangili A., Nithya P., Sumathi R., Obtaining titanium dioxide nanoparticles with spherical shape and antimicrobial properties using *M. citrifolia* leaves extract by hydrothermal method // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. – 2017. – Vol.171. – P.117–124

23. Singh V., Bansal P., Fabrication and characterization of needle shaped CuO nanoparticles and their application as photocatalyst for degradation of organic pollutants // *Materials Letters*. – 2020. – Vol.261. – P.126929

- 
24. Curiale J., Sánchez R.D., Ramos C.A., Leyva A.G., Butera A., Dynamic response of magnetic nanoparticles arranged in a tubular shape // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2008. – Vol.320. – P.218–221.
25. Hassan R. M., Ibrahim S. M., Innovative methodology for green synthesis of iridium nanoparticles of rod shapes by reduction of iridium (IV) using sustainable pectin with formation of keto-pectin derivatives // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2023. – Vol. 238. – P.124156.
26. Kuzminova A., Hanková A., Khomiakova N., Cieslar M., Kylián O., Tailoring the shape of vanadium nanoparticles produced by gas aggregation source // *Vacuum*. – 2022. – Vol. 206. – P.111545.
27. Xu J., Shu R., Wan Z., Fabrication of rectangular zirconium dioxide nanoparticles decorated reduced graphene oxide nanocomposites as thin and high-efficiency electromagnetic wave absorbers // *Diamond and Related Materials*. – 2022. – Vol. 128. – P.109232.
28. Наноматериалы и нанотехнологии : учеб. пособие / В.С. Кирчанов. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. – 241 с.
29. Patel G.M., Shah V., 2 - Polymer-based nanomaterials: an introduction // *Diamond and Related Materials*. – 2023. – P.27-59.
30. Wu J., Zhang G., Liu J., Gao H., Song C., Du H., Zhang L., Gong Z., Lv Y., Synthesis, characteristics, and antibacterial activity of a rare-earth samarium/silver/titanium dioxide inorganic nanomaterials // *Journal of Rare Earths*. – 2014. – Vol.32. – P.727-732.
31. Chaudhary J., Tailor G., Yadav B.L., Michael O. Synthesis and biological function of nickel and copper nanoparticles // *Heliyon*. – 2019. – Vol.5. – P.01878.
32. Su F., Qiu X., Liang F., Tanaka M., Qu T., Yao Y., Ma W., Yang B., Da Y., Hayashi K., Watanabe T. Preparation of nickel nanoparticles by direct current arc discharge method and their catalytic application in hybrid na-air battery // *Nanomaterials (Basel)*. – 2018. – Vol.8. – P.8090684.

- 
33. Hou Y., Kondoh H., Ohta T., Gao S., Size-controlled synthesis of nickel nanoparticles // *Applied Surface Science*. – 2005. – Vol.241. – P.218 – 222.
34. Cho C., Ha Y., Kang C., Jin Y., Rim G., Preparation of a Nickel Nanopowder by Wire Explosion in Liquid Media // *Journal of the Korean Physical Society*. – 2010. – Vol.57. – P.1807–1810.
35. Shrivastava M., Srivastav A., Gandhi S., S Rao., Roychoudhury A., Kumar A., Singhal R.K., Jha S. K., Singh S.D. Monitoring of engineered nanoparticles in soil-plant system: a review // *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. – 2019. – Vol.11. – P.100218
36. Kalita P., Singh J., Singh M.K., Solanki P.R., Sumana G., Malhotra B.D. Ring like self assembled Ni nanoparticles based biosensor for food toxin detection // *Applied Physics Letters*. –2012. –Vol.100. –P.093702.
37. Ensafi A. A., Ahmadi N., Rezaei B., Nickel nanoparticles supported on porous silicon flour, application as a non-enzymatic electrochemical glucose sensor // *Sensors and Actuators B: Chemical*. –2017. – Vol.239. – P.807-815.
38. Tseng W. J., Chen C., Dispersion and rheology of nickel nanoparticle inks // *Journal of Materials Science*. –2006. –Vol.41. –P.1213–1219.
39. Qiu S., Zhou Z., Dong J., Chen G., Preparation of Ni Nanoparticles and Evaluation of Their Tribological Performance as Potential Additives in Oils // *Journal of Tribology* . -2001. – Vol.123. –P.441–443.
40. Yi S., Babadagli T., Li H. A., Use of nickel nanoparticles for promoting aquathermolysis reaction during cyclic steam stimulation // *Society of Petroleum Engineers Journal*. – 2017. – Vol.01. – P.145-156.
- 41 . Khurana J. M., Yadav S. Highly monodispersed PEG-stabilized Ni nanoparticles: proficient catalyst for the synthesis of biologically important spiropyrans // *Australian Journal of Chemistry*. – 2012. – Vol.65. – P.314-319.
42. Ali S., Al-Marri M.J., Abdelmoneim A.G., Kumar A., Khader M.M. Catalytic evaluation of nickel nanoparticles in methane steam reforming // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2016. – Vol.41. – P.22876-22885.



- 
43. Zhang G., Li J., Zhang G., Zhao L., Room-temperature synthesis of Ni nanoparticles as the absorbent used for sewage treatment // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2015. – P.973648.
44. Lv Y., Shahri E. E., Mahmoudi A., Naughabi R. K., Abbaspour S., Tayebee R., Bioinspired nickel oxide nanoparticle as an efficient nanocarrier in the delivery of doxorubicin as an anti-bladder cancer drug // *Inorganic Chemistry Communications*. – 2023. – Vol.152. – P.110650.
45. Яргаева В. А. Сеничева Л. В. Дисперсные системы. – Хабаровск: Хабар, 2003 – 135 с.
46. Громаков Н.С. Дисперсные системы и их свойства: Учебное пособие по коллоидной химии. – Казань: Изд-во КГАСУ, 2015 – 91 с.
47. Элимелех М., Грегори Д., Джиа Х., Уильямс Р., Осаждение и агрегация частиц: измерение, моделирование и симуляция, Баттерворт-Хайнеманн, 1998.
48. Godymchuk A., Papina I., Karepina E., Kuznetsov D., Behavior of ZnO nanoparticles in glycine solution: pH and size effect on aggregation and adsorption // *Colloid and Interface Science Communications*. – 2020. – Vol.39. – P.100318.
49. Stebounova L. V., Grassian V. H., Silver nanoparticles in simulated biological media: a study of aggregation, sedimentation, and dissolution // *J Nanopart Res.* – 2011. – Vol.13. – P.233-244.
50. Ahmad A., Zakaria N. D., Lockman Z., Razak K. A., The effect of silica nanoparticles stability in biological media // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – Vol.1082. – P.012047.
51. Chen Y., Liu W., Leng X., Stoll S., Toxicity of selenium nanoparticles on *Poterioochromonas malhamensis* algae in Waris-H culture medium and Lake Geneva water: Effect of nanoparticle coating, dissolution, and aggregation // *Science of the Total Environment*. – 2022. – Vol.808. – P.152010.
52. Qiu Y., Mu Z., Wang N., Wang X., Xu M., Li H., The aggregation and sedimentation of two different sized copper oxide nanoparticles in soil solutions:

---

Dependence on pH and dissolved organic matter // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol.731. – P.139215.

53. Zehlike L., André P., Ruth H. E., Degenkolb L., Klitzke S., Aggregation of TiO<sub>2</sub> and Ag nanoparticles in soil solution – Effects of primary nanoparticle size and dissolved organic matter characteristics // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Vol.688. – P.288-298.

54. Hou J., Li Y., Ci H., Miao L., You G., Wu J., Xu Y., Influence of aggregation and sedimentation behavior of bare and modified zero-valent-iron nanoparticles on the Cr(VI) removal under various groundwater chemistry conditions // *Chemosphere*. – 2022. – Vol.296. – P.133905.

55. Chahardoli A., Karimi N., Ma X., Qalekhani F., Effects of engineered aluminum and nickel oxide nanoparticles on the growth and antioxidant defense systems of *Nigella arvensis* L. // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol.10. – P.3847.

56. Miri A., Shakib E. S., Ebrahimi O., Rad J. S., Impacts of Nickel nanoparticles on grow characteristics, photosynthetic pigment content and antioxidant activity of *coriandrum Sativum* L. // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2017. – Vol.33. – P. 1297-1303.

57. Ning G., Kuishuang S., Cheng C., Yeqing S. Stability of nickel oxide nanoparticles and its influence on toxicity to marine algae *Chlorella vulgaris* // *Marine Pollution Bulletin*. – 2019. – Vol.149. – P.110532.

58. Oliveira J. B., Marques J. P. R., Rodak B. W., Galindo F. S., Carr N. F., Almeida E., Araki K., Gonçalves J. M., Reis A. R., Entf A., Carvalho H. W. P., Lavres J., Fate of nickel in soybean seeds dressed with different forms of nickel // *Rhizosphere*. – 2022. – Vol.21. – P.100464.

59. Abdolhossein M., E. S. Shakib, O. Ebrahimi, J. Sharifi-Rad, Impacts of nickel nanoparticles on grow characteristics, photosynthetic pigment content and antioxidant activity of *Coriandrum sativum* L. // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2017. – Vol.33. –No.3. – P.1297-1303.

- 
60. Chung I., B. Venkidasamy, M. Thiruvengadam, Nickel oxide nanoparticles cause substantial physiological, phytochemical, and molecular-level changes in Chinese cabbage seedlings // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2019. – Vol.139. – P.92-101.
61. Oukarroum A., Barhoumi L., Samadani M., Dewez D., Toxic effects of nickel oxide bulk and nanoparticles on the aquatic plant *Lemna gibba* L. // *BioMed Research International*. – 2015. – P. 501326.
62. Буренина А.А., Воронова А.О., Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – Москва: Изд-во РУДН, –2017 – 39-41 с.
63. Зотикова А. П., Астафурова Т. П., Буренина А. А., Сучкова С. А., Моргалев Ю. Н., Морфофизиологические особенности проростков пшеницы (*triticum aestivum* L.) при воздействии наночастиц никеля // *Сельскохозяйственная биология*. –2018, –Т.53. – № 53. –С.578-586.
64. Indrani M., Maumita B. Engineered nickel oxide nanoparticles affect genome stability in *Allium cepa* (L.) // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2017. – Vol.121. – P.206-215.
65. Oukarroum A., Zaidi W., Samadani M., Dewez D., Toxicity of nickel oxide nanoparticles on a freshwater green algal strain of *Chlorella vulgaris* // *Nanomaterials*. – 2022. – Vol.12. – № 6. – P.951.
66. Padrova K., Matatkova O., Sikova M., Fuzik T., Masak J., Cejkova A., Jirku V., Mitigation of Fe<sup>0</sup> nanoparticles toxicity to *Trichosporon cutaneum* by humic substances // *New Biotechnology*. – 2016. – Vol.33. –P.144-152.
67. Zhu Q., Li N., Wang C., Zhang Q., Sun H., Effect of interactions between various humic acid fractions and iron nanoparticles on the toxicity to white rot fungus // *Chemosphere*. – 2020. – Vol.247. – P.125895.
68. Yu Q., Wang Z., Wang G., Peijnenburg W.J.G.M., Vijver M. G., Effects of natural organic matter on the joint toxicity and accumulation of Cu nanoparticles and ZnO nanoparticles in *Daphnia magna* // *Environmental Pollution*. – 2022. – Vol.292. – P.118413.

- 
69. Khoshnamvand M., Ashtiani S., Chen Y., Liu J., Impacts of organic matter on the toxicity of biosynthesized silver nanoparticles to green microalgae *Chlorella vulgaris* // *Environmental Research*. – 2020. – Vol.185. – P.109433.
70. Ozden E., Light M. E., Demir I., Alternating temperatures increase germination and emergence in relation to endogenous hormones and enzyme activities in aubergine seeds // *South African Journal of Botany*. – 2021. – Vol.139. – P.130–139.
71. Deepa S., Shadma A., Nand K. S., Nanoprimering with phytosynthesized zinc oxide nanoparticles for promoting germination and starch metabolism in rice seeds // *Journal of Biotechnology*. – 2021. – Vol.336. – P.64–75.
72. Wuttipong M., Piyada T., Santi M., Santi P., Ajit K. S., Environmentally benign synthesis of phytochemicals-capped gold nanoparticles as nanoprimering agent for promoting maize seed germination // *Science of the Total Environment*. – 261021. – Vol.573. – P.1089–1102.
73. Кендзиро О., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. – М.: Наука, 2006. – 490 с.
74. Hewitt E.J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition // *Experimental Agricultural*. – 1966. Vol.3(2). – 547 p.
75. Касимова Л.В. Способ получения стимулятора роста растений. Патент РФ 2213452, приоритет от 06.06.2001.
76. Hsiung C.E., Lien H.L., Galliano A.E., Yeh C.S., Shih, Y.H. Effects of water chemistry on the destabilization and sedimentation of commercial TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Role of double-layer compression and charge neutralization // *Chemosphere*. – 2016. – Vol. 151. – P.145-151.
77. Zhao T., Fang M., Tang Z., Zhao X., Wu F., Giesy J.P. Adsorption, aggregation and sedimentation of titanium dioxide nanoparticles and nanotubes in the presence of different sources of humic acids // *Science of The Total Environment*. – 2019. – Vol.692. – P.660-668.

- 
78. Yang Q., Li H., Zhang Y., Liu Y., Li H. Wheat morphological and biochemical responses to copper oxide nanoparticle treatment in two soils // *Pedosphere*. – 2023. – In Press.
79. Hqa R., Kausar A., Li H., Hussain S., Javed T., Zafar S., Anwar S., Hussain S., Zahra N. Saqib M. Zinc oxide nanoparticles as potential hallmarks for enhancing drought stress tolerance in wheat seedlings // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2023. – Vol. 195. – P.341-350.
80. Куровский А.В., Андреева Ю.В., Брейт Д.В., Шептор А.С., Ромашова Д.Е., Стародубцев А.Е., Петроченко К.А., Якимов Ю.Е. Влияние вод рек Улу-Юл и Илиндук на аллометрические соотношения корень/побег у пшеницы и томатов // *Гуминовые вещества в водах бассейна реки Улу-Юл. Эколого-физиологическое влияние на растения*, под ред. Куровского А.В., Куровского В.Н. (Вып. 1). – Томск: Изд-во ТГУ, 2019. – С. 52-99.
81. Kim H., Seo J., Kim T., Lee B. Nanometrology and its perspectives in environmental research // *Environmental Health and Toxicology*. – 2014. – Vol. 29. – P.14-16.
82. Roth G. A., Howard J. Potential occupational hazards of additive manufacturing // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. – 2019. – Vol. 16. – P.321-328.
83. Fadeel B., Farcas L., Hardy B. Advanced tools for the safety assessment of nanomaterials // *Nat Nanotechnol.* – 2018. – Vol. 13. – P.537-543.
84. Катъкало В.С., Веселова А.С., Смелцова С.В. Методические указания для подготовки курсового проекта «SWOT-анализ». – Москва: Высшая школа бизнеса НИУ ВШЭ, 2021. – 51 с.
85. ФЗ РФ № 197 Трудовой кодекс Российской Федерации, (ред. от 01.03.2022)
86. Федеральный закон N 426-ФЗ РФ. О специальной оценке условий труда (ред. от 30.12.2020)
87. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)

- 
- 88 . ГОСТ Р 56748.1-2015. нанотехнологии. наноматериалы. Управление рисками. Часть 1 Общие положения: Дата введения 01.07.2016 г.
- 89 . Mhlmann C., Welter J., Klenke M., Sander J. Workplace exposure at nanomaterial production processes // Journal of Physics: Conference Series. – 2009. – Vol.170. –. 012004.
- 90 . ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения: дата введения 2016-07-01.
- 91 . ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.
92. ГОСТ 10262-73 Реактивы. Цинка окись. Технические условия
93. ГОСТ 4461-77 Реактивы. Кислота азотная. Технические условия.
94. ГОСТ 4328-77 Реактивы. Натрия гидроокись. Технические условия
- 95 . ГОСТ 12.1.001-89 Ультразвук. Общие требования безопасности: дата введения 1991-01-01.
96. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01.
- 97 . ГОСТ Р 56748.1-2015. нанотехнологии. наноматериалы. Управление рисками. Часть 1 Общие положения: Дата введения 2016-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127486> (дата обращения: 1.04.2022). - Текст: Электронный.
- 98 . ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
- 99 . ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ. – 2008. – 48 с.
100. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

- 
101. ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности: дата введения 1978-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
102. Естественное и искусственное освещение: (СП 52.13330.2016): свод правил: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2016 г. N 777/пр: введен в действие 08.05.2017. – Москва: Минстрой России, 2017. – 102 с.
103. Анциферова И.В. Источники поступления наночастиц в окружающую среду // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – №2. – С. 54-66.
104. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: (СанПин 1.2.3685-21): санитарные правила и нормы: утвержден постанов. глав. гос. санитар. врача РФ от 28.01.2021 N 2. – Москва: Минюст, 2008. – 1143 с.
105. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): Утверждены Федеральным государственным агентством «Центр экологического контроля и анализа» 4 сентября 2003 г. - Москва: Минприроды РФ, 2003. - 30 с.
106. Соловьёв Н.А., Широкова И.Г. Источники химического загрязнения и их влияние на гидросферу и здоровье человека // Царскосельские чтения. – 2011. – №XV. – Р. 402–409.
107. Гайнуллина Г.Р., Федоров Г.Ю. Очистка сточных вод от кислот и щелочи // Вестник магистратуры. – 2014. – №12-1 (39). – С. 53–55.
108. Вертинский А.П. Физико-химические методы очистки сточных вод: проблемы, современное состояние и возможные пути усовершенствования // Инновации и инвестиции. – 2019. – №11. – Р. 257–261.
109. Цицуашвили В. С., Минкина Т. М., Невидомская Д. Г. Воздействие наночастиц меди на растения и почвенные микроорганизмы (обзор литературы) // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 3(39). – С. 93–100.

- 
110. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021): [принят Государственной думой 4 июля 2008 года]. – Москва, 2008. – 117 с.
111. Perez J.M., Loughin O.T., Simeone F.J., Weissleder R., Josephson L. DNA-based magnetic nanoparticle assembly acts as a magnetic relaxation nanoswitch allowing screening of DNA-cleaving agents // *Journal of the American Chemical Society*. – 2002. – Vol.124. – P.2856-2857.
112. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования: дата введения 1992-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 1.04.2022). – Текст: электронный.
113. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. – Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 500 с.
114. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: (СП 12.13130.2009): свод правил: утвержден Приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. N 182. – Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 35 с.
115. Российская Федерация. Постановление. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: Постановление от 31 декабря 2020 г. N 2398: [принят правительством РФ от 31.12.2020]. – Москва: Правительство РФ, 2020. – 11 с.



## СПИСОК ТРУДОВ СТУДЕНТА

1. Хэ Я. Влияние концентрации наночастиц никеля на их агрегацию в буферном растворе // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов», 26-28 апреля 2022 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – С. 749-753.
2. Хэ Я. Влияние наночастиц никеля на прорастание пшеницы // Сборник трудов XIX Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов», 18-21 октября 2022 г. – М: ИМЕТ РАН, 2022. – С.188-190.
3. Хэ Я., Годымчук А.Ю. Влияние гуминовых кислот на биологические свойства наночастиц Ni // Сборник материалов Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии», 21-23 марта 2023 г. – Минск: Изд-во БГТУ, 2023. – С. 82-85.
4. Хэ Я., Годымчук А.Ю. «Влияние концентрации наночастиц никеля на корнеобразование» на III Международной научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов", 26-28 апреля 2023 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – в печати.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Методические указания к проведению лабораторной работы

**Тема работы:** Влияние наночастиц на корнеобразование пшеницы.

**Цель работы:** экспериментально показать влияние концентрации наночастиц на морфометрические характеристики проростков пшеницы.

**Приборы и принадлежности:** аналитические весы ALC-110d4 (Acculab, США,  $\pm 0,0001$  г), ультразвуковая ванна ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, мощность 55 Вт), термостат ТС-1/80 (СПУ, Россия); 5 чашек Петри, 10 баночек с крышкой на 60 мл, пинцет, ножницы, колба на 1 л для приготовления раствора.

**Расходные материалы:** наночастицы, дистиллированная вода, реактивы для приготовления раствора Хьюитта, семена пшеницы, фильтровальная бумага, лист (ткань) черного цвета.

**Задачи:**

- 1) Приготовить 1000 мл раствора Хьюитта
- 2) Приготовить суспензии с концентрацией наночастиц 30, 100, 300, 1000 мг/л.
- 3) Определить среднюю длину корня (L, см) и показатель всхожести (G,%) 3-суточного проростка.
- 4) Определить корневой индекс 7-суточных проростков.
- 5) Сделать вывод о влиянии концентрации наночастиц на корнеобразование пшеницы.

### Опыт 1. Приготовление раствора Хьюитта

- 1.1. Взвесить 944 мг  $\text{Ca}(\text{NO})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 91 мг  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 202 мг  $\text{KNO}_3$ , 369 мг  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и 80 мг  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в плоскодонной колбе на 1 л. Затем довести водой до 800 мл (P1).
- 1.2. Взвесить 0,25 мг  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,29 мг  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,2 мг  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ , 2,14 мг  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 3,1 мг  $\text{H}_3\text{BO}_3$  в 100 мл воде. Затем довести водой до 500 мл (P2).

1.3. Взвесить 13,9 мг  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  в 50 мл кипящей воды. Добавить 14,9 мг  $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ . Затем довести водой до 500 мл (P3).

1.4. Взвесить 800мл P1, 0,5мл P2, 0,5мл P3 и 152 мг  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  в плоскодонной колбе на 1 л. Затем довести водой до 1000 мл.

Таблица П1.1. Состав раствора Хьюитта

N п/п	Компонент	Навеска, мг/л	Примечание
1	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	944	<b>P1</b> «Раствор макроэлементов» (Колба на 1000 мл) растворить навески в <b>800 мл Воды</b>
2	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	91	
3	$\text{KNO}_3$	202	
4	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	369	
5	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	80	
		Навеска, г	
6	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,25	<b>P2</b> «Раствор микроэлементов» растворить навески в 100 мл Воды, довести объём до <b>500 мл</b>
7	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,29	
8	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	0,2	
9	$\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	2,41	
10	$\text{H}_3\text{BO}_3$	3,1	
		Навеска, г	
11	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13,9	<b>P3</b> Растворить $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 50 мл кипящей дист. воды Добавить $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ довести объём водой до <b>500 мл</b>
12	$\text{Na}_2\text{-EDTA}$	14,9	
		Навеска, мг	
13	$\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	152	<b>Итоговый раствор</b> 800 мл P1 + 0,5 мл P2 + 0,5 мл P3 + $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ Довести объём водой до <b>1000 мл</b>

## Опыт 2. Приготовление суспензии наночастиц

2.1. Приготовить 50 мл суспензий на основе раствора Хьюитта с концентрацией наночастиц 30, 100, 300, 1000 мг/л. Суспензии с концентрацией <100 мг/л приготовить методом разбавления, остальные – путем взятия навески на весах.

2.2. Суспензии и растворы обработать в ультразвуковой ванне в течение 15 мин. Суспензии использовать для замачивания семян в течение 10 минут.

### Опыт 3. Определение длины корней и всхожести

- 3.1. На дно чашки Петри (диаметр 9 см) поместите фильтровальную бумагу, на которую равноудаленно друг от друга выложите 15 семян пшеницы.
- 3.2. Фильтровальную бумагу увлажните, добавляя по 7 мл среды прорастания – суспензии или контроль.
- 3.3. Закрытые чашки выдержите в термостате при  $25\pm 2^\circ\text{C}$  (рис.П1.1) в течение 72 ч.
- 3.4. Достаньте все семена стерильным пинцетом и выложите на черный фон для фотографирования с масштабной линейкой (рис.П1.2).
- 3.5. Измерьте среднюю длину корней ( $L$ , см) проросших семян. Проросшим семенем считайте семя, у которого образовалось не менее трех корней с длиной, превышающей длину зерна.
- 3.6. Определите показатель всхожести (или энергию прорастания,  $G$ , %) (рис.П1.2) по формуле:

$$G = \frac{\text{Количество проросших семян}}{\text{Общее количество семян}} * 100, \% \quad (\text{П1.1})$$

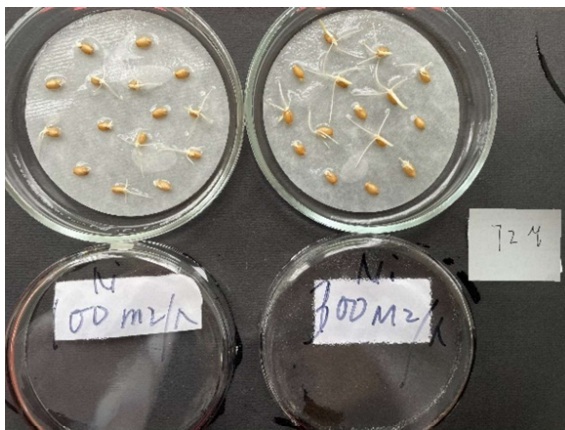


Рисунок П1.1. Чашки Петри с проросшими семенами через 72 ч.



Рисунок П1.2. Проростки, выложенные для фотографирования.

#### Опыт 4. Определение корневого индекса

- 4.1. Пророщенные семена перенесите на верхнее перфорированное дно пластикового гидропонного стакана.
- 4.2. Нижний стакан заполните (300 мл) дистиллированной водой (рис.П1.3)
- 4.3. Культивирование проводили при фотопериоде «день : ночь» – «12 ч : 12 ч» 7 дней при комнатной температуре.
- 4.4. По окончании эксперимента проростки выложите на темный фон для фотографирования и измерения суммарной длины корней и суммарной длины побегов (рис.П1.4) для расчета корневого индекса (RI, уд. ед.):

$$RI = \frac{L_{\text{корня}}}{L_{\text{побега}}} \quad (\text{П1.2}),$$

где  $L_{\text{корня}}$  и  $L_{\text{побега}}$  – суммарная длина корней и побега, соответственно.

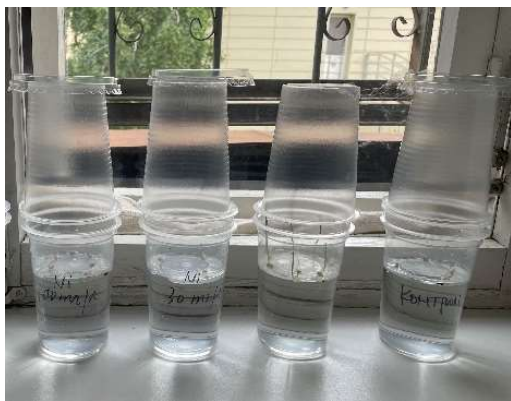


Рисунок П1.3. Культивирование побегов в гидропонных стаканах.



Рисунок П1.4. Ростки пшеницы, выложенные для фотографирования.

#### Опыт 5. Обработка результатов

- 5.1. Данные измерений перенесите в редактор Excel и постройте зависимость средней длины корней проростков ( $L$ , см), показателя всхожести ( $G$ , %) и корневого индекса (RI, уд. ед.) от концентрации наночастиц в среде прорастания.

- 5.2. Сделайте вывод о влиянии концентрации наночастиц на корнеобразование пшеницы.
- 5.3. Оформите отчет согласно рекомендациям преподавателя.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Experimental part

### Combined effect of industrial Ni nanoparticles and humic acids on wheat rooting

Студент:

Группа	ФИО.	Подпись	Дата
4БМ12	Хэ Яньни		

Консультант школы ШБИП:

Должность	ФИО.	Подпись	Дата
старший преподаватель	Демьяненко Н.В.		

## 1. Nanoparticles: definition, classification, and synthesis

Currently, nanoparticles (NPs) are produced with a variety of properties, different compositions and shapes.

According to the dimension, NPs are classified into zero-dimensional (0D), one-dimensional (1D), two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D). Zero-dimensional nanomaterials are materials whose dimensions in any dimension are  $<100$  nm. Examples are AuCu clusters [9], CdS quantum dots [10] и Ni NPs [11]. One-dimensional nanomaterials are materials that are nanometers in two dimensions and macroscopic in the third), such as carbon nanotubes [12], ZnO fibers [13] and Au nanowires [14]. 2D nanomaterials have nanometer size in only one dimension [15], e.g. VO films, [16], TiO coatings [17], SiO<sub>2</sub> membranes [18].

Nanoparticles (NPs) are an isolated solid-phase object with a clearly defined boundary with the environment, the dimensions of which in all three dimensions are  $<100$  nm [19]. Although in most definitions adopted abroad, NPs are particles for which the sizes in at least one dimension fall within the nanorange [20]

NPs are divided by size into clusters (1...10 nm), NPs themselves (10...100 nm), ultrafine particles (100...1000 nm) [21], and also microscopic (1...10  $\mu$ m).

According to their shape, NPs can be divided into spherical (for example, TiO<sub>2</sub> [22]), acicular (CuO [23]), tubular (La<sub>0.67</sub>Sr<sub>0.33</sub>MnO<sub>3</sub> [24]) etc. The following shapes are known from the literature regarding Ni nanoparticles: rod-shaped [25], cubic [26] and rectangular [27].

According to the phase composition, nanomaterials are divided into single-phase and multi-phase and can be of organic and inorganic origin. In the first case, these are fullerenes, carbon nanotubes, graphene [28], polymer-based nanomaterials [29], nanogels, liposomes, and other types of nanoparticles. Inorganic materials include nanomaterials from metals, alloys, intermetallic compounds, simple and complex oxides and metal salts [30]. Ni NPs are classified as metallic nanomaterials.



NPs can have an amorphous and finely crystalline structure, as well as various crystalline modifications of one compound.

Among the methods for synthesizing Ni NPs, chemical deposition, plasma-chemical synthesis, chemical reduction, and electrical explosion of the wire stand out.

Chemical deposition of metal NPs is a two-stage process. At the first stage, Ni polymer complexes are obtained, and at the second stage, metal NPs are obtained by means of decomposition.

Using the chemical deposition method, monoclinic Ni NPs with a size of 24 nm were synthesized [31]. The authors mixed 20 g of phenol, 15 ml of formaldehyde and 15 ml of Ni<sup>2+</sup> solution, followed by the addition of 25 ml of acetic acid and concentrated HCl and heating at 45°C until a pink polymer complex appeared. After drying, the complex was subjected to thermal decomposition at 800°C and kept in an HCl solution for 24 h.

Ni NPs can also be obtained by plasma-chemical synthesis, in which refractory metals (anode) are melted, followed by evaporation under the action of an arc discharge in a plasma, followed by cooling to form NPs. For example, Ar or a mixture of Ar and H<sub>2</sub> [32], which is introduced after the arc chamber has been evacuated, can be used as the plasma gas. The anode is a cylindrical nickel ingot placed on top of water-cooled copper. After ignition of the arc, metal vapors are formed from the surface of the raw material. NPs grow after nucleation, solidification, and collisions. At an H<sub>2</sub> concentration of 50 vol.%, Ni NPs are formed with an average size of 63 nm.

The recovery method consists of selecting one or more suitable soluble metal salts, preparing a solution, converting each element to an ionic or molecular state, and then selecting a suitable precipitant for adsorption and other operations. So, Ni NPs were obtained by the reduction method [33] Ni acetylacetonate using sodium borohydride or superhydride in the presence of hexadecylamine and trioctylphosphine oxide. 0.2 g of Ni acetylacetonate was dissolved in 5 ml of dichlorobenzene at 100°C and quickly added to a mixture

containing 40 ml of dichlorobenzene, 0.5–1.5 g of trioctylphosphine oxide, the calculated amount of hexadecylamine, and 0.15 g of sodium borohydride. At 120–160°C with vigorous stirring, the mixture was heated to 180°C and kept for 30 min in an Ar atmosphere. After the color changed from light yellow to dark, Ni NPs with a size of 3–11 nm were formed.

Electric explosion of conductors (EEC) is a phenomenon of explosive destruction when a high-density current pulse passes through a metal conductor, during which a dense metal plasma is formed, explosion products scatter and small particles are formed upon cooling.

In [34] nickel wires 0.8 mm in diameter and 80 mm long were used to cause electrical explosions in liquid media such as water, ethanol, isopropanol and acetone. The explosion line is located at the end of the electrode. After installing the wires, close the camera cover; In this case, the wires are immersed in the liquid. Two capacitors are connected in parallel. The capacitance and the maximum charging voltage are 52uF and 40kV respectively. In various liquid media, the granulometric composition of nickel NPs varies from a few microns to tens of nanometers.

The Ni NPs market is produced by the following industrial companies: OCHV (<https://ochv.ru/>, Россия), Hongwu material technology (<http://www.xuzhounano.com/products/show-1.html>, КНР) и Lullaby (<http://wuhanlullaby.com/>, КНР). In Russia, it is known to obtain NPs with the help of EVP in the company Advanced Powder Technologies ([www.nanosized-powders.com](http://www.nanosized-powders.com), г.Томск).

Production is an active source of NP release into the environment [35].

## **2. Disperse systems**

Disperse systems are multicomponent heterophase mixtures consisting of a continuous, continuous phase (dispersion medium) and a discontinuous dispersed phase in the form of particles. The disperse system can be classified according to different properties.

For example, disperse systems are classified depending on the state of aggregation of the dispersion medium. There are aerosols (dispersion medium - gas, for example, fumes and dust), lyosols (liquid, including sols and suspensions) and soliosols (the medium is a solid phase, for example, porous nanocomposites, gels). In nature, examples of disperse systems can be fog, in which the dispersion medium is air, and the dispersed phase is liquid droplets.

According to the particle size of the dispersed phase, dispersed systems are divided into coarse (particle size -  $10^{-7}$  ...  $10^{-5}$  m), colloidal dispersed ( $10^{-9}$  ...  $10^{-7}$  m). The latest dispersed systems are not considered in the sciences of colloids and nanomaterials, because they do not contain a dispersed phase in the form of crystalline materials [45].

In particle form, disperse systems may include fibrous, lamellar, spherical, and other particles.

The classification of dispersed systems according to the intensity of interfacial interaction allows them to be divided into lyophilic (thermodynamically stable) and lyophobic (thermodynamically nonequilibrium). NPs, when they enter soil solutions, form lyophobic dispersed systems [46].

Important properties of dispersed systems include aggregation (coagulation).

Aggregation is the process of forming clusters of particles through the formation of chemical bonds between particles [47]. The aggregation of disperse systems is most often assessed by the change in particle size distribution.

### **3. Objects of study and its morphological analysis**

Ni NPs obtained by wire electric explosion were chosen as the object of study. According to the manufacturer's data (LLC Advanced Powder Technologies, Tomsk, Russia), the particles had a composition of Ni (99.8% wt.), an average particle size of 70 nm, and a specific surface area of  $6.0 \text{ m}^2/\text{g}$ .

The morphology of nanoparticles was studied using scanning electron microscopy (SEM) and low-temperature nitrogen adsorption (BET method).

The SEM method is based on the interaction of an electron beam with the object under study, as a result, the resulting radiation is recorded and converted into

electrical signals. Images were obtained using a Merlin scanning electron microscope (Carl Zeiss, Germany) at the Research and Development Center for Nanotechnologies and Nanomaterials, Tambov State University named after G.R. Derzhavin (Tambov). Before shooting, a carbon film was sputtered onto the powder deposited in a thin layer on a conductive adhesive tape; the survey was carried out at an accelerating voltage of 0.1...20 kV. For image processing, the size of at least 100 particles was measured using the ImageJ program, the particle size distribution was built, and the average particle diameter ( $d_{av}$ ) was calculated.

The specific surface of nanoparticles was determined by the BET method (Brunauer-Emmett-Teller) on a SorbiPrep device (META, Russia, Nano-Center TPU, Tomsk), which is based on the theory of polymolecular adsorption. As an adsorption gas, the plant uses gaseous nitrogen at an atmospheric pressure of 742...752 mm Hg. Measurement error 0.02 m<sup>2</sup>/g. The specific surface area was used to calculate the average particle diameter:

$$d_{av}=6/(\rho \cdot S_{sp}), \quad (P2.1),$$

where  $d$  is the average particle diameter, m;  $\rho$  – material density (Ni – 8.902 kg/m<sup>3</sup>);  $S_{sp}$  – specific surface area, m<sup>2</sup>/kg.