

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 ООП/ОПОП Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Получение и исследование магнитных наночастиц на основе магнетита

УДК 620.22-419.8:549.731.13-022.532

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Галстенкова Мария Романовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник НИЦ ФМКМ ИШХБМТ	Сурменова Мария Александровна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

Со-руководитель (по разделу «Концепция стартап-проекта»)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Антонова Ирина Сергеевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять естественно-научные и общепрофессиональные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально-правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-4	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)-5	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной

	деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-3	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК(У)-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК(У)-6	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
ПК(У)-8	Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП/ОПОП
 _____ Склярова Е.А.
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
0Б91	Галстенкова Мария Романовна

Тема работы:

<i>Получение и исследование магнитных наночастиц на основе магнетита</i>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>№30-90/с от 30.01.2023</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Магнитные наночастицы на основе магнетита.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Обзор источников литературы; - Синтез наночастиц на основе магнетита; - Определение морфологии и химического состава наночастиц на основе магнетита; - Определение структуры и фазового состава наночастиц на основе магнетита; - Определение магнитных и сорбционных свойств наночастиц на основе магнетита; - Оценка влияния состава нанокompозита на его магнитные и сорбционные свойства; - Социальная ответственность; - Концепция стартап-проекта; - Заключение.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Структура шпинели магнетита; - Схематическое изображение СЭМ; - Принцип работы ЭДС; - Рентгеновский дифрактометр; - Принцип работы РАМАН; - Блок-схема автоматизированного комплекса для исследования магнитных характеристик; - СЭМ-изображения; - Спектры комбинационного рассеяния; - Дифрактограммы; - Петли гистерезиса;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Концепция стартап-проекта	Антонова Ирина Сергеевна, доцент ШИП
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна, доцент ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник НИЦ ФМКМ ИШХБМТ	Сурменова Мария Александровна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Галстенкова Мария Романовна		

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
0Б91	Галстенкова Мария Романовна

Тема работы:

<i>Получение и исследование магнитных наночастиц на основе магнетита</i>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.09.2023	Аналитический обзор литературы	15
20.10.2023	Синтез наночастиц на основе магнетита	15
05.12.2023	Определение морфологии и химического состава наночастиц на основе магнетита	10
10.02.2023	Определение структуры и фазового состава наночастиц на основе магнетита	10
15.03.2023	Определение магнитных и сорбционных свойств наночастиц на основе магнетита	10
30.04.2023	Анализ результатов	15
14.05.2023	Социальная ответственность	10
20.05.2023	Концепция стартап-проекта	10
24.05.2023	Заключение	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник НИЦ ФМКМ ИШХБМТ	Сурменова Мария Александровна	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Галстенкова Мария Романовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 87 с., 17 рисунков, 13 таблиц, 76 источников литературы, 0 приложений.

Ключевые слова: наночастицы магнетита, адсорбция, нанокompозит, намагниченность, восстановленный оксид графена.

Объектом исследования являются: магнитные наночастицы на основе магнетита, выращенные на поверхности оксида графена.

Цель работы: получение на поверхности оксида графена и исследование магнитных наночастиц на основе магнетита.

В процессе исследования проводились: синтез наночастиц магнетита на поверхности оксида графена, исследование морфологии и химического состава с помощью сканирующей электронной микроскопии и энерго-дисперсионного рентгеновского анализа, определение структуры и фазового состава с использованием рентгенофазового анализа и спектроскопии комбинационного рассеяния света, исследование магнитных и сорбционных свойств нанокompозитов.

Установлено, что магнитный композит на основе оксида графена наночастиц магнетита имеет перспективы в качестве адсорбента различных ионов тяжелых металлов, а и выращивание магнитных наночастиц на поверхности оксида графена может способствовать удалению органических загрязнителей. Также за счет образования наночастиц магнетита на поверхности оксида графена происходит восстановление последнего за счет уменьшения кислородсодержащих групп.

Область применения: новые материалы для очистки воды.

Экономическая эффективность/значимость работы: полученные результаты могут оказать положительное влияние на уменьшение заболеваемости онкологией (вследствие отравления мышьяком и/или ионами тяжелых металлов), в регионах с загрязненными грунтовыми водами.

Оглавление

Введение	11
1. Литературный обзор	13
1.1 Магнетит, его структура и свойства.....	13
1.2 Магнитные наночастицы	16
1.3 Магнитные свойства наночастиц магнетита	17
1.4 Нанокompозиты на основе магнетита и восстановленного оксида графена	20
1.5 Свойства сорбентов.....	22
2. Материалы и методы исследования.....	24
2.1 Синтез композита на основе наночастиц магнетита	24
2.2 Методы исследования	25
2.2.1 Сканирующая электронная микроскопия и энергодисперсионный рентгеновский анализ	25
2.2.2 Рентгенофазовый анализ	27
2.2.3 Рамановская спектроскопия.....	29
2.2.4 Импульсная магнитометрия.....	30
3.2.1 Инверсионная вольтамперометрия (ИВА)	32
3. Экспериментальные данные и их обсуждение	33
3.1 Морфология и химический состав	33
3.2 Структура и фазовый состав	35
3.3 Магнитные свойства	40
3.4 Сорбционные свойства	42
3.5 Влияние состава нанокompозита на его магнитные и сорбционные свойства.....	43

4. Концепция стартап-проекта.....	46
4.1 Описание продукта как результата НИР.....	46
4.2 Интеллектуальная собственность.....	47
4.3 Объем и емкость рынка	47
4.4 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли	49
4.5 Планируемая стоимость продукта.....	51
4.6 Конкурентные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с отечественными и мировыми аналогами.....	55
4.7 Целевые сегменты потребителей.....	58
4.8 Бизнес-модель проекта. Производственный план и план продаж	60
4.9 Стратегия продвижения продукта на рынок	63
5. Социальная ответственность	66
5.1 Введение	66
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	66
5.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	66
5.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	67
5.3 Производственная безопасность.....	68
5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	69

5.3.2 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под воздействие которого попадает работающий	70
5.3.3 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды.....	71
5.3.4 Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека.....	72
5.3.5 Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума).....	73
5.3.6 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	75
5.4 Экологическая безопасность.....	76
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	76
Вывод по разделу «Социальная ответственность»	77
Заключение.....	79
Список использованных источников	80

Введение

Новые материалы представляют собой то, без чего уже невозможно представить мир. Электроника, медицина, энергетика и многие другие сферы деятельности человека развиваются благодаря новым материалам. Наиболее широко закрепились наноматериалы, имеющие размеры порядка 10^{-9} м и обладающие уникальными свойствами, не присущими объемным материалам идентичного состава.

Магниточувствительные наноматериалы представляют ещё больший интерес, так как открывают возможности для таргетной доставки лекарств, магнитной сепарации вещества, магнитострикции и многих других процессов, с применением магнитного поля.

Наноматериалы актуальны и для очистки воды, так как многие загрязнители существуют в воде в виде различных ионов или молекул, крупных частиц размером более 100 нм или мелких частиц размером от 1 до 100 нм. Взаимодействие сорбента и загрязнителя на молекулярном уровне наиболее эффективно, чем грубая очистка воды, применяемая для механического удаления из воды песка, ржавчины, глины и других крупных частиц. Очистка воды с помощью наноматериалов позволяет добиться минимального содержания примесей в воде.

В качестве перспективного сорбента может выступить нанокompозит, состоящий из наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена (ВОГ). Компоненты по отдельности обладают хорошими сорбционными свойствами, но сорбционные свойства нанокompозита значительно выше. Магнетит успешно взаимодействует с ионами металлов, а восстановленный оксид графена с органическими загрязнителями, что делает нанокompозит более универсальным в его применении.

Таким образом, цель данной работы заключается в получении и исследовании магнитных наночастиц на основе магнетита, выращенных на поверхности оксида графена.

Для успешного достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- Получение магнитного композита на основе наночастиц магнетита и оксида графена;
- Определение морфологии и химического состава наночастиц на основе магнетита и оксида графена;
- Определение структуры и фазового состава наночастиц на основе магнетита, исследование влияния концентрации магнетита на структурные особенности оксида графена;
- Определение магнитных и сорбционных свойств нанокompозита на основе наночастиц магнетита и оксида графена;
- Оценка влияния состава нанокompозита на его магнитные и сорбционные свойства.

1. Литературный обзор

Наночастицы на основе магнетита – один из наиболее распространенных видов наночастиц, имеющих широкое применение в различных областях науки и техники, включая биомедицину, магнитную резонансную томографию (МРТ) и средства контрастной диагностики. Особый интерес представляют сорбционные свойства таких наночастиц, что делает их полезными для очистки воды, удаления токсинов, лечения рака и других заболеваний.

В одном из исследований [1] было исследовано сорбционное поведение наночастиц магнетита в отношении различных водорастворимых примесей. Наночастицы были функционализированы полимерами в целях улучшения их стабильности и гидродинамического размера. Авторы обнаружили, что наночастицы магнетита имеют высокую способность к сорбции тяжелых металлов, таких как свинец и кадмий, а также к целому ряду органических соединений, включая пестициды и фенолы.

В другом исследовании [2] было предложено использование наночастиц магнетита для удаления водорастворимых красителей из воды. Наночастицы были функционализированы с помощью полиэтиленimina, что позволило им обладать высокой специфичностью к красителям. Этот подход был эффективным как для удаления небольших количеств красителей из воды, так и для очистки больших объемов промышленных сточных вод.

В целом, наночастицы на основе магнетита обладают высокой способностью к сорбции различных веществ, что делает их перспективным инструментом для решения проблем окружающей среды, биомедицины и других областей. Однако более широкое применение таких наночастиц требует дальнейших исследований, включая изучения их влияния на окружающую среду и биофункциональные свойства.

1.1 Магнетит, его структура и свойства

Атомная структура магнетита представляет собой ГЦК решетку шпинели (пространственная группа $Fd\bar{3}m$, параметр решетки $a=0,8396$ нм). Решетка состоит из больших по размерам анионов кислорода O^{2-} , в междоузлиях которых размещаются меньшие по размерам катионы железа Fe^{3+} и Fe^{2+} (рисунок 1, а). На 32 атома кислорода приходится 24 атома железа, располагаемых в 16 октаэдрических и 8 тетраэдрических междоузлиях [3].

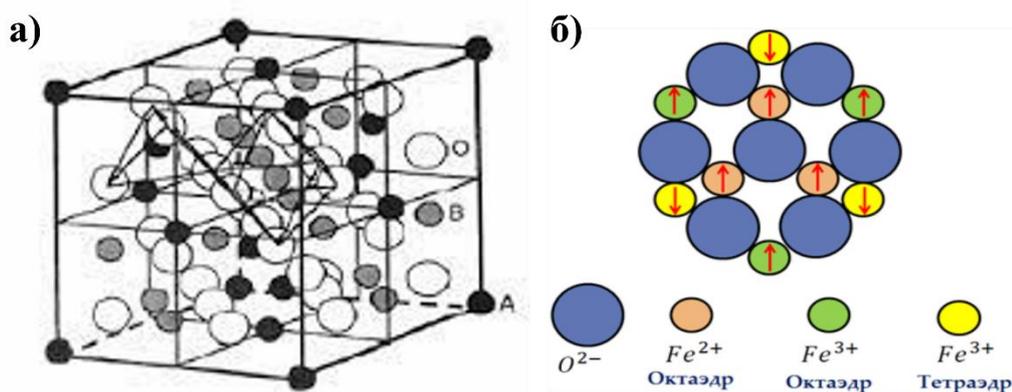


Рисунок 1 – а) структура шпинели магнетита, где А – тетраэдрические позиции (Fe^{3+}), В – октаэдрические позиции (Fe^{3+} , Fe^{2+}), О – анионы кислорода; б) схема, иллюстрирующая конфигурацию спинового магнитного момента для ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в Fe_3O_4

Элементарная ячейка магнетита содержит 8 молекул Fe_3O_4 . Сильно антиферромагнитное сверхобменное взаимодействие между ионами А и В, вынуждает ионы в А позиции выстраиваться параллельно. Ферромагнитное дважды обменное взаимодействие между Fe^{3+} и Fe^{2+} дает возможность электронам перескакивать между В позициями. Магнитные моменты ионов железа, находящиеся в А и В позициях, направлены навстречу друг другу и вдоль оси [111]. Антипараллельность моментов объясняется обменными взаимодействиями 3d-электронов ионов железа, обусловленными перекрытиями их волновых функций с волновыми функциями 2p-электронов ионов кислорода [3].

Магнитные моменты ионов, занимающих тетраэдрические позиции, ориентированы ферромагнитно (рисунок 1, б). Октаэдрические ионы ориентированы так же, но по отношению друг к другу данные решетки ориентированы антиферромагнитно. Ферромагнитные свойства магнетита обуславливаются тем, что октаэдрических ионов в решетке магнетита в два раза больше, чем тетраэдрических.

Максимальное теоретическое значение намагниченности насыщения для магнетита можно вычислить по формуле:

$$M_s = \frac{g \cdot \mu_B \cdot N_A}{M} = 96,44 \frac{emu}{g} = 4 \left(\frac{\mu_B}{f.u.} \right) \quad (1)$$

Где g – фактор Ланде;

μ_B – магнетон Бора;

N_A – число Авогадро;

M – молярная масса магнетита.

Также намагниченность насыщения m_s (общий магнитный момент) можно вычислить через магнитные спиновые моменты катионов железа (для Fe^{3+} $m_s=5\mu_B$, для Fe^{2+} $m_s=4\mu_B$), по количеству неспаренных электронов [4].

Магнитная структура магнетита состоит из двух подрешеток с антипараллельной ориентацией магнитных моментов. Первая подрешетка включает ионы Fe^{3+} и Fe^{2+} , вторая – только Fe^{3+} . Ионы Fe^{3+} имеют спин $S=5/2$ и нулевой орбитальный момент, Fe^{2+} – $S=2$ и ненулевой орбитальный момент, большая часть которого заморожена кристаллическим полем [5].

Формула магнетита может быть представлена в виде $(Fe^{3+})_2[Fe^{2+}Fe^{3+}]O_4$, где в круглых скобках катион А, в квадратных катион В.

Соответственно, результирующая намагниченность магнетита (общий магнитный момент) будет равна:

$$M_{s(\text{теор})} = m_s(B) - m_s(A) = ((m_s(\text{Fe}^{3+}) + m_s(\text{Fe}^{2+})) - m_s(\text{Fe}^{3+})) = 9\mu_B - 5\mu_B = 4\mu_B \quad (2)$$

Таким образом максимальное рассчитанное значение намагниченности насыщения $M_{s(\text{теор})}$ для магнетита составляет $4\mu_B$ или $96,44 \text{ эрг/Гс}\cdot\text{см}^3$.

1.2 Магнитные наночастицы

Магнитные наночастицы – это нанометровые частицы, содержащие магнитные моменты, которые способны реагировать на воздействие магнитного поля. Они представляют собой перспективный материал для различных приложений, таких как медицина, энергетика, каталитические реакции и технологии.

Магнитные наночастицы могут быть использованы для улучшения диагностики и создания изображений в медицине. Они могут быть функционализированы с целью метки клеток, опухолей или других структур в организме, что позволяет визуализировать их с помощью МРТ или других методов создания изображений. Это позволяет проводить раннюю диагностику заболеваний и более точное определение их местоположений.

Также магнитные наночастицы могут быть использованы для целенаправленной доставки лекарственных препаратов или терапевтических агентов в организм. Благодаря своей наномасштабной природе, они могут проникать в ткани и клетки с лучшей эффективностью. Когда наночастицы находятся в нужном месте, их можно активировать с помощью магнитного поля для контролируемого освобождения лекарственных веществ. Это позволяет снизить системные побочные эффекты и повысить эффективность терапии.

Среди прочего магнитные наночастицы могут быть использованы для очистки окружающей среды от загрязнений. Они могут быть функционализированы для поглощения токсичных металлов, нефтепродуктов

или других вредных веществ из воды, почвы или воздуха. После поглощения загрязнений, наночастицы могут быть извлечены с помощью магнитного поля, что делает процесс восстановления окружающей среды более эффективным и экологически безопасным.

Магнитные наночастицы играют важную роль и в биомедицинских исследованиях. Они могут быть использованы для маркировки и отслеживания клеток, белков и генов. Это позволяет исследователям изучить биологические процессы, взаимодействия и патологические изменения с высокой точностью и чувствительностью. Магнитные наночастицы также могут служить платформой для разработки новых методов диагностики и лечения, а также для изучения механизмов действия лекарственных препаратов.

В отличие от некоторых других наноматериалов, магнитные наночастицы обычно считаются биосовместимыми и имеют низкую токсичность. Это делает их относительно безопасными для использования в медицине и окружающей среде. Кроме того, их магнитные свойства позволяют эффективно контролировать и удалять наночастицы после их использования, минимизируя потенциальное загрязнение окружающей среды.

Однако стоит отметить, что использование магнитных наночастиц всё ещё является активной областью исследований, и требуется дальнейшая работа для оптимизации их свойств, биосовместимости и безопасности перед их широким внедрением в медицину и окружающую среду.

1.3 Магнитные свойства наночастиц магнетита

Исследование магнитных свойств наночастиц магнетита Fe_3O_4 привлекают значительное внимание научного сообщества из-за их потенциальных применений в различных областях, о которых упоминалось выше.

На магнитные свойства наночастиц магнетита могут влиять различные факторы. Некоторые из них будут рассмотрены далее.

В работе [6] исследованы магнитные свойства наночастиц магнетита в температурной зависимости. Исследование температурной зависимости магнитных свойств проводилось при температурах от 5 до 300 К. Авторами было определено, что коэрцитивная сила и остаточная намагниченность наночастиц уменьшаются с увеличением температуры и исчезают при комнатной температуре, что свидетельствует о суперпарамагнитном поведении наночастиц магнетита.

Авторами [7] было обнаружено, что наночастицы магнетита с узким распределением размеров обладают более высоким значением намагниченности насыщения по сравнению с широким распределением размеров. Данный результат может быть связан с тем, что более маленькие наночастицы имеют более однородную структуру и лучшую выровненность спинов.

Также были исследованы магнитные свойства наночастиц магнетита с различными размерами и поверхностным покрытием для их потенциального использования в биомедицинских приложениях [8]. Результаты показали, что размер частиц и поверхностное покрытие имеют существенное влияние на магнитные свойства наночастиц магнетита. Установлено, что уменьшение размера частиц приводит к увеличению намагниченности насыщения и улучшению магнитных свойств. Кроме того, поверхностное покрытие наночастиц может влиять на их диспергирование, стабильность и биосовместимость. Оптимальный выбор поверхностного покрытия может улучшить магнитные свойства и обеспечить контролируемую функционализацию наночастиц для различных применений.

Магнитные свойства наночастиц были исследованы и в контексте их применения для очистки окружающей среды [9]. Установлено, что магнетит обладает высокой намагниченностью насыщения и магнитной восприимчивостью, что делает его эффективным материалом для извлечения

токсичных веществ и загрязнителей из воды, почвы и воздуха. Магнитные свойства наночастиц магнетита позволяют эффективно собрать и удалить загрязнители с помощью внешних магнитных полей, что делает их привлекательными для применения в технологиях очистки окружающей среды.

Увеличение намагниченности насыщения до значений выше теоретической ($M_{s(\text{теор})} = 96,44 \text{ эрг/Гс}\cdot\text{см}^3$) может быть связана с парапроцессами (наличием суперпарамагнитных частиц) и упорядочением магнитных моментов частиц на поверхностном слое, который имеет некоторые структурные дефекты [10, 11]. В статье [12] описываются различные структурные дефекты и их влияние на магнитный момент, так авторы пишут, что замещение аниона (Cl) на катион (Fe) приводит к получению дополнительного магнитного момента, в следствии чего намагниченность насыщения будет увеличена.

Использование олеиновой кислоты также может привести к увеличению намагниченности путем предотвращения разупорядоченных спинов на поверхности наночастиц, то есть стабилизацией [13].

Присутствие полианиона на поверхности наночастиц может вносить вклад в намагниченность наночастиц, за счет взаимодействия атомов кислорода карбоксильных групп полианиона с поверхностью магнитных наночастиц, и как следствие – образование новых магнитных фаз.

Уменьшение намагниченности насыщения до значений ниже теоретической ($M_{s(\text{теор})} = 96,44 \text{ эрг/Гс}\cdot\text{см}^3$) может быть связана с уменьшением размера наночастиц, нарушением стехиометрии (наличие дефектов) и уменьшением объема наночастиц магнетита в составе композита.

Нарушение стехиометрии связано с наличием дефектов в структуре соединения, так как при любых температурах, отличных от абсолютного нуля, в реальном кристалле существуют дефекты структуры, концентрация которых будет увеличиваться с увеличением температуры. Так, недостаток или избыток (например, замещением части ионов железа немагнитными ионами)

каких-либо атомов соединения ведет к нарушению стехиометрического состава [14].

На намагниченность насыщения также может влиять «мертвый» поверхностный слой, на котором есть дефекты, а именно уменьшать намагниченность, так как слой с поверхностными дефектами не будет вносить вклад в намагниченность из-за нарушения упорядоченности магнитных моментов наночастиц (разориентация спинов).

Использование различных поверхностно активных веществ (ПАВ) может оказывать и обратный эффект в сторону уменьшения намагниченности насыщения за счет внесения диамагнитного слоя на поверхности наночастиц. Так как большинство ПАВ являются полимерами или кислотами, которые не являются магнитными веществами.

1.4 Нанокompозиты на основе магнетита и восстановленного оксида графена

Нанокompозиты представляют собой материалы, состоящие из двух и более компонентов, обладающих различными свойствами. Они могут предоставить уникальные комбинации физических и химических характеристик, которые не могут быть достигнуты отдельными компонентами. В последние годы нанокompозиты на основе наночастиц магнетита (Fe_3O_4) и восстановленного оксида графена (ВОГ) привлекли большое внимание исследователей в различных областях, включая электронику, магнитные материалы, сенсоры и катализ.

Нанокompозиты на основе магнетита и ВОГ могут быть получены различными способами. Один из наиболее распространенных методов включает химическое осаждение магнетита на поверхности графена, а затем его восстановление, с последующим получением ВОГ. Этот процесс обеспечивает хорошее распределение наночастиц магнетита на поверхности графена и создает прочные связи между ними.

Магнетит, как известно, обладает высокой магнитной восприимчивостью и является полупроводником. Он обладает также высокой стабильностью и химической инертностью. ВОГ обладает высокой электропроводностью, большой поверхностью. Объединение этих двух материалов в нанокompозите позволяет комбинировать их преимущества и расширить их область применения.

Оксид графена не обладает магнитными свойствами, поэтому к нему добавляют наночастицы магнетита, для получения «магнитного графенового нанокompозита» [15]. Также оксид графена является хорошим адсорбентом за счет наличия кислородсодержащих функциональных групп и большого количества дефектов на поверхности [16]. Восстановленный оксид графена получают путем химического восстановления оксида графена, за счет уменьшения кислородсодержащих групп. Было обнаружено, что ВОГ отлично адсорбирует катионные и ионные красители, но по окончании процесса адсорбции происходит агрегация очищающего вещества, что приводит к загрязнению водной среды. Решением данной проблемы является добавление наночастиц магнетита к ВОГ, тем самым предотвращая процессы агрегации как между наночастицами магнетита, так и между листами ВОГ. Также добавление магнитных наночастиц позволяет применять метод магнитной сепарации для адсорбента.

Важно отметить, что наличие ВОГ в составе нанокompозита значительно увеличивает удельную площадь поверхности, что позволит беспрепятственно извлекать нанокompозит из воды. В связи с тем, что наночастицы магнетита являются сорбентом для многих ионов тяжелых металлов, пестицидов и других веществ [17 – 19], и ВОГ также является сам по себе хорошим сорбентом многих органических веществ [20], следовательно, нанокompозит на основе этих двух компонентов может стать супер-сорбентом, для решения многих проблем окружающей среды.

1.5 Свойства сорбентов

Сорбенты – это материалы, способные притягивать и задерживать другие вещества (газы, жидкости или растворенные вещества) на своей поверхности или в своем объеме. Они играют важную роль в различных областях, включая химическую промышленность, окружающую среду, фармацевтику и другие [21]. Ниже перечислены некоторые основные свойства сорбентов:

1. Адсорбционная способность. Сорбенты обладают способностью притягивать и удерживать молекулы или атомы других веществ на своей поверхности. Это свойство позволяет им использоваться для очистки газов и жидкостей от загрязнений, а также для улавливания и концентрирования целевых веществ.
2. Поверхностная площадь. Сорбенты имеют большую удельную площадь поверхности, что обеспечивает большую площадь взаимодействия с примесями. Что способствует эффективному взаимодействию и поглощению целевых веществ.
3. Восстанавливаемость. Некоторые сорбенты могут быть регенерированы и использованы повторно после отделения поглощенных веществ. Это делает их экономически эффективными и экологичными.
4. Химическая стабильность. Химическая стабильность сорбентов важна для обеспечения их долговечности и предотвращения разрушения или деградации в химически агрессивных средах.
5. Термическая стабильность. Сорбенты должны быть стабильными при высоких температурах, особенно если они используются в процессах, связанных с нагреванием или высокой температурой.
6. Кинетика сорбции. Кинетика сорбции описывает скорость и эффективность процесса поглощения веществ сорбентом. Хорошие

сорбенты должны обладать высокой скоростью сорбции и достаточной емкостью для эффективного поглощения.

Свойства сорбентов играют решающую роль в их применении в различных областях, включая водоочистку, газоочистку, разделение смесей, хроматографию и другие процессы, связанные с очисткой и извлечением веществ. Оптимальный выбор сорбента зависит от конкретных требований и целей процесса, а также химической природы и свойств поглощаемых веществ.

2. Материалы и методы исследования

2.1 Синтез композита на основе наночастиц магнетита

Наночастицы магнетита были получены на листах восстановленного оксида графена методом со-осаждения в щелочной среде. Для проведения данного синтеза заранее был получен оксид графена по усовершенствованной методике Хаммерса с использованием товарного препарата графитового сухого ТУ 23.99.14-007-53829767-2017 С-0 ООО ТД “ГрафитСервис” (зольность 1,0%, ост. На сет. 0,063 мм – 0,1%). Смесь двух концентрированных кислот – ортофосфорной (H₃PO₄) и серной (H₂SO₄), в соотношении 1:9, соответственно, добавляли к смеси порошка графита и перманганата калия (KMnO₄) [22]. Смесь перемешивали 12 часов при температуре 50°C и 750 оборотах, затем полученный продукт отстаивали 12 часов в холодной воде с добавлением пероксида водорода (H₂O₂). Далее полученный продукт промывали методом центрифугирования до нейтрального уровня кислотности и сушили с помощью лиофилизатора.

Синтез наночастиц магнетита на поверхности оксида графена проходит в атмосфере аргона по следующей реакции:



Синтез осуществлялся при температуре 90°C и интенсивном перемешивании 1200 об/мин. Затем продукт реакции также подвергался лиофильной сушке.

В ходе реакции происходит одновременное восстановление оксида графена с образованием наночастиц магнетита [23]. Восстановление оксида графена происходит в ходе различных физико-химических процессов, которые обеспечивают снижение содержания кислорода и как следствие образование восстановленного оксида графена. В данной работе снижение

содержания кислорода происходит за счет образования наночастиц магнетита, так как соли железа забирают кислород для образования магнетита.

В данной работе варьировалось соотношение соли железа (II) к оксиду графена, согласно следующим соотношениям: 50:50, 75:25, 82:18 и 86:14 масс.%. Соотношение варьировалось для определения тенденции восстановления оксида графена в зависимости от количества железа, участвующего в реакции.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Сканирующая электронная микроскопия и энергодисперсионный рентгеновский анализ

Морфология нанокомпозитов и их химический состав были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) на приборе Apreo 2 SEM (Thermo Fisher Scientific, США), оснащенный энергодисперсионным рентгеновским анализом (ЭДРА) SuperX спектрометр (Thermo Fisher Scientific, США). Энергия пучка электронов составляла 20 кэВ.

Диаметр частиц композита был оценен с использованием полученных снимков и программного обеспечения ImageJ, на основании измерения диаметра 100 объектов одного образца. Расчет среднего диаметра и стандартного отклонения выполнен в Microsoft Excel. СЭМ-изображения позволили определить средний размер и распределение наночастиц магнетита по поверхности листов восстановленного оксида графена.

В СЭМ изображение исследуемого объекта формируется при сканировании его поверхности точно сфокусированным лучом электронов. Такой луч часто называют электронным зондом. Диаметр зонда может составлять 5–1000 нм. При взаимодействии электронов с поверхностью исследуемого материала протекает ряд сложных процессов, приводящих к появлению излучений различной природы (рисунок 2). Эти излучения можно регистрировать с применением различных детекторов. Создаваемые сигналы

после их регистрации детекторами усиливают, а затем используют для модуляции яркости изображения. Таким образом, каждой точке на поверхности образца ставится в соответствие точка на мониторе компьютера. Яркость изображения точки пропорциональна интенсивности сигнала от соответствующей точки на изучаемой поверхности.

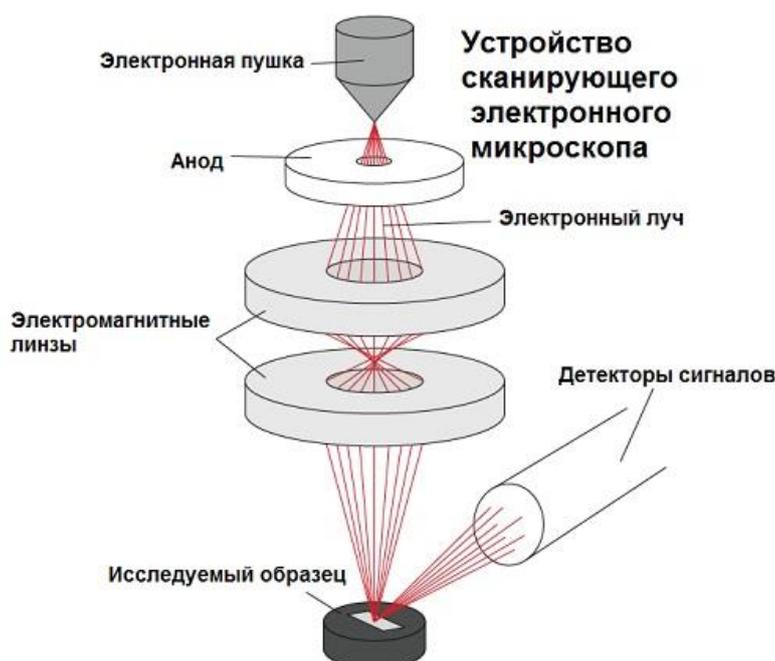


Рисунок 2 – Схематическое изображение СЭМ

Недостатком метода СЭМ является возможность исследования только проводящих материалов. При облучении диэлектрического образца электронным пучком его поверхность заряжается отрицательно. Накопившийся заряд начинает отталкивать первичные электроны, и ток первичных электронов, проникающих в образец, со временем спадает. Для исследования непроводящих материалов на их поверхность обычно напыляют тонкую пленку электропроводящего вещества [24].

Для определения элементного состава нанокompозитов был применен энергодисперсионный рентгеновский анализ (ЭДРА). В данном методе используется детектор рентгеновского излучения – энергодисперсионный детектор (ЭДС), принцип работы которого представлен на рисунке 3.

При попадании рентгеновского излучения в детектор, происходит образование электрон-дырочной пары. Измерение энергии рентгеновского излучения осуществляется за счет количественного определения электрон-дырочных пар, созданных рентгеновским излучением. В среднем на одну такую пару приходится энергия 3,8 эВ.

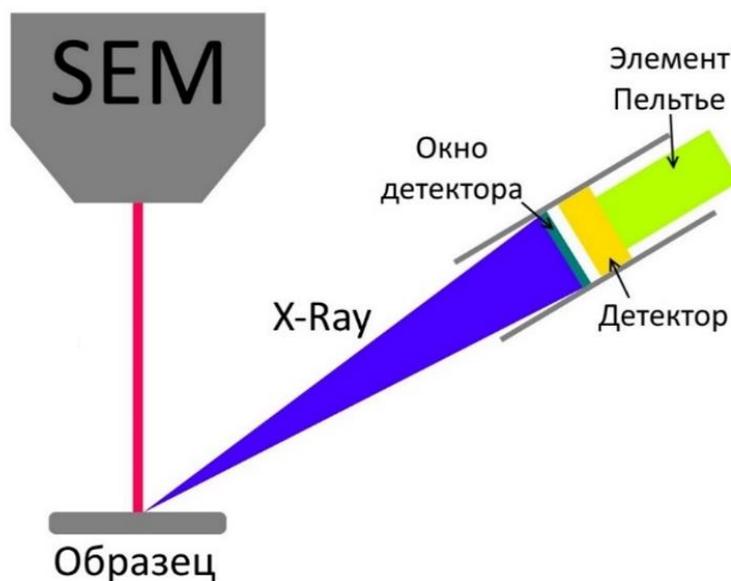


Рисунок 3 – Принцип работы ЭДС детектора

Точность измерения энергии ограничивается электронным шумом в усилителе и статистическим изменением количества созданных электрон-дырочных пар. Точность измерения составляет примерно 140 эВ.

2.2.2 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ (РФА) – один из дифракционных методов для исследования фазового состава вещества. В основе анализа лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке. На рисунке 4 изображено устройство рентгеновского дифрактометра.

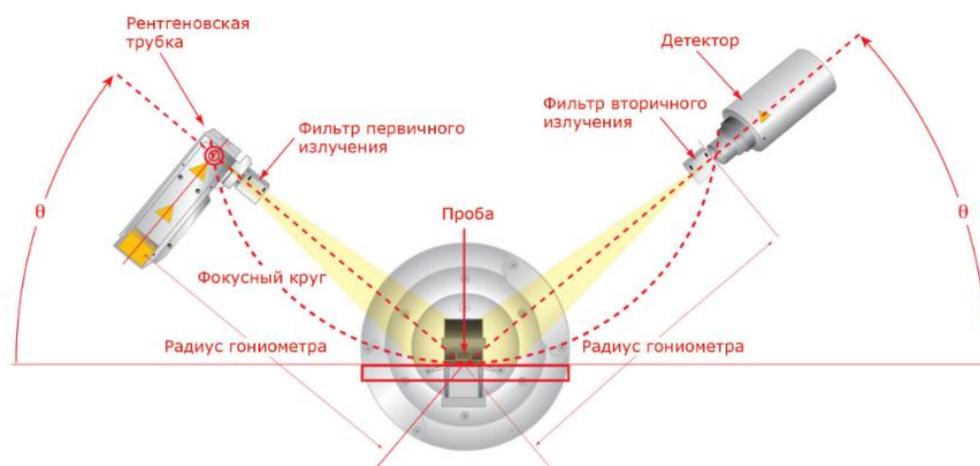


Рисунок 4 – Рентгеновский дифрактометр

РФА основан на явлениях отражения, рассеяния, дифракции и интерференции рентгеновских лучей [25]. Принцип работы РФА основан на взаимодействии падающего пучка рентгеновского излучения с кристаллической решеткой образца, подобно взаимодействию падающего луча с дифракционной решеткой. В связи с этим кристаллическая решетка рассматривается как система из параллельных плоскостей, расположенных на межплоскостном расстоянии d друг от друга. При падении рентгеновского луча на систему из параллельных плоскостей под определенным углом, возникает дифракция лучей, удовлетворяющая условию Вульфа-Брэгга (4).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (4)$$

где n – целое положительное число, λ – длина волны падающего и отраженного рентгеновского излучения, d – межплоскостное расстояние, θ – угол между падающим лучом и отражающей плоскостью.

При изменении угла θ , условие Вульфа-Брэгга поочередно удовлетворяется для различных кристаллографических систем в образце. В результате чего возникают рентгеновские рефлексy – пики с явно выраженными максимумами, высота и расположение которых дают информацию о материале [26].

2.2.3 Рамановская спектроскопия

Рамановская спектроскопия (РАМАН) или спектроскопия комбинационного рассеяния (КРС) – метод неразрушающего контроля, который предоставляет подробную информацию о химической структуре, молекулярных взаимодействиях в веществе. Данный метод основан на взаимодействии монохроматического излучения с веществом, сопровождающееся изменением энергии рассеянного излучения по сравнению с энергией падающего излучения. На рисунке 5 представлена схема принципа работы рамановской спектроскопии.

КРС является процессом неупругого рассеяния фотонов, при этом происходит изменение внутреннего состояния молекулы. Молекула переходит из одного энергетического состояния E в другое E' . В стандартной постановке эксперимента по наблюдению КРС исследуемое вещество облучается частотой, на которой данное вещество не поглощает, т.е. квант света недостаточно велик, чтобы перевести молекулу в возбужденное электронное состояние. Однако взаимодействие такого кванта приводит к возмущению электронной оболочки молекулы, которая перестраивается, приводя к изменению колебательного состояния ядерного скелета. Изменение колебательного состояния приводит к рамановскому сдвигу.

КРС возникает вследствие того, что движение электронов в молекуле связано с колебаниями ядер. Взаимное расположение ядер определяет поле, в котором находится электронное облако. Способность электронного облака деформироваться под действием электрического поля электромагнитной волны зависит от конфигурации ядер в данный момент и в случае внутримолекулярных колебаний изменяется с частотой этих колебаний. И наоборот, при деформации электронного облака могут возникнуть колебания ядерного остова молекулы.

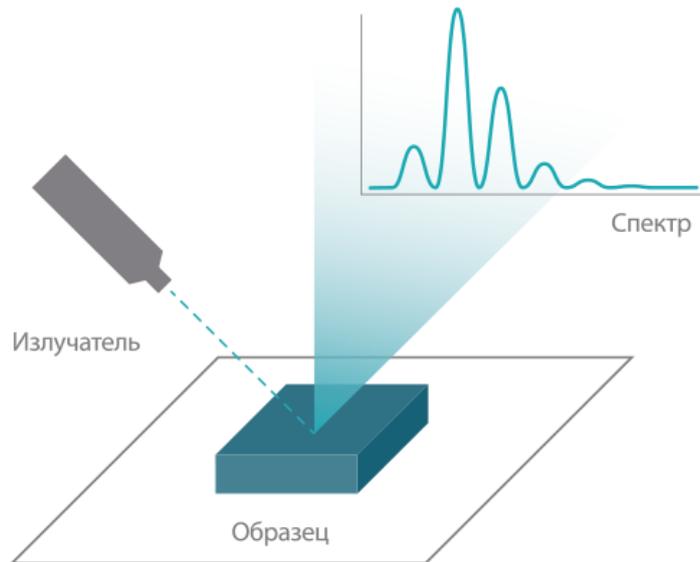


Рисунок 5 – Принцип работы РАМАН

2.2.4 Импульсная магнитометрия

Импульсная магнитометрия – метод исследования магнитных свойств материала, таких как: намагниченность насыщения, коэрцитивная сила, остаточная намагниченность. Исследование проводится в автоматизированном комплексе для исследования магнитных характеристик в импульсных магнитных полях (рисунок 6), так как с помощью импульсных полей можно достаточно быстро и с высокой точностью определить магнитные характеристики материала [27].

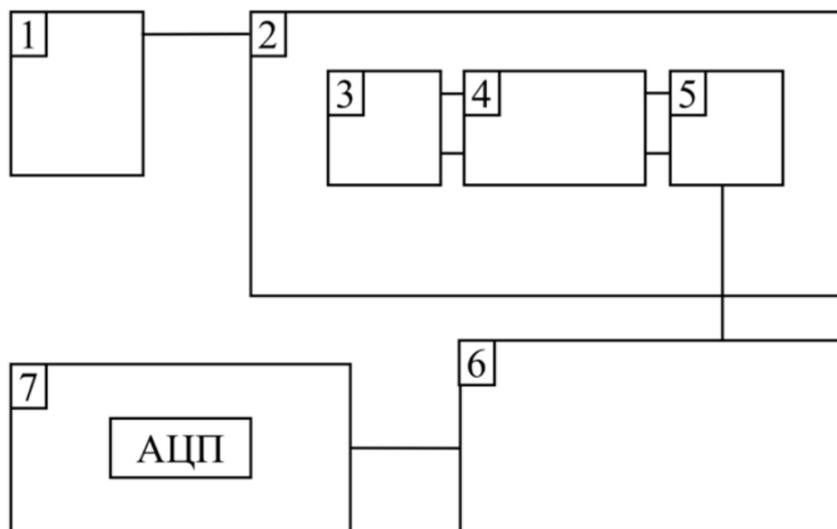


Рисунок 6 – Блок схема автоматизированного комплекса для исследования магнитных характеристик в импульсных магнитных полях: 1 – блок формирования импульса магнитного поля; 2 – импульсный соленоид; 3, 5 – компенсационные катушки; 3 – измерительная катушка; 6 – блок преобразования и усиления сигнала; 7 – аналого-цифровой преобразователь в слоте персонального компьютера

В комплексе создается магнитное поле с помощью соленоида, питающегося импульсным электрическим током. Образцы помещаются в специально изготовленные емкости из фторопласта цилиндрической формы, далее емкость с образцом помещается внутрь системы из трех катушек, создающих область однородного магнитного поля. Помещение исследуемого образца в измерительную катушку приводит к нарушению компенсации датчика и наведенная образцом электродвижущая сила (ЭДС) будет пропорциональна производной по времени от намагниченности образца. На выходе получаем напряжение, пропорциональное магнитному моменту образца. Сигнал, пропорциональный величине магнитного поля, снимается с однослойной катушки с небольшим числом витков и транслируется на экране компьютера.

Основное преимущество данного метода исследования заключается в расположении измерительных катушек определенным образом, за счет чего поля, создаваемые одними катушками системы не влияют на другие.

3.2.1 Инверсионная вольтамперометрия (ИВА)

Для определения сорбционных свойств нанокompозита был использован метод инверсионной вольтамперометрии. Метод ИВА основан на предварительном электролитическом накоплении определяемого вещества на поверхности электрода в виде металла, малорастворимого соединения либо комплекса, которое проводится при постоянном потенциале и перемешивании. Затем раствор перестают перемешивать, что приводит к падению величины электролитического тока до величины стационарного диффузионного тока и последующем растворении полученного концентрата при заданной скорости изменения потенциала.

Аналитический сигнал, получаемый в ходе ИВА, является током растворения продукта электролиза с электрода и имеет форму пика. Высота пика характеризует чувствительность к определяемому элементу, потенциал пика отражает природу элемента, а ширина – меру разрешающей способности [28].

Чувствительность метода ИВА составляет $10^{-9} - 10^{-10}$ М, что намного чувствительнее прямых электрохимических методов и многих других физических и физико-химических методов анализа.

3. Экспериментальные данные и их обсуждение

3.1 Морфология и химический состав

Наночастицы магнетита, синтезированные на листах оксида графена (ГО), обладают сферической формой и равномерно распределены по поверхности листов ГО, что отображено на рисунке 7. Слоистые листы восстановленного оксида графена (ВОГ) и закрепленные на них наночастицы магнетита свидетельствуют об образовании нанокompозита $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$.

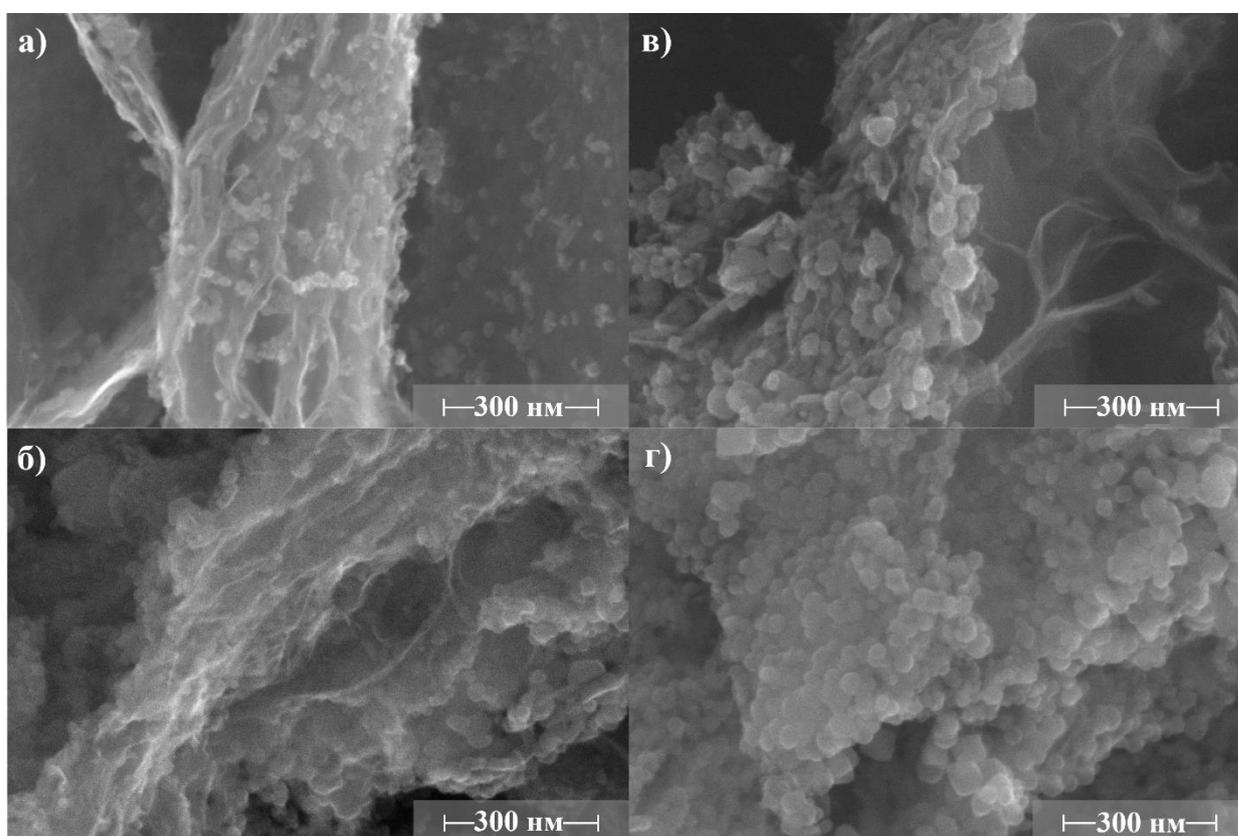


Рисунок 7 – СЭМ-изображения наночастиц магнетита, синтезированных на поверхности ГО при различных массовых соотношениях $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$: а) 50:50, б) 75:25, в) 82:18, г) 86:14 масс. %

С помощью программного обеспечения ImageG были посчитаны средние размеры наночастиц магнетита. Для нанокompозитов с 50, 75, 82 и 86 масс. % железа средний диаметр наночастиц магнетита составил $18,4 \pm 5,2$,

$24,8 \pm 13,1$, $40,1 \pm 21,1$ и $24,2 \pm 7,9$ нм, соответственно. Наблюдаемое увеличение среднего диаметра наночастиц магнетита для нанокompозита с 82 масс. % железа можно связать с процессом Оствальдовского созревания или «переконденсации». Данный процесс основан на массопереносе вещества от меньших наночастиц к более крупным [29]. Также с увеличением содержания железа в нанокompозите заметно уменьшается количество открытых участков поверхности оксида графена и наблюдается более плотное покрытие наночастицами магнетита.

Последующее уменьшение среднего размера наночастиц магнетита для нанокompозита с содержанием 86 масс. % железа, можно объяснить более равномерным ростом кристаллитов магнетита (рисунок 7). Такое распределение в свою очередь предотвратило процесс переконденсации наночастиц Fe_3O_4 .

Следует отметить, что наночастицы магнетита не агрегированы, за счет зарождения кристаллитов в областях кислородсодержащих групп на поверхности листов оксида графена [30].

В таблице 1 представлен химический состав нанокompозитов на основе наночастиц магнетита, полученный с помощью метода энергодисперсионного рентгеновского анализа (ЭДРА).

Таблица 1 – Содержание элементов (С, О, Fe) в нанокompозите Fe₃O₄/BOГ с различным соотношением компонентов

Элемент \ Соотношение, масс. %	50:50	75:25	82:18	86:14
СК, ат%	65,20	33,28	31,93	29,35
ОК, ат%	24,31	45,58	46,51	46,68
FeК, ат%	10,34	21,51	21,55	23,97

С увеличением доли Fe₃O₄ в нанокompозите увеличивается содержание железа, что обусловлено образованием большего количества наночастиц магнетита или образованием более крупных наночастиц магнетита. Таким образом, ЭДРА выявил формирование композита, содержащего в своём составе все заявленные элементы.

3.2 Структура и фазовый состав

Рамановские спектры для нанокompозитов Fe₃O₄/BOГ и чистого BOГ представлены на рисунке 8.

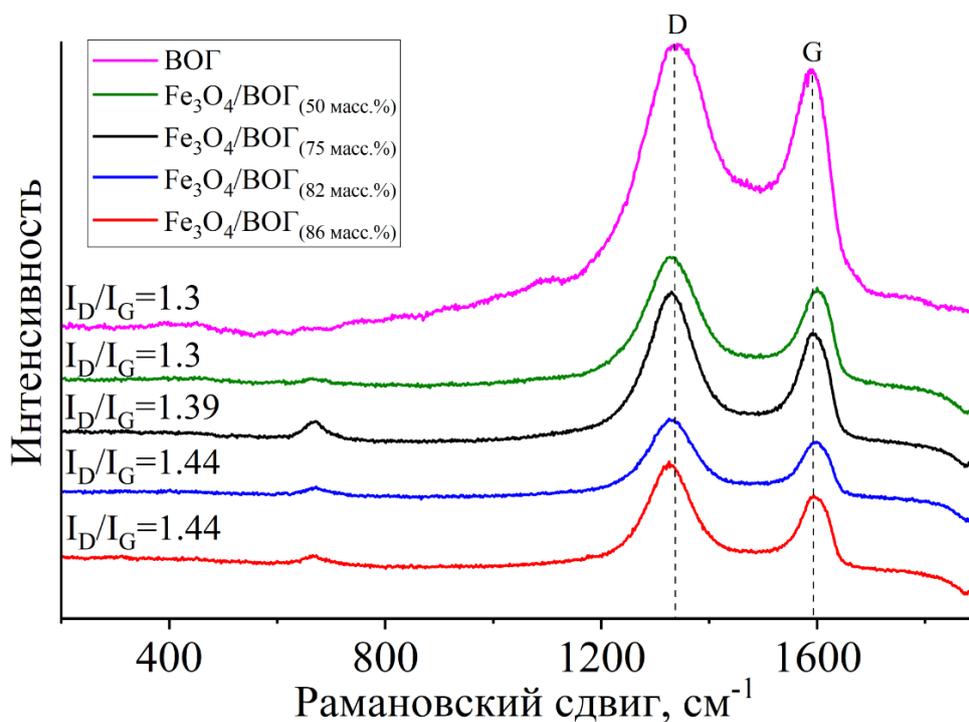


Рисунок 8 – Спектры комбинационного рассеяния света для нанокомпозитов на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена

На спектрах нанокомпозитов прослеживается пик при величине рамановского сдвига 670 см^{-1} , который соответствует валентным симметричным колебаниям связи Fe – O, характерным для магнетита. Пиков других оксидов железа не наблюдалось, что подтверждает образование чистой фазы магнетита во время синтеза на поверхности листов ГО.

Для обсуждения степени восстановления оксида графена во время синтеза наночастиц магнетита, обратим внимание на расположение пиков D и G на спектрах.

Пик D, расположенный около 1340 см^{-1} , обусловлен наличием дефектов в материале [31, 32], а сдвиг пика отвечает за степень восстановления материала. Таким образом, сдвиг в сторону меньших значений волнового числа означает уменьшение числа кислородных групп и, как следствие, увеличение степени восстановления.

Пик G, расположенный около 1590 см^{-1} , относится к плоскостному колебанию sp^2 – гибризованных атомов углерода [33]. Путем анализа отношения интенсивностей этих двух пиков можно получать дополнительную информацию об углеродных материалах, например, степень графитизации углеродных наноматериалов и оценка плотности дефектов.

Для образцов нанокомпозита значения отношения I_D/I_G были выше, чем для образца восстановленного оксида графена (рисунок 8). Более высокое отношение I_D/I_G , полученное для нанокомпозитов Fe_3O_4/VOG , связано с меньшим содержанием кислорода, большими расстояниями между слоями ГО, возникающими за счет большего расслоения при образовании наночастиц магнетита [34]. Также в спектрах для нанокомпозитов пик D сдвинут в сторону меньших волновых чисел по сравнению с положением этого пика в спектре для VOG, что связано с более высокой степенью восстановления.

Функционализация оксида графена наночастицами магнетита привела к тому, что соотношение интенсивностей полос D и G увеличилось от 1,09 до 1,43, что указывает на наличие локализованных sp^3 дефектов из-за окисленного sp^2 домена в углеродном скелете [35] и свидетельствует о протекающем процессе восстановления [36].

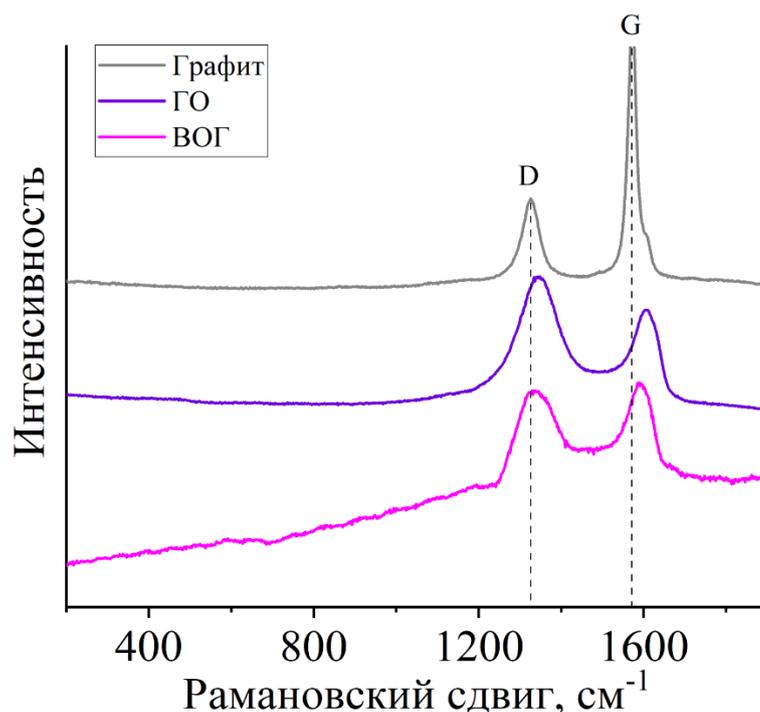


Рисунок 9 – Спектр комбинационного рассеяния света для образцов порошкового графита, оксида графена и восстановленного оксида графена

Пик D связан с колебанием связи sp^3 гибризованных атомов углерода неупорядоченных наночастиц ГО и увеличение его интенсивности указывает на образование sp^3 связи в результате окисления графита, а также на возникновение дефектов структуры в результате удаления кислородсодержащих групп с поверхности наночастиц ГО (рисунок 9).

Для получения данных о фазовом составе наноконструкций был проведен РФА, результаты которого представлены на рисунке 10.

На представленных дифрактограммах наноконструкций четко обнаруживаются рефлексы магнетита при значениях $2\theta = 18,23^\circ, 30,0^\circ, 35,36^\circ, 37,0^\circ, 42,99^\circ, 53,37^\circ, 56,87^\circ$ и $62,45^\circ$, соответствующие следующим кристаллографическим плоскостям: (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511) и (440), соответственно. Для наноконструкции с 50 и 86 масс. % железа наблюдается рефлекс низкой интенсивности при $21,4^\circ$, соответствующий (110) плоскости $\alpha\text{-FeOOH}$ из-за неполного превращения последнего в Fe_3O_4 .

Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) наночастиц магнетита были рассчитаны с помощью уравнения Шеррера:

$$d = \frac{K_{hkl} \cdot \lambda}{\beta(2\theta) \cdot \cos\theta} \quad (5)$$

где d – средний размер ОКР;

K_{hkl} – безразмерный коэффициент формы частиц (постоянная Шеррера);

λ – длина волны рентгеновского излучения;

$\beta(2\theta)$ – ширина рефлекса на полувысоте;

θ – угол дифракции.

Значения средних размеров ОКР магнетита для нанокomпозитов с 50, 75, 82 и 86 масс. % железа составили 5 ± 2 , 15 ± 2 , 19 ± 2 и 17 ± 2 нм, соответственно.

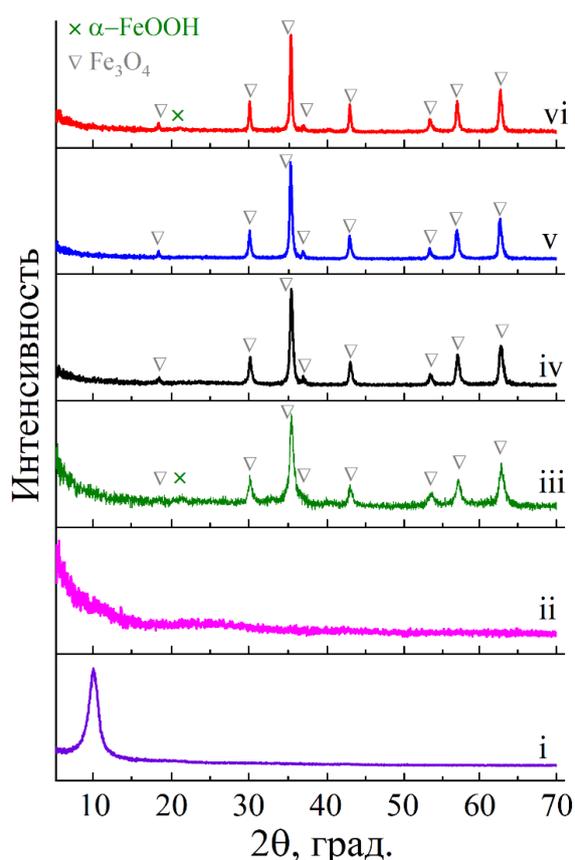


Рисунок 10 – Дифрактограммы образцов (i), ВОГ (ii), нанокomпозитов $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ВОГ}$ с соотношением компонентов 50:50 (iii), 75:25 (iv), 82:18 (v) и 86:14 (vi) масс. %

3.3 Магнитные свойства

Магнитные свойства наночастиц магнетита, полученных на поверхности ВОГ, были изучены путем анализа петель гистерезиса (рисунок 11). В таблице 2 приведены основные магнитные характеристики петель гистерезиса нанокomпозитов $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ВОГ}$ (намагниченность насыщения – $M_{\text{нас}}$, остаточная намагниченность – $M_{\text{ост}}$, и коэрцитивная сила – H_c) и размеры наночастиц (D) и их ОКР (d), согласно данным СЭМ и РФА.

С увеличением концентрации магнетита в композите до соотношения компонентов 82:18 наблюдается увеличение намагниченности насыщения, что напрямую объясняется увеличением содержания магнитной фазы в материале, а также увеличением размеров ОКР на поверхности ВОГ.

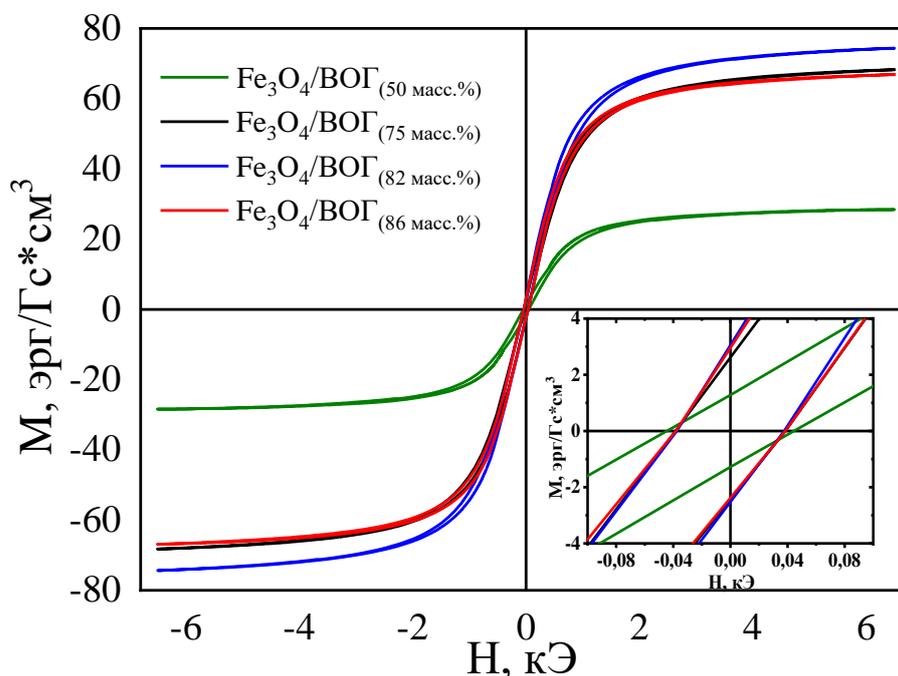


Рисунок 11 – Петли гистерезиса $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ВОГ}$

Далее отмечается снижение намагниченности насыщения для образца с соотношением 86:14, что объясняется образованием немагнитной фазы гетита

(α – FeOOH), которая обнаруживается в виде рефлекса на дифрактограмме Fe₃O₄/BOГ (86 масс. %) (рисунок 10).

Таблица 2 – Магнитные характеристики композита Fe₃O₄/BOГ и размеры наночастиц магнетита при различных соотношениях

Образец	M _{нас} , эрг/Гс·см ³	M _{ост} , эрг/Гс·см ³	H _к , Э	D, нм	d, нм
Fe ₃ O ₄ /BOГ (50 масс. %)	28,4 ± 0,8	1,3 ± 0,1	44 ± 3	18 ± 5	5 ± 2
Fe ₃ O ₄ /BOГ (75 масс. %)	68,2 ± 2,1	2,5 ± 0,2	38 ± 2	25 ± 13	15 ± 2
Fe ₃ O ₄ /BOГ (82 масс. %)	74,4 ± 2,2	2,8 ± 0,2	37 ± 2	40 ± 21	19 ± 2
Fe ₃ O ₄ /BOГ (86 масс. %)	66,9 ± 2,1	2,7 ± 0,1	38 ± 2	24 ± 8	17 ± 2

Также увеличение намагниченности может быть связано с большим размером кристаллитов при соотношении 82:18. С уменьшением размера кристаллитов магнетита доля атомов, принадлежащих поверхностному слою, увеличивается по отношению к общему числу атомов в частице. Также поверхностном слое могут присутствовать различные дефекты, из-за наличия которых появляются неупорядоченные нескомпенсированные спины. Наличие нескомпенсированных спинов препятствует выравниванию остальных спинов по направлению магнитного поля, и как следствие суммарный магнитный момент может уменьшаться. [37].

Магнитные свойства полученных нанокompозитов выше, чем у материалов со схожим составом. Данный факт свидетельствует о более эффективном взаимодействии нанокompозита с магнитным полем, например, при магнитной сепарации нанокompозита из водной среды.

Таблица 3 – Сравнение намагниченности насыщения с литературными данными

Материал	Намагниченность насыщения, эрг/Гс·см ³	Источник
Fe ₃ O ₄ /ВОГ	74,4	Текущая работа
Fe ₃ O ₄ /ВОГ	26,1	[38]
Fe ₃ O ₄ /ВОГ	26	[39]
Fe ₃ O ₄ /ВОГ	42	[40]
Fe ₃ O ₄ /ВОГ	59	[41]

Значения коэрцитивной силы согласуются с известными в литературе значениями для наночастиц магнетита [42, 43]

3.4 Сорбционные свойства

Результаты сорбционных исследований представлены в таблице 4. Для проведения экспериментов на сорбцию был выбран нанокompозит с соотношением магнетита к ВОГ 86:14, данный выбор основан на большем содержании железа в материале. По данным РФА, именно нанокompозит Fe₃O₄/ВОГ (86 масс. %) имеет наибольшее содержание железа, не только в фазе магнетита, но и в фазе гетита. Известно, что железо является хорошим сорбентом для ионов различных загрязнителей [44]. Эксперимент проводился в растворе ионов мышьяка (As³⁺), большая часть ионов As³⁺ поглощается нанокompозитом в течение первой минуты эксперимента. Увеличение времени эксперимента приводит к постепенному увеличению процента поглощения ионов As³⁺ и достигает значения насыщения 98,8 % в течение 2 часов.

Таблица 4 – Сорбция ионов As^{3+} композитом $Fe_3O_4/VOГ$ (86 масс. %)

Время контакта, мин	Исходная концентрация As^{3+} , ppm	As^{3+} концентрация после сорбции, ppm	As^{3+} поглощение, %
1	5	0,95	81,3
5		0,44	91,2
30		0,35	93,4
60		0,28	95,7
120		0,12	98,8

Процесс сорбции мышьяка происходит за счет химического поглощения загрязнителя поверхностью вещества, т.е. химической адсорбции.

Сравнение сорбционных свойств различных материалов приведено в таблице 5. Из данных видно, что нанокompозит полученный в данной работе поглощает ионы мышьяка быстрее иных материалов.

Таблица 5 – Сорбционные свойства различных железосодержащих материалов

Материал	Процент поглощения	Источник
$Fe_3O_4/VOГ$	81 % за 1 минуту	Эта работа
$Fe_3O_4/VOГ$	82 % за 10 минут	[45]
Железосодержащий упорядоченный мезопористый углерод	82 % за 5 минут	[46]
Наноразмерное невалентное железо	80 % за 7 минут	[47]
Оксид графена– $MnFe_2O_4$	81 % за 5 минут	[48]

3.5 Влияние состава нанокompозита на его магнитные и сорбционные свойства

Для наночастиц магнетита ведущим параметром являются его магнитные свойства, так как наночастицы применяются в различных методах с использованием внешних магнитных полей (магнитная сепарация, магнитно-резонансная томография, адресная доставка лекарств и др.). Авторы [49] рассматривают различные биомедицинские применения для наночастиц магнетита, благодаря его выдающимся магнитным свойствам. В работе [50]

используется внешнее магнитное поле для восстановления материала после его использования, в качестве сорбента нефти. Восстановление адсорбента после процесса адсорбции с помощью магнитного поля, позволяет не применять кислоты (HCl или HNO_3) [51], что является более экологичным методом восстановления материала для его последующего использования.

Также сейчас актуальны исследования по сорбции мышьяка и других загрязнителей, так как во многих регионах Земли потребление воды затруднено наличием в грунтовых водах различных токсичных элементов.

Было проведено исследование влияния содержания наночастиц магнетита на магнитные и сорбционные свойства нанокompозита $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$. С увеличением содержания магнетита в составе нанокompозита улучшается распределение наночастиц по поверхности BOГ, также наблюдается взаимное уменьшение агрегации обеих компонентов нанокompозита. Равномерное и плотное распределение наночастиц по поверхности листов BOГ также влияет и на сорбционную способность нанокompозита, так как механизм сорбции основан на поглощении загрязнителя поверхностью вещества.

На магнитные свойства нанокompозита влияет не только содержание наночастиц магнетита, но и их размер. Поэтому нанокompозит $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$ (82 масс. %) имеет лучшие магнитные свойства среди исследуемых образцов. Незначительное снижение намагниченности насыщения для $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BOГ}$ (86 масс. %) не противоречит использованию метода магнитной сепарации для отделения нанокompозита из водной среды.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б91	Галстенкова Мария Романовна

Школа	ИЯТШ	Направление	03.03.02 Физика
Уровень образования	Бакалавриат		

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)</i>	Описание функционального назначения, основных потребительских качеств разрабатываемого продукта
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Описание способов защиты разрабатываемой интеллектуальной собственности
<i>Объем и емкость рынка</i>	Оценка TAM, SAM и SOM
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	Проведение анализа современного состояния и перспектив отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт
<i>Себестоимость продукта</i>	Расчет себестоимости
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта и сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами</i>	Конкурентные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с отечественными и мировыми аналогами. Проведение патентного поиска
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Описание целевых сегментов потребителей создаваемого продукта
<i>Бизнес-модель проекта, производственный план и план продаж</i>	Описание бизнес-модели проекта, производственного плана и плана продаж
<i>Стратегия продвижения продукта на рынок</i>	Представление стратегии продвижения продукта на рынок.
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы (например, бизнес-модель)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Статистика запросов «фильтр для воды»; - Этапы жизненного цикла рынка; - Структура рынка; - Распределение патентов по странам; - Эволюция заявок на патенты с 2003 по 2023 гг.; - SPACE-модель;

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

Задание выдал консультант по разделу «Концепция стартап-проекта» (со-руководитель ВКР):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Антонова Ирина Сергеевна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Галстенкова Мария Романовна		

4. Концепция стартап-проекта

Множество вариантов применения наночастиц магнетита и композитов на основе наночастиц магнетита, открывают возможности коммерциализации данных материалов. Несмотря на обилие очистительных систем на рынках федерального и мирового масштабов, проблема доступности питьевой воды всё ещё не решена во многих регионах. На данный момент существуют различные системы фильтров, способные очищать воду от мышьяка. Такие системы требуют специального обслуживания и очень дорогостоящие. Также встает вопрос утилизации использованных фильтров, который на сегодняшний день имеет не экологичное решение. Многие системы фильтрации утилизируются путем сжигания очистных мембран. Исходя из перечисленных факторов, возможна успешная реализация фильтров с наночастицами магнетита, с возможностью утилизации без ущерба окружающей среде.

Идея заключается в разработке и создании картриджа для очистки воды от различных загрязнителей, в частности – мышьяка. Фильтрация будет производиться за счет прохождения воды через слой композита, состоящего из наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена.

4.1 Описание продукта как результата НИР

Проект будет представлен в виде устройства, состоящего из корпуса (колбы) фильтра, с входящими внутрь сорбентом, в виде порошка, и мембраной. После изучения влияния магнитного поля на процесс сорбции, будет решен вопрос внедрения источника магнитного поля в устройство. Таким образом, вода, попадая в устройство будет проходить через частицы композита с магнитными включениями, которые будут адсорбировать загрязнения воды (ионы мышьяка, ионы тяжелых металлов), затем вода будет проходить через мембрану с размером пор порядка 100 нм. Устройство может

быть интегрировано в систему подачи воды, не только как самостоятельный элемент очистки воды, так и в системах, состоящих из нескольких фильтров для очистки воды. К технологическим требованиям относится герметичность устройства, которая будет достигнута за счет использования резиновых прокладок. Хранение устройства не требует специальных условий, кроме как температуры не выше 60 °С и не ниже 0 °С. Для транспортировки устройства потребуется коробка размером не менее 40 см в длину, 15 см в ширину и 15 см в высоту. Основные требования к эксплуатации прототипа: запрещено использовать прототип с явными внешними повреждениями (трещины в корпусе); с нарушением целостности блока, содержащего сорбент. В ходе эксплуатации необходимо будет производить замену устройства (картриджа) в системе очистки воды, по мере истечения срока эксплуатации. Срок эксплуатации зависит от концентрации мышьяка в очищаемой воде и от количества очищаемой воды. Оптимальное значение давления в системе должно будет составлять от 0,3 до 0,5 бар.

4.2 Интеллектуальная собственность

Стратегия защиты интеллектуальной собственности на первом этапе в виде «полезной модели». В случае публикации информации о технологии будет проводиться закрепление приоритета – направлена заявка на патент (до 12 мес.) Далее оформлен международный приоритет по РСТ и только потом национальная заявка. Данная стратегия позволит минимизировать затраты на патентование и оптимизировать защиту интеллектуальной собственности.

4.3 Объем и емкость рынка

В стране и в мире остается актуальной проблема низкого качества водопроводной воды, так как в большинстве регионов системы водоснабжения изношены. Согласно расчетам BusinesStat, продажи бытовых фильтров для

питьевой воды в России выросли на 22,1% в период с 2017 по 2021 гг. В соответствии с этим, продажи выросли с 76,7 до 93,7 млн штук и ежегодный прирост составил 1,5 – 8,8%. Рост спроса на бытовые фильтры может быть спровоцирован растущими трендами на здоровый образ жизни, а также различной рекламой и публикациями в СМИ о вредности примесей, содержащихся в обычной воде из-под крана [52].

На основании открытого источника в России насчитывается 96,5 млн фильтров для воды на 2023 год, с учетом прогнозируемого роста. Это является потенциально доступным рынком (РАМ). РАМ (Potential Available Market) – это весь объем рынка с учетом того, как он изменится за интересующее нас время, в данном случае – за год.

Общий объем текущего рынка, на котором можно продать продукт (ТАМ), составляет 95 млн шт. Данный показатель отражает перспективы продукта, если он может занять весь рынок. На практике ТАМ недостижим.

Если учитывать, что потенциально достижимый рынок (SAM) составляет 2% от общего объема целевого рынка, соответственно, SAM = 1,9 млн штук фильтров. SAM (Serviceable Available Market) – доступный объем рынка, который можно занять, если вытеснить прямых конкурентов.

Теперь рассмотрим реально достижимый объем рынка (SOM), пусть данный показатель составляет 0,5 % от показателя SAM, так как не все люди готовы переходить от устоявшихся производителей к новым на рынке. Выбранное значение 0,5 % обуславливается средней долей компаний на рынке в России, согласно данным СПАРК [53]. Получаем 9500 штук фильтров.

Учитывая предполагаемую стоимость продукта – 7000 рублей, можно рассчитать показатели объема рынка в денежном эквиваленте:

$$\text{РАМ} = 0,4825 \text{ трлн руб.}$$

$$\text{ТАМ} = 0,475 \text{ трлн руб.}$$

$$\text{SAM} = 9,5 \text{ млрд руб.}$$

$$\text{SOM} = 47,5 \text{ млн руб.}$$

Расчет показателей в денежном эквиваленте производится с учетом затрат на предполагаемую утилизацию фильтров и затрат на технологии вторичной переработки отдельных компонентов, составляющих продукт.

4.4 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли

Анализ состояния отрасли при помощи оценки статистики в интернете, производился с помощью Яндекс Вордстат. Запрос «фильтр для воды» имеет большую популярность по запросам, более 500000 запросов в месяц (рисунок 12), что отражает заинтересованность населения в потреблении очищенной воды. И как следствие – рынок находится в начале этапа зрелости, на рисунке 13 положение анализируемого рынка отмечено зеленой точкой.

Что искали со словом «фильтр для воды» — 576 462 показа в месяц

Статистика по словам	Показов в месяц 
фильтр +для воды	472 781
купить фильтр +для воды	74 671
фильтр +для очистки воды	69 582
фильтр под воду	44 328
фильтр +для воды аквафор	44 117
фильтр +для воды под мойку	37 559
картридж +для фильтра воды	28 134
фильтр +для воды гейзер	25 682
какой фильтр +для воды	24 793
магистральный фильтр +для воды	24 075
фильтр +для воды барьер	23 166
фильтр +для воды проточный	21 038
фильтр кувшин +для воды	20 770
фильтр +для питьевой воды	18 634
фильтр грубой очистки воды	18 229
фильтр воды +для дома	17 453

Рисунок 12 – Статистика запросов «фильтр для воды»

О зрелости рынка свидетельствует наличие нескольких крупных игроков, таких как ООО «Аквафор», АО «БВТ Барьер Рус», АО «Сорбент», что обеспечивает высокую конкуренцию на рынке. Также продолжается ежегодный рост рынка, который наблюдается и во времена пандемии коронавируса, и наличие наложенных санкций мало сказывается на рынке фильтров для питьевой воды. Но экспертами отмечено, что на упадок рынка может повлиять сжатие платежеспособного спроса, в связи с чем продажи бытовых фильтров могут сократиться. По мере стабилизации экономической обстановки и адаптации покупателей к новым условиям продажи бытовых фильтров для питьевой воды в стране будут увеличиваться умеренными темпами к 2023 – 2026 гг.

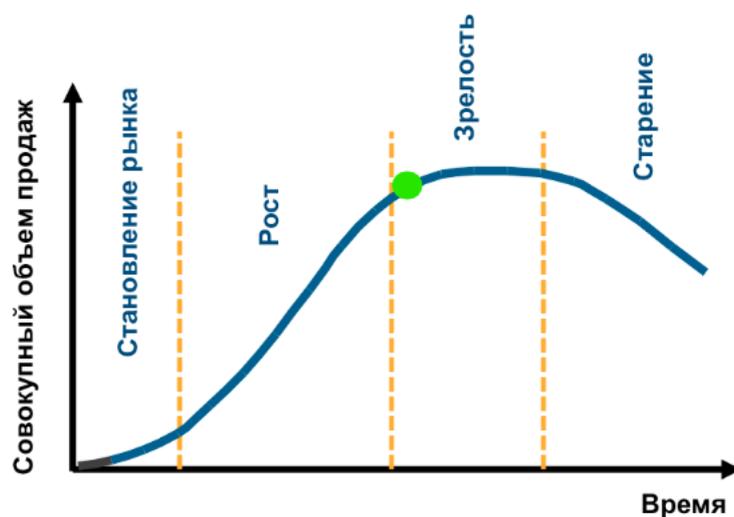


Рисунок 13 – Этапы жизненного цикла рынка

По типу рынка можно отнести анализируемый рынок к монополистической конкуренции, так как барьер входа для продавца отсутствует, на рынке представлено несколько продавцов со схожими, но не одинаковыми товарами. Нет барьеров для входа покупателя и число покупателей высокое.

Структура рынка по типу системы очистки воды разделяется на 4 основных типа: механической, осмотической, ионообменной и

электрохимической очистки воды. На рисунке 14 изображена структура рынка фильтров для воды по типу очистки.



Рисунок 14 – Структура рынка

Подводя итоги, анализ рынка фильтров для очистки воды показал, что рынок находится на раннем этапе зрелости, и относится к типу монополистической конкуренции. Значит, отрасль ещё можно развивать и конкурировать с уже закрепившими свои позиции, компаниями-производителями.

В 2021 году отмечен наиболее высокий темп прироста продаж бытовых фильтров для питьевой воды (+8,8%), этому поспособствовало временное снижение ставки рефинансирования, программы льготной ипотеки и материнского капитала, а также повышенный интерес россиян к загородному строительству, оживившийся с начала пандемии [54]. Въезжая в новые квартиры, люди обустривали кухни, покупая в том числе фильтры для питьевой воды. Данный прирост характерен для этапа роста рынка, что только подтверждает выводы о начале созревания рынка.

4.5 Планируемая стоимость продукта

Конечная стоимость сорбента для очистки воды будет основываться чуть выше уровня себестоимости продукта. Данный подход применяется при внедрении нового товара на рынок, в целях резкого увеличения доли рынка или в целях сохранения заданного объема продаж или стимулирования продаж.

Ценообразование наценки. С учетом уровня удельной стоимости и желаемой доли прибыли в структуре цены этот метод используется для установления пределов допустимых цен. Типичная норма прибыли для промышленного производства составляет 20-23%.

Себестоимость единицы товара = переменные затраты + (фиксированная цена/продажа одной штуки);

При расчете будет учитываться первый год, в который планируется продать 150 штук. Стоимость производства одной единицы продукции, аренда, стоимость оборудования и заработная плата на 1 человека, приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Затраты в первый год продаж

Наименование позиции	Кол-во	Цена, руб./ед.	Сумма, руб.
Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты			
Серная кислота	17 л.	200 руб./л.	3400
Ортофосфорная кислота	2 л.	1109 руб./л.	2218
Восстановленный оксид графена	150 г.	217,44 руб./г.	32617, 32
Магнетит	3 кг.	12120 руб./кг	36360
Колба магистрального фильтра	150 шт.	310 руб./шт.	15500
Итого:			90095,32
Общепроизводственные и общехозяйственные расходы			
Наименование	Пояснение к видам расходов		Сумма, руб.

Арендная плата помещений (по договору с ТПУ)	Расходы на аренду помещений для производства продукции в специализированных мастерских ТПУ	20000	
Аренда оборудования (по договору с ТПУ)	Расходы на аренду необходимого промышленного оборудования в специализированных мастерских ТПУ	50000	
Электричество	Освещение, ПК, лабораторное оборудование	10000	
Итого:		80000	
Специальное оборудование для научных работ			
Наименование оборудования	Цена, тыс. руб.	Срок эксплуатации, лет	Амортизационные отчисления, руб.
Магнитная мешалка с подогревом	25,2	10	2520
Лабораторные электронные весы	112	10	11200
Лиофильная сушилка	4074	20	23671,2
Итого:			37391,2
Заработная плата и социальные отчисления			
1 специалист		300000	
Социальные отчисления (30,1 %) и НДФЛ (13%)		134400	
Итого:			434400

Итоговая себестоимость:	$641886,52/150 = 4279$ руб.
--------------------------------	-----------------------------

Следовательно, полная себестоимость товара составляет 4279 рублей.

Примем желаемый доход 63,5% от суммы затрат на единицу товара, тогда: Цена = $4279 + 4279 \cdot 60\% = 7000$ рублей.

Приведем примерный план продаж на 5 лет (таблица 7).

Таблица 7 – Производственный план и план продаж на 5 лет

	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Цена реализации, рублей	7000				
Себестоимость, рублей	4279	4279	4279	4279	4279
Объем продаж, штук	150	500	2500	5500	9500
Выручка от реализации, млн. руб.	1,05	3,5	17,5	38,5	66,5
Аутсорсинг производства, тыс.руб.	100	100	100	100	100
Персонал, человек	1	4	4	4	4
Зарплата в год, млн. руб.	0,3	1,2	1,2	1,2	1,2
Социальные отчисления (30,1 %), тыс. руб./год	90,3	361,2	361,2	361,2	361,2
Амортизационные отчисления, тыс.руб.	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
Суммарные издержки, млн. руб.	1,132	3,8	12,35	25,2	43,11
Прибыль до налогообложения, тыс. руб.	-44,7	-263	5178	13341	24225
Налог на прибыль (20%), тыс. руб.	-8,9	-52,6	1035	2668	4845
Чистая прибыль, тыс. руб.	-35	-210	4142	10673	19380

Годовая ставка дисконтирования	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Дисконтированные денежные потоки, тыс. руб.	-24	-143	2817	7257	13178
Чистый денежный поток от инвестиционной деятельности, тыс. руб.	500	0	0	0	0

Таким образом за 5 лет будет продано 18150 единиц товара, что составляет 0,02 % рынка России.

4.6 Конкуренционные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с отечественными и мировыми аналогами

Для выявления преимуществ создаваемого продукта был проведен патентный поиск, который проводился на основе программного продукта Orbit Questel. В результате поиска, по ключевым словам, связанным с проектом, были найдены 644 патентных семейств, среди которых имеются патенты в России, на рисунке 15 приведено распределение количества патентов по странам подачи заявок.

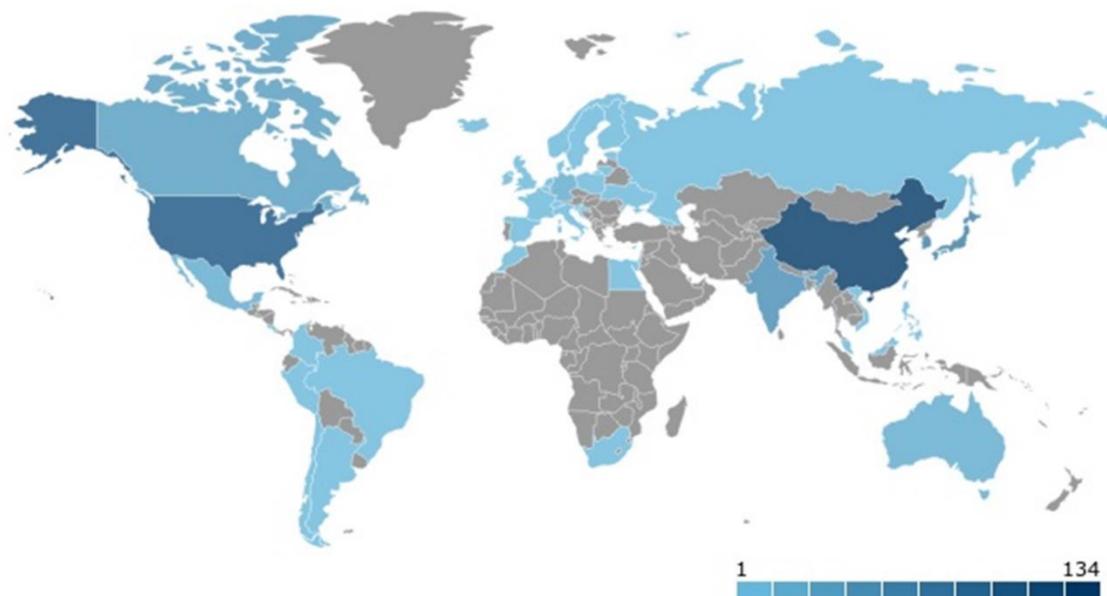


Рисунок 15 – Распределение патентов по странам

Из распределения видно, что наибольшее количество патентов приходится на Китай и США. Данное распределение вполне закономерно, так как для данных регионов характерно загрязнение грунтовых вод различными элементами, такими как мышьяк, фтор, никель, свинец и другие.

Затем были отобраны 8 наиболее схожих, с разрабатываемым продуктом, решений. На рисунке 16 приведена эволюция отобранных заявок по годам.

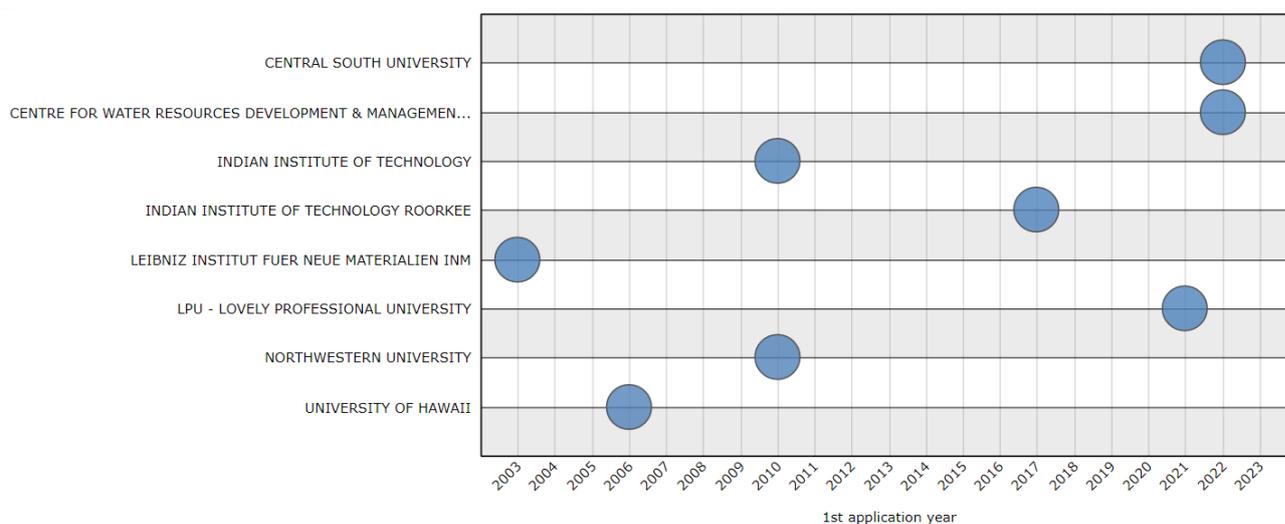


Рисунок 16 – Эволюция заявок на патенты с 2003 по 2023 гг.

По рисунку выше видно, что максимально близкие решения, к разрабатываемому, равномерно распределены и большее число патентов находится во временном промежутке 2020-2023 года, что может означать, что данная отрасль развивается и регистрация решений по данной тематике является актуальной задачей.

Первая работа [55] представляет способ синтеза углерод-магнетитных нанокompозитов. Данный сорбент применяют для очистки воды от ионов мышьяка. Технология представляет собой более сложный синтез нанокompозита, нежели синтез, рассматриваемый в текущей работе. Из плюсов разработки, следует отметить установку для очистки воды, которая циклично прогоняет воду через фильтр и анализатор загрязнителя, пока содержание загрязнителя в воде не достигнет допустимого уровня. Данная разработка указана в таблице 8, как «Аналог 1».

В следующей работе [56] также получают композит, содержащий восстановленный оксид графена и магнитные наночастицы. Синтез, осуществляется в несколько этапов и восстановление оксида графена происходит за счет приложения микроволнового излучения, что усложняет синтез и делает его более дорогостоящим. Данная разработка указана в таблице 8, как «Аналог 2».

Ещё один патент [57] описывает синтез нанокompозита для очистки воды. В синтезе композита используют углеродные нанотрубки, что существенно дороже графенового порошка, который используется в текущей работе. Также применяются высокие температуры около 700 °C, что также усложняет синтез продукта. Данная разработка указана в таблице 8, как «Аналог 3».

Вынесем преимущества и недостатки по отношению к разрабатываемому продукту в таблицу 8.

Таблица 8 – Преимущества и недостатки конкурентов

Наименование	Текущая работа	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3
Одностадийный синтез	+	-	-	-
Магнитные свойства	+	+	+	+
Стоимость производства относительно текущей работы	-	Выше	Выше	Выше
Удаление ионов тяжелых металлов	+	-	+	+

По таблице можно сделать вывод, что разрабатываемый продукт превосходит аналоги по нескольким критериям.

4.7 Целевые сегменты потребителей

Целевым сегментом продукта являются предприятия производители фильтров для очистки воды, предприятия различных металлургических комплексов или же жители регионов, для которых характерно загрязнение сточных вод тяжелыми металлами. Поскольку порошок может использоваться как в проточных фильтрах, так и в фильтрах с отстойниками, что позволяет использовать продукт не только в бытовых нуждах, но и для предприятий. С каждым годом вопрос о защите окружающей среды больше актуализируется, и многие промышленные предприятия обязуют принимать меры по ограничению выбросов загрязненной воды. Но во избежание сокращений производств, можно подвергнуть очистке уже загрязненную воду.

Также был составлен портрет клиента – покупателя инновационного фильтра для воды:

Возраст: 25-45 лет.

Интересы: Здоровый образ жизни, экология, инновации, новые технологии, качество питьевой воды.

Уровень доходов: Средний или выше среднего уровня.

Сознательность: Клиент стремится поддерживать здоровый образ жизни и уделяет внимание качеству питьевой воды. Он осознает важность потребления чистой и безопасной воды для своего здоровья и хочет обеспечить себя и свою семью качественной водой.

Экологическая осознанность: Клиент интересуется вопросами экологии и стремится выбирать продукты, которые минимально нагружают окружающую среду. Он может быть заинтересован в фильтрах, которые помогают уменьшить использование одноразовых пластиковых бутылок и способствуют снижению загрязнения окружающей среды.

Технологическая ориентация: Клиент интересуется новыми технологиями и инновациями. Он может быть заинтересован в фильтрах с инновационными материалами, которые обеспечивают более эффективную очистку воды и имеют преимущества перед традиционными фильтрами.

Финансовая возможность: Клиент имеет средний или выше среднего уровня доходы, что позволяет ему инвестировать в качественное оборудование и продукты для обеспечения своего здоровья и благополучия своей семьи.

Учитывая эти характеристики, клиенту могут быть интересны фильтры для воды с инновационным материалом, обеспечивающие эффективную очистку воды от токсичных элементов, имеющие долгий срок службы и энергоэффективность. Клиент также может быть заинтересован в фильтрах, которые имеют стильный дизайн и интегрируются в современный интерьер.

4.8 Бизнес-модель проекта. Производственный план и план продаж

Четкое понимание бизнес-положения разрабатываемых продуктов может быть получено с помощью применения методологии S.P.A.C.E. Приведем краткое описание сути методологии. В данном случае, S.P.A.C.E. это аббревиатура, где S – Supplier (типаж поставщика: хирург, терапевт, аптека), P – Product (продукт по простоте реализации и использования: кухня, смартфон, фонарик), A – Average (стоимость продукта: дорого, доступно, дешево), C – Customer (количество потенциальных покупателей: мало заказчиков, крупный рынок, массовый рынок), E – Evaluation (принятие решения о покупке: коллегиальное решение, совет друзей, спонтанное решение). На основе имеющихся данных о продукте, запросах потенциальных потребителей, собственном понимании проблематики и позиционировании продукта построим SPACE-модель (рисунок 17).

По полученной диаграмме видно, что по стоимости товар занимает промежуточное значение между дешево и доступно, это объясняется тем, что продукт имеет много конкурентов и не является принципиально новым продуктом на рынке, поэтому конкуренция возможна за счет более низкой цены. Процесс внедрения и использования данного фильтра обещает быть простым и доступным, с максимально понятным способом эксплуатации. Предполагается, что заказчик при покупке будет опираться на собственные предпочтения при выборе фильтра для воды.

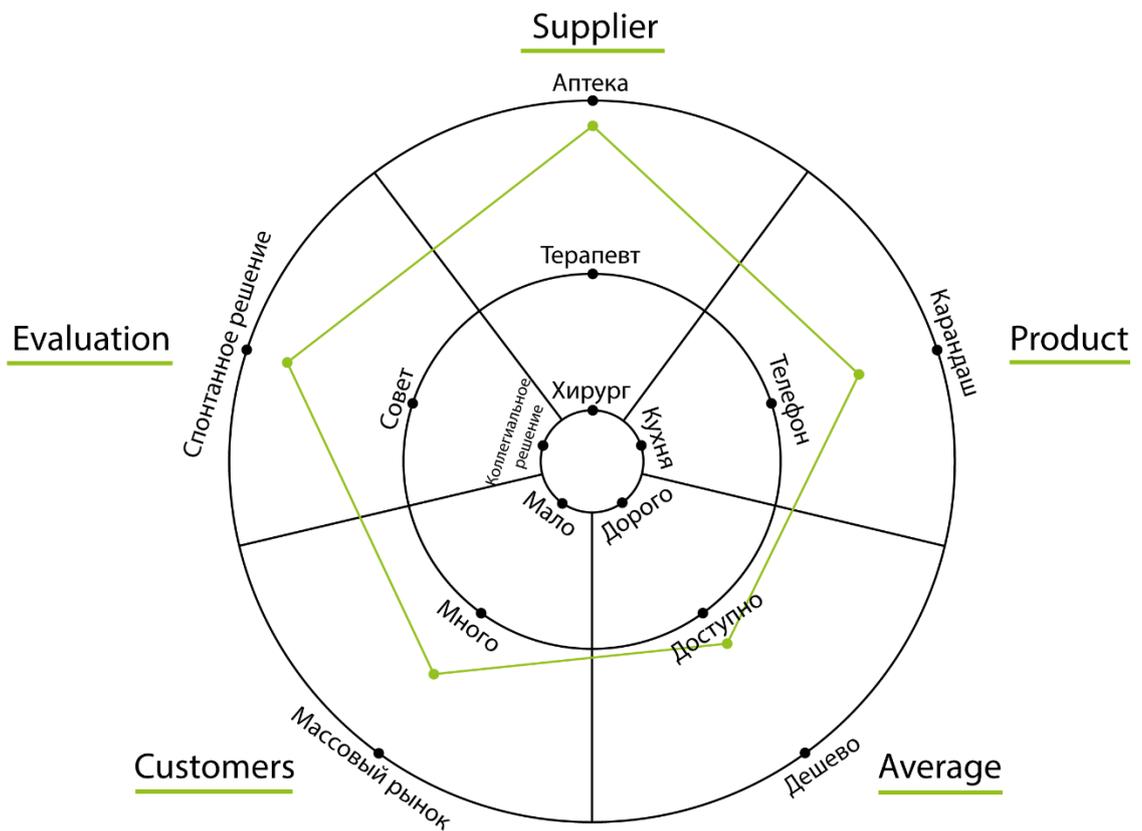


Рисунок 17 – SPACE-модель

Помимо SPACE-модели была применена матрица А. Остервальдера (таблица 9). Она отражает как производственный план, так и план продаж, и саму бизнес-модель процесса в целом.

Таблица 9 – Бизнес-модель по Остервальдеру

Ключевые партнеры	Ключевые виды деятельности	Ценностные предложения	Взаимодействие с клиентами	Потребительские сегменты
<p>Со-конкуренция: - Производители фильтров для воды;</p> <p>Стратегическое сотрудничество со следующими партнерами: - ООО «НПО АРГЕЛЛИТ» (г. Томск) - Поставщики химических реагентов;</p>	<p>- Производство. Производство газогенераторов, аппаратов для дистилляции, фильтрования или очистки жидкости и газов. (ОКВЭД 29.24.1)</p>	<p>Проблема: рост заболеваний, вызванных интоксикацией мышьяком при употреблении неочищенной воды. Решение: очистка воды от мышьяка и других токсичных веществ. Продукт: фильтр для воды с новым композитным материалом.</p>	<p>- Сайт с информацией о продукте и возможностью оформления заказов. - Взаимодействие с лидами. - Маркетплейсы.</p>	<p>Выделены следующие сегменты: Продажи на рынке B2B: - Производители фильтров для воды;</p>
	<p>Ключевые ресурсы</p>		<p>Каналы сбыта</p>	
	<p>- Инвестиционные ресурсы грантовых конкурсов (УМНИК, СТАРТ и т.д.) - Команда стартапа; - Материальные (реагенты, расходники на создание фильтра);</p>		<p>- Сайт проекта; - Продажи через специализированные выставки; - Продажи через маркетплейсы.</p>	
<p>Структура издержек</p>		<p>Потоки поступления доходов</p>		
<p>- Переменные (закупка реагентов, расходные материалы); - Постоянные (заработная плата, аренда, амортизационные отчисления, аутсорсинг);</p>		<p>- Доход от разовых сделок с клиентами; Генерирование дохода за счет: - Масштабирования продукта;</p>		

На основе прогноза о продажах и оценке чистой прибыли и планируемой амортизации, построен денежный поток от операционной и инвестиционной деятельности (таблица 10).

Таблица 10 – Денежные потоки на 4 года

	1 год	2 год	3 год	4 год
Денежный поток, тыс. рублей	475	-143	2817	7257

Далее определены показатели эффективности инвестиций – NPV, PI, DPP, IRR, которые представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Показатели эффективности инвестиций

Дисконтированный период окупаемости, месяцев	10
Чистый приведенный доход за 4 года, тыс. рублей	5139,63
Внутренняя норма доходности, %	136
Индекс прибыльности за 4 года	9,27

Все показатели соответствуют критериям эффективности, а значит проект следует считать коммерчески эффективным.

При определении ставки дисконтирования были приняты средние уровни депозитов в современных условиях. Ставка дисконтирования была оценена на уровне 16 %. Однако, даже при её росте, запас финансовой прочности модели составляет $136\% - 16\% = 120\%$.

4.9 Стратегия продвижения продукта на рынок

Стратегия продвижения продукта на рынок представляет собой совокупность действий, таких как реклама, продвижение, послепродажное обслуживание, поддержание торговой точки. Положительной стороной для продвижения данной продукции на рынок является её направленность на

определенные компании, поэтому мы можем вычислить всех клиентов и работать конкретно с ними.

На первой стадии бизнеса для выхода на рынок, привлечения клиентов и демонстрации продукции планируется предложить крупным компаниям, мнение которых ценится на рынке, бесплатно протестировать фильтр на производстве с целью получения отзыва о продукции. Предложение пробных версий потенциальным потребителям позволит зарекомендовать продукт в крупных компаниях, а оставленный и опубликованный отзыв вызовет доверие у других потенциальных клиентов. Также необходимо активно рекламировать продукт и настраивать каналы сбыта через маркетплейсы.

Продвижение принципиально новой продукции должно сопровождаться информационной поддержкой продаж. В каждой крупной компании есть отдел научных разработок, который занимается поиском и внедрением новых технических решений. Поэтому параллельным этапом продвижения фильтра для воды на рынок будет формирование информационного фонда. Основа этого фонда – статьи в журналах о природопользовании или медицинских, так как предотвращение попадания в живой организм токсичных элементов, способно снижать риски образования многих заболеваний. Но статьи следует писать так, чтобы они не выглядели как рекламные. Лучше, если они будут восприниматься как журналистские или научные: это в разы повышает доверие.

Так как отрасль наукоемкая, положительное влияние на продвижение продукта окажут научные публикации в профильных журналах, участие в специальных профессиональных выставках для поиска партнеров. Участие в международных выставках позволит расширить клиентскую базу и повышать продажи, конкурентоспособность и увеличивать репутационный капитал.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
0Б91		Галстенкова Мария Романовна	
Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема ВКР:

Получение и исследование магнитных наночастиц на основе магнетита

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> магнитные наночастицы на основе магнетита и восстановленного оксида графена. <i>Область применения:</i> научные исследования в лаборатории физического материаловедения. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория. <i>Размеры помещения:</i> 20*30 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> магнитная мешалка, трехгорлая круглодонная колба, лабораторные весы, ПЭВМ, вытяжной шкаф. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> синтез наночастиц, анализ данных.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 27.12.2018) – ГОСТ 12.2.032-7 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.» – Электробезопасность ГОСТ 12.1.038-82
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата – Превышение уровня шума – Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения – Повышенный уровень воздействия электромагнитного излучения – Нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов слуха) <p>Опасные:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Поражение электрическим током
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на атмосферу: выброс в атмосферу химических веществ</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Сильные морозы – Пожар – Взрыв <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожар
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Галстенкова Мария Романовна		

5. Социальная ответственность

5.1 Введение

Раздел «Социальная ответственность» нацелен на разработку проектных решений, предотвращающих возникновение чрезвычайных ситуаций в производстве, а также на уменьшение воздействия отходов разного класса опасности на окружающую среду.

Объект исследования представляет из себя композитные микропорошки на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена, изготовленные при разном содержании компонентов порошка. Получение композитного микропорошка на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена происходит в помещении лаборатории с размерами рабочей зоны 5*6 м, которая оснащена следующими видами оборудования: вытяжной шкаф СОВЛАБ (Россия), магнитная мешалка IKA-RH basic (IKA, Германия), лабораторные весы ANG GF-123A (AND, Япония).

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: приготовление композита методом со осаждения наночастиц магнетита на листах оксида графена, контроль процесса синтеза, сушка порошка в воздушной среде.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Научно-исследовательская работа выполнялась в лабораторном помещении научно-исследовательского центра «Физическое материаловедение и композитные материалы».

Продолжительность рабочего времени, а именно начало и его окончание определена по соглашению сторон работодателя и работника в соответствии с главой 16 ст.102 ТК РФ «Работа в режиме гибкого рабочего времени» [58].

Выполнение работ связано с воздействием вредных и (или) опасных факторов производственной среды, в связи с чем, работникам бесплатно выдаются средства индивидуальной защиты и смывающие средства, в соответствии с главой 36 ст.221 ТК РФ «Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты» Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. От 27.12.2018) [58].

Поступающие на работу допускаются к исполнению своих обязанностей только после вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности. Проведение всех видов инструктажа регистрируется в журнале. Работа в лаборатории с химическими реактивами, проводится только в вытяжных шкафах, также происходит осмотр оборудования, наведение порядка на рабочем месте, применение индивидуальных средств защиты по ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [59].

При проведении социальной оценки условий труда на рабочем месте, работник вправе обращаться к эксперту, проводящей специальную оценку условий труда с предложениями по осуществлению на его рабочем месте идентификации потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов и за получением разъяснений по вопросам проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. « 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [60].

5.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Стол в рабочей зоне исследователя должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте. Рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам. При выполнении работ в положении стоя рабочее место и оборудование должны гарантировать прямое и свободное положение корпуса работающего тела или наклон его вперед не более чем на 15°. Для обеспечения удобного подхода к столу или оборудованию должно быть предусмотрено пространство для стоп. В помещении должен быть организован воздухообмен. При работе с органами управления установки, все органы управления должны быть в зоне досягаемости моторного поля согласно ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя [61].

Персонал допускается к работе только в средствах индивидуальной защиты. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [59].

5.3 Производственная безопасность

В процессе исследования с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов общий этап работ может быть разделен на три основных этапа:

- 1) Разработка образцов: проведение теоретических расчетов (работа на персональном компьютере), получение композита в водной среде;
- 2) Изготовление образцов: сушка микропорошка на основе наночастиц магнетита и восстановленного оксида графена в воздушной среде;

- 3) Эксплуатация образцов: проведение исследований на сорбцию микропорошка, изучение структуры образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа, проведение испытаний на импульсном магнитометре.

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

Таблица 12 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при выполнении НИР

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
2	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды;	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности;
3	Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека;	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности; СанПиН 1.2.3685-21. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны; ГОСТ 12.1.000-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
4	Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;

	уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума);	СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНИП 23-03-2003.
5	Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов);	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»;
6	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНИП 23-05-95*; СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий;
7	Производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека.	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»

5.3.2 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под воздействие которого попадает работающий

При изготовлении образцов микропорошка возникает необходимость работы на электрооборудовании, таком как, вытяжной шкаф СОВЛАБ (Россия), магнитная мешалка IKA-RH basic (IKA, Германия), лабораторные весы ANG GF-123A (AND, Япония), вследствие чего возникает вероятность прохождения электрического тока через тело человека. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляются в виде электротравм

(судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов. Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Напряжение прикосновения и токи при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений 8 В и 1 мА, соответственно для постоянного тока или 2 В, 0,3 мА для переменного тока частотой 50 Гц согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [62].

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применение таких технических способов и средств основной защиты, как: основная изоляция, защитное отключение, безопасное расположение токоведущих частей, средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [63].

5.3.3 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды

В результате неполадок такого электрического оборудования, как магнитная мешалка IKA-RH basic (IKA, Германия), которая является объектом производственной среды, связанная с нагревом плитки от 100°C до 360°C, что может вызвать ожоги тканей организма человека.

Конструкция производственного оборудования и (или) его размещение должны исключать контакт его горючих частей с пожаровзрывоопасными веществами, если такой контакт может явиться причиной пожара или взрыва, а также исключать возможность соприкосновения работающего с горячими

частями или нахождение в непосредственной близости от таких частей, если это может повлечь за собой травмирование, перегрев работающего. Если назначение производственного оборудования и условия его эксплуатации (например, использование вне производственных помещений) не могут полностью исключить контакт работающего с горячими его частями, то эксплуатационная документация должна содержать требование об использовании средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производное. Общие требования безопасности [64].

Конструкция производственного оборудования должна исключать опасность, вызываемую разбрызгиванием горячих обрабатываемых и (или) используемых при эксплуатации материалов и веществ. Если конструкция не может полностью обеспечить исключение такой опасности, то эксплуатационная документация должна содержать требования об использовании средств защиты, не входящих в конструкцию [64].

5.3.4 Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека

В процессе подготовки к работе с получением политетрафторэтилен мембран и после, необходимо применение следующим реактивов: ортофосфорная кислота (синтез микрокомпозита), серная кислота (синтез микрокомпозита), перманганат калия (синтез микрокомпозита).

Ортофосфорная кислота по степени воздействия на организм человека относят к веществам II-го класса опасности (высокоопасные вещества) [65]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров ортофосфорной кислоты в воздухе рабочей зоны производственных помещений составляет – 1 мг/м³ [66]. Работы проводятся в вытяжном шкафу с применением средств индивидуальной защиты [64]. При воздействии на организм человека вызывает ожоги, пары ортофосфорной кислоты вызывают атрофические

процессы в слизистой носа, носовые кровотечения, изменение флоры крови и др.

Серная кислота по степени воздействия на организм человека относят к веществам II-го класса опасности (высокоопасные вещества) [65]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров серной кислоты в воздухе рабочей зоны производственных помещений составляет – 1 мг/м³ [66]. Работы проводятся в вытяжном шкафу с применением средств индивидуальной защиты [64]. Опасное влияние серной кислоты распространяется на дыхательную систему, кожные покровы, слизистые оболочки.

Перманганат калия по степени воздействия на организм человека относят к веществам II-го класса опасности (высокоопасные вещества). Предельно допустимая концентрация (ПДК) гидроксида калия в воздухе рабочей зоны производственных помещений составляет – 0,5 мг/м³ [65]. Работы проводятся в вытяжном шкафу с применением средств индивидуальной защиты [64]. В результате попадания гидроксида калия в дыхательные пути, может вызвать поражение легких, приступ кашля, ожоги.

5.3.5 Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)

При работе в лаборатории с электрооборудованием и работе вентиляционных систем помещения, возникают звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, которые способны оказать вредное воздействие на безопасность и здоровья работника.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты, увеличению риска

артериальной гипертензии, болезнй сердечно-сосудистой, нервной системы и др. [67].

Таблица 13 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях производственных, жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СнИП 23-03-2003 [68].

Назначение помещений или территорий	Для источников постоянного шума								Для источника непостоянного шума			
	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука скорректированный по А, L _A , дБ	Эквивалентный скорректированный по А уровень звука L _{Aэв} , дБ	Максимальный скорректированный по А уровень звука L _{Aмакс} , дБ	
	Время суток, ч											
Помещения лаборатории для проведения экспериментальных работ, помещения для измерительных и аналитических работ	-											
	103	31,5										
	91	63										
	83	125										
	77	250										
	70	500										
	68	1000										
	66	2000										
	64	4000										
	75	8000										
75	Уровень звука скорректированный по А, L _A , дБ											
75	Эквивалентный скорректированный по А уровень звука L _{Aэв} , дБ											
90	Максимальный скорректированный по А уровень звука L _{Aмакс} , дБ											

Для защиты от воздействия шума на организм человека возможно применение архитектурно-планировочных методов, которые включают в себя:

рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов, рациональное размещение рабочих мест, создание шумозащитных зон в различных местах нахождения человека согласно ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [69].

5.3.6 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)

При производстве композитного микропорошка необходим контроль процесса синтеза, который вызывает зрительную и умственную нагрузку на организм человека.

При умственной нагрузке необходима длительность сосредоточенного внимания, выраженная ответственность, плотность сигналов и сообщений в единицу времени по МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [70]. Оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти (кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок).

При зрительной нагрузке необходима высокая координация сенсорных и моторных элементов зрительной системы. Вызывает головную боль, ухудшение зрения, астенопию – патологического состояния, связанного с быстрым переутомлением глаз.

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции.

5.4 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Наибольшую опасность при изготовлении образцов представляют пары серной кислоты и ортофосфорной.

Ортофосфорная кислота по степени воздействия на организм человека относят к веществам II-го класса опасности (высокоопасные вещества) [65]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров ортофосфорной кислоты в воздухе рабочей зоны производственных помещений составляет – 1 мг/м³ [66]. Работы проводятся в вытяжном шкафу с применением средств индивидуальной защиты [64]. При воздействии на организм человека вызывает ожоги, пары ортофосфорной кислоты вызывают атрофические процессы в слизистой носа, носовые кровотечения, изменение флоры крови и др. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 относится к 3-й категории опасности – вещества умеренно опасные.

Серная кислота по степени воздействия на организм человека относят к веществам II-го класса опасности (высокоопасные вещества) [65]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров серной кислоты в воздухе рабочей зоны производственных помещений составляет – 1 мг/м³ [66]. Работы проводятся в вытяжном шкафу с применением средств индивидуальной защиты [64]. Опасное влияние серной кислоты распространяется на дыхательную систему, кожные покровы, слизистые оболочки. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 относится к 3-й категории опасности – вещества умеренно опасные.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Самым распространенным видом ЧС является пожар. Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т.д. Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- 1) использование только исправного оборудования;
- 2) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- 3) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- 4) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды [71].

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к выходу.

Вывод по разделу «Социальная ответственность»

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами

психофизиологического воздействия на организм человека. Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности [72].

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» [73].

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током [74].

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [75].

Помещение лаборатории категории помещения группы Б, взрывопожароопасное, согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [76]. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории [75].

Заключение

В ходе работы были получены магнитные наночастицы на основе магнетита. Наночастицы были получены на поверхности оксида графена с одновременным восстановлением последнего до восстановленного оксида графена. Было изучено влияние состава нанокompозита на его магнитные и сорбционные свойства.

Проведенные исследования показали, что полученные наночастицы магнетита хорошо распределены по поверхности листов восстановленного оксида графена, средний размер наночастиц составил от 18 до 40 нм, в зависимости от доли магнетита в составе нанокompозита. Также химический состав нанокompозита был подтверждён с помощью энергодисперсионного рентгеновского анализа.

Результаты рентгенофазового анализа подтвердили наличие чистого по фазовому составу магнетита (Fe_3O_4). Из спектров комбинационного рассеяния света для композита были обнаружены валентные симметричные колебания Fe – O магнетита в нанокompозите и увеличение соотношения интенсивностей пиков D и G для оксида графена, что указывает на наличие локализованных sp^3 дефектов из-за окисленного sp^2 домена в углеродном скелете и, как следствие, на протекающий процесс восстановления.

Исследование магнитных свойств показало, что добавление магнетита в структуру восстановленного оксида графена способствует приданию магнитных свойств нанокompозиту $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{VOG}$, наивысшее значение намагниченности насыщения составила $74 \text{ эрг/Гс}\cdot\text{см}^3$.

Исследование сорбционных свойств показал, что удаление ионов мышьяка нанокompозитом составило 81% за 1 минуту контакта, данный результат выше, чем у аналогичных материалов, описанных в литературных источниках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Almomani F. Et al. Heavy metal ions removal from industrial wastewater using magnetic nanoparticles (MNP) //Applied Surface Science. – 2020. – Т. 506. – С. 144924.
2. Nordin A. H. Et al. Surface functionalization of cellulose with polyethyleneimine and magnetic nanoparticles for efficient removal of anionic dye in wastewater //Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Т. 9. – №. 1. – С. 104639.
3. Шуленина, Александра Владимировна. «Исследования структурных особенностей стабилизации систем биосовместимых наночастиц магнетита методами рассеяния рентгеновского излучения.» Москва (2019).
4. Слейбо, У., and Т. Персонс. Общая химия: Пер. с англ. Мир, 1979.
5. Коцуг, Д. Г., and О. Д. Кротова. «Физика минералов.» Москва: Издательство Московского Университета (2004).
6. Nkurikiyimfura I. Et al. Temperature-dependent magnetic properties of magnetite nanoparticles synthesized via coprecipitation method //Journal of Alloys and compounds. – 2020. – Т. 846. – С. 156344.
7. Narayanaswamy V. et al. Role of magnetite nanoparticles size and concentration on hyperthermia under various field frequencies and strengths //Molecules. – 2021. – Т. 26. – №. 4. – С. 796.
8. Ong H. T., Suppiah D. D., Julkapli N. M. Fatty acid coated iron oxide nanoparticle: Effect on stability, particle size and magnetic properties //Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2020. – Т. 606. – С. 125371.
9. Zhang D. Et al. Strong adsorption of chlorotetracycline on magnetite nanoparticles //Journal of Hazardous Materials. – 2011. – Т. 192. – №. 3. – С. 1088-1093.

10. Pryadko, Artyom S., et al. "Core-Shell Magnetoactive PHB/Gelatin/Magnetite Composite Electrospun Scaffolds for Biomedical Applications." *Polymers* 14.3 (2022): 529.
11. Botvin, Vladimir V., et al. "Magnetoactive electrospun hybrid scaffolds based on poly (vinylidene fluoride-co-trifluoroethylene) and magnetite particles with varied sizes." *Polymer Engineering & Science* 62.5 (2022): 1593-1607.
12. Ceyhan, Eray, et al. "Electronic and magnetic properties of single-layer FeCl₂ with defects." *Physical Review B* 103.1 (2021): 014106.
13. Williams, Marc J., et al. "Microwave-assisted synthesis of highly crystalline, multifunctional iron oxide nanocomposites for imaging applications." *Rsc Advances* 6.87 (2016): 83520-83528.
14. Угай, Я. А. «Особенности химии немалекулярных (координационных) структур.» *Соросовск. Образ, журнал* 3 (1996): 28-33.
15. Lingamdinne L. P., Koduru J. R., Karri R. R. A comprehensive review of applications of magnetic graphene oxide based nanocomposites for sustainable water purification // *Journal of environmental management*. – 2019. – Т. 231. – С. 622-634.
16. Minitha C. R., Martina Susan Arachy M., Rajendra Kumar R. T. Influence of Fe₃O₄ nanoparticles decoration on dye adsorption and magnetic separation properties of Fe₃O₄/rGO nanocomposites // *Separation Science and Technology*. – 2018. – Т. 53. – №. 14. – С. 2159-2169.
17. Parham H., Rahbar N. Solid phase extraction–spectrophotometric determination of fluoride in water samples using magnetic iron oxide nanoparticles // *Talanta*. – 2009. – Т. 80. – №. 2. – С. 664-669.
18. Vuong Hoan N. T. et al. Fe₃O₄/reduced graphene oxide nanocomposite: synthesis and its application for toxic metal ion removal // *Journal of Chemistry*. – 2016. – Т. 2016.
19. Zhang D. et al. Strong adsorption of chlorotetracycline on magnetite nanoparticles // *Journal of Hazardous Materials*. – 2011. – Т. 192. – №. 3. – С. 1088-1093.

20. Thakur K., Kandasubramanian B. Graphene and graphene oxide-based composites for removal of organic pollutants: a review //Journal of Chemical & Engineering Data. – 2019. – Т. 64. – №. 3. – С. 833-867.
21. Bagheri A. R. Et al. Two-dimensional materials as a platform in extraction methods: A review //TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2022. – С. 116606.
22. Li W. Et al. A facile method to produce graphene oxide-g-poly (L-lactic acid) as an promising reinforcement for PLLA nanocomposites //Chemical Engineering Journal. – 2014. – Т. 237. – С. 291-299.
23. Zhao Q., Liu J., Wang Y., Tian W., Liu J., Zang J., Ning H., Yang C., Wu M. Novel in-situ redox synthesis of Fe₃O₄/rGO composites with superior electrochemical performance for lithium-ion batteries // Electrochimica Acta. – 2018. – Т. 262. – С. 233-240.
24. Технологии исследования состава и структуры перспективных электротехнических материалов [Электронный ресурс]. URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/d/DIMMASSIKK/academics/Tab5/Рентген и микроскопия.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/d/DIMMASSIKK/academics/Tab5/Рентген%20и%20микроскопия.pdf). (дата обращения: 06.05.2023)
25. Бокий, Г. Б., and М. А. Порай-Кошиц. «Рентгеноструктурный анализ.» М.: Изд-во МГУ 1 (1964): 620.
26. Lo, F. F., Kow, K. W., Kung, F., Ahamed, F., Kiew, P. L., Yeap, S. P., Chua, H. S., Chan, C. H., Yusoff, R., & Ho, Y. K. (2021). Effect of magnetic field on nano-magnetite composite exhibits in ion-adsorption. Science of the Total Environment, 780, 146337.
27. Вагнер Д. В. И др. Определение намагниченности насыщения и поля анизотропии поликристаллических и порошковых ферромагнетиков в импульсных магнитных полях: учебно-методическое пособие. – 2022.
28. Кочеров В. И. и др. Инверсионная вольтамперометрия: учебно-методическое пособие по курсу «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» //Екатеринбург: УрФУ. – 2010.

29. Широких А. Д. Оствальдово созревание // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал – URL: <https://bigenc.ru/c/ostval-dovo-sozrevanie-ef9e2b/?v=3715027>. – Дата публикации: 18.05.2022

30. Tang, Y.; Guo, H.; Xiao, L.; Yu, S.; Gao, N.; Wang, Y., Synthesis of reduced graphene oxide/magnetite composites and investigation of their adsorption performance of fluoroquinolone antibiotics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2013, 424, 74-80.

31. Kaniyoor, A.; Ramaprabhu, S., A Raman spectroscopic investigation of graphite oxide derived graphene. *Aip Advances* 2012, 2 (3), 032183.,

32. Muzyka, R.; Drewniak, S.; Pustelny, T.; Sajdak, M.; Drewniak, Ł., Characterization of graphite oxide and reduced graphene oxide obtained from different graphite precursors and oxidized by different methods using Raman spectroscopy statistical analysis. *Materials* 2021, 14 (4), 769.

33. Kumar, R.; Mehta, B. R.; Bhatnagar, M.; Mahapatra, S.; Salkalachen, S.; Jhavar, P., Graphene as a transparent conducting and surface field layer in planar Si solar cells. *Nanoscale Research Letters* 2014, 9 (1), 1-9.

34. Ni, Z.; Wang, Y.; Yu, T.; Shen, Z., Raman spectroscopy and imaging of graphene. *Nano Research* 2008, 1 (4), 273-291.

35. He J., Song G., Wang X., Zhou L., Li J. Multifunctional magnetic Fe₃O₄/GO/Ag composite microspheres for SERS detection and catalytic degradation of methylene blue and ciprofloxacin // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2022. – Т. 893. – С. 162226.

36. Ni Z., Wang Y., Yu T., Shen Z. Raman spectroscopy and imaging of graphene // *Nano Research*. – 2008. – Т. 1, № 4. – С. 273-291.

37. Dobrynin A., Ievlev D., Temst K., Lievens P., Margueritat J., Gonzalo J., Afonso C. N., Zhou S., Vantomme A., Piscopiello E. Critical size for exchange bias in ferromagnetic-antiferromagnetic particles // *Applied Physics Letters*. – 2005. – Т. 87, № 1. – С. 012501.

38. Oraby H. et al. Tuning Electro-Magnetic Interference Shielding Efficiency of Customized Polyurethane Composite Foams Taking Advantage of rGO/Fe₃O₄ Hybrid Nanocomposites // *Nanomaterials*. – 2022. – T. 12. – №. 16. – C. 2805.
39. Rhoden, C. R. B.; da Silva Bruckmann, F.; da Rosa Salles, T.; Junior, C. G. K.; Mortari, S. R., Study from the influence of magnetite onto removal of hydrochlorothiazide from aqueous solutions applying magnetic graphene oxide. *Journal of Water Process Engineering* 2021, 43, 102262.
40. Kaysay M. H. et al. Magnetite nanoparticle decorated reduced graphene oxide for adsorptive removal of crystal violet and antifungal activities // *RSC advances*. – 2020. – T. 10. – №. 57. – C. 34916-34927.
41. Chandra V. et al. Water-dispersible magnetite-reduced graphene oxide composites for arsenic removal. *ACS Nano* 4: 3979–3986. – 2010.
42. Xu J., Yang H., Fu W., Du K., Sui Y., Chen J., Zeng Y., Li M., Zou G. Preparation and magnetic properties of magnetite nanoparticles by sol–gel method // *Journal of Magnetism and magnetic Materials*. – 2007. – T. 309, № 2. – C. 307-311.
43. Bui T. Q., Ton S. N.-C., Duong A. T., Tran H. T. Size-dependent magnetic responsiveness of magnetite nanoparticles synthesized by co-precipitation and solvothermal methods // *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. – 2018. – T. 3, № 1. – C. 107-112.
44. Kanel, S. R.; Manning, B.; Charlet, L.; Choi, H., Removal of arsenic (III) from groundwater by nanoscale zero-valent iron. *Environmental science & technology* 2005, 39 (5), 1291-1298.
45. Chandra, V.; Park, J.; Chun, Y.; Lee, J. W.; Hwang, I.-C.; Kim, K. S., Water-dispersible magnetite-reduced graphene oxide composites for arsenic removal. *ACS nano* 2010, 4 (7), 3979-3986.
46. Gu, Z.; Deng, B.; Yang, J., Synthesis and evaluation of iron-containing ordered mesoporous carbon (FeOMC) for arsenic adsorption. *Microporous and mesoporous materials* 2007, 102 (1-3), 265-273.

47. Kanel, S. R.; Manning, B.; Charlet, L.; Choi, H., Removal of arsenic (III) from groundwater by nanoscale zero-valent iron. *Environmental science & technology* 2005, 39 (5), 1291-1298.

48. Kumar, S.; Nair, R. R.; Pillai, P. B.; Gupta, S. N.; Iyengar, M.; Sood, A. K., Graphene oxide–MnFe₂O₄ magnetic nanohybrids for efficient removal of lead and arsenic from water. *ACS applied materials & interfaces* 2014, 6 (20), 17426-17436.

49. Wallyn J., Anton N., Vandamme T. F. Synthesis, principles, and properties of magnetite nanoparticles for in vivo imaging applications—A review //Pharmaceutics. – 2019. – Т. 11. – №. 11. – С. 601.

50. Yau X. H. Et al. Magnetically recoverable magnetite-reduced graphene oxide as a demulsifier for surfactant stabilized crude oil-in-water emulsion //PloS One. – 2020. – Т. 15. – №. 4. – С. E0232490.

51. Paulino A. T. et al. Effect of magnetite on the adsorption behavior of Pb (II), Cd (II), and Cu (II) in chitosan-based hydrogels //Desalination. – 2011. – Т. 275. – №. 1-3. – С. 187-196.

52. Баринова И. А., Бленцов И. В., Кошин И. Н. АНАЛИЗ РЫНКА БЫТОВЫХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ //XLIV Огаревские чтения. – 2016. – С. 313-317.

53. Сетевое издание Информационный ресурс СПАРК: [Электронные ресурс]. URL: <https://spark-interfax.ru/> (Дата обращения: 27.04.2023).

54. Анализ рынка бытовых фильтров для питьевой воды в России: [Электронные ресурс]. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/46333/> (Дата обращения: 20.04.2023).

55. Viswanathan T. Methods of synthesizing carbon-magnetite nanocomposites from renewable resource materials and application of same : пат. 8790615 США. – 2014.

56. Ling Y. C., Gollavelli G. Method for fabricating magnetic graphene-based nanocomposite : заяв. пат. 13607746 США. – 2014.

57. Salam M. A., Gabal M. A., Obaid A. Y. Method and nanocomposite for treating wastewater : пат. 9156021 США. – 2015.
58. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
59. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)
60. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ
61. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя
62. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
63. ГОСТ 12.1.019- 2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
64. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности
65. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
66. ГН 2.1.6.3492 – 17. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.
67. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
68. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
69. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
70. МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»

71. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

72. МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности

73. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

74. Приказа Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 г. №903н "Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок"

75. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"

76. СП 12.13130.2009 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ, ЗДАНИЙ И НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ.