

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Применение нанокаталитических систем для переработки углеводородов
УДК <u>665.73:661.87:544.7</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ72	Балташ Риза Максуткызы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Годымчук А.Ю.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения социально - гуманитарных наук	Рагозин Д.В.	К.И.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Исаева Е.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии»	Хасанов О.Л.	профессор, Д.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись)

(Дата)

Хасанов О.Л.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ72	Балташ Ризе Максуткызы

Тема работы:

Применение нанокаталитических систем для переработки углеводородов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Приказ № 3075/с от 28.04.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2019

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделю или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

- 1) Источники литературы: базы данных www.sciencedirect.com, www.elibrary.ru, www.scopus.com, www.elsevierscience.ru.
- 2) Оборудование и лабораторный инвентарь НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета, лаборатории углеводородов и высокомолекулярных соединений нефти Института химии нефти СО РАН, кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСИС».
- 3) Объекты исследования: нанопорошки оксида железа.
- 4) Требования к продукту: суспензии наночастиц оксидов железа в дисперсионной среде, совместимой с тяжелым углеводородным сырьем, с повышенной агрегативной устойчивостью.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам 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>	1) Литературный обзор свойств, применения, методов получения нанопорошков, основных методов переработки тяжелой нефти, и применения нанокаталитических систем в нефтепереработке. Постановка цели и задач исследования. 2) Определение размера, состава и морфологии сухих нанопорошков оксида железа методами просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, метода низкотемпературной адсорбции азота. 3) Определение влияния дисперсионной среды, размеров частиц и добавления ПАВ на седиментационные и дисперсионные свойства суспензий наночастиц оксидов железа. 4) Исследование каталитических свойств полученных суспензий при крекинге мазута.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Микрофотографии нанопорошков, рентгенограммы, кривые распределения частиц по размерам, графики изменения седиментационных и дисперсионных свойств наночастиц в различных дисперсионных средах, графики выходов продуктов крекинга.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	Рагозин Д.В.
5. Социальная ответственность	Исаева Е.С.
Приложение А (английская часть)	Кабрышева О.П.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Разделы на русском языке: Литературный обзор, экспериментальная часть, результаты и их обсуждение, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность	
Разделы на иностранном языке: Results and its discussion	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ72	Балташ Риза Максуткызы		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования магистр
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.01.2019	1. Литературный обзор	20
30.02.2019	2. Экспериментальная часть	20
30.04.2019	3. Обсуждение результатов и оформление работы	30
01.03.2019	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	10
17.04.2019	5. Социальная ответственность	10
21.05.2019	6. Обязательное приложение на иностранном языке	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 130 страниц, 17 рисунков, 28 таблиц, 135 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: наночастицы оксида железа, суспензии наночастиц, диспергирование, седиментационная устойчивость, дисперсность, агрегация, средний размер частиц, распределение частиц по размерам, нанокаталитические системы, катализ, тяжелое углеводородное сырье, мазут.

Объектом исследования являются нанопорошки оксида железа.

Целью работы являлась разработка состава нанокаталитических дисперсий в углеводородной среде с высокой агрегативной устойчивостью наночастиц оксидов железа.

В работе изучены седиментационные, дисперсионные, электрокинетические и каталитические свойства наночастиц оксида железа разной формы и происхождения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики. Разработан состав нанокаталитических дисперсий оксида железа (III) с размером частиц 20...120 нм и концентрацией 0,2...5 мг/л в дисперсионной среде, совместимой с углеводородным сырьем, с улучшенными дисперсионными, седиментационными и каталитическими свойствами: в одном агрегате содержится не более 7 наночастиц, осаждение суспензий занимает более 40 дней, выход бензиновых фракций при переработке мазута – в 2 раза выше по сравнению с термолизом без наночастиц.

Степень внедрения: разработана методика приготовления нанокаталитических дисперсий наночастиц оксида железа (III) с улучшенными агрегативными и каталитическими свойствами, способные инициировать процессы превращения тяжелого углеводородного сырья. Разработаны методические рекомендации для выполнения лабораторной работы «Экспериментальное и теоретическое определение скорости осаждения

наночастиц в углеводородных дисперсионных средах» магистрантами направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Область применения: предложенный метод предварительного диспергирования наночастиц, с последующим добавлением их в качестве каталитической добавки можно использовать при переработке тяжелого углеводородного сырья.

Экономическая эффективность/значимость работы: показана высокая эффективность применения наночастиц оксида железа в качестве иницилирующей добавки при крекинге мазута.

В будущем планируется синтез диспергированных наночастиц оксидов железа непосредственно в углеводородном сырье.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1 Наночастицы оксида железа: получение, применение, свойства	12
1.1.1 Определение и классификация наночастиц	12
1.1.2 Синтез наночастиц оксида железа.....	13
1.1.3 Применение наночастиц оксида железа.....	15
1.1.4 Каталитические свойства наночастиц оксидов железа	16
1.2 Переработка тяжелого углеводородного сырья	16
1.2.1 Актуальность переработки тяжелого углеводородного сырья.....	16
1.2.2 Основные методы переработки тяжёлого углеводородного сырья...	17
1.2.3 Применение нанокаталитических систем для переработки тяжелого УВС.....	20
1.3 Дисперсные системы	21
1.3.1 Определение и классификация дисперсных систем	21
1.3.2 Основные свойства дисперсных систем.....	22
1.3.3 Коагуляция и седиментация суспензий.....	23
1.3.4 Применение ПАВ для диспергирования наночастиц в углеводородной среде	25
1.4 Постановка цели и задач исследования.....	26
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	28
2.1 Объекты исследования	28
2.2 Исследование свойств нанопорошков	28
2.2.1 Определение фазового состава.....	28
2.2.2 Определение размера и формы.....	29
2.2.3 Определение удельной поверхности.....	29
2.3 Исследование агрегационных свойств суспензий.....	30
2.3.1 Приготовление суспензий наночастиц.....	30
2.3.2 Исследование седиментационных свойств.....	31

2.3.3	Исследование дисперсионных свойств	32
2.4	Исследование каталитических свойств наночастиц	33
2.4.1	Термолиз углеводородного сырья	33
2.4.2	Определение состава газообразных продуктов реакции	34
2.4.3	Определение фракционного состава жидких продуктов термолиза..	35
2.4.4	Определение вещественного состава жидких продуктов	35
2.4.5	Исследование бензиновой фракции	36
3	РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	37
	ВЫВОДЫ	55
4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	58
4.1	Предпроектный анализ	58
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	58
4.1.2	SWOT-анализ	60
4.1.3	Оценка степени готовности проекта к коммерциализации	61
4.1.4	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	63
4.2	Инициация проекта	64
4.2.1	Цель и результаты проекта	64
4.2.2	Организационная структура проекта	65
4.3	Планирование управления научно - исследовательским проектом	65
4.3.1	Планирование научно-технического проекта	65
4.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	66
4.3.3	Разработка графика выполнения научного исследования	68
4.3.4	Составление сметы научного исследования	70
4.3.5	Формирование сметы научно-исследовательского проекта	74
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	75
4.5	Оценка экономической эффективности проекта	78
4.6	Заключение по разделу	81

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	84
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
5.2 Производственная безопасность	86
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	87
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	92
5.3 Экологическая безопасность	93
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
5.5 Выводы по разделу	97
Список литературы	99
Список публикаций студента	114
Приложение 1. Results and its discussion	115

ВВЕДЕНИЕ

Оксиды железа широко применяются в качестве катализаторов в различных химических процессах [1-4] и вызывают интерес для глубокой переработки нефти, так как обладают рядом преимуществ по сравнению с другими используемыми катализаторами [5-6]. Уменьшение размеров оксидов железа до наномасштаба способно увеличить реакционную поверхность и более эффективно воздействовать на конверсию углеводородного сырья [7]. Однако, благодаря малому размеру и повышенной поверхностной энергии наночастицы склонны к агрегации, и их диспергирование в нефтяном сырье является не простой аналитической задачей.

Целью магистерской работы является разработка состава нанокаталитических дисперсий оксида железа в углеводородной среде с высокой агрегативной устойчивостью наночастиц оксидов железа.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Наночастицы оксида железа: получение, применение, свойства

1.1.1 Определение и классификация наночастиц

Наноматериалами называют материалы, содержащие структурные элементы, размеры которых как минимум в одном измерении не превышают 100 нм, и демонстрирующие уникальные физико-химические характеристики [8].

Наиболее распространённой классификацией наноматериалов является классификация по размерности. Наноматериалы существуют в виде нульмерных (0D), одномерных (1D), двумерных (2D) и трехмерных (3D) объектов. Наночастицы с симметрией 0D, наносферы и нанокластеры, имеют размеры менее 100 нм во всех измерениях. Одномерные наноматериалы, нанотрубки, наностержни и нановолокна, имеют размер менее 100 нм по меньшей мере в одном измерении. Двумерными наноматериалами являются пленки, покрытия, границы раздела с толщиной менее 100 нм. К, так называемым, 3D наноматериалам относят нанокристаллы [9].

Нанопорошки являются разновидностью наноматериалов, которые относятся к нульмерным объектам, и в настоящее время производятся в наибольшем количестве промышленностью. Согласно определению Международной организации по стандартизации (ISO), *нанопорошок* — твердое порошкообразное вещество искусственного происхождения, содержащее наночастицы, агрегаты или агломераты наночастиц либо их смесь [10]. Согласно международной терминологии [11] *нанопорошки* – это порошки, включающие частицы, из которых не менее 50% имеют размеры от 1 до 100 нм (наночастицы). *Наночастицы* – твердые объекты, имеющие выраженную границу с окружающей средой, размеры которых составляют от 1 до 100 нм [12].

В настоящее время нанопорошки производят из самых разных материалов и в целом объединяют в четыре группы: углеродные нанопорошки,

полимеры и композиты, чистые металлы и их соединения. Согласно аналитическим данным сегодня доля производства нанопорошков оксидов металлов составляет 80% от рынка поставляемых в мире нанопорошков [13].

1.1.2 Синтез наночастиц оксида железа

В настоящее время для синтеза наночастиц оксида железа используют большое число методов, но наиболее распространенными промышленными методами синтеза остаются со-осаждение, термическое разложение, гидротермальный и микроэмульсионный синтез [14].

При со-осаждении происходит образование и осаждение коллоидов оксида железа при взаимодействии солей Fe^{3+} и Fe^{2+} с основаниями в отсутствие кислорода, обычно с добавлением в реакционную среду функциональных групп для уменьшения агрегации наночастиц оксида железа. В результате получают гидрозоль с наночастицами Fe_3O_4 , в результате отжига которого, получают частицы Fe_2O_3 . На размер, форму, структуру и магнитные свойства наночастиц оксида железа могут влиять такие условия приготовления, как тип солей Fe, соотношение $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, величина pH, температура реакции и ионная сила раствора [15]. Таким методом получают наночастицы $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с размером 10 нм [16]. Недостатком метода является необходимость поддержания высокой pH в процессах синтеза и очистки наночастиц.

При термическом разложении осуществляют нагревание металлоорганических соединений (например, железо (III) N-нитрозофенилгидроксиламин [17], железо (III) ацетилацетонат [18] или $\text{Fe}(\text{CO})_5$ [19] в растворе поверхностно-активных веществ при 200...300°C в инертной атмосфере с последующим осаждением. Таким способом были получены наночастицы $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (6-7 нм) [17], Fe_3O_4 (16 нм) [18] и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (13 нм) [19]. Полученные частицы оксида железа имеют узкое распределение по размерам и растворяются только в неполярных растворителях.

Гидротермальный синтез включает химические реакции в водных растворах в гидротермальных условиях при температуре 130...250 °С и давлении пара 0,3...4 МПа. В работе [20] были успешно приготовлены нанопорошки гематита и магнетита с размерами 10-30 нм. Не смотря на возможность получать продукты с заданным составом и свойствами, на структурные и магнитные свойства синтезируемых наночастиц оксида железа большое внимание оказывает много таких факторов [21] как температура реакции, концентрация реагента и время реакции в гидротермальном процессе. Также этот процесс использовался при синтезе пластинчатых наночастиц Fe_3O_4 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ шириной 50-60 нм [22].

Микроэмульсия представляет собой прозрачную и термодинамически стабильную изотропную среду для синтеза двух несмешивающихся жидкостей (воды и масла) в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ). В микроэмульсиях водная фаза диспергируется в масле в виде нанокapелек, окруженных молекулами ПАВ в непрерывной масляной фазе [23]. Эти капельки обеспечивают ограниченную реакционную среду для контроля формы и распределения по размеру частиц, полученных осаждением солей железа. В исследовании [24] был применен метод микроэмульсии в одном сосуде для получения сферическими наночастиц с покрытием из монослоя олеиламина с очень узким распределением по размерам $3,5 \pm 0,6$ нм.

Кроме того большой интерес уделяется применению новых подходов к синтезу нанопорошков оксидов железа. Например, исследователи [25] получили нанопорошок гематита с помощью импульсной лазерной абляции с последующим отжигом порошка. На первом этапе был получен порошок сложного состава путем импульсного воздействия лазера на железную мишень в атмосфере воздуха. Далее его отжигали при 500°С 4 часа и получали порошок $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с размером 20 нм.

1.1.3 Применение наночастиц оксида железа

Благодаря целому набору свойств (большая удельная поверхность, высокая пористость и сильная магнитная восприимчивость) нанопорошки оксида железа перспективны для экологических применений, в катализе, хранения данных и медицины.

Так, нанопорошки Fe_3O_4 (11.6 ± 2.8 нм) [26] и Fe_3O_4 (40 нм) [27] можно использовать в качестве сорбентов для извлечения ионов тяжелых металлов из промышленных вод.

Магемит обладает высокой коэрцитивной силой и высокой остаточной прочностью, он устойчив к коррозии, трению и изменениям температуры. Из-за его химической и физической стабильности его используют как основной материал в магнитных дисках [28].

Магнетит и маггемит (5 нм) привлекают внимание в биомедицине из-за их биосовместимости и низкой токсичности в организме человека [29-30]. Так, в условиях *in vitro* (на примере тканей белков) была показана возможность манипулирования наночастицами магнетита с помощью внешнего магнитного поля [31]. Магнитные наночастицы использовались *in vivo* в качестве контрастных агентов магнитно-резонансной томографии (МРТ) для молекулярной и клеточной визуализации [32-34]. Наночастицы маггемита и магнетита с полимерным покрытием были использованы для разделения клеток [35-36], очистки белка [37], органического и биохимического синтеза [38]

Все три формы магнитного оксида железа обычно используются в синтетических пигментах в красках, керамике и фарфоре [39]. Наночастицы оксидов железа отображают диапазон цветов с чистыми оттенками и высокой тонировкой. Они также чрезвычайно стабильны и очень устойчивы к кислотам и щелочам. Пигменты на основе гематита – красные, пигменты на основе маггемита – коричневые, а пигменты на основе магнетита – черные [40]. Пигменты, изготовленные из магнетита, также используются в устройствах

распознавания магнитных чернил, а суперпарамагнитные частицы магнетита используются в металлографии для обнаружения дефектов в двигателях [39].

1.1.4 Каталитические свойства наночастиц оксидов железа

Наночастицы магнетита и гематита использовались в качестве катализаторов для ряда промышленно важных реакций [40-43], включая синтез NH_3 (процесс Хабера) [44-45], конверсию водяного пара [46-47] и десульфурацию природного газа [48]. Другие реакции включают дегидрирование этилбензола до стирола [49], синтез Фишеретропша для углеводородов [50-52], окисление спиртов [53] и крупномасштабное производство бутадиена [54]. Магнетит и гематит являются полупроводниками и могут катализировать реакции окисления/восстановления [55-59]. Гематит также использовался в качестве носителя золота в катализаторах окисления монооксида углерода [60-62]. Наночастицы оксидов железа могут быть использованы в качестве кислотных/базовых катализаторов [41] и катализировать деградацию сополимера акрилонитрил-бутадиен-стирола в мазут. Гематит был использован в качестве фотокатализатора для деградации хлорфенола и азокрасителей [63] в то время как маггемит и магнетит/углеродные композиты были признаны полезными для уменьшения количества нежелательного N_2 в топливе [64].

1.2 Переработка тяжелого углеводородного сырья

1.2.1 Актуальность переработки тяжелого углеводородного сырья

В настоящее время, с резким увеличением населения мира и быстрым развитием технологий, глобальный спрос на энергию и углеводородное сырьё становится критической проблемой. Согласно прогнозам, спрос на первичную энергию увеличится на 34% в период между 2014 и 2035 годами, при этом средний рост составит 1,6% в год [65]. Кроме того, ископаемое топливо составляло 81% первичного энергетического топлива в 2010 году и, по

прогнозам, останется на уровне 75% в 2035 году (рис. 1) [66]. Ископаемое топливо, которое на данный момент обеспечивает около 90 % мировой потребности, можно разделить на три типа: нефть, природный газ и уголь. В то время как уголь и природный газ могут использоваться в качестве источника энергии с минимальной подготовкой, то для нефтяного сырья требуется многоступенчатый процесс подготовки и переработки, прежде чем оно будет превращено продукт доступный для конечного потребителя.

В настоящее время лёгкая нефть используется в качестве основного источника для нефтехимической промышленности, что привело к сокращению запасов этих ресурсов. Поскольку ископаемое топливо останется основным источником энергии в предстоящие десятилетия, необходимо использовать альтернативные ископаемые ресурсы и увеличивать глубину переработки тяжёлого углеводородного сырья. Этим объясняется значительный рост научных работ посвящённых поиску путей увеличения глубины переработки тяжёлого углеводородного сырья и эффективного освоения тяжелых и сверхтяжелых нефтей на долю которых приходится около 70% общих мировых запасов нефти [67-68].

1.2.2 Основные методы переработки тяжёлого углеводородного сырья

Технологии облагораживания тяжелого углеводородного сырья (УВС) можно в целом разделить на следующие категории: (а) термические процессы: висбрекинг, паровой крекинг, каталитический крекинг нефтяных остатков и коксование; (б) процессы разделения: деасфальтизация растворителем; и (в) процессы присоединения водорода: гидрокрекинг [69].

Деасфальтизация растворителем это физическое разделение компонентов в сырье за счёт их избирательной растворимости в различных углеводородных средах [70-71]. Наибольшее распространение получил процесс деасфальтизации легкими парафиновыми растворителями, такими как пропан, бутан, н-пентан и н-гептан. При деасфальтизации происходит осаждение

смолисто-асфальтеновых веществ и экстракция углеводородов. При получении компонентов масел процесс осуществляют при 75-90°C, 3,7-4,4 МПа и соотношении по объему пропан:сырье (5-12):1. В результате процесса снижаются плотность, вязкость и коксуемость нефтепродукта, уменьшается содержание металлов (Ni, V). [72-73]

Термические процессы важны для переработки тяжелого УВС [74]. Как правило, термический крекинг проводится при умеренном давлении (2-5 МПа) и температуре (500-540°C), продолжительностью от 30 с. [75] В данном процессе происходит деструкция молекул УВС и перераспределение атомов водорода от более крупных молекул к более легким, в результате чего образуются водород, углеводородные газы (преимущественно метан), легкие ненасыщенные фракции и кокс – продукт с высоким содержанием углерода. В этих процессах отношение Н / С уменьшается.

В процессе коксования происходят те же химические превращения, которые характерны для термического крекинга. Основным сырьем для данного процесса являются мазут, гудрон и другие тяжелые нефтяные остатки. Наиболее распространенный метод коксования – замедленное коксование. Целевой продукт – крупно-кусковый нефтяной кокс. Название «замедленное» связано с особыми условиями работы реакторов (камер) коксования. В печи сырье предварительно нагревается до температуры 470-510 °С, а затем подается в изолированные снаружи необогреваемые коксовые камеры, где коксование происходит за счет тепла сырья. Кроме кокса получают газообразные продукты, бензиновую и газойлевую фракции [76].

При газификации сырье под воздействием высоких температур превращается в горючий газ, основными компонентами которого являются СО и Н₂, жидкие продукты пиролиза (пироконденсат и тяжёлая пиролизная смола) и побочный продукт - сажа [77]. Газификация происходит при 1230-1480°C под давлением подаваемого воздуха, паровоздушной (обогащенной О₂) или парокислородной смеси [78]. Сырье – мазут, гудрон, тяжелые остатки от вторичных процессов переработки нефти.

Висбрекинг - старейший, экономически эффективный метод переработки нефтяных остатков. Продуктом висбрекинга является котельное топливо. В качестве сырья используются мазут и гудроны. Процесс происходит при температуре 440 - 500 °С, давлении 0,5 - 3,0 МПа и длится от 2 до 30 минут и больше. При висбрекинге происходит разрушение парафиновых и нафтеновых углеводородов с образованием углеводородных газов и бензина, а также жидких фракций, кипящих в пределах 200 - 450 °С. Выход бензина и газа составляет 7-12 % мас., крекинг-остаток представляет собой жидкое котельное топливо (выход ~ 90 %). [79].

При каталитическом крекинге протекают следующие основные реакции: реакции разрыва С-С связи, перераспределение водорода, ароматизации, изомеризации, разрыва и перегруппировки углеводородных колец, конденсации, полимеризации и коксообразования. Процесс проводят при 450-550 °С и 0,1-0,3 МПа в присутствии катализаторов (в основном цеолитов) [80]. В процессе каталитического крекинга металлопарафины и кокс оседают на поверхности катализатора, в результате чего катализатор дезактивируется. Для применения данного метода сырье должно содержать относительно небольшое количество металлов, сернистых и азотистых соединений, смол и асфальтенов. [81].

Гидрокрекинг процесс протекает при температуре 400-450 °С и давлении 10-15 МПа (катализаторы - Pt, Ni, W, Mo на носителе). Сырьем являются гудрон, мазут, тяжелые газойли, а также тяжелая нефть и природные битумы. Гидрокрекинга используется для получения светлых нефтяных продуктов – бензина, керосина, дизельного топлива, а также сжиженных газов $C_3 - C_4$ при переработке под давлением водорода нефтяного сырья, имеющего более высокую молекулярную массу, чем получаемые целевые продукты. В процессе гидрокрекинга исходное сырье расщепляется и изменяет углеводородный состав.

1.2.3 Применение нанокаталитических систем для переработки тяжелого УВС

В последние годы все большее внимание уделяется разработке новых, более эффективных методов переработки тяжелого углеводородного сырья и нефтяных остатков. Особое внимание уделяется технологиям с использованием свойств нанокаталитических систем. *Нанокаталитические системы* – это суспензии, где в роли катализатора выступает наночастицы, а носителем является дисперсионная среда. По каталитическим свойствам такие системы схожи с традиционными гетерогенными катализаторами. Благодаря их высокой дисперсности НЧ могут быть идеальными каталитическими материалами даже при низких концентрациях, так как имеют большую площадь активной поверхности. Дисперсные НЧ могут иметь двойной эффект: способствовать термическому крекингу тяжелой нефти, а также адсорбировать и, следовательно, диспергировать прекурсоры кокса, замедляя коксообразование [82].

К сегодняшнему дню разработаны различные методы синтеза каталитически активных наночастиц. Их можно разделить на физические и химические, а также используются комбинации данных методов (химическое осаждение паров, химическое осаждение в растворах, термическое распыление, распылительный пиролиз, электрохимическое осаждение, микроволновая или ультразвуковая обработка и т.д.) [7].

В настоящее время в качестве ультрадисперсных катализаторов для гидрокрекинга используются соединения Mo, W, Fe, Ni и Co. Для приготовления наногетерогенных систем чаще всего используют механическое или физическое (микроволновая или ультразвуковая обработка) диспергирование порошков перед вводом в сырье. Также может быть осуществлен синтез методами монослоевого диспергирования порошков [83-84], термического или химического превращения масло- и водорастворимых прекурсоров [86-87]. Наилучшие результаты достигнуты с помощью обратных

микроэмульсий прекурсоров катализаторов в сырье. Метод обеспечивает формирование крайне малых по размеру нанослоевых частиц MoS_2 , толщиной и протяженностью вдоль слоя 0.6–0.7 нм и менее 50 нм [88].

В работе [89] показан способ синтеза наночастиц оксида железа (III) *in situ* в тяжелой нефти. Были получены частицы Fe_2O_3 со средним размером частиц 35 ± 5 нм из прекурсора водного раствора нитрата железа (III) методом золь-гель/эмульсия.

1.3 Дисперсные системы

1.3.1 Определение и классификация дисперсных систем

Дисперсные системы – это системы, образованные из не менее двух фаз с развитой поверхностью раздела между ними. В дисперсной системе по крайней мере одна из фаз распределяется в виде мелких частиц в другой, сплошной, фазе. Прерывную часть дисперсной системы называют дисперсной фазой, а непрерывную – дисперсионной средой [90].

По степени дисперсности дисперсной системы разделяют на высокодисперсные или коллоидные системы (размеры частиц дисперсной фазы 1...100 нм), среднедисперсные (100 нм... 10 мкм) и грубодисперсные системы (>10 мкм) [91].

В зависимости от агрегатного состояния дисперсной фазы и дисперсионной среды (твердое Т, жидкое Ж и газообразное Г) В. Оствальд разделил дисперсные системы на (фаза/среда): аэрозоли (Ж/Г: туманы, облака), Т/Г: пыли, дымы, порошки), эмульсии (Г/Ж: пены; Ж/Ж: нефть); суспензии и золи Т/Ж взвесь, пасты [92].

По характеру взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды дисперсные системы образуют – лиофильные и лиофобные системы. Леофильные системы характеризуются высокой степенью сродства дисперсной фазы и дисперсионной среды. В таких системах силы межмолекулярного взаимодействия на межфазной границе преобладают над силами

межмолекулярного взаимодействия фазовом объеме. Системы формируются самостоятельно, термодинамически устойчивы. В лиофобных системах межмолекулярное взаимодействие частица – среда мало. Такие системы считаются термодинамически нестабильными. Их формирование требует определенных условий и внешнего воздействия. Для повышения стабильности в них вводятся стабилизаторы [93].

1.3.2 Основные свойства дисперсных систем

Коллоидные растворы отличаются от молекулярных растворов своей характерной неоднородностью, то есть наличием поверхностей раздела фаз. Величина удельной поверхности дисперсной фазы (от единиц до сотен $\text{м}^2/\text{г}$) и доля атомов на поверхности (до $\sim 10\%$) велика. Это объясняет значительный вклад поверхностных слоёв в состояние системы и приводит к появлению у коллоидов особых свойств.

Поскольку свойства области фазы, прилегающей к её поверхности, отличаются от свойств фазы в объеме, средняя энергия частицы, расположенной на границе раздела, больше средней энергии такой же частицы в объеме фазы. Поэтому наиболее важной характеристикой поверхностного слоя является *поверхностная энергия* (G_s), пропорциональная значению поверхности фазы (S). Влияние поверхностного слоя на объёмные свойства фазы пропорционально доле частиц на поверхности, то есть величине удельной поверхности фазы. В случае, когда степень дисперсности фазы мала (удельная площадь поверхности незначительна) вклад поверхностной энергии в полную энергию фазы обычно не учитывают.

Некоторые свойства коллоидов почти полностью определяются свойствами поверхностного слоя. К таким свойствам относят адсорбцию и десорбцию, коагуляцию и пептизацию, агрегацию и диспергирование, а также седиментацию.

Процесс самопроизвольного изменения концентрации какого-либо вещества на границе раздела двух фаз называется *адсорбцией*. Обычно рассматривают увеличение концентрации – положительную адсорбцию. *Адсорбент* – это вещество, на поверхности которого происходит изменение концентрации другого вещества – адсорбата.

Адсорбция объясняется тем, что взаимодействие молекул адсорбата с поверхностью адсорбента больше, чем взаимодействие между молекулами адсорбата. В этом случае выполняется принцип снижения энергии системы «адсорбат+адсорбент» в самопроизвольном процессе. Адсорбция описывается несколькими теориями, называемыми по именам авторов. Наиболее простыми и часто используемыми являются теории Лэнгмюра и Брунауэра –Эммета–Тейлора (теория БЭТ).

Теория Лэнгмюра рассматривает адсорбцию одного слоя молекул, вызванную локализованными силами, и происходящую на активных центрах, которые расходуются по мере адсорбции. Также учитывается отделение адсорбированных молекул от поверхности – *десорбция* – из-за тепловых флуктуаций, а взаимодействием между адсорбированными молекулами пренебрегают. Использование этих положений приводит к уравнению изотермы адсорбции [94].

Теория полимолекулярной адсорбции, первоначально предложенная Поляни, была подробно разработана Брунауэром, Эметом и Тейлором. Она учитывает возможность многослойной адсорбции молекул и предлагает способ определения энергии взаимодействия молекул второго и последующих слоёв с поверхностью.

1.3.3 Коагуляция и седиментация суспензий

Коагуляция – это самопроизвольный процесс уменьшения степени дисперсности дисперсной фазы (т.е. объединение частиц в более крупные агрегаты). Общий эффект коагуляции заключается в создании крупных

агрегатов и/или агломератов частиц в суспензии. Согласно общим представлениям физико-химиков и материаловедов, в агрегатах силы взаимодействия частиц друг с другом намного больше, чем силы притяжения частиц в агломератах, обычно разбиваемых с помощью ультразвука или обычного перемешивания.

Склонность частиц к агрегации является важным физическим свойством, которое оказывает влияние на устойчивость суспензий к осаждению. Процесс оседания или всплытия коллоидных частиц в золе называется *седиментацией*. Однако седиментации противодействует процесс, ведущий к равномерному распределению коллоидных частиц по всему объему раствора – диффузия, осуществляемая под действием броуновского движения частиц.

Скорость осаждения суспензии мелких частиц трудно предсказать из-за большого числа вовлеченных факторов. Так, например, присутствие ионизированного растворенного вещества в жидкости и характер поверхности частиц будут влиять на степень флокуляции и, следовательно, на средний размер и плотность агрегатов [95]. Также на скорость осаждения частиц в дисперсиях могут влиять внешние факторы, такие как воздействие ультразвуком или механическое перемешивание [96].

Одной из самых важных характеристик коллоидных систем является их *агрегативная устойчивость* (устойчивость к коагуляции) – способность сохранять свой дисперсный состав. Эта характеристика определяется путём измерения изменения распределения частиц по размерам в ходе процесса коагуляции. О ней можно также судить по изменению кинетики осаждения, если укрупнение сопровождается образованием достаточно крупных (способных оседать) агрегатов или агломератов [93].

Агрегационные свойства частиц традиционно оценивают через изменение дисперсионных, седиментационных и электрокинетических свойств. Частицы, диспергированные в жидких средах, сталкиваются из-за их относительного движения, и устойчивость (то есть устойчивость к агрегации) дисперсии определяется взаимодействием между частицами во время этих столкновений.

Силы притяжения и отталкивания могут действовать между частицами в зависимости от условий окружающей среды (концентрация частиц, содержание электролитов, величина pH, ПАВы и т.д.). Обычно встречающиеся силы между коллоидными частицами представляют собой силы Ван-дер-Ваальса, электростатические силы и силы, вызванные адсорбированными макромолекулами. В отсутствие макромолекул агрегация в значительной степени обусловлена силами притяжения Ван-дер-Ваальса, тогда как стабильность обусловлена отталкивающим взаимодействием между одинаково заряженными двойными электрическими слоями. Заряд, одинаковый для всех частиц, возникает в результате селективной адсорбции поверхности раздела одного из ионов электролита, присутствующего в системе, с образованием двойного электрического слоя – ДЭС. Снижение электростатического отталкивания частиц в лиозоле может происходить в результате введения растворов электролитов [97]. Еще одной причиной отталкивания является образование на поверхности частиц сольватной оболочки из молекул среды. Такая оболочка также появляется в результате адсорбции дисперсной фазой молекул или ионов третьего компонента (*стабилизатора*) системы [93].

1.3.4 Применение ПАВ для диспергирования наночастиц в углеводородной среде

Благодаря высокой поверхностной энергии наночастицы имеют тенденцию к агрегации. Кроме того, наночастицы оксида железа обладают высокой химической активностью и легко окисляются на воздухе (особенно магнетит), что обычно приводит к потере диспергируемости. Поэтому очень важно обеспечить надлежащее покрытие поверхности. Одним из широко применяемых методов предотвращения аггломерации наночастиц в суспензиях является применение поверхностно активных веществ.

Так как нефть состоит в основном из углеводородов [98], для совместимости с ней необходимо использовать наночастицы оксида железа,

покрытые жирорастворимыми ПАВами, которые хорошо диспергируются в масляной среде.

Не смотря на актуальность, в литературе данных о стабилизации наночастиц оксида железа в углеводородной среде не так много. Олеиновая кислота широко используется для модификации наночастиц феррита при синтезе химическим осаждением. Группы $-COOH$ олеиновой кислоты имеют высокое сродство с атомами Fe, а неполярные хвосты кислоты обладают гидрофобными свойствами, как было показано на примере наночастиц Fe_3O_4 со средним размером частиц 8 нм [99]. Ученые предлагают получать модифицированные олеиновыми группами наночастицы в процессе их синтеза при добавлении олеиновой кислоты в реакционную смесь, как показано на примере синтеза Fe_3O_4 [100-101].

Помимо олеиновой кислоты, предлагается применение лауриновой кислоты, додецилфосфонаа, гексадецилфосфоната, дигексадецилфосфата, позволяющих синтезировать наночастицы магнетита со средним диаметром 8 нм [102]. Другими авторами [103] продемонстрировано, что алкилфосфонаты и фосфаты эффективно связываются с поверхностями частиц $\gamma-Fe_2O_3$ в анаэробных условиях путем термической обработки гидратированного каприлатного геля гидроксида железа (III) в кипящем тетралине. Частицы имели сферическую форму и средний размер 4 нм, легко растворялись в органических растворителях для получения стабильных и однородных магнитных органозолей.

1.4 Постановка цели и задач исследования

Литературный обзор позволил показать актуальность и большие перспективы применения нанопорошков оксида железа в качестве катализаторов для переработки тяжелого углеводородного сырья. Также результаты разных исследований подтверждают, что проблема агрегации наночастиц при образовании дисперсных систем может быть решена путем

добавления поверхностно-активных веществ. Однако, проблема приготовления нанокаталитических систем с контролируемыми агрегационными и каталитическими свойствами в настоящее время не решена.

Целью работы являлась разработка состава нанокаталитических дисперсий оксида железа в углеводородной среде с высокой агрегативной устойчивостью наночастиц оксидов железа.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены следующие задачи:

- провести литературный обзор свойств, применения и методов синтеза наночастиц оксида железа, как потенциальных нанокаталитических дисперсий для переработки тяжелого углеводородного сырья;
- определить фазовый состав и морфологию нанопорошков оксида железа методами рентгенофазового анализа, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии и низкотемпературной адсорбции азота;
- определить влияние размера частиц, состава дисперсионной среды на седиментационные, дисперсионные и электрокинетические свойства наночастиц оксида железа разной модификации и происхождения с помощью метода спектрофотометрии и динамического рассеяния света;
- установить влияние добавления различных концентраций наночастиц оксидов железа на выходы продуктов термолиза мазута методами материального баланса, термогравиметрического анализа и газовой хроматографии.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Объекты исследования

В работе исследовали нанопорошки оксидов железа (III) различной модификации, размеров и методов получения (табл.2.1).

Таблица 2.1 – Состав и свойства нанопорошков согласно данным производителей

Обозначение нанопорошка в работе	Состав нанопорошка	Размер частиц, нм	Удельная поверхность, м ² /г	Метод получения	Производитель
Fe ₂ O ₃ -20	γ-Fe ₂ O ₃ (маггемит)	18	-	-	Nanografi Nanotechnology, Турция
Fe ₂ O ₃ -40	γ-Fe ₂ O ₃ (маггемит)	18...38	-	-	Nanografi Nanotechnology, Турция
Fe ₂ O ₃ -60	α-Fe ₂ O ₃ (гематит)	10...40	30	Метод лазерной абляции	Лаборатория перспективных исследований ТГУ, РФ
Fe ₂ O ₃ -120	Fe ₃ O ₄ (магнетит)	80...100	10	Метод электрического взрыва проводника	ООО «Передовые порошковые технологии», РФ

2.2 Исследование свойств нанопорошков

2.2.1 Определение фазового состава

Для определения фазового состава порошков использовался метод рентгенофазового анализа (РФА). РФА основан на физическом явлении – дифракции. Это явление сильного рассеяния волн на периодической решётке рассеивателя при определенных углах падения и длинах волн. Простейший случай этого явления имеет место, когда свет рассеивается на дифракционной решетке. Аналогичное явление наблюдается при рассеянии рентгеновского излучения, используемого в рентгенофазовом анализе, в котором кристаллическая решетка фазы действует как рассеиватель [104].

Рентгенограммы были получены с использованием XRD – 7000S (Shimadzu, Япония) в Наноцентре ТПУ, г. Томск. Основные параметры съемки: CuK_β излучение; величина высокого напряжения 40 кВ, ток через трубку 30 мА; скорость движения счетчика 1,5 град/мин; интервал между штрихами отметчика 1 град; размеры вертикальных щелей у трубки и счетчика 0,15 мм; анализ проводился в интервале 10...120 град. Фазы идентифицировали с использованием Powder Cell 2.4 (Германия) и базы данных PDF-4.

2.2.2 Определение размера и формы

Размер и форму частиц исследовали с помощью методов сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ) на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСиС, г.Москва. Методы основаны на принципе взаимодействия электронного пучка с исследуемым объектом.

СЭМ изображения получали на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 SBH (Tescan, Чехия). Микроскоп имеет разрешение до 8 нм, при ускоряющем напряжении до 30 кВ. Топографию образца снимали в условиях высокого вакуума ($<9 \cdot 10^{-3}$ Па) без напыления какого-либо проводящего покрытия.

ПЭМ-изображения получены на просвечивающем электронном микроскопе JEM-1400 (Jeol, Япония), имеющем разрешение – 0,24 нм, максимальное ускоряющее напряжение 200 кВ.

2.2.3 Определение удельной поверхности

Удельную поверхность порошков определяли с помощью метода БЭТ (Брунауэра–Эммета–Теллера). Метод основан на измерении количества адсорбируемого газа (например, жидкого азота при 77 К) поверхностью частиц. Измерения проводили на анализаторе удельной поверхности и пористости

динамического типа SorbiPrep (МЕТА, Россия) в Нано-Центре ТПУ, г. Томск. Диапазон измерения удельной поверхности составлял 0.1...2000 м²/г, ошибка измерения – 0,02 м²/г. Измерение проводилось два раза. Расчет среднеповерхностного размера частиц d проводили по формуле (2.1):

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

где d – средний размер частиц, ρ – плотность частиц, $S_{уд}$ – площадь удельной поверхности частиц.

2.3 Исследование агрегационных свойств суспензий

2.3.1 Приготовление суспензий наночастиц

Для разработки состава нанокаталитических дисперсий в работе меняли состав дисперсионной среды, добавляли ПАВ, меняли состав наночастиц.

В качестве дисперсионных сред использовали дистиллированную воду (Аквадистиллятор АЭ-10 МО, Россия, проводимость 0,2 мкС, рН=6,5±0,6), изопропиловый спирт (ИПС, С₃Н₈О, ТУ 2632-015-11291058-95), толуол (С₇Н₈, ТУ 2631-065-44493179-01), смесь ИПС и толуола, а также промышленное масло (И-8А, ГОСТ 20799-88).

Суспензии готовили путем смешивания сухой навески нанопорошка в пластиковом контейнере с нужным объемом среды при 25±2°С. Концентрация частиц в суспензии составляла 0,5 г/л. Взвешивание частиц и жидкости проводили на электронных аналитических весах ALC-110d4 (Acculab, Россия, точность ±0,0001). После смешивания суспензии обрабатывали ультразвуком в течение 10 мин в ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, мощность 55 Вт) при 25 °С.

При приготовлении суспензии, где дисперсионная среда была «ИПС:Толуол» в соотношении 1:1, к 5 мг нанопорошка добавляли сначала 5 мл ИПС и диспергировали ультразвуком 5 мин, а затем добавляли 5 мл толуола и снова обрабатывали УЗ 5 мин.

В качестве ПАВ использовали олеат натрия ($\text{NaC}_{18}\text{H}_{33}\text{O}_2$, 15%-й раствор, ООО «ИКО-Хим», Россия). Суспензии готовили следующим способом: к 5 мг наночастиц добавляли с 1 мл ПАВ и перемешивали в универсальном гомогенизаторе Ultra-Turrax Tube Drive IKA с помощью стеклянных шариков ($\varnothing$ 2,5 мм) в течение 1 мин. Затем приливали 9 мл дисперсионной среды и обрабатывали УЗ в течение 10 мин.

Все суспензии использовались для анализа в течение 5 минут, остатки утилизировали. Суспензии не хранились. Вся посуда подвергалась химической стерилизации в 2% растворе HNO_3 в течение 24 часов с последующим промыванием в проточной воде не менее трех раз. Пластиковые емкости от суспензий наночастиц оксида железа повторно не использовались.

2.3.2 Исследование седиментационных свойств

Седиментационную устойчивость суспензий оценивали как скорость осаждения частиц в суспензии двумя способами. В первом способе определяли изменение коэффициента светопропускания (ΔT , %) суспензий, отражающее косвенно скорость осаждения частиц в суспензии. Измерение коэффициента светопропускания (T , %) проводили на цифровом спектрофотометре PD-303 (Arel, Россия). в течение 1 часа. Эталоном являлась дистиллированная вода ($T=100\%$). Для каждой дисперсионной среды подбиралась оптимальная длина волны λ : для воды и толуола $\lambda=340$ нм, для ИПС $\lambda=760$ нм, для промышленного масла $\lambda=540$ нм. Седиментационная устойчивость оценивалась не менее трех раз при условии приготовления свежих суспензий в разные дни.

Седиментационную устойчивость отдельных фракций суспензий оценивали по скорости и времени осаждения частиц для условно сферических частиц (закон Стокса) [105]:

$$v_{oc} = \frac{d^2 g (p_c - p_{жс})}{18\mu}, \quad (2.2)$$

где v_{oc} – скорость осаждения частиц/агрегатов, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\rho_{ч}$ – плотность частицы, кг/м³; $\rho_{ж}$ – плотность дисперсионной среды, кг/м³; d – диаметр частиц/агрегатов фракции (согласно методу ДРС), м; μ – вязкость дисперсионной среды, Па·с.

Время осаждения частиц/агрегатов (τ_{oc}) рассчитывали в колонке высотой 10 см.

Для определения режима осаждения частиц рассчитывали число Рейнольдса Re [105]:

$$Re = \frac{v_{oc} d \rho_{ж}}{8\mu}. \quad (2.3)$$

Таблица 2.2 – Справочные величины для частиц и дисперсионных сред

Величина	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	ИПС	Толуол	ПМ
Плотность, ρ , кг/м ³	5260	1000	781,5	867	880
Вязкость, μ , Па·с, при 20°C	-	$1004 \cdot 10^{-6}$	$2430 \cdot 10^{-6}$	$584 \cdot 10^{-6}$	$8800 \cdot 10^{-6*}$

* для ПМ величина μ – динамическая вязкость дана при 40°C

2.3.3 Исследование дисперсионных свойств

Определение дисперсионных (распределение частиц по размерам) и электрокинетических свойств (ξ -потенциал) частиц в дисперсиях проводили с помощью метода динамического рассеяния света на кафедре функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСиС, г.Москва. Метод основан на расчете распределения по размерам ансамбля хаотично движущихся за счет Броуновской диффузии частиц в растворе, облучаемом монохроматическим источником света (лазером), на основе измерения интенсивности рассеяния, измеряемой детектором, установленным в некоторой

точке пространства, зависящей от взаимного расположения частиц в рассеивающем объеме.

Измерения проводили с помощью лазерного анализатора частиц Zetasizer Nano (Malvern, США) при 25°C (гелий-неоновый лазер, мощность лазера 4 мВт, длина волны 633 нм). Дзета-потенциал частиц измеряли в U-образной кювете из полистирола. Для избежания растворения полистирола в толуоле измерения проводили в течение 5 минут после заполнения пробирки. Для измерения количественного распределения частиц по размерам использовали прямоугольную кювету из полистирола с крышкой. Полученное распределение частиц по размерам использовали для расчета среднего размера частиц по формуле:

$$d_{\text{ср}} = \sum d \frac{q(\%)}{100(\%)}, \quad (2.4)$$

где d – размер частиц в дисперсии, q – дифференциальный процент частиц с размером d в дисперсии.

2.4 Исследование каталитических свойств наночастиц

2.4.1 Термолиз углеводородного сырья

В качестве УВС в работе использовали мазут Западно-Сибирской нефти (Кемеровская область, РФ), отобранный в 2015 году (остаток выше 360 °С). Мазут хранили в закрытой емкости при 25±2°C.

В УВС добавляли дополнительно обработанную ультразвуком в течение 20 мин (мощность 55 Вт) суспензию наночастиц. Концентрация наночастиц оксида железа в сырье составляла 0,02...0,30%. Для равномерного распределения частиц в мазуте, смеси смешивали погружным УЗ зондом (мощность 180 Вт) в течение 20 мин.

Крекинг образцов проводили в автоклаве объемом 12 см³, оснащенным карманом для термопары, краном высокого давления и манометром. В автоклав загружали 7 г сырья, продували аргоном и герметично закрывали, эксперимент проводили при температуре в автоклаве 435 °С, в течение 90 мин. Температуру

процесса поддерживали с помощью ПИД-регулятора (ОВЕН ТРМ500) с точностью до $\pm 1,0$ °С. Давление в автоклаве регистрировали с помощью манометра.

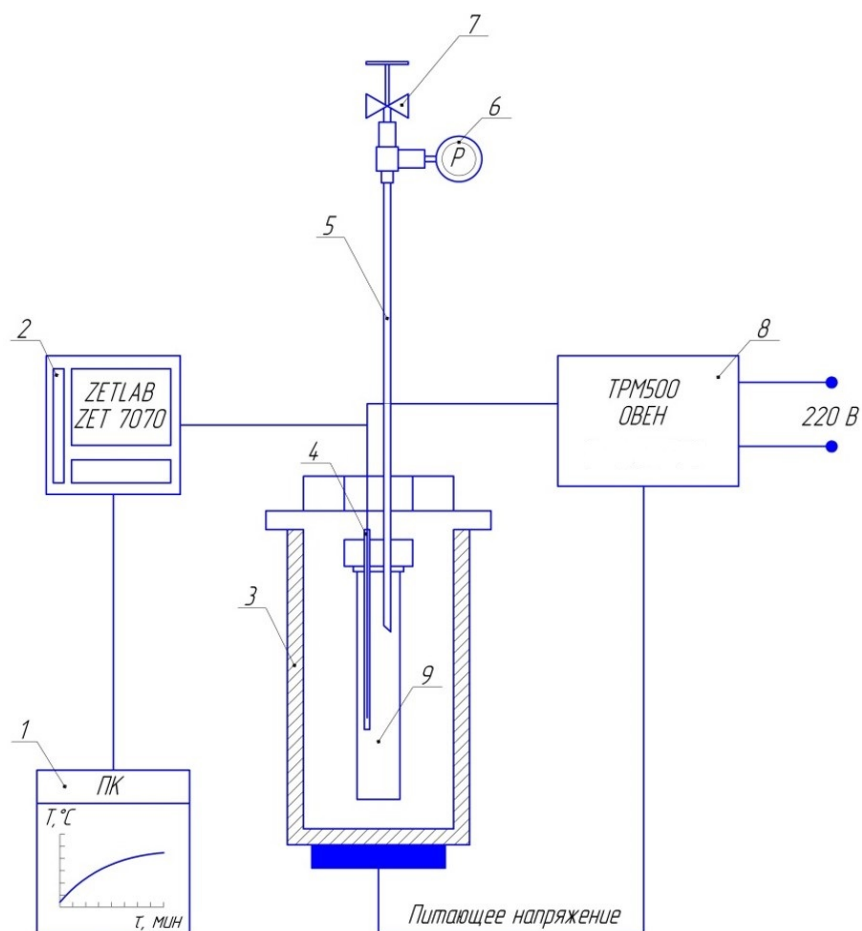


Рисунок 2.1 – Схема установки термоллиза: 1 – ПК, 2 – преобразователь интерфейса USB↔RS-485, 3 – печь, 4 – термопара, 5 – газоотводная трубка, 6 – манометр, 7 – кран, 8 – терморегулятор, 9 – реактор

2.4.2 Определение состава газообразных продуктов реакции

После проведения термоллиза и охлаждения автоклава до комнатной температуры газообразные продукты собирались через водяной затвор в пробоотборник. Газообразные продукты анализировали на хроматографе Кристалл 5000 (Хроматэк. РФ).

Метод основан на сочетании газожидкостной и газoadсорбционной хроматографии с использованием детектора по теплопроводности [106]. В результате были получены хроматограммы. Количественный анализ газа

проводили методом внутренней нормализации на основе площадей пиков при полном элюировании всех компонентов испытуемого газа.

2.4.3 Определение фракционного состава жидких продуктов термоллиза

Из-за небольшого количества получаемых продуктов термоллиза, содержание легких фракций оценивалось по данным термогравиметрического анализа. Для данного метода нужно 100 мг образца. Термогравиметрический анализ (ТГА) проводили на дериватографе *Q-1000* фирмы *МOM* (Венгрия). Он позволяет регистрировать потерю массы образца аналитической пробы с повышением температуры до 360 °С при скорости нагрева 10 град/мин.

2.4.4 Определение вещественного состава жидких продуктов

Содержание смол, масел (углеводородов) и асфальтенов определяли в продуктах крекинга по ГОСТ 11858-66, используя в качестве растворителей хлороформ, гексан и смесь этанол-бензол (1:1).

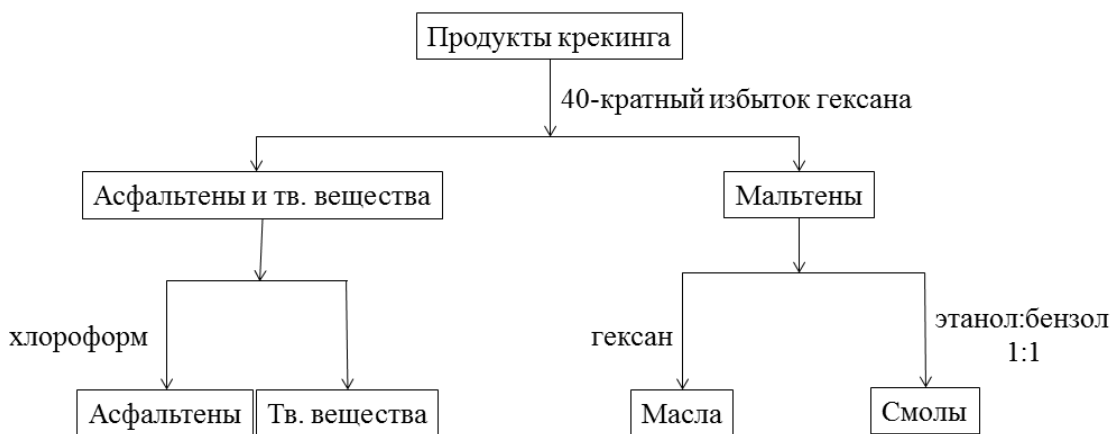


Рисунок 2.2 – Схема разделения компонентов продуктов крекинга

Продукты термоллиза извлекали из реактора, затем, для осаждения асфальтенов и твердых остатков, добавляли 40-кратный избыток гексана и оставляли в темном месте на сутки. Выпавший осадок отделяли фильтрованием через бумажный фильтр «синяя лента». Затем, для растворения оставшихся мальтенов на фильтре, фильтр поместили в трубку, соединенную с обратным холодильником и колбой с гексаном, которая нагревается электрической

плиткой. После, поменяв колбу с раствором на колбу с хлороформом, асфальтены экстрагировали с фильтра в колбу.

Для разделения мальтенов на смолы и масла их наносили на слой активированного силикагеля АСК (соотношение 1:15 по массе), загружали полученную смесь силикагеля с адсорбированным материалом в экстрактор Сокслета и последовательно вымывали нефтяные масла н-гексаном и смолы – смесью этанола и бензола (1:1 по объему).

2.4.5 Исследование бензиновой фракции

После проведения термолиза часть жидких продуктов отбирали для определения индивидуального состава фракций с температурой начала кипения (НК) при 200 °С. Для получения бензиновой фракции проводилась атмосферная разгонка жидких продуктов при постепенном нагревании до 200 °С.

Индивидуальный состав фракций НК - 200 °С анализировали с использованием хроматографа Кристалл 2000 М (Хроматэк, РФ) с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой длиной 100 м и внутренним диаметром 0,22 мм (фаза — полиметилсиклосан). Хроматограммы получали в режиме линейного программирования температуры от 35 до 250 °С, при начальной температуре изотерма 13 мин, скорость нагрева с 35 до 45 °С – 5 °С/мин, 15 мин изотерма, с 45 до 60 °С – 1 °С/мин, 15 мин. изотерма, с 60 до 250 °С – 2 °С/мин, 20 мин. изотерма. Газ-носитель – гелий.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ72	Балташ Ризе Максуткызы

Школа	Новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Исследования проводились на базе лаборатории Нано-Центра ТПУ и лаборатории углеводородов и высокомолекулярных соединений нефти ИХН СО РАН. В исследовании задействованы 2 человека: магистрант-исполнитель, научный руководитель
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведена оценка коммерческого потенциала проекта с анализом потенциальных потребителей.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Составлен SWOT-анализ проекта, выявлены его сильные и слабые стороны. проведена оценка надежности и возможностей проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработан календарный план реализации этапов проекта с разделением обязанностей исполнителей. Расчитан общий бюджет проекта, включающий расходы на материалы, оборудование, командировочные расходы и оплату труда исполнителей.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Рагозин Д.В.	К.И.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ72	Балташ Риза Максуткызы		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящей диссертации разработан состав и метод приготовления стабильных суспензий наночастиц оксида железа, равномерно распределяющихся в углеводородном сырье. Настоящая ВКР рассматривает научно-технические основы разработки методов диспергирования суспензий наночастиц оксидов железа, а также эффективность применения разработанных суспензий при переработке тяжелых нефтяных остатков. Целью работы стала разработка состава и технологии приготовления устойчивых к агрегации и седиментации суспензий наночастиц оксида железа, позволяющих диспергировать наночастицы в углеводородном сырье.

В данном разделе диссертации проведена оценка коммерческого потенциала исследования, определение ресурсной и экономической эффективности и планирование процесса проведения научно-технического исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

К потенциальным потребителям готового продукта – нанокаталитической системы Fe_2O_3 – могут быть отнесены нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ).

ООО «Александровский нефтеперерабатывающий завод» находится в селе Александровское Томской области и работает с 02.06.2001 года. Это крупное предприятие, перерабатывающее более 60 000 тонн сырой нефти в год. Выпускаемая продукция: бензин, дизельное топливо.

Яйский нефтеперерабатывающий завод находится в г. Анжеро-Судженск Кемеровской области, с мощностью по выпуску 6 000 000 тонн нефти в год. Продукцией являются мазут топочный, бензин и топливо дизельное.

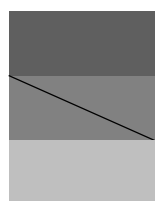
Антипинский нефтеперерабатывающий завод – это нефтеперерабатывающий завод, расположенный в Тюменской области в

промышленной зоне города Тюмени. Мощность предприятия - 3 500 000 тонн нефти в год. Выпускаемая продукция: газойль, дизельное топливо, мазут, бензин.

Карта сегментирования рынка и ниши, которые занимают эти компании приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка по производству алюмооксидных систем как сорбентов и катализаторов

Размеры компании	Продукт			
	Бензин	Дизельное топливо	Мазут	Газойль
Крупные				
Средние				
Мелкие				



ООО «Александровский нефтеперерабатывающий завод»

Яйский нефтеперерабатывающий завод

Антипинский нефтеперерабатывающий завод

Из таблицы 4.1 видно, что наиболее распространённой продукцией НПЗ являются бензин и дизельное топливо. Научные исследования направлены на получение каталитических систем, которые благодаря своим физико-химическим свойствам, могут увеличить выход полезных продуктов при переработке нефти. Все сегменты рынка могут быть заинтересованы в таких каталитических системах, однако производство осуществляется в лабораторных условиях, и отсутствует оборудование для их производства в промышленных масштабах. Следовательно, приоритетным сегментом рынка являются малые предприятия с меньшими производственными мощностями. В дальнейшем, с совершенствованием технологии производства и появлением оборудования для производства больших объемов, к производству могут быть привлечены и крупные компании.

4.1.2 SWOT-анализ

Одним из методов стратегического планирования проекта является SWOT-анализ. Он позволяет выявить факторы внешней и внутренней среды организации и проанализировать их сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Так, сильные и слабые стороны – это факторы внутренней среды объекта, на которые возможно повлиять путем изменения самого объекта. А возможности и угрозы – факторы внешней среды, которые могут повлиять на объект извне, и, при этом, объектом не контролируются. Для проведения анализа составляется матрица SWOT (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: S1. Заявленная экономичность и эффективность технологии; S2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями; S3. Высокий уровень квалификации руководителя и консультантов проекта S4. Наличие бюджетного финансирования.	Слабые стороны проекта: W1. Недостаток инвестиций W2. Ограниченное время работы над проектом – 2 года обучения в магистратуре. W3. В команде проекта 2 человека: студент и руководитель
Возможности O1. Университет имеет развитую научную, энергетическую, социальную и транспортную инфраструктуру; O2. Возможность работать в лабораториях ведущих ВУЗов (НИ ТПУ, НИТУ МИСиС, ИХН СО РАН); O3. В России осуществляется стратегия импортозамещения в научно-технической сфере; O4. Есть возможность выхода на зарубежные рынки; O5. Есть возможность привлекать студентов для работы над проектом в рамках НИРС.	Проект актуален в связи с возрастающей необходимостью в глубокой переработке нефтяных остатков и тяжёлых нефтей; - Проект реализуем; - Проект коммерциализируемый; - Проект поддерживается научными школами и есть возможность консультации с ведущими учеными отрасли.	- Объем работы и количество человек команды несоизмеримо с реализацией возможностей; - Требуются дополнительные инвестиции; - Ограничение по времени.
Угрозы T1. Новые конкуренты с более развитыми или доступными технологиями T2. Изменение в законодательстве, ограничивающее применение наноматериалов T3. Невозможность закупки расходных материалов; T4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	- Возможность снизить издержки производства относительно аналогов; - Необходимо привлекать деньги государственной поддержки научных исследований и сторонних фондов.	- Недостаток инвестиций, что приводит к ограниченности в выборе методов и материалов; - Угроза введения ограничений для использования наноматериалов в промышленности.

Примечание: S – сильные стороны; W – слабые стороны; O – возможности; T – угрозы.

SWOT-анализ позволил выделить наиболее актуальные проблемы, которые следует решить в ходе выполнения проекта и его коммерциализации. А именно, подготовить и развить достаточную материальную базу, найти инвестиции на исследование, собрать команду проекта, привлечь партнеров с хорошей опытно-экспериментальной базой.

4.1.3 Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

В таблице 4.3 представлена оценка готовности проекта к коммерциализации. Оценку проводили по двум параметрам – проработанность этапа и уровень владения разработчиком знаний и умений, необходимых для выполнения этапа. Максимальный балл – 5 баллов.

Таблица 4.3 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Оценка проработанности этапа	Уровень разработчика
1.	Имеется научный задел для разработки	5	5
2.	Изучены перспективы коммерциализации проекта	4	4
3.	Изучены возможные потенциальные потребители, товары, услуги на рынке	4	4
4.	Определен товарный вид продукта для представления на рынок	3	3
5.	Осуществлена охрана прав авторов проекта и продукта	1	1
6.	Оценена стоимость интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведен анализ рынка сбыта продукта	4	4
8.	Подготовлен бизнес-план для	2	2

	коммерциализации проекта		
9.	Разработаны стратегии и пути продвижения для продукта на рынке	3	2
10.	Разработана стратегия выхода на международный рынок	1	1
11.	Проработан вопрос возможности получения льгот, грантовой поддержки от государства и других услуг инфраструктуры.	4	4
12.	Разработан план для привлечения финансирования с целью коммерциализации научного проекта	3	2
13.	Имеется команда проекта	3	2
14.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	42	38

Готовность научного проекта к коммерциализации оценивается как суммарное количество баллов по каждому направлению. Оценку можно выразить как процент от максимального количества баллов (140 баллов).

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – сумма баллов по каждому направлению;

B_i – бал по i -му показателю.

$B_{\text{сумм}}=80$, то есть $80/140*100\%=57,1\%$.

Анализ готовности проекта к коммерциализации ($B_{\text{сум}}$) дает возможность оценить проект с точки зрения каждого из этапов коммерциализации, а также сделать вывод на каких этапах стоит привлечь сторонних специалистов или консультантов.

4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Коммерциализация проекта – это способ получения средств для продолжения научно-исследовательских работ и обеспечение постоянного притока финансов для каких-либо целей и накоплений. Для данного проекта являются возможными следующие методы коммерциализации:

1. Получение и торговля патентными лицензиями. Конечный продукт исследования – методика приготовления устойчивых суспензий наночастиц оксида железа для глубокой переработки нефти. Такой продукт возможно запатентовать, защитив, тем самым объект, как интеллектуальную собственность.

2. Передача ноу-хау. Конечный продукт также возможно зарегистрировать как ноу-хау, получая прибыль от использования его другим лицом.

3. Организация собственного или совместного предприятия. Конечным продуктом проекта могут стать готовые нанокаталитические добавки для нефтепереработки. Для реализации данного метода необходимы большие инвестиционные вливания.

Выбранные методы коммерциализации позволят выйти научно-исследовательскому проекту на новый уровень, однако для его достижения необходимы значительные инвестиционные вливания. Оптимальным на данном этапе видится метод получения и торговли патентными изделиями, передача ноу-хау.

4.2 Инициация проекта

4.2.1 Цель и результаты проекта

Данный проект включает в себе разработку методик приготовления устойчивых суспензий наночастиц, совместимых с нефтяным сырьем. В таблице 6.4 представлены цели и ожидаемые результаты работы.

Таблица 6.4 – Цель и результат проекта

Цель проекта:	Разработка состава и технологии приготовления, устойчивых к агрегации и седиментации суспензий наночастиц оксида железа, совместимых с углеводородным сырьем.
Ожидаемый результат:	Получены готовые стабильные суспензии наночастиц, равномерно распределяющиеся в тяжелом углеводородном сырье, обладающие каталитической активностью.
Критерий достижения результата:	Суспензии соответствуют заданным характеристикам
Требования к результату проекта:	Требования:
	- Исследование дисперсионных и седиментационных свойств суспензий оксида железа в различных средах;
	- Разработка состава и подбор условий приготовления стабильных суспензий оксидов железа, совместимых с углеводородным сырьем;
	- Исследование каталитической активности полученных суспензий при каталитическом крекинге мазута.

4.2.2 Организационная структура проекта

Таблица 4.5 – Команда проекта

№	ФИО должность	Роль	Задачи в проекте
1	Годымчук Анна Юрьевна к.т.н доц. отделения НМНТ, ИШНПТ ТПУ	Научный руководитель	Выбор основного направления исследования, постановка цели, консультирование и корректировка в процессе работы, обсуждение результатов
2	Балташ Риза Максуткызы, Магистрант 2 года отделение НМНТ, ИШПН ТПУ	Исполнитель	Постановка задач исследования, составление плана, выполнение экспериментальной части, обсуждение результатов, подготовка отчета

4.3 Планирование управления научно - исследовательским проектом

Важным этапом данного проекта является составление графика проведения научного исследования, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

4.3.1 Планирование научно-технического проекта

Предварительный план исследования – разбивка работы на этапы и подэтапы и назначение сроков и ответственных для каждого из этапов.

Настоящую работу можно разделить на следующие этапы:

1. Постановка цели и задач исследования:
 - 1.1. Литературный обзор;
 - 1.2. Выбор материалов и методов;
 - 1.3. Разработка методик эксперимента
2. Экспериментальная часть исследования
 - 2.1. Отработка методик;
 - 2.2. Проведение экспериментов;
3. Отработка результатов

- 3.1. Обсуждение результатов;
- 3.2. Оформление графических и технологических карт;
- 3.3. Оформление отчета.

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Затраты на рабочую силу в большинстве случаев формируют основную часть затрат на разработку, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работы каждого из участников проекта.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

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

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

Для примера рассчитаем ожидаемую трудоемкость выполнения 1 этапа работ по формуле (4.2).

$$t_{ож\ i} = \frac{3*20+2*25}{5} = 22.$$

Тогда длительность работ в рабочих днях, составит.

$$T_{pi} = \frac{22}{1} = 22.$$

Данные о трудоемкости каждого этапа научно-исследовательской работы приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Вид работ	Трудоемкость, чел. дни			Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		
1	Разработка ТЗ. Литературный обзор. Выбор материалов и методов	20	25	22	1	22
2	Разработка методик и методов	25	30	27	2	14
3	Подготовка материалов и настройка оборудования	3	15	8	1	8
4	Отработка методик эксперимента	30	35	32	2	16
5	Проведение экспериментов	30	40	34	1	34
6	Оформление и обработка данных	10	20	14	1	14

7	Проведение контрольных экспериментов и корректировка методик	10	20	14	1	14
8	Обсуждение результатов	10	20	14	2	7
9	Оформление отчета	15	20	17	1	17
Итог						143

4.3.3 Разработка графика выполнения научного исследования

Используя таблицу распределения работы построим сетевой график исследования. Диаграмма Ганта представляет собой график, на котором отрезками отмечены работ с учетом протяженности во времени с указанием даты начала и окончания (табл. 4.7).

Таблица 4.7 – Диаграмма Ганта

Номер этапа	Этап работы	Исполнители	T _{рj} , аб. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				Дек.		Янв.			Фев			Март			Апр			Май	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка ТЗ. Литературный обзор. Выбор материалов и методов	Исполнитель	22	■															
2	Разработка методик и методов	Исполнитель	18			■													
		Руководитель	10			■													
3	Подготовка материалов и настройка оборудования	Исполнитель	8				■												

4.3.4 Составление сметы научного исследования

При планировании сметы научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) материальные расходы;
- 2) электроэнергия;
- 3) полная заработная плата;
- 4) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 5) накладные расходы.

Материальные затраты

Затраты на сырье и материалы рассчитываются по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = \sum_{i=1}^n G_i \cdot C_i \quad (4.4)$$

где $Z_{\text{м}}$ – суммарные затраты, руб.; G_i – расход i -го компонента, ед.; C_i – цена i -го компонента, руб./ед.

Рассчитаем по формуле затраты на сырье и расходные материалы, используемое в данной работе (табл. 4.9).

Таблица 4.9. Затраты на сырье

Наименование	Кол-во	Единица изм	Цена, руб	Сумма, руб.
Нанопорошок гематита	0,1	кг	15790,00	1579,00
Ультрадисперсный порошок оксида железа	0,1	кг	13960,00	1369,00
Нанопорошок маггемита (18- 38 нм)	0,1	кг	37315,00	3731,50
Нанопорошок маггемита (18 нм)	0,1	кг	17500,00	1750,00
Толуол	2	л	91,00	182,00

Наименование	Кол-во	Единица изм	Цена, руб	Сумма, руб.
Изопропиловый спирт	2	л	173,00	346,00
Промышленное масло	1	л	236,00	236,00
Олеат натрия	0,1	кг	29,00	2,90
Дистиллированная вода	80	л	15	1200,00
Лабораторная посуда	-	-	-	1500,00
Одноразовые контейнеры для анализа	50	шт	14,5	725,00
Итого				12621,40

Электроэнергия

В составлении сметы НИ также необходимо учесть затраты на электроэнергию, это даст представление о энергоэффективности и энергозатратности разрабатываемого метода.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{C} \cdot N \cdot n \cdot t_{\text{зан.ч}} \cdot k_n, \quad (4.5)$$

где $\mathcal{C}$ — стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб.; N — мощность оборудования, кВт; n — количество единиц оборудования одного вида, ед.; $t_{\text{зан.ч}}$ — время занятости оборудования, ч.; k_n — коэффициент потери электроэнергии в сети ($k_n = 1,05$). ТПУ $\mathcal{C}_{\mathcal{E}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Рассчитаем затраты на электроэнергию работы ультразвуковой ванны по формуле (4.5).

$$\mathcal{E} = 5,748 \cdot 0,55 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 1,05 = 90,53$$

Вычисленные затраты на электроэнергию представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	N, кВт	n	t _{зан.ч} , ч.	Затраты, руб.
---------------------------	----------------	-----------	---	----------------------------	------------------

1	Аналитические весы	5,748	0,11	1	17	11,29
2	Ультразвуковая ванна	5,748	0,55	1	25	82,99
3	Спектрофотометр	5,748	0,15	1	100	90,53
4	Лазерный анализатор частиц	5,748	0,80	1	48	220,72
	Итого:					405,53

Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{рк}}}{F_d}, \quad (4.8)$$

где F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб.дн.; $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.; $Z_{\text{рк}}$ – районная доплата, руб. Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{23250 + 2200 + 7639}{26} = 1273 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата составляют

$$З_{\text{осн}} = 1273 \cdot 24 = 30552.$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	З _{допл} , руб.	З _{рк} , руб.	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	23250	2200	7639	33089	1273	24	30552
Исполнитель	8000	3600	3480	15080	580	159	92220
Итого З _{осн} , руб.							122772

Расчет дополнительной заработной платы, размер которой составляет 12 – 15% от основной.

$$З_{\text{доп}} = 30552 \cdot 0,15 = 4583 \text{ руб.}$$

Расчет полной заработной платы работы рассчитывают по формуле (4.6):

$$З_{\text{зп}} = 30552 + 4582 = 35135$$

Расчет полной заработной платы представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12. Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	З _{осн} , руб.	З _{доп} , руб.	З _{зп} , руб.
Руководитель	0,15	30552	4583	35135
Дипломник	0,12	92220	11066	103286
Итого З _{осн} , руб.		122772	15649	138421

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0,30 \cdot 138421 = 41526,30 \text{ рублей}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр}, \quad (4.10)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{накл} = (12621,40 + 405,53 + 138421,00 + 41526,30) \cdot 0,16 = 30875,88$$

4.3.5 Формирование сметы научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.13.

Таблица 4.13. Смета научного исследования

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные расходы	12,62	5,64
2. Электроэнергия	0,40	0,18
3. Полная заработная плата исполнителей работы	138,42	61,84
4. Отчисления во внебюджетные фонды	41,53	18,55
5. Накладные расходы	30,86	13,79
Итого	223,83	100

Исходя из таблицы 4.13, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию научно-исследовательского проекта составят 223,83 тысяч рублей, из которых 61,84% составят затраты на заработную плату, а отчисления во внебюджетные фонды 18,55%.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (4.11)$$

где I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$\Phi_{pi} = 223,83$ тыс. рублей – себестоимость НИР.

$\Phi_{pi1} = 230,6$ тыс. рублей – стоимость катализаторов нефтепереработки компании KNT Group за 1 т.

$\Phi_{pi2} = 287,27$ тыс. рублей – стоимость катализаторов нефтепереработки компании BASF за 1 т.

$$I_{\Phi}^p = \frac{223,83}{287,27} = 0,78 \text{ – интегральный финансовый показатель НИР.}$$

$$I_{\Phi}^p = \frac{230,6}{287,27} = 0,80 \text{ – интегральный финансовый показатель KNT Group.}$$

$$I_{\Phi}^p = \frac{287,27}{287,27} = 1,00 \text{ – интегральный финансовый показатель BASF.}$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad (4.12)$$

где I_m^p, I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^p, b_i^a – бальная оценка i -го параметра для разработки и аналога;

n – Число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведён в таблице 4.14.

Таблица 4.14. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	НИР	KNT Group	BASF
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	5	5

Активность	0,2	5	4	4
Селективность	0,1	5	4	5
Стабильность	0,2	4	5	5
Регенерируемость	0,2	5	4	5
Прочность	0,1	5	4	4
Итого	1	4,8	4,4	4,7

$I_m^p = 0,2*5 + 0,2*5 + 0,1*5 + 0,2*4 + 0,2*5 + 0,1*5 = 4,8$ – интегральный показатель ресурсоэффективности НИР;

$I_m^{a1} = 4,4$ – интегральный показатель ресурсоэффективности KNT Group;

$I_m^{a2} = 4,7$ – интегральный показатель ресурсоэффективности BASF.

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога

($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \quad (4.13)$$

$I_{финр}^p = \frac{4,8}{0,78} = 6,15$ – интегральный показатель эффективности НИР;

$I_{финр}^p = \frac{4,4}{0,80} = 5,5$ – интегральный показатель эффективности KNT Group;

$I_{финр}^p = \frac{4,7}{1} = 4,7$ – интегральный показатель эффективности BASF.

Сравнение интегрального показателя эффективности текущей разработки и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 4.15) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (4.14)$$

Таблица 4.15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,78	0,8	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,4	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	6,15	5,5	4,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,12	1	0,85

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что разработка в магистерской диссертации является более эффективным вариантом решения задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

4.5 Оценка экономической эффективности проекта

Проект можно осуществить вложив инвестиции в предприятие по изготовлению нанокаталитических добавок для нефтепереработки. Продукт проекта является более эффективным и дешевым по сравнению с ныне реализуемыми катализаторами. Посредством инвестиционной политики предприятие может достичь следующие стратегические и тактические цели: проникновение на рынок и последующее увеличение доли на рынке, увеличивая доходность.

Определим мощность предприятия в начальных стадиях, как 3 т/месяц. Цена за тонну продукта, учитывая расходы, а также стоимость продукции конкурентов, определим как 202 тыс. рублей.

Таблица 4.16 – Общая стоимость проекта

	Общая стоимость, тыс руб
Основное оборудование	936
Дополнительное оборудование	538
Оборудование помещений	844
ИТОГО	2318

Также имеются ежемесячные расходы такие как затраты на сырье, арендную плату помещения и зарплату сотрудников.

Таблица 4.17 – Ежемесячные расходы

	Месяц	Год
Сырье	298	3576
Аренда помещения	40	480
Заработная плата сотрудникам	150	1800
ИТОГО	488	5856

5.1 Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period)

Прибыль за год реализации 3 т продукции в месяц составит $3 \cdot 202000 \cdot 12 = 7272000$ рублей. Чистая прибыль за вычетом ежемесячных затрат составит 1416 тыс руб

Определим срок окупаемости инвестиций по формуле:

$$PP = \frac{I_0}{PP_{\text{ч}}}, \quad (4.15)$$

где I_0 – величина инвестиций;

$PP_{\text{ч}}$ – годовая чистая прибыль.

$$PP = \frac{2318}{1426} = 1,6$$

То есть проект окупается через 1,6 года.

Таблица 4.18. Накопленные денежные поступления по проекту

Год	Инвестиции	Прибыль	Накопленный денежный поток
0	-2,3	0	-2,3
1		1,4	-0,9
2		1,4	0,5
3		1,4	1,9

На конец второго года проект выйдет на прибыль в 0,5 млн руб.

Рассчитаем величину накопленного чистого эффекта за три года по формуле

$$NPV = \sum_{j=1}^n \text{ПР}_{\text{ч}j} - I_0 \quad (4.16)$$

$$NPV = (1,4 + 1,4 + 1,4) - 2,3 = 1,9$$

Так как период реализации проекта больше одного года, необходимо учесть изменение ценности денег во времени. При расчете по формулам (5.15) – (5.16) вместо величин $\Delta\text{ПР}_{\text{ч}j}$ используем их дисконтированные аналоги, получаемые путем деления $\Delta\text{ПР}_{\text{ч}j}$ на $(1 + i)^j$, где i – ставка дисконтирования (целевой уровень годовой доходности инвестируемых средств. Такая (динамическая) оценка инвестиций является более надежной, особенно при сравнении конкурирующих проектов. В таблице 4.19 показано, как определяется значение РР для тех же исходных данных, что и в таблице 4.18, но с учетом убывания реальной стоимости результатов в будущие периоды (годы) относительно периода инвестирования – чем дальше в будущее, тем она меньше на единицу номинального эффекта (здесь – млн. руб. прибыли), принято, что $i = 0,1$.

Таблица 4.19. Расчет дисконтированного срока окупаемости

Год	Инвестиции	Номинальная прибыль	Коэффициент дисконтирования $1/(1+0,1)^j$	Дисконтированная прибыль	Накопленный денежный поток
0	-2,3	0	1	0	-2,3

1		1,4	0,9091	1,2727	-1,0273
2		1,4	0,8264	1,1569	0,1296
3		1,4	0,7513	1,0518	1,1814

За срок реализации проекта – 3 года, накопленный денежный поток составит 1,1814 млн. руб.

4.6 Заключение по разделу

В данной главе проведен SWOT анализ научного исследования, в ходе которого были выявлены сильные и слабые стороны проекта. Исследование имеет ряд значительных преимуществ, угрозы для внедрения проекта не ставят под угрозу возможность его реализации.

Для лучшего планирования проведения работ и лучшей реализации труда исполнителей была построена ленточная диаграмма Ганта, которая наглядно иллюстрирует какое время необходимо затратить для осуществления НИ.

Также была определена смета научного исследования, выявлены основные статьи расходов. С помощью нее можно оптимизировать затраты в будущем при проведении аналогичных исследований. Примерная сумма для осуществления НИ составила 223,83 тыс. рублей.

Было выявлено, что проект экономически эффективен и срок окупаемости составит 1,6 года.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ72	Балташ Риза Максуткызы

Школа	Новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Применение нанокаталистических систем для переработки углеводов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования - нанопорошки оксидов железа. В работе исследовались свойства суспензий нанопорошков в различных дисперсионных средах (вода, изопропанол, толуол и индустриальное масло). Суспензии получали путем диспергирования наночастиц в дисперсионных средах ультразвуковым. Используемые приборы для приготовления и исследования суспензий – аналитические весы, ультразвуковая ванна, спектрофотометр и анализатор частиц. Рабочее место - лаборатория кафедры наноматериалов и нанотехнологий Томского политехнического университета.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения); ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные проявления факторов производственной среды: Отклонение показателей микроклимата, электромагнитное излучение, превышение уровня шума, недостаточная освещенность рабочей зоны, потенциальные риски при работе с органическими растворителями и нанопорошками. Опасные проявления факторов производственной среды: электротравмы при неправильной работе с электроприборами.
3. Экологическая безопасность:	Негативное воздействие на окружающую среду: контакт наночастиц с организмом человека и естественной биотой вследствие попадания в атмо-, гидро- и литосферу при превышении ПДК.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	При работе в лаборатории наиболее вероятными ЧС являются пожары.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ72	Балташ Риза Максуткызы		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Настоящая работа направлена на разработку состава и подбора условий приготовления суспензий, которые могут быть применены в качестве катализаторов для глубокой переработки тяжелой нефти.

Экспериментальные работы проходили на базе трех лабораторий:

- лаборатория отделения наноматериалов и нанотехнологий, Инженерная школа новых производственных технологий Томского политехнического университета (НМНТ ИШНПТ ТПУ), г. Томск;
- лаборатория кафедры функциональных наносистем и высокотехнологичных материалов, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (ФНСиВТМ НИТУ МИСиС), г. Москва;
- лаборатория углеводородов и высокомолекулярных соединений нефти, Институт химии нефти СО РАН.

Поскольку запасы основного сырья для нефтепереработки (легкие и средние нефти) истощаются, использование суспензий – нанокаталитических систем, вызывают большой интерес в нефтяной промышленности, так как они способны эффективно содействовать конверсии тяжелого углеводородного сырья из-за их уникальных свойств. В этой связи исследования по приготовлению и применению нанокаталитических дисперсий актуальны.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Список опасных и вредных веществ регламентируются постановлением гос. сан. врача РФ №54 от 23.07.2007 г. [113]. Согласно постановлению наноматериалы не относятся к опасным веществам, если достоверными источниками не доказано обратное.

В лабораторию допускаются только лица, достигшие совершеннолетия, являющиеся сотрудниками или студентами (в т.ч. студенты по обмену, лица, выполняющие практические, курсовые и дипломные работы), обязательно

прошедшие вводный инструктаж, обучение работе на оборудовании под руководством научных и инженерно-технических работников, прошедшие инструктаж по технике безопасности поведения в лабораторно-исследовательском помещении, технике безопасности обращении с химическими реактивами [114]. Сотрудники лаборатории обязаны регулярно проходить медицинское обследование [115].

При работе с наночастицами и наноструктурными материалами все работники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты: спецодежда или халат х/; прорезиненный с нагрудником; защитные латексные или резиновые перчатки; респиратор; очки защитные, с боковой защитой [116]. Контроль за исполнением требований законодательной базы осуществляется Федеральной инспекцией труда при Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации.

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда. Основные эргономические требования организации рабочей зоны исследователя:

- Отсутствие лишних объектов;
- Нужные вещи должны находиться на расстоянии вытянутой руки;
- Рабочее оборудование должно соответствовать технике безопасности и быть удобным;
- Рабочее место должно хорошо освещаться;
- Помещение должно хорошо проветриваться.

Правильно организовать рабочее место – это значит обеспечить его в соответствии со специализацией и технологическим назначением, а также с учетом существующего уровня технического прогресса – оборудованием, инвентарем, производственной мебелью, средствами связи и оргтехники; наладить бесперебойное и ритмичное обслуживание рабочего места другими службами, материальным и информационным обеспечением; создать благоприятные условия труда для выполнения трудовых процессов. При этом

материально-технические средства должны быть размещены в зоне рабочего места в соответствии с содержанием выполняемой работы и требованиями рациональных трудовых приемов [117].

5.2 Производственная безопасность

Производственные факторы подразделяются на: вредные и опасные производственные факторы. Согласно определениям, вредным производственный фактор считается, если его воздействие на работающего, может привести в определённых условиях, к травме или внезапному ухудшению здоровья. Воздействие опасного производственного фактора может привести к заболеванию или снижению работоспособности [118]. При этом, опасный фактор может стать вредным, в зависимости от условий воздействия.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
2. Электромагнитное излучение	+	+		
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
4. Повышенный уровень шума.	+	+		ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности; СП 42.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России. – 2011; ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки;

				ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
5. Воздействие вредных веществ	+	+	+	

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Отклонение показателей микроклимата. Микроклимат производственной среды определяется следующими параметрами: температура, интенсивность теплового излучения, относительная влажность воздуха, и оказывает непосредственное влияние на состояние и здоровье человека, а, следовательно, на его функциональную деятельность и надежность работы.

Согласно классификации профессиональной деятельности по категориям тяжести на основании общих энергозатрат, инженерная и исследовательская деятельность относится к категории легких работ (I б). Оптимальными параметрами микроклимата для этого случая являются следующие:

- Для холодного периода года: температура 21-23 °С, влажность 40-60%, скорость движения воздуха в помещении 0,1 м/с.
- Для теплого периода года: температура 22-25 °С, влажность 40-60%, скорость движения воздуха в помещении 0,1 м/с.

Для работы в зимнее время года обеспечивается отопление помещения. В летний период рабочая температура поддерживается постоянным кондиционированием.

Помимо этого, необходимо, чтобы размеры помещения соответствовали нормам вместимости оборудования и рабочих. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 [119], на одного рабочего должно приходиться: площадь - 4,5 м², объем воздуха 20 м³. Помещение в котором производились работы имеет параметры: длина 3 м, ширина 4 м, высота 3 м, общая площадь 12 м², общий объем 36 м³. Одновременно в лаборатории может работать до 3 человек.

Электромагнитное излучение. Последующий анализ и обработка данных, полученных за время эксперимента, предполагает использование

ПЭВМ. Это значит, что оператор сталкивается с влиянием электромагнитных полей. Нормами СанПиН 2.2.4.1191–03 установлены предельно допустимые уровни электромагнитного поля промышленной частоты (50Гц). Избыточное воздействие электромагнитного поля может стать причиной неврологических нарушений, бессонницы, привести к сбоям в работе желудочно-кишечного тракта и прочим негативным последствиям. Защита от электромагнитного излучения осуществляется с применением поглощающих или отражающих экранов.

Недостаточная освещенность рабочей зоны. Недостаточное освещение может снижать зрительную работоспособность, а, следовательно, и концентрацию, помимо этого возможны такие последствия как развитие офтальмологических заболеваний, перегруз центральной нервной системы, и негативное влияние на психоэмоциональное состояние рабочего. Помимо естественного освещения, которое обеспечивается окнами, лаборатория оснащена системой искусственного освещения.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [120] и СП 42.13330.2011 [121] норма освещенности для научно-технических лабораторий для естественного бокового освещения $KEO=1,2\%$, для совмещенного освещения $KEO=2,1\%$. Для искусственного освещения при общем освещении норма 400 лк, при коэффициенте пульсации не более 10%.

Повышенный уровень шума. Источниками шума в данном исследовании следует принять: магнитная мешалка и ультразвуковая ванна. Эти приборы провоцируют возникновение звуковых колебаний в рабочей зоне.

Непрерывная работа в условиях повышенного уровня шума может стать причиной снижения работоспособности персонала, вызывать подавленное психическое состояние, стать причиной развития тугоухости, частичной глухоты.

Требования ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [122] и СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [123], для уровней звукового давления и максимальный уровень шума для работы в лаборатории представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот

Рабочее помещен ие	Уровень звукового давления в октавной полосе со среднегеометрическими частотами, дБ.									Мах уровень звука, дБ
	Среднегеометрическая частота, Гц									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Лаборато рия	93	79	70	63	58	55	52	50	49	75

Для обеспечения безопасной работы в условиях лаборатории следует контролировать одновременное включение нескольких приборов, а также использовать звукоизолирующие кожухи, личные средства защиты – звукоподавляющие наушники.

Воздействие вредных веществ. Для безопасной работы с вредными химическими веществами является необходимо знание свойств, особенностей их токсичного действия и симптомов отравления. Неосторожность при работе с химическими реактивами может привести к острым и хроническим отравлениям, раздражению дыхательных путей, химическим и термическим ожогам.

Рассмотрим используемые в работе реактивы.

1. *Толуол* — органический растворитель. Толуол токсичен. Предельно допустимая концентрация (ПДК) толуола в воздухе рабочей зоны производственных помещений - 50 мг/м³. При увеличении концентрации толуол действует раздражающе на слизистые оболочки и кожу, а также вызывает поражение жизненно важных органов и систем. При работе с препаратом следует применять индивидуальные средства защиты (фильтрующий противогаз, спецодежду, резиновые перчатки, защитные мази и пасты), а также соблюдать правила личной гигиены. Помещения, в которых производятся работы с препаратом, должны быть оборудованы общей

приточно-вытяжной вентиляцией; работы с толуолом проводить в вытяжном шкафу лаборатории. Толуол - легковоспламеняющаяся жидкость. Температура самовоспламенения 536 °С. Температура вспышки 4 °С. Пределы самовоспламенения: нижний 0 °С, верхний 30 °С. Пары толуола с воздухом образуют взрывоопасные смеси. Работы с толуолом следует проводить вдали от огня. В случае загорания для тушения применяют тонкораспыленную воду, химическую пену, инертные газы. [124].

2. *Изопропиловый спирт* по степени воздействия на организм относится к веществам 3-го класса опасности (умеренно опасные вещества) по ГОСТ. ПДК паров изопропилового спирта в воздухе рабочей зоны - 10 мг/м³. Изопропиловый спирт обладает наркотическим действием. Отравление возможно при вдыхании паров при превышении ПДК. Средства защиты органов дыхания в аварийных ситуациях - противогаз марки А или БКФ. Изопропиловый спирт пожароопасен, относится к легковоспламеняющимся жидкостям. Температура вспышки 12°С, температура самовоспламенения 455 °С, область воспламенения паров изопропилового спирта в смеси с воздухом 2-12% в соответствии с ГОСТ 12.1.044. Все работы с изопропиловым спиртом должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции, вдали от огня и источников искрообразования. Средства пожаротушения: воздушно-механическая пена на основе пенообразователей ПО-1Д, ПО-ЗАИ;"САМПО", песок, вода, кошма и другие средства [125].

3. *Оксиды железа (Fe_2O_3 , Fe_3O_4)* – оксидное соединение железа разной валентности. Представляет из себя буро-коричневый порошок с размерами частиц микронного диапазона.

В соответствии с 1272/2008/ЕС не классифицируется как опасное для водной среды вещество. Согласно классификации в соответствии с регламентом (ЕС) №1272/2008 (CLP) при попадании может вызывать раздражение и разъедание кожи, серьезное повреждение и раздражение глаз. Является веществом обладающим специфической избирательной токсичностью, поражающим отдельные органы мишени при длительном и

многократном воздействии. В качестве мер предосторожности следует избегать вдыхания и попадания на кожу. При попадании на кожу и слизистые—осторожно промыть большим количеством воды. В случае плохого самочувствия обратиться в токсикологический центр или к врачу. Утилизация проводится на заводах промышленного сгорания. Оксид железа не является горючим или взрывоопасным веществом. Однако при возгорании контейнера с материалом или при непосредственной близости очага возгорания следует тушить разбрызгиванием воды, пеной, сухим порошком для тушения или диоксидом углерода. Нельзя тушить струей воды. В случае непреднамеренного выделения оксида железа следует выполнить следующие действия для локализации и очистки:

1. Использовать средства защиты, препятствующие попаданию на кожу, в глаза, на личную одежду, вдыханию пыли;
2. Перекрыть канализацию;
3. Убрать материал механическим способом, препятствуя всплыванию наночастиц;
4. Переместить материал в соответствующие контейнеры для утилизации.

Меры предосторожности при обращении и хранении. При работе с наночастицами оксида железа следует обеспечить достаточную вентиляцию помещения и рабочего места. Перед паузами и по окончании работы тщательно вымыть руки. Хранить вдали от напитков и пищевых продуктов, в сухом месте, в таре с плотно закрытой крышкой при температуре 15-25 °С.

Показатели токсичности (класс опасности и среднесуточная предельно допустимая концентрация) оксидов железа, используемых в работе, приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Показатели токсичности материалов согласно ГОСТ 12.1.005-88

Соединение	Показатель	
	Класс опасности	ПДК с.сут. (мг/м ³)
Оксид железа (III) Fe ₂ O ₃	3	0,04
Оксид железа (II, III) Fe ₃ O ₄	3	0,04

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

В процессе работы с оборудованием (установка Malvern Zeta Sizer, ПЭВМ) необходимо уделить внимание требованиям электробезопасности

Электробезопасность это совокупность технических средств и организационных мероприятий, для обеспечения защиты работников от вредных и опасных воздействий электрического тока, электромагнитного поля, статического электричества и электрической дуги [126].

Наиболее частыми причинами электротравм являются:

- 1) Прикосновение к металлическим корпусам неисправных электроприборов, которые находятся под напряжением, или имеют повреждения изоляции;
- 2) Прикосновение или приближение на критическое расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- 3) Неисправности электропроводки помещения;
- 4) Человеческий фактор: небрежность, неосторожность, неопытность, неосведомлённость пользователя.

Помещение, используемое для проекта отнесено к следующей категории, в соответствии с классом опасности поражения электрическим током: помещения без повышенной опасности.

Основным средством защиты человека при работе с промышленными электроустановками является заземление корпуса. Для защиты рабочего персонала также устанавливают полы из изолирующих материалов (например,

линолеум, резина, древесина и др.). Таким образом, в лаборатории должна быть обеспечена хотя бы одна из приведенных выше систем электробезопасности.

В лаборатории проекта заземлены все приборы, на полу - линолеум.

5.3 Экологическая безопасность

Проникновение наночастиц в окружающую среду чревато многими последствиями, однако, в связи с недостатком информации, на сегодняшний день сложно спрогнозировать и оценить их степень риска. Наиболее важным фактором, определяющим важность оценки экологической безопасности наноматериалов является малый размер, который открывает частицам пути в самые разные системы и организмы нашего мира. С другой стороны, исследователи отмечают, что токсичность в большей степени связана с примесями, присутствующими в наноматериалах, чем с самими материалами. Это обусловлено высокими адсорбционными свойствами наночастиц. Так, частицы с легкостью поглощают загрязнители и легко их распространяют, обходя природные барьеры.

Наночастицы могут представлять опасность для любого элемента экосистемы, однако степень этой опасности пока не известна. Поэтому, прежде чем начать практическое применение наноматериалов, необходимо определить степень их биологической опасности. На сегодняшний день сформированы пять основных шагов для определения рисков, связанных с повсеместным применением наноматериалов [127]:

1. Составить программу систематических исследований, ориентированных на определение возможного риска, связанного с наночастицами.
2. Разработать методы обнаружения наночастиц в воздухе и воде.
3. Создать методы определения возможной токсичности наноматериалов.
4. Сформировать модели, способные предсказать возможное воздействие наноматериалов на окружающую среду и здоровье человека.

5. Изыскать способ оценки воздействия наночастиц на окружающую среду и здоровье.

Защита атмосферы. Для установления экспозиционных нагрузок на персонал производств и населения необходимы данные о процессах попадания и накапливания наночастиц в воздух. По дисперсности и особенностям поведения в воздушной среде выделяют следующие группы наночастиц: а) ультратонкие частицы или наночастицы (размер меньше 0,1 мкм); б) частицы средней дисперсности (размер 0,1-10 мкм); в) грубодисперсные частицы (размер более 10 мкм). Попадая в воздух наночастицы образуют устойчивые во времени аэрозоли, которые проникают в наземные биологические объекты с помощью различных механизмов, физических и химических. Частицы средней дисперсности оседают в неподвижном воздухе с постоянной скоростью, грубодисперсные частиц – с возрастающей скоростью. Как было отмечено выше, наночастицы имеют высокую активность поверхности и легко адсорбируют токсические вещества. Их размер позволяет преодолеть биологические барьеры растений и организмов, проникнуть в растение или организм и провести за собой адсорбированный токсикант. Из атмосферы частицы попадают в биогеоценозы – озера, реки, почвы, грунты. Таким образом, одно только попадание в воздушную среду приводит к быстрому распространению частиц. Чтобы предотвратить попадание веществ в атмосферу, следует использовать в помещении лаборатории систему вентиляции, оснащенную встроенной системой фильтрации. Предельно допустимая концентрация наноматериалов в воздухе регламентируется ГН 2.1.6.1338-03 [128]. В производственных помещениях также необходимо контролировать чистоту помещения [129]. Для этого используют следующие технические подходы: контроль, фильтрование среды, очистка сред (вода, воздух), индивидуальная защита персонала. В помещениях, где непосредственно проводится работа с наноразмерными частицами используется вытяжная система с вакуумом для предотвращения попадания дисперсных частиц за пределы помещения.

Защита гидросферы. Попадая в воду, наночастицы ведут себя отлично от крупнодисперсных материалов в силу развитости поверхности, активности каталитических и электрокинетических свойств. Частицы в водных средах могут растворяться с образованием сложных ионных комплексных соединений – минеральных, органоминеральных, органических комплексов, которые представляют из себя заряженные комплексы и коллоиды частиц с высокоразвитой поверхностью. Миграционная способность и устойчивость металлов таких систем в растворах крайне высоки. Отмечается также, что наноматериалы легче вступают в химические превращения, чем более крупные объекты того же состава. Следовательно, они способны образовывать комплексы с неизвестными ранее свойствами. Неправильная утилизация может стать причиной попадания наночастиц в воду, использующуюся для обслуживания нужд людей. При этом, на сегодняшний день тема поведения наночастиц в водных средах не изучена глубоко, а в России наноматериалы не признаны потенциально опасными. По ГОСТ 17.1.3.06–82 [130] и ГОСТ 17.1.3.13–86 [131] если ПДК по ГН 2.1.5.2280-07 [132] не превышен, очистка воды не требуется.

Защита литосферы. В литосферу частицы попадают из атмосферы (пути попадания: адсорбция, осаждение, адгезия) из гидросферы (осаждение, растворение, адсорбция, адгезия), из биологических объектов. Исследователями отмечается, что основной вклад в загрязнение почв вносят элементы, обладающие наибольшей атомной массой, разнообразием миграционных, комплексных и коллоидных форм. При этом основной механизм попадания и миграции в почве – диффузия. Кинетику миграции и выщелачивание почв наноматериалами изучают в лабораторных условиях снятием и сравнением электрокинетических кривых на загрязнённых и незагрязнённых моделях почвенного профиля. Так как наночастицы переносят на себе заряд, оценка электропроводности почвы может помочь в их регистрации. Показателем миграционной опасности являются глубина миграции компонентов отхода по профилю почвы при соблюдении почвенно-климатических условий и уровень

содержания частиц в фильтре. При попадании наночастиц в почвы возрастает риск нарушения ее микробиологического состава, а следовательно - на плодородности. Наночастицы легко проникают из почвы в бентос, в растения, и, далее по пищевой цепочке, в организмы животных и людей. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в почве регламентируется ГН 2.1.7.2041-06 [133].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) необходимо разработать и ознакомить сотрудников с рядом действий и, уменьшающих масштабы ЧС. Также необходимо проводить планирование по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

Наиболее вероятными для научно-исследовательской лаборатории чрезвычайными ситуациями являются пожар и взрыв.

Возгорание может возникнуть по ряду причин, среди которых неисправная проводка, неисправное оборудование, неосторожное обращение с огнем. В хорошо вентилируемом помещении интенсивный приток воздуха может способствовать быстрому распространению пламени. Потому, при распространении огня, если возгорание не ликвидировано в первые несколько секунд,, следует в первую очередь отключить вентилятор и закрыть вентиляционный канал. Последовательность действий при пожаре:

- подать сигнала о помощи;
- удалить из зоны горения все материалы, способные к воспламенению, в случае возможности, удалить источник воспламенения;
- обесточить электрооборудование, ставшее источником воспламенения или обесточить все помещение;
- применить первичные средства пожаротушения.

Последовательность действий зависит от конкретной ситуации.

При этом, стоит учитывать, что, если в вытяжном шкафу проводились работы с токсичными веществами, то отключение вентиляции может стать

причиной выделения из в воздух рабочей зоны. А при повышении температуры возможность отравления участников ликвидации аварии возрастает. В таком случае всем, находящимся в помещении, необходимо использовать СИЗОД, до снижения концентрации токсиканта в воздухе.

Регулярно следует проводить мероприятия по мониторингу и повышению устойчивости организации при ЧС:

- инженерно-технические – повышение устойчивости сооружений, контроль за технологическими процессами, противопожарные мероприятия (система сигнализации, средства пожаротушения и пр.), утилизация и контроль сроков хранения и объемов пожаро- и взрывоопасных веществ, дублирование и контроль источников электроснабжения, защита водоисточников, защита уникального и ценного оборудования.

- организационные – включают в себя разработку плана действий при ЧС, прогнозирование последствий, создание и контроль систем оповещения, подготовка персонала, проведение учений. Помимо этого, к инженерно-техническим мерам относятся разработка планов и технологических карт по снижению опасности при возникновении аварийных ситуаций, восстановление нарушенного производства и локализация последствий.

- специальные мероприятия - обеспечение и хранение СИЗОД, создание запаса средств для нейтрализации опасных и вредных веществ, дегазация [134].

Лаборатория оснащена 2-мя углекислотными огнетушителями марки ОУ-2, которые предназначены для тушения возгораний химических веществ за исключением тушения щелочноземельных элементов, электрических приборов, работающих под напряжением ниже 1000В.

5.5 Выводы по разделу

Главным направлением обеспечения экологической безопасности нанотехнологий и наноматериалов является жесткий контроль нанопродуктов и их производных на всех стадиях жизненного цикла: от разработки и изучения в

лаборатории до полной утилизации. Так как система гигиенического контроля и нормирования для наночастиц и наноматериалов на сегодняшний день еще не разработана, то при работе с наночастицами следует проводить мониторинг риска для каждого используемого материала. Целью такого мониторинга должно стать уменьшение до приемлемого уровня риска и снижение негативных воздействий исследуемых частиц на персонал и окружающую среду [135].

В главе рассмотрены основные требования к безопасности работы персонала на всех этапах работы с выбранными материалами для минимизации негативного воздействия. Организация работы по представленным протоколам также является основным минимумом для перехода от лабораторного производства к опытному, а затем и к массовому производству и использованию предложенных в работе идей в промышленности.

Список литературы

1. Maggi F., Dossi S., Paravan C., Galfetti L., Rota R., Cianfanelli S., Marra G. Iron oxide as solid propellant catalyst: A detailed characterization //Acta Astronautica. – 2019. – V. 158. – P. 416-424.
2. Mikenin P., Zazhigalov S., Elyshev A., Lopatin S., Larina T., Cherepanova S. Iron oxide catalyst at the modified glass fiber support for selective oxidation of H₂S //Catalysis Communications. – 2016. – V.87. – P.36-40.
3. Lødeng R., Lunder O., Lein J.E., Dahl P.I., Svenum I.H. Synthesis of light olefins and alkanes on supported iron oxide catalysts //Catalysis Today. – 2018. – V.299. – P.47-59.
4. Rajabi F., Arancon R. A. D., Luque R. Oxidative esterification of alcohols and aldehydes using supported iron oxide nanoparticle catalysts //Catalysis Communications. – 2015. – V.59. – P.101-103.
5. Теляшев Э.Г., Журкин О.П., Везиров Р.Р., Ларионов С.Л., Имашев У.Б. Термокаталитическая переработка мазута в присутствии железооксидного катализатора //Химия твердого топлива. – 1991. – Т.33. – №. 5. – С.57.
6. Шарыпов В.И., Береговцова Н.Г., Барышников С В., Кузнецов Б.Н. Пиролиз нефтяного остатка и некоторых органических соединений в среде водяного пара в присутствии гематита //Химия в интересах устойчивого развития. – 1997. – №. 3. – С.287-291.
7. Хаджиев С. Н., Кадиев Х. М., Кадиева М. Х. Синтез и свойства наноразмерных систем эффективных катализаторов гидроконверсии тяжелого нефтяного сырья //Нефтехимия. – 2014. – Т. 54. – №. 5. – С. 327-327.
8. ISO/TS 80004-1. Nanotechnologies-Vocabulary-Part 1: core terms. International Organization for Standardization; 2010.
9. Pokropivny V. V., Skorokhod V. V. Classification of nanostructures by dimensionality and concept of surface forms engineering in nanomaterial

- science //Materials Science and Engineering. – 2007. – V. 27. – №. 5-8. – P. 990-993.
10. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
 11. What is a "nanomaterial"? European Commission breaks new ground with a common definition: European Commission, 2011. Режим доступа: http://europa.eu/rapid/pressrelease_IP-11-1202_en.htm?locale=en.
 12. Nanotechnologies. Terminology and definitions for nano-objects // Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. ISO/TS 27687:2008.
 13. Нанопорошки: описание и объемы производства. Режим доступа: <http://abercade.ru/research/analysis/67.html>.
 14. Qiao K., Tian W., Bai J., Wang L., Zhao J., Du Z., Gong X. Application of magnetic adsorbents based on iron oxide nanoparticles for oil spill remediation: A review //Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. – 2019.
 15. Wu W., He Q., Jiang C. Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies //Nanoscale research letters. – 2008. – V.3. – №. 11. – P.397.
 16. Kang Y.S., Risbud S., Rabolt J.F., Stroeve P. Synthesis and characterization of nanometer-size Fe₃O₄ and γ -Fe₂O₃ particles //Chemistry of Materials. – 1996. – V.8. – №. 9. – P.2209-2211.
 17. Rockenberger J., Scher E.C., Alivisatos A.P. A new nonhydrolytic single-precursor approach to surfactant-capped nanocrystals of transition metal oxides //Journal of the American Chemical Society. – 1999. – V.121. – №. 49. – P.11595-11596.
 18. Sun S., Zeng H. Size-controlled synthesis of magnetite nanoparticles //Journal of the American Chemical Society. – 2002. – V.124. – №. 28. – P.8204-8205.
 19. Hyeon T., Lee S.S., Park J., Chung Y., Na H.B. Synthesis of highly crystalline and monodisperse maghemite nanocrystallites without a size-selection process

- //Journal of the American Chemical Society. – 2001. – V.123. – №. 51. – P.12798-12801.
20. Bhavani P., Rajababu C.H., Arif M.D., Reddy I.V.S., Reddy N.R. Synthesis of high saturation magnetic iron oxide nanomaterials via low temperature hydrothermal method //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – V.426. – P.459-466.
21. Attallah O.A., Girgis E., Abdel-Mottaleb M.M.S.A. Synthesis of non-aggregated nicotinic acid coated magnetite nanorods via hydrothermal technique //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – V.399. – P.58-63.
22. Islam M.S., Kusumoto Y., Abdulla-Al-Mamun M. Novel rose-type magnetic (Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) nanoplates synthesized by simple hydrothermal decomposition //Materials Letters. – 2012. – V.66. – №. 1. – P.165-167.
23. López-Quintela M.A., Tojo C., Blanco M.C., Rio L.G., Leis J.R. Microemulsion dynamics and reactions in microemulsions //Current opinion in colloid & interface science. – 2004. – V.9. – №. 3-4. – P.264-278.
24. Vidal-Vidal J., Rivas J., López-Quintela M. A. Synthesis of monodisperse maghemite nanoparticles by the microemulsion method //Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2006. – V.288. – №. 1-3. – P.44-51.
25. Svetlichnyi V.A., Shabalina A.V., Lapin I.N., Goncharova D.A., Velikanov D.A., Sokolov A.E. Study of iron oxide magnetic nanoparticles obtained via pulsed laser ablation of iron in air //Applied Surface Science. – 2018. – V.462. – P.226-236.
26. Huang S.H., Chen D.H. Rapid removal of heavy metal cations and anions from aqueous solutions by an amino-functionalized magnetic nano-adsorbent //Journal of Hazardous Materials. – 2009. – V. 163. – №. 1. – P. 174-179.

27. Pang Y., Zeng G., Tang L., Zhang Y., Liu Y., Lei X., Xiong Y. Preparation and application of stability enhanced magnetic nanoparticles for rapid removal of Cr (VI) //Chemical Engineering Journal. – 2011. – V. 175. – P. 222-227.
28. Sharrock M.P., Bodnar R.E. Magnetic materials for recording: An overview with special emphasis on particles //Journal of Applied Physics. – 1985. – V. 57. – №. 8. – P. 3919-3924.
29. Kim J.S., Yoon T.J., Yu K.N., Kim B.G., Park S.J., Kim H.W. Toxicity and tissue distribution of magnetic nanoparticles in mice //Toxicological Sciences. – 2005. – V. 89. – №. 1. – P. 338-347.
30. P. Tartaj, M.P. Morales, T. Gonzalez-Carreno, S. Veintemillas-Verdaguer, C.J. Serna. Advances in magnetic nanoparticles for biotechnology applications //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2005. – V. 290. – P. 28-34.
31. H.H. Yang, S.Q. Zhang, X.L. Chen, Z.X. Zhuang, J.G. Xu, X.R. Wang. Magnetite-containing spherical silica nanoparticles for biocatalysis and bioseparations //Analytical chemistry. – 2004. – V. 76. – №. 5. – P. 1316-1321.
32. J. Giri, P. Pradhan, V. Somani, H. Chelawat, S. Chhatre, R. Banerjee, D. Bahadur. Synthesis and characterizations of water-based ferrofluids of substituted ferrites $[Fe_{1-x}B_xFe_2O_4]$, B= Mn, Co ($x= 0-1$) for biomedical applications //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2008. – V. 320. – №. 5. – P. 724-730.
33. D. Pouliquen, J.J. Le Jeune, R. Perdrisot, A. Ermias, P. Jallet. Iron oxide nanoparticles for use as an MRI contrast agent: pharmacokinetics and metabolism //Magnetic resonance imaging. – 1991. – V. 9. – №. 3. – P. 275-283.
34. M. Taupitz, J. Schnorr, C. Abramjuk, S. Wagner, H. Pilgrimm, H. Hu'nigen, B. Hamm. New generation of monomer-stabilized very small superparamagnetic iron oxide particles (VSOP) as contrast medium for MR angiography: Preclinical results in rats and rabbits //Journal of Magnetic Resonance Imaging. – 2000. – V. 12. – №. 6. – P. 905-911.

35. S. Sieben, C. Bergemann, A. Lubbe, B. Brockmann, D. Rescheleit. Comparison of different particles and methods for magnetic isolation of circulating tumor cells //Journal of magnetism and magnetic materials. – 2001. – V. 225. – №. 1-2. – P. 175-179.
36. Petri-Fink, M. Chastellain, L. Juillerat-Jeanneret, A. Ferrari, H. Hofmann. Development of functionalized superparamagnetic iron oxide nanoparticles for interaction with human cancer cells //Biomaterials. – 2005. – V. 26. – №. 15. – P. 2685-2694.
37. Tanyolaç D., Özdural A.R. BSA adsorption onto magnetic polyvinylbutyral microbeads //Journal of applied polymer science. – 2001. – V. 80. – №. 5. – P. 707-715.
38. H. Lee, E. Lee, D.K. Kim, N.K. Jang, Y.Y. Jeong, S. Jon. Antibiofouling polymer-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles as potential magnetic resonance contrast agents for in vivo cancer imaging //Journal of the American Chemical Society. – 2006. – V. 128. – №. 22. – P. 7383-7389.
39. Cornell R. M., Schwertmann U. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. – John Wiley & Sons, 2003.
40. U.T. Lam, R. Mammucari, K. Suzuki, N.R. Foster. Processing of iron oxide nanoparticles by supercritical fluids //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2008. – V. 47. – №. 3. – P. 599-614.
41. Shi F., Tse M.K., Pohl M.M., Brückner A., Zhang S., Beller M. Tuning catalytic activity between homogeneous and heterogeneous catalysis: improved activity and selectivity of free nano-Fe₂O₃ in selective oxidations //Angewandte Chemie International Edition. – 2007. – V.46. – №. 46. – P.8866-8868.
42. Zhang R., Huang J., Zhao J., Sun Z., Wang Y. Sol–gel auto-combustion synthesis of zinc ferrite for moderate temperature desulfurization //Energy & Fuels. – 2007. – V.21. – №. 5. – P.2682-2687.

43. Teja A. S., Koh P. Y. Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles //Progress in crystal growth and characterization of materials. – 2009. – V.55. – №. 1-2. – P.22-45.
44. Holme B. Morphology and crystallographic relationships in reduced magnetite: a comprehensive structural study of the porous iron ammonia synthesis catalyst //Journal of Catalysis. – 1997. – V. 167. – №. 1. – P. 12-24.
45. Bogdanov S.S., Aleksić B.D., Mitov I.G., Klisurski D.G., Petranović N.A. Comparative study of the reduction kinetics of magnetites and derived ammonia synthesis catalysts //Thermochimica acta. – 1990. – V. 173. – P. 71-79.
46. Basińska A., Maniecki T. P., Jóźwiak W. K. Catalytic activity in water-gas shift reaction of platinum group metals supported on iron oxides //Reaction Kinetics and Catalysis Letters. – 2006. – V. 89. – №. 2. – P. 319-324.
47. Datta P., Rihko-Struckmann L. K., Sundmacher K. Influence of molybdenum on the stability of iron oxide materials for hydrogen production with cyclic water gas shift process //Materials Chemistry and Physics. – 2011. – V. 129. – №. 3. – P. 1089-1095.
48. Lin Y. H., Chen Y. C., Chu H. The mechanism of coal gas desulfurization by iron oxide sorbents //Chemosphere. – 2015. – V. 121. – P. 62-67.
49. Kemnitz E., Menz D. H. Fluorinated metal oxides and metal fluorides as heterogeneous catalysts //Progress in Solid State Chemistry. – 1998. – V.26. – №. 2. – P.97-153.
50. Dong H., Xie M., Xu J., Li M., Peng L., Guo X., Ding W. Iron oxide and alumina nanocomposites applied to Fischer–Tropsch synthesis //Chemical Communications. – 2011. – V. 47. – №. 13. – P. 4019-4021.
51. Kang S.-H., Bae J. W., Cheon J.-Y., Lee Y.-J., Ha K.-S., Jun K.-W., Lee D.-H., Kim B.-W. Catalytic performance on iron-based Fischer–Tropsch catalyst in fixed-bed and bubbling fluidized-bed reactor //Applied Catalysis B: Environmental. – 2011. – V. 103. – №. 1-2. – P. 169-180.

52. Moodley P., Scheijen F.J.E., Niemantsverdriet J.W., Thüne P.C. Iron oxide nanoparticles on flat oxidic surfaces—Introducing a new model catalyst for Fischer–Tropsch catalysis //Catalysis Today. – 2010. – V. 154. – №. 1-2. – P. 142-148.
53. Wang C-T, Ro S-H. Nanocluster iron oxide-silica aerogel catalysts for methanol partial oxidation //Applied Catalysis A: General. – 2005. – V. 285. – №. 1-2. – P. 196-204.
54. Yan B., Wang L., Wang B., Alam F., Xiao Z., Li J., Jiang T. Constructing a high-efficiency iron-based catalyst for carbon dioxide oxidative dehydrogenation of 1-butene: The role of oxygen mobility and proposed reaction mechanism //Applied Catalysis A: General. – 2019. – V.572. – P.71-79.
55. Z. Zhong, J. Ho, J. Teo, S. Shen, A. Gedanken. Synthesis of porous α -Fe₂O₃ nanorods and deposition of very small gold particles in the pores for catalytic oxidation of CO //Chemistry of Materials. – 2007. – V. 19. – №. 19. – P. 4776-4782.
56. A.K. Kandalam, B. Chatterjee, S.N. Khanna, B.K. Rao, P. Jena, B.V. Reddy. Oxidation of CO on Fe₂O₃ model surfaces //Surface Science. – 2007. – V. 601. – №. 21. – P. 4873-4880.
57. Q. Liu, Z.M. Cui, Z. Ma, S.W. Bian, W.G. Song, L.J. Wan. Morphology control of Fe₂O₃ nanocrystals and their application in catalysis //Nanotechnology. – 2007. – V. 18. – №. 38. – P. 385605.
58. Jørgensen T. L., Livbjerg H., Glarborg P. Homogeneous and heterogeneously catalyzed oxidation of SO₂ //Chemical Engineering Science. – 2007. – V. 62. – №. 16. – P. 4496-4499.
59. M.L. Peterson, J.G.E. Brown, G.A. Parks, C.L. Stein. Differential redox and sorption of Cr (III/VI) on natural silicate and oxide minerals: EXAFS and XANES results //Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1997. – V. 61. – №. 16. – P. 3399-3412.

60. Zhong Z., Lin J., Teh S P., Teo J., Dautzenberg F.M. A rapid and efficient method to deposit gold particles onto catalyst supports and its application for CO oxidation at low temperatures //Advanced Functional Materials. – 2007. – V.17. – №. 8. – P.1402-1408.
61. Kozlova A.P., Sugiyama S., Kozlov A.I., Asakura K., Iwasawa Y. Iron-oxide supported gold catalysts derived from gold-phosphine complex Au (PPh₃)(NO₃): State and structure of the support //Journal of Catalysis. – 1998. – V.176. – №. 2. – P.426-438.
62. Hutchings G.J., Hall M.S., Carley A.F., Landon P., Solsona B.E., Kiely C.J., Fierro-Gonzalez J.C. Role of gold cations in the oxidation of carbon monoxide catalyzed by iron oxide-supported gold //Journal of Catalysis. – 2006. – V.242. – №. 1. – P.71-81.
63. Bandara J., Klehm U., Kiwi J. Raschig rings-Fe₂O₃ composite photocatalyst activate in the degradation of 4-chlorophenol and Orange II under daylight irradiation //Applied Catalysis B: Environmental. – 2007. – V.76. – №. 1-2. – P.73-81.
64. Brebu M., Uddin M.A., Muto A., Sakata Y., Vasile C. Catalytic degradation of acrylonitrile–butadiene–styrene into Fuel Oil 1. The effect of iron oxides on the distribution of nitrogen-containing compounds //Energy & Fuels. – 2001. – V.15. – №. 3. – P.559-564.
65. British Petroleum Company, BP Energy Outlook 2016, British Petroleum Co., London, 2016. p. 13, Режим доступа: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>.
66. REN21—Renewable Energy Policy Network for the 21st Century Renewables 2012—Global Status Report, (2012). Режим доступа: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf
67. Dusseault M. B., Shafiei A. Oil sands //Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 2000.
68. Huc A. Y. Heavy crude oils: from geology to upgrading: an overview. – Editions Technip, 2010.

69. Speight J. G. (ed.). The desulfurization of heavy oils and residua. – CRC Press, 1999.
70. Chen, S. L., Jia, S. S., Luo, Y. H., & Zhao, S. Q. Mild cracking solvent deasphalting: a new method for upgrading petroleum residue //Fuel. – 1994. – V. 73. – №. 3. – P. 439-442.
71. Adewusi V. A., Ademodi B., Oshinowo T. Relative efficiency of phenol-water-ether mixture and nitrobenzene system for deasphalting “low-asphaltic” crude oil residue //Fuel Processing Technology. – 1991. – V. 27. – №. 1. – P. 21-34.
72. Черножуков Н. И. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов: Учебник. Технология переработки нефти и газа. Часть 3. – Химия, 1978.
73. Поконова Ю. П. Химия высокомолекулярных соединений нефти. – Изд. ленинградского университета, 1980.
74. R.L. Dickenson, F.E. Biasca, B.L. Schulman, H.E. Johnson. Refiner options for converting and utilizing heavy fuel oil //Hydrocarbon Processing. – 1997. – V. 76. – №. 2.
75. Смидович Е.В. Технология переработки нефти и газа. Ч.2-я. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов. М, Химия, 1980, 3-е изд, - 328 с.
76. Каминский Э. Ф., Хавкин В. А. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты //М.: Техника. – 2001. – Т. 384. – С. 1.
77. R.V. Pindoria, A. Megaritis, I.N. Chatzakis, L.S. Vasanthakumar, S.F. Zhang, M.J. Lazaro. Structural characterization of tar from a coal gasification plant: Comparison with a coke oven tar and a crude oil flash-column residue //Fuel. – 1997. – V. 76. – №. 2. – P. 101-113.
78. Н.А. Кириченко. Производство водорода, синтез-газа и энергетического газа. - М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1981. – 164.

79. S.F. Gonzalez, J. Carrillo, L.J. Hoyos, S. Giraldo. Modified design for vacuum residue processing //CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro. – 2010. – V. 4. – №. 2. – P. 57-69.
80. Войцеховский Б. В., Корма А. Каталитический крекинг: катализаторы, химия, кинетика. - М: Химия, 1990. - 150
81. H. Shen, Z. Ding, R. Li. An Efficient Way for Heavy Residue Processing// Proc 15th World Petroleum Congress. – 1998. – V. 2. – №. 2. – P. 907.
82. Tanabe K., Gray M. R. Role of fine solids in the coking of vacuum residues //Energy & fuels. – 1997. – V.11. – №. 5. – P.1040-1043.
83. Tye C. T., Smith K. J. Catalytic activity of exfoliated MoS₂ in hydrodesulfurization, hydrodenitrogenation and hydrogenation reactions //Topics in catalysis. – 2006. – V. 37. – №. 2-4. – P. 129-135.
84. Thian T.Ch. Effects of catalyst morphology on hydrotreating reactions // Journal of Engineering Science and Technology. – 2008. – V. 3. – №. 2. – P. 117-123.
85. Strausz O. P. Oil-soluble catalysts for the hydrocracking of Athabasca bitumen //Fuel and Energy Abstracts. – 1996. – V. 3. – №. 37. – P. 176.
86. Boakye E., Radovic L. R., Osseo-Asare K. Microemulsion-mediated synthesis of nanosize molybdenum sulfide particles //Journal of colloid and interface science. – 1994. – V. 163. – №. 1. – P. 120-129.
87. Elizondo-Villarreal N., Velázquez-Castillo R., Galván D.H., Camacho A., Yacamán M.J. Structure and catalytic properties of molybdenum sulfide nanoplatelets //Applied Catalysis A: General. – 2007. – V. 328. – №. 1. – P. 88-97.
88. Кадиева М.Х. Формирование и свойства системы “наночастицы катализатора – углеводородная среда” для гидроконверсии высокомолекулярных компонентов нефтей: Автореф. дис. на соиск. ученой степ. канд. хим. наук: 02.00.13. ИНХС РАН. Москва. 2011. 24 с.

89. Tarboush B. J. A., Husein M. M. Dispersed Fe₂O₃ nanoparticles preparation in heavy oil and their uptake of asphaltenes //Fuel processing technology. – 2015. – V.133. – P.120-127.
90. Липатников В.Е., Казаков В.М. Физическая и коллоидная химия: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 231с.
91. Егорова Е.В. Поленов Ю.В. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие - Иваново: Иван. гос.хим. технолог. ун-т, 2008. – 84 с.
92. Д.И. Рыжонков. Наноматериалы: учебное пособие. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 369 с.
93. Годымчук А.Ю., Савельев Г.Г., Зыкова А.П. Экология наноматериалов. Учебное пособие. - М: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012. – 272 с.
94. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М: Химия, 1989. – 465с.
95. Richardson J. F., Harker J. H., Backhurst J. R. Coulson & Richardson's Chemical Engineering. – London : Butterworth-Heinemann, 2002. – Т. 2. – С. 1229.
96. Almansoori Z., Khorshidi B., Sadri B., Sadrzadeh M. Parametric study on the stabilization of metal oxide nanoparticles in organic solvents: A case study with indium tin oxide (ITO) and heptane //Ultrasonics sonochemistry. – 2018. – V.40. – P.1003-1013.
97. Воюцкий С.Р. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1975 – 512 с.
98. Бойко Е. В. Химия нефти и топлив. – Учебное пособие. - Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 60 с.
99. Pimpha N., Chaleawlert-Umpon S., Sunintaboon P. Core/shell polymethyl methacrylate/polyethyleneimine particles incorporating large amounts of iron oxide nanoparticles prepared by emulsifier-free emulsion polymerization //Polymer. – 2012. – V. 53. – №. 10. – P. 2015-2022.

100. Saber O., H Mohamed N., Aljaafari A. Synthesis of magnetic nanoparticles and nanosheets for oil spill removal //Nanoscience & Nanotechnology-Asia. – 2015. – V. 5. – №. 1. – P. 32-43.
101. Zhu L., Li C.H., Wang J., Zhang H., Zhang J., Shen Y.H. A simple method to synthesize modified Fe₃O₄ for the removal of organic pollutants on water surface //Applied Surface Science. – 2012. – V. 258. – №. 17. – P. 6326-6330.
102. Y. Sahoo, A. Goodarzi, M.T. Swihart, T.Y. Ohulchansky, E.P. Furlani, P.N. Prasad. Aqueous ferrofluid of magnetite nanoparticles: fluorescence labeling and magnetophoretic control //The Journal of Physical Chemistry B. – 2005. – V. 109. – №. 9. – P. 3879-3885.
103. Bourlinos A. B., Simopoulos A., Petridis D. Synthesis of capped ultrafine γ -Fe₂O₃ particles from iron (III) hydroxide caprylate: a novel starting material for readily attainable organosols //Chemistry of materials. – 2002. – V. 14. – №. 2. – P. 899-903.
104. Курзина И.А., Годымчук А.Ю., Качаев А.А. Рентгенофазовый анализ нанопорошков. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Отрасли наноиндустрии. Области применения наноматериалов», ТПУ, 2010.
105. Коньгин С.Б., Иवानяков С.В. Процессы седиментации в дисперсных системах // Методические указания к самостоятельной работе. – Самара: СГТУ, 2009.– 21 с.
106. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава. ГОСТ 23781-87. Государственный комитет по стандартам. Москва. – 1988. – 46 с.
107. Гаврилова Н. Н. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов. – 2012, М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. – 52 с.

108. Бочкарев В.В. Теоретические основы технологических процессов охраны окружающей среды. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 320 с.
109. Golovko A.K., Kopytov M.A., Sharonova O.M., Kirik N.P., Anshits A.G. Cracking of heavy oils using catalytic additives based on coal fly ash ferrospheres //Catalysis in Industry. – 2015. – V. 7. – №. 4. – P. 293-300.
110. Dmitriev D. E., Golovko A. K. Transformations of resins and asphaltenes during the thermal treatment of heavy oils //Petroleum chemistry. – 2010. – V. 50. – №. 2. – P. 106-113.
111. Sviridenko N.N., Krivtsov E.B., Golovko A.K. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2016. – V. 52. – №. 3. – P. 285-292.
112. Hosseinpour M., Fatemi S., Ahmadi S. J. Catalytic cracking of petroleum vacuum residue in supercritical water media: impact of α -Fe₂O₃ in the form of free nanoparticles and silica-supported granules //Fuel. – 2015. – V.159. – P.538-549.
113. Постановление гос. сан. врача РФ №54 от 23.07.2007 г. "О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы".
114. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
115. ТК РФ. Охрана труда. Требования охраны труда. Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий сотрудников.
116. ТК РФ. Охрана труда. Требования охраны труда. Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда.
117. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
118. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности: учебное пособие / А. И. Агошков, А. Ю. Трегубенко, Т. И. Вершкова;

- Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ). — Москва: Проспект, 2015. — 157 с.: ил. — Библиогр.: с. 153-154.
119. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1031-01 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
 120. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
 121. СП 42.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. — М.: Минстрой России. — 2011.
 122. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
 123. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
 124. ГОСТ 5789-78 Реактивы. Тoluол. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой).
 125. ГОСТ 9805-84. Спирт изопропиловый. Технические условия.
 126. Правила устройства электроустановок ПУЭ, утвержденные приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. N 204, Раздел 1. Общие правила.
 127. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А. Экологическая безопасность наночастиц, наноматериалов и нанотехнологий: учеб. Пособие / Владим. гос. ун-т. — Владимир: изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. — 64 с.
 128. ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Минздрав России. — 2005.
 129. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды.
 130. ГОСТ 17.1.3.06–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.
 131. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

132. ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
133. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве Минздрав России. – 2006.
134. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях.
135. Методические рекомендации по обработке и анализу данных, необходимых для принятия решений в области охраны окружающей среды и здоровья населения: утв. руководителем департамента Госсанэпиднадзора Минздрава России от 27.02.01 г. № 11-3/61-09. – М.: Министерство здравоохранения РФ, 2001.

Список публикаций студента

1. Балташ Р.М., Годымчук А.Ю., Жесткова Д.И. Седиментационная устойчивость суспензий наночастиц оксида железа // Химическая технология функциональных наноматериалов: сборник материалов международной конференции со школой и мастер-классами для молодых ученых, г. Москва, 30 ноября-01 декабря 2017 г. — Москва, 2017. – 2017. – С. 44.
2. Балташ Р.М. Влияние дисперсионной среды на седиментационную устойчивость суспензий Fe_2O_3 //Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов V Всероссийского конкурса научных докладов студентов, г. Томск, г. Тамбов, 22-23 мая 2018 г.—Томск, 2018. – 2018. – С. 10.
3. Балташ Р.М., Годымчук А.Ю., Копытов М.А. Седиментационная устойчивость суспензий оксида железа (III) в углеводородной среде // Сборник материалов VII Межд. конф. «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества», Суздаль, 1-5 октября 2018 г. – М: ИМЕТ РАН, 2018. – С. 277-278.
4. Балташ Р.М. Приготовление седиментационно-устойчивых дисперсий наночастиц оксида железа // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2019». – М: МАКС Пресс, 2019
5. Р.М. Балташ, Ю.В. Папина. Дисперсионные свойства наночастиц Fe_2O_3 в разных дисперсионных средах // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 23–26 апреля 2019 г.