

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки Химическая технология топлива и газа
 Отделение школы (НОЦ) ОХИ

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния магнитной обработки на процесс образования нефтяных отложений

УДК 622.276.72:621.318.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бешагина Е. В.	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т. Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пашков Е. Н.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ивашкина Е. Н.	Д.Т.Н.		

**Запланированные результаты обучения
по образовательной программе «Химическая технология топлива и газа»
(направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»)**

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС (самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта)
Общекультурные (универсальные) компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	Способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	Готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	Готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	Готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
ПК(У)-3	Способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
Дополнительные профессиональные компетенции (профессиональные компетенции, установленные университетом)	
ДПК(У)-1	Готовность к решению профессиональных производственных задач – контролю технологического процесса, разработке параметров проведения технологического процесса, разработке технологических расходных коэффициентов сырья и материалов, энергоресурсов, к выбору основного и вспомогательного оборудования
ДПК(У)-2	Способность использовать математические модели и пакеты прикладных программ для описания и прогнозирования различных явлений
ДПК(У)-3	Способность проводить технологические и технические расчеты по проектам, технико-экономический анализ проекта
ДПК(У)-4	Способность разрабатывать учебно-методической документации для реализации образовательных программ

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки Химическая технология топлива и газа
 Отделение школы (НОЦ) ОХИ

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
Ивашкина Е. Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович

Тема работы:

Исследование влияния магнитной обработки на процесс образования нефтяных отложений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 26.03.2021 № 2342/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	26.05.2021 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект – установка комплексной подготовки газа (УКПГ). Режим работы УКПГ – непрерывный, круглосуточный. Сырье – пластовый газ (газоконденсатная смесь). Качество газа на выходе с УКПГ должно соответствовать требованиям СТО Газпром 089-2010, качество конденсата – требованиям ГОСТ 54389-2011.</p>
<p>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></p>	<p>Аналитический обзор по литературным источникам технологий и оборудования для промышленной подготовки природного газа и конденсата. Исследование влияния технологических параметров на качество подготовки газа. Оптимизация режимов проведения процессов подготовки газа и газового конденсата. Анализ полученных результатов, выводы и рекомендации. Расчет установок ректификации для регенерации метанола</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Технологическая схема УКПГ -1лист; Результаты расчета-3листа; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение-1лист.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Пашков Евгений Николаевич
Иностранный язык	Терре Дина Анатольевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2021 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бешагина Евгения Владимировна	к.х.н.		01.02.2021 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович		01.02.2021 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Расчет стоимости материально-технических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов, согласно технологическому регламенту предприятия и разделу человеческих ресурсов предприятия</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Премимальный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT- анализа проекта.</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
------------------	------------	-------------------------------	----------------	-------------

Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		31.01.2021
--------	--------------------------------	--------	--	------------

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович		31.01.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление	18.04.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Исследование влияния магнитной обработки на процесс образования нефтяных отложений	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: разработка эффективной магнитной системы для предупреждения накопления нефтяных отложений Область применения: асфальтосмолистые отложения на поверхностях нефтепромыслового оборудования
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2020) – Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998 N 125-ФЗ. – Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 N 426-ФЗ – ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов	Вредные факторы:

2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Утечка токсичных и вредных веществ; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – отклонение показателей климата на открытом воздухе <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – Атмосфера: распыление веществ; – Гидросфера: утечка веществ; – Литосфера: разлив веществ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Возможные ЧС: землетрясение, наводнение, ураган, обрушение здания, террористический акт, взрыв, пожар. – Наиболее типичная ЧС: нефтегазопроявление. – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС. – Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 123 страниц, 17 рисунков, 36 таблиц, 50 источников.

Ключевые слова: магнитная обработка, магнитные поля, нефть, парафин, асфальто-смолистые отложения

Объектом исследования является магнитная колонна и Западно-Сибирская нефть Молоичского месторождения.

Цель работы: Исследование влияния магнитной обработки на процесс образования нефтяных отложений

Основные задачи:

В процессе проведенных исследований определено влияние магнитной обработки на процесс образования нефтяных отложений, выбраны оптимальные технологические режимы.

Определена экономическая значимость: рассчитали и оптимизировали конкурентоспособную разработку, отвечающую современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для выполнения аттестационной работы использовался текстовый редактор MicrosoftWord, таблицы и графики выполнялись в MicrosoftExcel, презентация подготовлена с помощью MicrosoftPowerPointl.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	19
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	20
1.1 Строение и свойства нефтяных дисперсных систем	20
1.2 Представления о природе коллоидных частиц нефтяных дисперсных систем.....	23
1.3 Смолисто-асфальтеновые компоненты нефти	28
1.3.1 Состав асфальтосмолопарафиновых отложений	28
1.3.2 Механизм формирования АСПО	29
1.3.3 Факторы, влияющие на образование АСПО	30
1.3.4 Предотвращение и удаление нефтяных отложений	33
1.4 Исследование воздействия магнитной обработки на свойства нефтяного сырья	40
1.5 Применение магнитной обработки в нефтегазовой отрасли	42
1.5.1 Воздействие магнитного поля на асфальто-смолистые и парафиновые отложения (АСПО)	44
1.5.2 Воздействие магнитного поля на эмульсии	45
1.5.3 Магнитные воздействия в переработке нефти.....	46
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	50
2.1 Определение количества нефтяных отложений по методу «холодного стержня»	50
2.2 Определение молекулярной массы нефтей методом криоскопии в бензоле на установке крион-1.....	51
2.3 Разделение нефтей (экстрактов) на масла, смолы, асфальтены.....	52
2.4 Определение кинематической вязкости	54

2.5	Определение плотности ареометром.....	55
3	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	56
3.1	Характеристика месторождений.....	56
3.2	Описание лабораторной установки	57
3.3	Исследования на модельных растворах	58
3.4	Результаты исследования	59
4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	63
4.1	Предпроектный анализ.....	63
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	63
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
4.1.3	SWOT-анализ	65
4.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	68
4.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	69
4.2	Инициация проекта	70
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом	71
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	72
4.3.2	План проект.....	73
4.4	Бюджет научного исследования	76
4.4.1	Организационная структура проекта.....	82
4.4.2	План управления коммуникациями проекта.....	82
4.4.3	Реестр рисков проекта	83

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.....	83
4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	83
4.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	88
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	93
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
5.2 Производственная безопасность.....	96
5.3 Экологическая безопасность.....	108
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	110
Список использованной литературы.....	113
Приложение А	118

ВВЕДЕНИЕ

В процессе разработки нефтяных месторождений возникают осложнения, связанные с образованием и разделением водонефтяных эмульсий при сборе и подготовке продукции скважин. Актуальной задачей является выявление наиболее оптимальных способов и методов разделения водонефтяных эмульсий. Использование установки с магнитами является вариантом решения таких проблем как: ликвидация АСПО и солей на стенках оборудования, уменьшение коррозионной активности у жидкостей и флюидов, также магнитное поле позволяет интенсифицировать процессы обессоливания и обезвоживания.

Объектом исследования является легкая, маловязкая, малосернистая, парафинистая нефть месторождения Томской области и модельная система, состоящая из чистого парафина и керосина.

Предметом изучения стали причины образования водонефтяных эмульсий; способы и современные технологии разделения; изучение воздействия магнитных полей и определение наиболее оптимальных параметров воздействия магнитного поля на свойства водонефтяных эмульсий;

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Строение и свойства нефтяных дисперсных систем

Представления о нефти и нефтепродуктах как о нефтяных дисперсных системах (НДС) во многом проясняют их поведение, химизм и механизм реакций, протекающих в них и, таким образом, позволяют прогнозировать поведение системы и пути интенсификации процессов. В течение последних трех десятилетий идут интенсивные исследования по строению, свойствам и природе НДС, каковыми являются нефти, газоконденсаты и продукты, полученные при их переработке. Всесторонний анализ и единство рассмотрения физических и химических взаимодействий компонентов нефтяных систем, приводящих к изменению их строения, открывают принципиально новые возможности для интенсификации процессов в практике добычи, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов [1].

Нефти, газоконденсаты и продукты из них характеризуются сложным химическим составом и агрегатным состоянием отдельных компонентов, строением и свойствами. Как известно, нефть и нефтепродукты содержат в своем составе углеводородные и неуглеводородные компоненты различной природы, молекулярной массы и строения. Рассматривая химический состав нефтей и нефтепродуктов, можно условно выделить четыре составляющие их группы: низкомолекулярные и высокомолекулярные углеводороды, смолисто-асфальтеновые вещества неуглеводородного характера, гетероатомные соединения. Физико-химические свойства нефтей и нефтепродуктов во многом зависят от количественного содержания в них компонентов указанных составляющих групп, их качественных характеристик и степени взаимодействия. В качестве базисной характеристики для построения зависимостей между фракционным составом, характеризующим нефтяную систему в целом, и содержанием в ней индивидуальных и «укрупненных»

компонентов углеводородных серий, может быть принята температура выкипания, численно выражающая аналогию электронного различия углеводородов и наиболее полно отображающая все изменения в строении [2].

Реальные нефтяные системы, ввиду сложности их состава, являются полигетерофазными дисперсными системами различных типов, что чрезвычайно усложняет выявление особенностей их поведения. Так, нефтяными дисперсными системами являются парафиносодержащие нефти и нефтепродукты. В различных нефтях содержание парафинов колеблется от долей процента до 20 %. По мере понижения температуры из нефти выделяются кристаллы парафина (твердых углеводородов), образующие структуры, размеры и количество которых в объеме изменяются. Благодаря действию адгезионных сил часть жидкой фазы ориентируется вокруг надмолекулярных структур в виде сольватных слоев определенной толщины. При определенной, достаточно низкой температуре, кристаллы парафинов сцепляются, что приводит к возникновению пространственной гелеобразной структуры, в ячейках которой иммобилизована часть дисперсионной среды. Система при этом приобретает структурно-механическую прочность. Установлено [3], что присутствие сложных асфальтеновых веществ способствует стабилизации устойчивости дисперсий парафина.

В свою очередь, нефти и нефтепродукты с высоким содержанием ароматики также представляют собой НДС, в которых высокомолекулярные арены и смолисто-асфальтеновые вещества являются образующими структурами, состав, устойчивость, размер и количество которых зависят от внешних условий.

В настоящее время установлено, что нефтяные системы не имеют заряженных частиц, но обладают парамагнитными характеристиками.

Согласно представлениям проф. Ф. Г. Унгера [4], дисперсная частица может быть представлена как центрально-симметричное образование с плотным ядром, содержащим парамагнитные молекулы

(высокомолекулярные парафины, высококонденсированная ароматика, гетероциклические соединения, металлоорганика), вокруг которых группируются ароматические, нафтеновые и парафиновые углеводороды в соответствии со значениями потенциалов парного взаимодействия, с постепенным снижением плотности потенциала межмолекулярного взаимодействия от центра частицы к ее периферии. При этом дисперсионная среда является также многокомпонентным нефтяным раствором. Описывают также ядро не как плотное симметричное тело, а как сетчатую структуру, пронизанную диамагнитными молекулами [4].

Размеры дисперсных частиц изменяются в зависимости от природы НДС. Так, для прямогонных дистиллятных фракций средний размер частиц по данным электронной микроскопии составил от 0,2 до 100 нм. Для очищенной масляной фракции эти значения составили 30–60 нм, для вакуумных дистиллятов – от десятков до сотен нанометров, для остаточных прямогонных нефтепродуктов – более сотни нанометров.

В литературе имеются сведения о том, что даже в очень разбавленных низкокипящих системах происходит образование надмолекулярных структур в асфальтенах. В растворе малых порций нефти в толуоле наблюдали образование димеров и двойных димеров. Размер этих ассоциатов, например, в растворе толуола с малыми порциями нефти, составляет от 3 до 10 нм. Указывается, что асфальтены даже при очень малых массовых долях (порядка 10–6) могут заметно влиять на дисперсные и реологические характеристики нефтепродуктов.

В теории классических коллоидов между частицами действуют силы зарядовой природы, модели ассоциативных комбинаций (мицеллы, везикулы) построены с кратными зарядовыми слоями, возникающими при взаимодействии диполей. В отсутствие заряженных частиц в НДС тем не менее можно провести аналогию при построении модели ассоциатов гомолитов. Так, зарядовый дипольный момент у электролитов аналогичен

«спиновому дипольному моменту» у гомолитов. Свободный радикал играет роль заряженной частицы. Вокруг него формируется слой частиц, имеющих спиновый момент. Образуется структура типа «ежа», которая, в свою очередь, покрывается слоем спин-поляризованных частиц, причем антипараллельные спиновые плотности направлены в противоположные стороны. Передача взаимодействия осуществляется у спиновой системы аналогично зарядовой. Устойчивость всей ассоциативной системы поддерживается устойчивостью направления каждого спина во всех молекулах: как парамагнитных, так и диамагнитных, а также спин-нейтральных и спин-поляризованных.

Смолистые вещества присутствуют практически во всех нефтепродуктах, начиная от бензиновых фракций, заканчивая остатками, за исключением глубокогидроочищенных светлых фракций. Энергия этих связей весьма низка и составляет порядка 0,5–25 кДж/моль [4]. Это дает основания полагать, что энергетически слабые внешние воздействия способны оказывать заметное влияние на состояние НДС. Они способны приводить к гомолитической диссоциации гетеросоединений и углеводородов, имеющих низкую энергию связей, в особенности диамагнитных молекул смол (при этом возникают новые радикалы), к деформации или распаду водородных связей, а также за счет изменения мультиполь-мультипольных взаимодействий. Экспериментально установлено, что энергия активации фотолиза раствора о-метилбензол-ацетата в ацетоне составляет 2,5–25,0 кДж/моль при комнатной температуре [5].

1.2 Представления о природе коллоидных частиц нефтяных дисперсных систем

Трудности технологической переработки нефтеподобных систем (включая все многообразие каустобиолитов), а также проблемы их исследования есть часть единой проблемы познания природы смолисто-асфальтовых веществ (САВ), а именно: условий их образования,

существования и разрушения. Все сведения о структуре дисперсных частиц и нефтяных дисперсных систем, известные еще с начала века, претерпев глубокую трансформацию, тем не менее до сих пор являются предметом острых дискуссий, что обусловлено, во-первых, сложностью природы самих высокомолекулярных углеводородных и гетероатомных компонентов нефти, во-вторых, отсутствием единого методологического подхода к изучению таких многокомпонентных систем, и, наконец, трудностями анализа и интерпретации результатов, полученных инструментальными методами без учета специфики САВ [4].

Разделение высокомолекулярных углеводородных и гетероатомных соединений нефти на смолы и асфальтены основано на свойстве растворимости. Но уже в самом термине САВ заложена некоторая условность этого разделения. Действительно, при выделении асфальтенов с ними соосаждаются частично и смолы, более того, при определенных условиях возможен обратный переход, т.е. асфальтены могут растворяться в смолах.

Общеизвестно, что выход, состав и свойства смол и асфальтенов зависят от многих факторов [3], в частности от способа выделения, природы использованных растворителей, экстрагентов и т.д. Так, для выделения асфальтенов, помимо наиболее употребимых осадителей — *n*-алканов C₅-C₁₂, применялись петролейные эфиры, пропан, пропан-пропиленовая фракция, низшие кетоны, этилацетат и др. При выделении смол в качестве адсорбентов использовались силикагель, окись алюминия, отбеливающие глины, а в качестве экстрагентов – хлороформ, четыреххлористый углерод, диэтиловый спирт, спирто-бензольные растворы и т.д. Кроме того, асфальтены осаждались в виде комплексов с галогенидами металлов.

Многообразие исходного сырья, способов выделения, методов количественного определения и исследования смол и асфальтенов привело к тому, что огромный экспериментальный материал оказался

трудносопоставимым. Не претендуя на всеобъемлющий анализ сложившейся ситуации, остановимся подробнее на некоторых этапах познания природы САВ.

Коллоидные свойства НДС известны так же широко, как и высокая склонность асфальтенов к ассоциированию. Дискуссию вызывает структура ассоциатов НДС (мицелл, агрегатов, макромолекул), т.е. природа и механизм образования надмолекулярных структур.

Известно, что экспериментальные определения молекулярных масс нефтяных смол и асфальтенов дают результаты, колеблющиеся от сотни до сотен тысяч а.е.м., и не только из-за большого различия исходного сырья и применяемых растворителей, но главным образом в зависимости от метода измерений – криоскопического, эбулиоскопического, осмометрического, гель-фильтрационного, а также математических модельных методов, основанных на результатах ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии. Значительные расхождения экспериментальных значений молекулярных масс обусловлены очень высокой склонностью САВ к переассоциации в разных растворителях даже при больших разбавлениях. Даже при определении молекулярных масс нефтяных асфальтенов только одним методом (криоскопия в нафталине) можно получить различные значения в зависимости от исходной концентрации. Именно исследования по установлению молекулярной массы асфальтенов и изучению поведения их растворов подтвердили вывод о возможности существования нескольких уровней (типов) структурной организации САВ – микро-, полумикро- и макроструктуры, которые в значительной мере перекрываются и могут быть приписаны пластине, пачке, ассоциату и т.п. Это сыграло некоторую роль в формировании мнения о том, что между ассоциатами асфальтенов с различными типами организации существует динамическое равновесие, причем переход от мелких ассоциатов к более крупным происходит непрерывно. Среднестатистический размер

ассоциата обусловлен совокупностью факторов: химическим строением и свойствами растворителя, температурой и т.д.

Очевидная необходимость изучения поведения НДС, в частности тяжелых нефтяных остатков в процессах нефтепереработки послужила основой для разработки системного подхода в описании их свойств и механизма фазовых превращений. База такого подхода была заложена работами Гурвича, Ребиндера и Кусакова . По современным представлениям, НДС — это сложная коллоидная система органических соединений, в которой твердые асфальтены, карбены, карбоиды (дисперсная фаза) диспергированы в среде, каковой является смесь взаиморастворимых смол и гибридных структур полициклических углеводородов. По мнению Сергиенко, стабильность такой коллоидной системы обусловлена наличием в ней поверхностно-активных компонентов, химической природой высокомолекулярных углеводородов и соотношением ее основных компонентов — углеводородов, смол и асфальтенов. Однако природу взаимодействия молекул в подобных системах ему вскрыть не удалось.

Ввиду того, что именно асфальтены препятствуют углубленной переработке нефти, в последние годы развиваются исследования по физико-химической механике нефтяных дисперсных систем и подобных им коллоидных объектов. Это работы Сюняева, Гимаева, Фукса, Мархасина , Дерягина и др.

Сюняев предложил термин "сложная структурная единица" (ССЕ) для обозначения структурного элемента нефтяных дисперсных систем и опубликовал работы по комплексной оценке поведения НДС на основе экстремального и антибатного изменений размеров ядра и адсорбционно-сольватного слоя ССЕ в дисперсных системах под влиянием внешних воздействий, теории регулируемых фазовых переходов и синергетики, так называемых эффектов ТРИЭС. Эффекты ТРИЭС, описываемые теорией регулируемых и экстремальных состояний, заключаются в нелинейном

изменении размеров ССЕ, физико-химических и механических свойств дисперсной системы и, в конечном счете, выхода и качества нефтепродуктов в зависимости от внешних воздействий. Но и феноменологическая теория механоструктурных превращений не сумела выявить природу дисперсий в нефтеподобных системах.

Одновременно возникли и получили развитие другие направления исследований в химии нефти. Они связаны с такими инструментальными методами, как спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

В соответствии с наиболее распространенной структурной гипотетической моделью, разработанной Йеном, "средняя молекула" асфальтенов содержит ядро, составленное из пластин конденсированных ароматических колец. Неспаренные электроны являются следствием структурных особенностей внутренних участков этих пленарных поляядерных ароматических пластин, и их стабильность обеспечивается посредством резонанса делокализованных π -электронов. По данным рентгеноструктурного анализа, приблизительно пять таких пластин ассоциируются посредством π - π -взаимодействий. Поскольку ароматические пластины близки друг к другу, электронный переход от одной ароматической пластины (π -избыточная гетероатомная система) к другой (π -недостаточная гетероатомная система) возможен и приводит к обменным эффектам.

Однако "пачечная" структура ядра совсем не обязательна для дисперсной частицы, и только экспериментальная проверка доли пачечных образований могла однозначно ответить на вопрос - так ли это, что впоследствии и было сделано. Оказалось, что количество пачечных структур в осадке асфальтенов составляет 4-6 %. Тенденция к увеличению наблюдается лишь в соответствии со степенью переработки нефтяного сырья. Так, доля кристаллических "пачек" растет во вторичных остатках и термообработанных коксах. Указанное обстоятельство дает возможность понять причину, по

которой ИСА нашел столь широкое применение в исследовательской практике. Причина заключается в почти абсолютной убежденности ученых в том, что, исследуя пачки, они исследуют асфальтены в целом, а не их часть. Поэтому с развитием на основе ИСА моделей с прочными кристаллическими пачками в молекулах асфальтенов не появилось универсальных теоретических представлений, убедительно вскрывающих природу САВ, объясняющих механизм преобразования надмолекулярных структур и поведение нефтеподобных систем во всех процессах.

1.3 Смолисто-асфальтеновые компоненты нефти

В связи со значительным увеличением доли высоковязких и высокозастывающих нефтей в общем объеме нефтедобычи особенно актуальным является решение основных проблем, возникающих при добыче, транспортировке и хранении таких нефтей, связанных с их малой подвижностью, высокими температурами застывания, вязкостью, а также образованием большого количества нефтяных отложений (асфальтосмолистых отложений - АСПО) на поверхностях нефтепромыслового оборудования [6].

1.3.1 Состав асфальтосмолопарафиновых отложений

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о неоднородности состава нефтяных осадков в различных скважинах и месторождениях и о влиянии на процесс их осаждения конкретных факторов. Состав АСПО определяется физико-химическими свойствами добываемой нефти, ее температурой, состоянием поверхности оборудования, динамикой потока нефти, присутствием механических примесей, пузырьков газа.

Нефтяные осадки являются сложной смесью высокомолекулярных углеводородных соединений, содержащих алканы 12-86 % (парафины,

нафтены, церезины), смолы 1-20 % и асфальтены 0,5-45 %, остатки нефти (33-41 %), воды (0-80 %) и неорганические включения 0-37 % (соль, песок) [7].

В АСПО переходят те вещества, которые плохо растворяются в нефти, имеют большую по сравнению с нефтью плотность и осаждаются под действием гравитационных или центробежных сил, а также вещества, обладающие поверхностной активностью на границах разделов нефть-порода, нефть-металл, нефть-вода.

Начальный период парафинизации характеризуется образованием тонкого черного слоя с полужирной консистенцией - нефтепарафиновые отложения. С увеличением их толщины содержание парафина в массе возрастает, его наибольшее количество отмечается в зоне максимальных отложений. В глубинной части парафин представлен в основном церезинами, которые не в состоянии образовывать мощные слои, так как их кристаллы обладают большей жесткостью и меньшей способностью к сцеплению, чем кристаллы нормальных парафинов.

1.3.2 Механизм формирования АСПО

Под механизмом формирования АСПО принято понимать комплекс процессов, обуславливающих накопление твердой фазы на поверхности промышленного оборудования при добыче и транспорте нефти.

Основные исследования механизма образования отложений парафина были выполнены в 50-60-х годах, когда на крупнейших отечественных месторождениях нефти добывалась в основном безводная продукция и проблема образования парафиноотложений стояла очень остро.

В настоящее время процесс образования АСПО чаще всего рассматривают как адсорбционный. При этом процесс адсорбции относят к поверхностным явлениям, протекающим на границе раздела фаз, например, жидкость – твердое тело. В результате адсорбции на поверхности твердого тела формируется слой молекул и атомов, способных прочно удерживаться.

При контакте нефти с твердой поверхностью адсорбционно-активными являются молекулы парафина, смол, асфальтенов и нафтеновых кислот, которые преимущественно и будут адсорбироваться на этой поверхности.

Считается, что образование АСПО начинается в момент контакта нефти с поверхностью труб, имеющих температуру, близкую к температуре плавления парафина (37-89°C) или ниже ее. Вследствие локального снижения температуры нефти в пристенном слое, происходит снижение ее растворяющей способности по отношению к парафинам и адгезия их на поверхности труб. Считается, что отложения формируются в основном за счет возникновения и роста кристаллов непосредственно при механическом сцеплении с трещинами, неровностями поверхности, и последующего зарождения и роста кристаллов на уже образовавшейся смоло-парафиновой пленке [1].

При охлаждении высокопарафинистых нефтей выделяющиеся кристаллы парафинов, соединяясь между собой, образуют прочную структурную решетку, в ячейках которой заключена жидкая фаза нефти. Чем больше в нефти парафина и смолисто-асфальтеновых веществ (САВ), тем прочнее эта решетка, выше вязкость, температура застывания и статистического напряжения сдвига. Так как парафины легко адсорбируют смолы, при охлаждении нефти каждая частица парафина покрывается адсорбированными смолами, и дальнейшее отложение нового слоя парафинов на ее поверхности будет тормозиться.

1.3.3 Факторы, влияющие на образование АСПО

Основными факторами, определяющими выделение парафина из нефти, являются следующие:

1. Снижение давления на забое скважины и связанное с этим нарушение гидродинамического равновесия газожидкостной системы. В случае, когда забойное давление меньше давления насыщения нефти газом,

равновесное состояние системы нарушается, вследствие чего увеличивается объем газовой фазы, а жидкая фаза становится нестабильной. Это приводит к выделению из нее парафинов. Равновесное состояние нарушается в пласте, и выпадение парафина возможно как в пласте, так и в скважине, начиная от забоя.

2. Интенсивное газовыделение.

Выделение газа способно усилить процесс кристаллизации парафина, но при обязательном условии снижения температуры нефти ниже температуры кристаллизации парафина. Доказано, что на интенсивность образования парафиноотложений оказывает влияние процесс выделения и поведения газовых пузырьков в потоке смеси. Известно, что газовые пузырьки обладают способностью флотировать взвешенные частицы парафина. При контакте пузырька с поверхностью трубы частицы парафина соприкасаются со стенкой и откладываются на ней. В дальнейшем процесс отложения парафина нарастает вследствие его гидрофобности. На стенке трубы образуется слой из кристаллов парафина и пузырьков газа. Чем менее газонасыщен этот слой, тем большую плотность он имеет. Поэтому более плотные отложения образуются в нижней части подъемных труб, где пузырьки газа малы и обладают большей силой прилипания к кристаллам парафина и стенкам трубы.

3. Влияние температуры.

Нефть является сложной по химическому составу смесью компонентов, которые, в зависимости от строения и внешних условий, могут находиться в разных агрегатных состояниях. Снижение температуры вызывает изменение агрегатного состояния компонентов, приводящее к образованию центров кристаллизации и росту кристаллов парафина.

4. Изменение скорости движения газожидкостной смеси и отдельных ее компонентов.

Интенсивность образования АСПО во многом зависит от скорости течения

жидкости. При ламинарном характере течения, то есть низких скоростях потока, формирование АСПО происходит достаточно медленно. С ростом скорости (при турбулизации потока) интенсивность отложений вначале возрастает. Дальнейший рост скорости движения газожидкостной смеси ведет к уменьшению интенсивности отложения АСПО: большая скорость движения смеси позволяет удерживать кристаллы парафина во взвешенном состоянии и выносить их из скважины. Кроме того, движущийся поток срывает часть отложений со стенок труб, чем объясняется резкое уменьшение отложений в интервале 0-50 м от устья скважины. При больших скоростях движения поток нефти охлаждается медленнее, что также замедляет процесс образования АСПО.

5. Состояние поверхности труб.

Микронеровности являются очагами вихреобразования, разрыва слоя, замедлителями скорости движения жидкости у стенки трубы. Это служит причиной образования центров кристаллизации отложений, прилипания кристаллов парафина к поверхности труб, блокирования их движения между выступами и впадинами поверхности. В случае, когда значение шероховатости поверхности труб соизмеримо с размером кристаллов парафина, либо меньше его, процесс образования отложений затруднен.

До сих пор нет единого мнения о механизме образования нефтяных отложений при высокой обводненности нефтей. АСПО образуются в скважинах, как с низкой, так и с высокой обводненностью нефти от 50 до 90 %.

Интенсивность образования АСПО зависит от преобладания одного или нескольких факторов, которые могут изменяться по времени и глубине, поэтому количество и характер отложений не являются постоянными.

1.3.4 Предотвращение и удаление нефтяных отложений

В настоящее время существует большое количество применяемых в нефтедобывающей промышленности методов борьбы с АСПО, но многообразие условий разработки месторождений и различие характеристик добываемой продукции часто требует индивидуального подхода и дальнейшей разработки новых технологий.

Все разработанные методы можно разделить на две категории: профилактические (периодическое удаление накапливающихся отложений) и превентивные (предотвращение образования отложений). Первые служат для периодического удаления уже накопившихся отложений. Эти методы улучшают условия эксплуатации оборудования, однако, не снижают количества образующихся отложений. Вторые предотвращают образование отложений и тем самым снижают общее количество образующихся отложений.

Большое количество методов профилактической очистки нефтяного оборудования от органических отложений используются на практике. Наиболее универсальным методом удаления отложений является механическая очистка. С использованием скребков различных конструкций очищаются лифтовые трубы скважин и транспортные трубопроводы. Зачастую механическими методами очищают отложения в нефтяных резервуарах [8].

Широко применяется термический метод, который заключается в расплавлении отложений путем температурного воздействия от различных источников тепла. При этом для подвода тепла используется прокачка горячей нефти, продувка паром и электронагрев. Термообработка может осуществляться периодически по мере накопления отложений.

Вибрационные методы позволяют создавать ультразвуковые колебания в области парафинообразования, которые, воздействуя на кристаллы парафина, вызывают их микроперемещение, препятствуя осаждению

парафина на стенках труб.

Воздействие магнитного поля в движущейся жидкости приводит к разрушению агрегатов, состоящих из субмикронных ферромагнитных микрочастиц соединений железа, находящихся при концентрации 10-100 г/т в нефти и попутной воде. В результате разрушения агрегатов кристаллы парафина выпадают в виде тонкодисперсной, объемной, устойчивой взвеси, а скорость роста отложений уменьшается пропорционально уменьшению средних размеров выпавших совместно со смолами и асфальтенами в твердую фазу кристаллов парафина.

Химические реагенты на органической основе, содержащие в своем составе ПАВ в различных концентрациях, не снижают количество образующейся дисперсной фазы, а лишь способствуют ее диспергированию и беспрепятственному выносу дисперсных частиц потоком жидкости, снижая тем самым вероятность формирования отложений. Большим преимуществом, способствующим широкому применению их на практике, является то, что добавляются они в весьма малых дозах, не превышающих, как правило, долей процента. Эти реагенты различаются по механизму воздействия на формирование дисперсной фазы нефти. Некоторые из них предотвращают образование центров кристаллизации путем дробления формирующихся молекулярных групп, другие - задерживают рост кристаллов, обволакивая центры кристаллизации при их появлении и создавая на их поверхности энергетический барьер, затрудняющий сближение и объединение частиц. Все реагенты участвуют в формировании частиц дисперсной фазы, т.е. вступают во взаимодействие с твердой фазой на стадии фазового перехода компонентов из жидкого состояния в твердое. Обязательным условием их успешного применения является введение в систему до начала кристаллизации парафина.

Химические реагенты подразделяются на смачивающие, модификаторы, депрессаторы и диспергаторы:

1. Смачивающие реагенты образуют на поверхности металла гидрофильную

пленку, препятствующую адгезии кристаллов парафина к трубам, что создает условия для выноса их потоком жидкости. К ним относятся полиакриламид (ПАА), кислые органические фосфаты, силикаты щелочных металлов, водные растворы синтетических полимерных ПАВ.

2. Модификаторы взаимодействуют с молекулами парафина, препятствуя процессу укрупнения кристаллов. Это способствует поддержанию кристаллов во взвешенном состоянии в процессе их движения. Такими свойствами обладают атактический пропилен с молекулярной массой 2000-3000 а.е., низкомолекулярный полиизобутилен с молекулярной массой 8000-12000 а.е., алифатические сополимеры, сополимеры этилена и сложного эфира с двойной связью, тройной сополимер этилена с винилацетатом и винилпирролидоном, полимеры с молекулярной массой 2500-3000 а.е.

Действие депрессаторов заключается в адсорбции молекул на кристаллах парафина, что затрудняет их способность к агрегации и накоплению.

Депрессорные присадки – растворы активного вещества (т.е. вещества, непосредственно обеспечивающего депрессорные свойства) в органическом растворителе, роль которого заключается в обеспечении быстрой растворимости и равномерного распределения депрессора в нефтях.

В настоящее время депрессорные присадки к нефтям по химической природе можно классифицировать следующим образом:

1. Полимеры (сополимеры этилена с полярными мономерами, полеолефины, полимеры алкил(мет)алкилатов, полимеры производных малеиновой и фумаровой кислот;
2. Органические неполимерные соединения (алкилароматические соединения, смолисто-асфальтеновые вещества, сложные эфиры, азот-содержащие соединения).

3. Полимеры (сополимеры этилена с полярными мономерами, поолефины, полимеры алкил(мет)алкилатов, полимеры производных малеиновой и фумаровой кислот;
4. Органические неполимерные соединения (алкилароматические соединения, смолисто-асфальтеновые вещества, сложные эфиры, азот-содержащие соединения).

При физических превращениях нефти и нефтепродуктов важен как процесс (фазовые переходы), так и его результат (агрегатное состояние вещества). Как известно, индивидуальные соединения и сложные смеси (нефть) в зависимости от внешних воздействий могут находиться в трех агрегатных состояниях: паро (газо) образном, жидком и твердом.

В настоящее время основное внимание исследователей сосредоточено на изучении физико-химических свойств веществ в трех агрегатных состояниях, т. е. на анализе конечных результатов процесса, Свойства веществ в этих конечных (объемных) состояниях не зависят от геометрических размеров системы. Иначе обстоит дело при исследовании физики-химических свойств веществ в состоянии фазового перехода. В качестве кинетической единицы при фазовых переходах принята сложная структурная единица.

Следует четко разграничить свойства веществ в объемном агрегатом состоянии и в фиксированном промежуточном состоянии роста размеров ССЕ, Если в первом случае, как было указано, физико-химические свойства не зависят от геометрических размеров фаз, то в промежуточном состоянии изменения размеров ССЕ (особенно в области размеров коллоидно-дисперсных частиц) обнаруживается взаимосвязь между размерами ССЕ и физико-химическими свойствами НДС Фазовые переходы, как любой процесс, характеризуются термодинамическими и кинетическими показателями.

В нефтяных дисперсных системах с жидкой дисперсионной средой возможно формирование в одних случаях макрофаз, в других –

пространственной сетки, в которой силы сцепления в контактах достаточно велики, чтобы противостоять тепловому движению и внешним воздействиям. В обоих случаях предоставляется возможным управлять протекающими процессами и соответственно физико-химическими свойствами НДС. Наиболее эффективное управление достигается при оптимальном сочетании механических и физико-химических воздействий на регулирование ММВ в системе с помощью ПАВ и изменения свойств дисперсионной среды.

При совокупных внешних воздействиях на дисперсные системы могут обнаруживаться синергические и антисинергические эффекты (при неуправляемых внешних воздействиях), в результате которых наблюдаются радикальные изменения свойств дисперсной системы. Кратко рассмотрим эти свойства НДС.



Рисунок 1.1 – Классификация методов борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями

- Депрессорные присадки по составу активного вещества могут быть одно-, двух- и многокомпонентными, причем второй и последующие компоненты не всегда являются соединениями, самостоятельно обеспечивающими депрессорный эффект, из числа тех, что указаны в классификации. Это могут быть и иные вещества, усиливающие депрессорное воздействие основного соединения или улучшающие его свойства.

Следует отметить, что присадки по своим функциональным свойствам могут сочетать депрессорную активность с другими свойствами, например диспергирующими, моющими, т.е. использоваться, как многофункциональные.

- Диспергаторы - химические реагенты, обеспечивающие образование тонкодисперсной системы, которая уносится потоком нефти, что, препятствует отложению кристаллов парафина на стенках труб. К ним относятся соли металлов, соли высших синтетических жирных кислот, силикатно-сульфанольные растворы, сульфатированный щелочной лигнин.
- Ингибирующие присадки представляют собой сложные смеси органических соединений, призванные предотвращать образование АСПО на стенках нефтепромыслового оборудования. В присутствии ингибирующей присадки происходит уменьшение размеров кристаллов парафина и их формы. Такие кристаллы большой площади пластинчатые, формирующиеся в отсутствие ингибирующей присадки, легче образуют пространственный каркас, чем мелкие компактные (каркаса нет) кристаллы, формирующиеся в присутствии ингибирующей присадки.

Использование химических реагентов для предотвращения образования АСПО во многих случаях является комплексным действием и совмещается с процессами разрушения устойчивых нефтяных эмульсий, защитой нефтепромыслового оборудования от солеотложений и коррозии, процессом формирования оптимальных структур газожидкостного потока.

1.4 Исследование воздействия магнитной обработки на свойства нефтяного сырья

В технологических процессах подготовки сырья для нефтепереработки и нефтехимии используются химические реагенты различного назначения, но в осложненных условиях традиционные химические методы и стандартные технологии во многих случаях оказываются недостаточно эффективными. Наряду с химическими используется ряд физических методов воздействия на нефть и водно-органические смеси, в том числе и обработка их магнитным полем, что позволяет в ряде случаев улучшить их свойства и облегчить разделение [9].

Совместное использование магнитной обработки рассмотренных нефтяных эмульсий и химических реагентов, применяемых в процессах их подготовки, позволило увеличить деэмульгирующий эффект в среднем на 15% без увеличения расхода реагентов.

На основании лабораторных исследований и формализации априорной информации принята следующая гипотеза о механизме воздействия магнитного поля на водонефтяные эмульсии. Изначально эмульсия представляет собой субстанцию класса «нефть в воде» или «вода в нефти», причем на границах раздела фаз образуются так называемые «бронирующие оболочки», препятствующие самопроизвольному разрушению эмульсии.

Молекулы деэмульгатора, адсорбируясь на поверхности раздела фаз, вытесняют менее поверхностно-активные природные эмульгаторы. Однако, хотя пленка, образуемая деэмульгатором, обладает малой прочностью, действия сил тяжести недостаточно для обеспечения быстрого осаждения и коалесценции мелких капель. Магнитное поле вызывает поляризацию капель воды и их взаимное притяжение, что приводит к значительному ускорению коагуляции и коалесценции капель и их быстрому отстою.

Механизм действия магнитной обработки на образование АСПО, согласно принятой гипотезе, таков: в движущейся жидкости происходит

разрушение агрегатов, состоящих из субмикронных ферромагнитных микрочастиц соединений железа, находящихся при концентрации 10–100 г/т в нефти и попутной воде, что приводит к резкому (в 100–1000 раз) увеличению концентрации центров кристаллизации парафинов и солей и формированию на поверхности ферромагнитных частиц пузырьков газа микронных размеров. В результате разрушения агрегатов кристаллы парафина выпадают в виде тонкодисперсной, объемной, устойчивой взвеси, а скорость роста отложений уменьшается пропорционально уменьшению средних размеров, выпавших совместно со смолами и асфальтенами в твердую фазу кристаллов парафина.

Механизм воздействия магнитного поля на процесс солеотложения, согласно принятой гипотезе, можно описать следующим образом: магнитное поле оказывает влияние на кинетику кристаллизации, обуславливающее увеличение концентрации центров кристаллизации в массе раствора, водная система выводится из равновесия, возрастает скорость образования осадков и формируется множество мелких кристаллов практически одинакового размера.

Провоцирование кристаллообразования приводит к тому, что в дальнейшем, вместо образования отложений на поверхности оборудования, взвесь образуется в объеме раствора, выносится из опасной зоны и ее можно удалять с помощью специальных устройств. Обрабатывать магнитным полем водную систему предпочтительно до начала процесса формирования кристаллов. Максимальный эффект от магнитной обработки был получен на водных системах при относительно невысоких температурах (до 70–800 °С) и повышенном содержании ионов солей (250300 мг/л и выше).

Согласно принятой гипотезе при воздействии магнитного поля на систему «металл — электролит» одновременно протекают два взаимоисключающих процесса: сдвиг потенциала коррозии в отрицательную область, что должно привести к снижению коррозионной стойкости металла; ускорение поляризуемости системы, что приводит к снижению скорости

коррозии. Последнее связано с тем, что процессы гидратации ионов металла и подвода деполяризатора к поверхности металла замедляются под воздействием магнитного поля. Ускорение поляризации при магнитной обработке преобладает над процессом увеличения термодинамической нестабильности металла (сдвиг потенциала в область более отрицательных значений), в результате чего скорость коррозии замедляется.

1.5 Применение магнитной обработки в нефтегазовой отрасли

По мнению нефтяников, при магнитной обработке водных сред упорядочить внутреннюю структуру могут структурные химические связи, которые характеризуются взаимодействием двух или нескольких атомов. Это обуславливает образование устойчивой многоатомной системы и сопровождается перестройкой электронных оболочек, связывающих атомы. При этом необходимо учитывать динамику процесса, т.к. все электронные орбиты, составляющие оболочку, непрерывно совершают колебательные движения. Поэтому, чтобы существовала устойчивая и стабильная связь атомов, необходима определенная корреляция в движении электронов, т.е. колебания электронных орбит взаимодействующих атомов должны быть синхронны. Синхронность свидетельствует о наличии дисперсионного взаимодействия (соотношения) между атомами. Дисперсионные силы имеют электромагнитную и квантовую природу и являются одной из разновидностей межмолекулярного взаимодействия, названного силами Ван-дер-Ваальса. Дисперсионные силы возникают в результате колебаний электронов соседних атомов или молекул в одинаковой фазе, при этом взаимное притяжение приводит к сближению этих атомов или молекул и образованию между ними связи [10].

При воздействии магнитного поля на две соседние молекулы, которые совершают колебательные движения в соответствии со своими спектрами (собственные частоты), электронные орбиты этих двух молекул начнут

прецессировать с одинаковой ларморовой частотой вокруг параллельных осей. У электронных орбит разных частиц появится как минимум одна частота колебаний – ларморова. Колебания станут частично синхронны, что вызовет дисперсионную связь между частицами. Для этого должно соблюдаться условие трех частот: среди собственных колебаний рядом расположенных молекул должны найтись две частоты, равные одновременно друг другу и частоте Лармора. При этом старые взаимодействия разрушаются и возникают многочисленные новые, плотная сеть которых воздействует на каждую молекулу, каждый атом удерживает их в рамках новой образовавшейся структуры. Этим можно объяснить длительное сохранение свойств вводных систем после их магнитной обработки.

Известно, что действие магнитного поля носит полиэкстремальный характер, поэтому при нарастании напряженности магнитного поля ларморова частота, зависящая от нее линейно, также растет, а поскольку спектр собственных частот молекул непрерывен, то выполнение равенства трех частот возможно лишь для отдельных значений напряженности магнитного поля.

Факт заметного воздействия слабых магнитных полей (напряженностью 10-30 кА/м²) на водные и биологические растворы можно объяснить тем, что их молекулы, особенно органические, весьма массивны, и, соответственно, спектр их собственных колебаний находится в области низких и сверхнизких частот. Это значит, что условие равенства трех частот с наибольшей вероятностью будет реализовываться в области слабых значений напряженности магнитного поля. В нефтегазовой отрасли применение магнитной обработки водных сред осуществляется в нескольких направлениях: борьба с асфальто-смолистыми и парафиновыми отложениями (АСПО), солеотложениями, предотвращение образования стойких эмульсий и снижение коррозионной активности перекачиваемых жидкостей.

1.5.1 Воздействие магнитного поля на асфальто-смолистые и парафиновые отложения (АСПО)

Использование магнитных устройств для предотвращения АСПО началось в 50-е годы прошлого века, но из-за малой эффективности широкого распространения не получило. Отсутствовали магниты, достаточно долго и стабильно работающие в условиях скважины.

С середины 90-х гг. интерес к использованию магнитного поля для воздействия на АСПР значительно возрос, что связано с появлением на рынке широкого ассортимента высокоэнергетических магнитов на основе редкоземельных металлов. Механизм воздействия магнитного поля на образование АСПО, согласно [11, 12], выглядит следующим образом: в движущейся жидкости происходит разрушение агрегатов, состоящих из субмикроскопических ферромагнитных частиц соединений железа, находящихся при концентрации 10-100 г/т в нефти и попутной воде. В каждом агрегате содержится от нескольких сотен до нескольких тысяч микрочастиц, поэтому из разрушение приводит к резкому (6100–10000 раз) увеличению концентрации центров кристаллизации парафинов и солей и формированию на поверхности ферромагнитных частиц пузырьков газа микронных размеров. В результате разрушения агрегатов кристаллы парафина выпадают в виде тонкодисперсной, объемной, устойчивой взвеси, а скорость роста отложений уменьшается пропорционально уменьшению средних размеров выпавших совместно со смолами и асфальтенами в твердую фазу кристаллов парафина. Образование микропузырьков газа в центрах кристаллизации после магнитной обработки нефти обеспечивает газлифтный эффект, ведущий к некоторому росту дебита скважины [13].

1.5.2 Воздействие магнитного поля на эмульсии

В нефтедобыче всегда остро стояла проблема разделения высокостойких водонефтяных эмульсий в связи с недостаточно эффективным воздействием деэмульгаторов. Для повышения эффективности деэмульгатора, в особенности на высоковязкие и высокопрочные водонефтяные эмульсии, применяются различные методы, среди которых особо выделяется обработка эмульсии магнитным полем. Рассмотрим механизм воздействия на водонефтяную эмульсию деэмульгатора и магнитного поля.

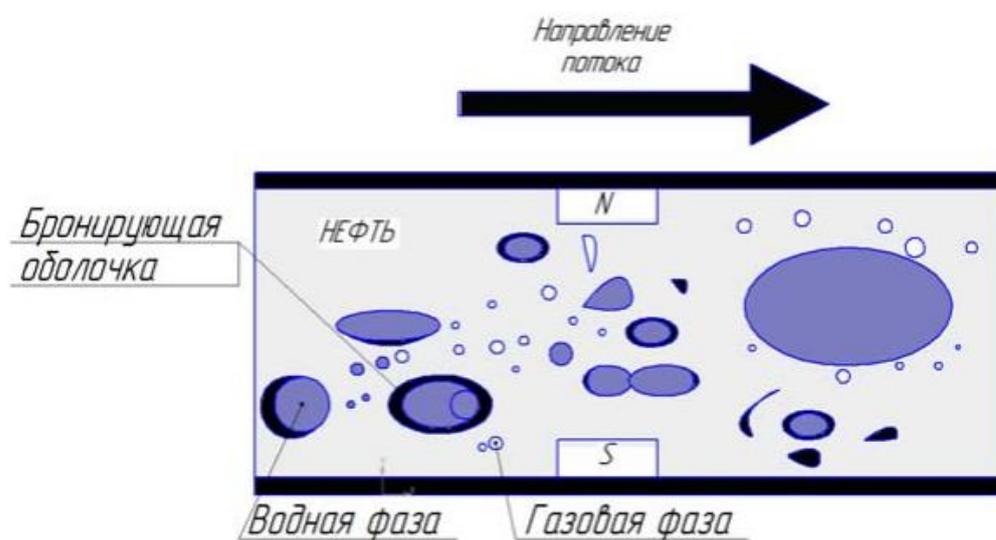


Рисунок 1.2 - Воздействие магнитного поля на водонефтяную эмульсию

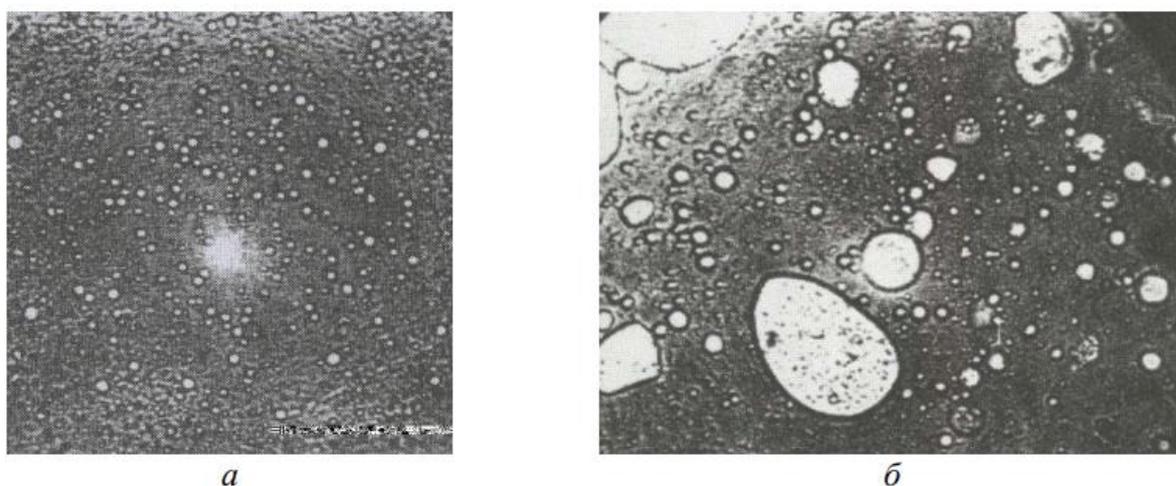


Рисунок 1.3 - Водонефтяная эмульсия до (а) и после (б) магнитной обработки

Изначально эмульсия представляет собой субстанцию класса «нефть в воде» или «вода в нефти», причем на границах раздела фаз образуются так называемые «бронирующие оболочки», предотвращающие саморазрушение эмульсии. Молекулы деэмульгатора, адсорбируясь на поверхности раздела фаз, вытесняют менее поверхностноактивные природные эмульгаторы. Однако, хотя пленка, образуемая деэмульгатором, обладает малой прочностью, действия сил тяжести недостаточно для обеспечения быстрого осаждения и коалесценции мелких капелек. При этом для ускорения процесса адсорбционного замещения можно использовать повышение температуры отстаиваемой эмульсии [12]. Однако это решение не всегда является приемлемым и реализуемым. Решить эту проблему позволяет магнитная обработка эмульсии (рис. 5.1). Применение магнитного поля вызывает поляризацию капелек воды и их взаимное притяжение, что приводит к значительному ускорению коагуляции и коалесценции капель воды (рис. 5.2) и их быстрому отстою. Наиболее эффективна магнитная обработка эмульсии после добавления в нее деэмульгатора.

1.5.3 Магнитные воздействия в переработке нефти

Наряду с развитием и совершенствованием традиционных методов воздействия на нефтяные и нефтегазовые системы, все большее применение находят методы, реализуемые на основе различной физической природы. Одним из таких методов является магнитная обработка нефтяных систем, которая открывает новые возможности в нефтяной и нефтегазоперерабатывающей промышленности.

Автор констатирует, что при магнитной обработке вязкость изменяется для разных нефтей по-разному: высокопарафинистые нефти демонстрируют более высокие значения вязкости, для парафинистых происходит снижение реологических параметров, для группы высоковязких нефтей изменения

незначительны. С практической точки зрения наиболее актуальным является рассмотрение проблем, связанных с применением на практике магнитоактиваторов для снижения количества твердого осадка, образующегося на стенках нефтяного оборудования. Воздействие постоянного магнитного поля приводит к существенным структурным преобразованиям и, как следствие, к изменению температуры застывания нефти. В [14] приведены значения ингибирующей способности магнитного поля предотвращать образование нефтяного осадка, а также значения изменения температуры застывания нефти после магнитной обработки.

Учеными Уфимского государственного нефтяного технического университета проведен ряд исследований [15] и представлены результаты лабораторных испытаний влияния магнитной обработки на остаточную обводненность нефти, добываемой в нефтегазодобывающем управлении (НГДУ) «Уфанефть», а также представлены результаты внедрения установок магнитной обработки промысловой жидкости, добываемой в НГДУ «Арланнефть». Воздействие на промысловые жидкости проводилось переменным магнитным полем различной частоты и напряженности.

В [16] показано, что при подготовке нефти на промыслах для экономии деэмульгатора и энергозатрат поток жидкости, поступающей на обработку, делят на равные части, каждую часть потока подвергают воздействию магнитного поля и отстою в малогабаритных трубчатых отстойниках. Как показывают предварительные эксперименты, обработка эмульсии магнитными полями сокращает время отстоя нефти и воды в 2–3 раза, применение малогабаритных аппаратов при таком способе уменьшает металлоемкость установки не менее чем в 2 раза.

Для увеличения активности свойств деэмульгатора предложены способы обработки деэмульгатора магнитным полем. Для воздействия на деэмульгатор [17] используют слабое высокочастотное магнитное поле. Обработке подвергается товарная форма деэмульгатора. Предлагаемый способ позволяет в несколько раз увеличить скорость и глубину разделения

водонефтяных эмульсий при неизменной концентрации деэмульгатора либо достичь снижения концентрации деэмульгатора в 2–3 раза без снижения скорости и глубины обезвоживания.

В способе обезвоживания нефти, предлагаемом в [18], товарную форму деэмульгатора предварительно растворяют в воде до 1–4 % и воздействуют постоянным магнитным полем на водный раствор деэмульгатора при его протекании через зазоры омагничивающего устройства. После этого эмульсию смешивают с деэмульгатором, причем концентрация деэмульгатора в водонефтяной эмульсии составляет 5–10 мг/л, и отстаивают. Предлагаемый способ позволяет увеличить степень обезвоживания водонефтяной эмульсии при минимальных количествах деэмульгатора в 1,3–1,5 раза.

В [19] исследовано влияние воздействия постоянным магнитным полем на стадии приготовления методом пропитки на характеристики катализатора гидроочистки. Приведены данные, показывающие, что магнитная обработка пропиточного раствора позволяет увеличить содержание активных металлов на катализаторе на 7–15 %. При этом относительная объемная активность таких образцов на 12–16 % превосходит активность катализаторов, полученных традиционным способом, существенно увеличивается также удельная поверхность и механическая прочность.

Влияние магнитной обработки дизельного топлива на эффективность работы двигателя, увеличение его надежности, улучшение экологичности представлены в [20]. В насос двигателя автомобиля КАМАЗ на стенде был поставлен магнитный туннель. При прохождении магнитного поля в жидкости формируется метаструктура, в результате чего изменяются свойства дизельного топлива, например поверхностное натяжение. Снижение этого показателя при оптимальных условиях приводит к образованию более мелких капель в топливно-воздушной смеси, что, в свою очередь, облегчает горение, обеспечивая полноту сгорания топлива. В результате на 70 % уменьшается количество соединений экологически вредного монооксида углерода и снижается расход топлива.

Влияние воздействия магнитного поля описано в [21]. На примере висбрекинга различных нефтяных остатков и их компаундов показано, что коксообразование при воздействии магнитным полем на поток сырья уменьшается, а выход светлых продуктов увеличивается.

Изменение фракционного состава нефтяных остатков на примере мазута и его компаундов с более тяжелым остатком при наложении постоянного магнитного поля рассмотрено в [22]. Остаточный нефтепродукт нагревали и на проточной установке подвергали воздействию постоянного магнитного поля. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что воздействие магнитным полем на нефтяные остатки перед началом перегонки позволяет увеличить глубину отбора дистиллятов от сырья. При равном отборе дистиллятных фракций температура процесса может быть снижена на 2–30 °С в зависимости от типа остаточного нефтепродукта, что существенно снижает энергозатраты на проведение процесса вакуумной разгонки.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для достижения поставленных целей необходимо было применять современные методы исследования, которые использовались совместно для получения объективных результатов анализа с незначительной погрешностью.

2.1 Определение количества нефтяных отложений по методу «холодного стержня»

Сущность метода "холодного" стержня состоит в определении количества осаждающихся из нефти на охлаждаемой металлической поверхности асфальтено-смоло-парафиновых отложений. Установка, реализующая данный метод, состоит из двух блоков [6]:

- блок "холодного" стержня с водяной баней;
- блок термостата / криостата, обеспечивающего создание в стержнях температуры в пределах от -30 до $+60$ °С.

Блок "холодного" стержня включает в себя 4 металлических стакана, в которые помещаются испытуемые вещества, и крышки, в которые вмонтированы "холодные" стержни - U-образные полые трубки из нержавеющей стали. Трубки подключены к системе подвода и отвода хладагента (рисунок 2.1).

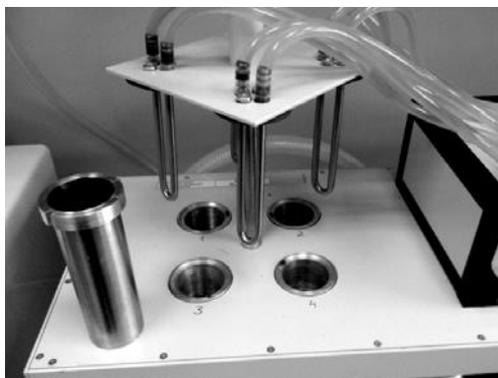


Рисунок 2.1 - Металлический стакан и параллельно работающие U-

образные стержни

Обычно температура нефти в ячейке должна быть на 5°С выше температуры начала кристаллизации парафинов, а температура "холодного" стержня на 5°С ниже температуры начала кристаллизации парафинов. За счет разности температур парафины начинают выкристаллизовываться на поверхности "холодного" стержня. Во время эксперимента стаканы с нефтью вращаются вокруг стержней. После выдержки стержней в нефти, их вынимают из металлических стаканов и дают стечь остаткам нефти в течение 10-20 минут. Затем устанавливают температуру "холодного" стержня +50°С и далее расплавляющиеся парафины собирают в предварительно взвешенные бюксы и взвешивают.

Методика определения количества АСПО методом "холодного" стержня

Экспериментально отработаны оптимальные режимы: время эксперимента 40 мин, навеска нефти - 60г. Количество осадка, образовавшихся на стержне, определяли гравиметрически. Результатом является среднее арифметическое трех параллельных опытов.

Ингибирующую способность присадок рассчитывают по формуле (2.1):

$$I = (W_0 - W_1) \cdot 100 / W_0 \quad (2.1)$$

где I - ингибирующая способность, %;

W_0 - выход осадка для исходной нефти, г;

W_1 - выход осадка для нефти с присадкой, г.

2.2 Определение молекулярной массы нефтей методом криоскопии в бензоле на установке крион-1

Измерение молекулярной массы образцов выполняют методом криоскопии с использованием бензола в качестве растворителя [23]. Метод основан на измерении депрессии температуры – разницы температур

кристаллизации чистого растворителя и раствора пробы, которая затем используется для расчета молекулярной массы пробы по формуле (2.2):

$$M = K \cdot \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{G_1}{G_2} \cdot 1000 \quad (2.2)$$

где M – молекулярная масса пробы, г/моль;

K – табличное значение криоскопической постоянной растворителя, °С·г/моль;

ΔT – депрессия температуры, °С;

G_1 – масса пробы, г;

G_2 – масса растворителя, г.

2.3 Разделение нефтей (экстрактов) на масла, смолы, асфальтены

Определение содержания масел, смол и асфальтенов в навеске нефти проводится методом колоночной жидкостно-адсорбционной хроматографии с использованием стеклянной адсорбционной колонки (рис.1). В качестве адсорбента применяется силикагель, предварительно просушенный при 180 °С в течении 4 часов. Масла, смолы и асфальтены последовательно вымываются с использованием растворителей: гексан, смесь спирт-бензол и хлороформ. После отгонки растворителя и доведения выделенной фракции до постоянной массы проводится расчет определения массового содержания масел, смол и асфальтенов в нефти [24].

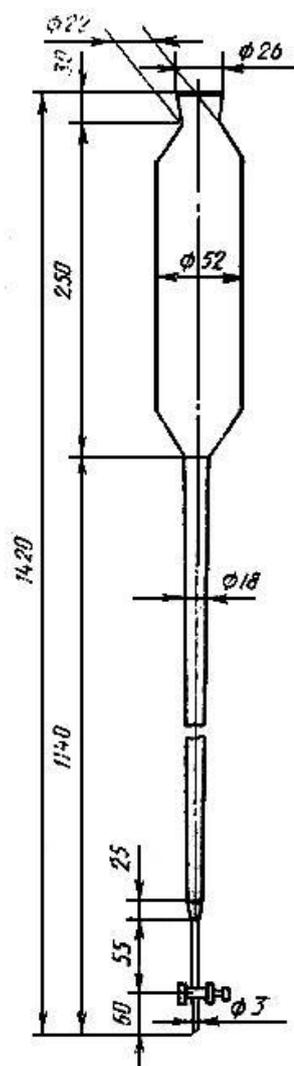


Рисунок 2.2 – Адсорбционная колонка стеклянная

Расчет массовой доли масел, смол и асфальтенов в процентах вычисляют по формуле (2.3):

$$X = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \quad (2.3)$$

где:

m_1 – масса масел, смол или асфальтенов, выделенных из нефти, г;

m – масса нефти, взятая для анализа, г;

За результат испытания принимают среднеарифметическое результатов двух параллельных определений. Результат испытания округляется до 0,01.

2.4 Определение кинематической вязкости

Сущность метода заключается в измерении калиброванным стеклянным вискозиметром времени истечения, в секундах определенного объема испытуемой жидкости под влиянием силы тяжести при постоянной температуре. Кинематическая вязкость является произведением измеренного времени истечения на постоянную вискозиметра [25].

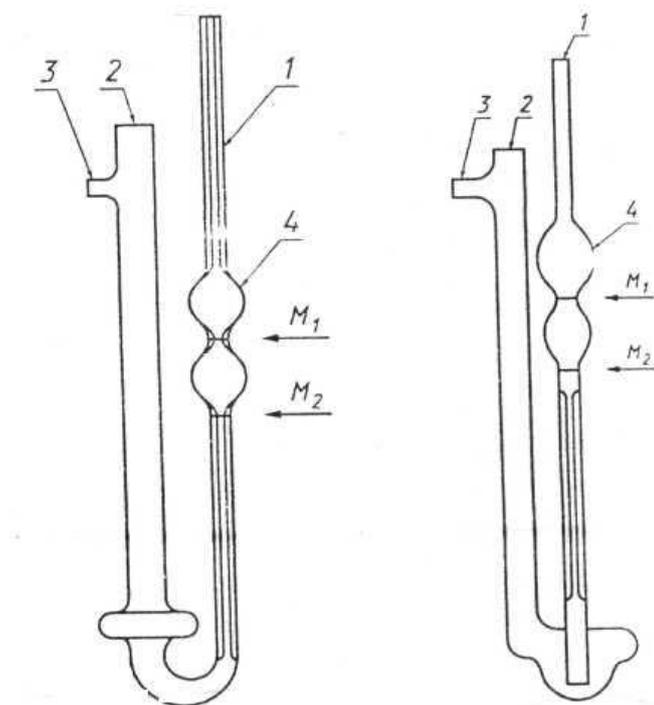


Рисунок 2.3 – Вискозиметры Пинкевича:

1, 2 – колено; 3 – отводная трубка; 4 – расширение капиллярной трубки

Если результаты трех последних измерений не отличаются более чем на 0,2 %, кинематическую вязкость ν , мм²/с, вычисляют как среднеарифметическое по формуле (2.6)

$$\nu = C \cdot \tau \quad (2.6)$$

где C - постоянная вискозиметра, мм²/с²;

τ - среднее время истечения нефти в вискозиметре, с.

Динамическую вязкость η , мПа с, исследуемой нефти вычисляют по формуле (2.7)

$$\eta = \nu \cdot \rho \quad (2.7)$$

где ν - кинематическая вязкость, мм²/с;

2.5 Определение плотности ареометром

Сущность метода заключается в погружении ареометра в испытуемый продукт, снятии показания по шкале ареометра при температуре определения и пересчете результатов на плотность при температуре 20 °С [26].

Ареометром определяют плотность нефти, светлых и темных нефтепродуктов и масел, имеющих вязкость при 50 °С не более 200 мм²/с, а также более вязких нефтепродуктов, не выделяющих осадка при разбавлении. Определение плотности летучих нефтепродуктов (например, петролейного эфира, газового конденсата) ареометром не рекомендуется.

Ареометры подбирают таким образом, чтобы при погружении в анализируемые нефти они не тонули и не всплывали бы выше той части, где нанесена градуировочная шкала плотности. Определение плотности ареометром основано на законе Архимеда.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Характеристика месторождений

Малоичское нефтяное месторождение находится на территории Новосибирской области, в северо-западной его части, и входит в группу практически самых южных залежей, которые были открыты на сегодняшний день в Западной Сибири [27].

Открыто в 1974 году в ходе бурения разведочной скважины номер два на юге антиклинальной структуры, которая была оконтурена по результатам проведенной сейсморазведки.

По итогам проведенной оценки в 1987 году, начальный уровень извлекаемых запасов углеводородов составил порядка 2,10 миллиона тонн по категории С1. По уровню своих запасов данное месторождение можно отнести к мелким. Во время поисково-разведочных работ здесь было пробурено 22 скважины, десять из которых дали приток нефти, а также нефти с водой – это достаточно высокий коэффициент успешности поискового бурения. По своему геологоразведочному строению данное месторождение является сложным. Сегодня данное месторождение разрабатывается за счет фонда разведочных скважин, что по своей сути уникально.

Верхне-Салатское месторождение расположено в Томской области Российской Федерации и относится к Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Месторождение было открыто в 1967 году, находится недалеко от Южно-Мыльджинского месторождения и относится к разряду небольших месторождений [28].

Суммарные балансовые запасы нефти категории С1 составляют 14 млн. тонн. Однако разведка месторождения еще полностью не закончена: пока отсутствует достаточный объем исходных данных для подсчета запасов нефти и составления технологической схемы разработки.

3.2 Описание лабораторной установки

Эксперимент проводился на магнитной колонне через который протекала нефть. Она характеризуется длиной 56 см, состоящая из 6-8 редкоземельных постоянных магнитов и магнитной индукцией 160-220 мТл. На рисунке 6 представлена лабораторная установка магнитной обработки нефти.



Рисунок 3.1 – Магнитная колонна

Процессы воздействия магнитного поля на АСПО заключается в следующем агрегаты окисей и гидроокисей железа, присутствующие в пластовых жидкостях, под действием постоянного магнитного поля диссоциируются на мельчайшие частицы, увеличивая число центров кристаллизации АСПО в десятки тысяч раз, а образующиеся мелкие кристаллы уносятся потоком жидкости.

Для оценки ингибирующей способности магнитной обработки применяли метод «холодного» стержня. Холодный стержень имитирует внутреннюю стенку трубопровода. Когда температура стержня опускается ниже температуры начала кристаллизации парафина, парафины начинают отлагаться на его поверхность.



Рисунок 3.2 – Установка для оценки эффективности ингибирования парафиноотложений

При эксперименте использовали температуру, которая оптимальна для количественной оценки отложений. Температура стержня: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура окружающей среды = $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для определения влияния в составе нефти парафина на эффективность действия магнитной обработки были проведены исследования на модельных растворах парафина в керосине. Концентрация парафина варьируется от 2 до 12 % с шагом 2 %. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что с увеличением концентрации парафина увеличивается эффективность магнитной обработки.

3.3 Исследования на модельных растворах

Для определения влияния в составе нефти парафина на эффективность действия магнитной обработки были проведены исследования на модельных растворах парафина в керосине. Концентрация парафина варьируется от 2 до 12 % с шагом 2 %.

Таблица 3.1 – Шкала эффективности действия магнитной обработки

Содержание парафина, % мас.	Среднепарафинистые растворы			Высокопарафинистые растворы		
	2	4	6	8	10	12
Ингибирующая способность, I, %	-154,0	2,0	2,7	26,9	30,0	45,5

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что с увеличением концентрации парафина увеличивается эффективность магнитной обработки.

3.4 Результаты исследования

В качестве объекта исследования была использована Западно-Сибирская нефть Малоичского месторождения.

В ходе эксперимента определили физико-химические свойства и структурно-групповой состав нефти.

Тип нефти определялся согласно ГОСТ Р51858-02 [29]. По плотности нефти: до 840 кг/м³ - легкая; 840-880 кг/м³ - средняя; выше 880 кг/м³ - тяжелая. По содержанию смол: 0-8% - малосмолистая; 8-28% - среднесмолистая; выше 28% - высокосмолистая. По содержанию парафина: 0-1,5% - малопарафинистая; 1,5-6% - среднепарафинистая; выше 6% - высокопарафинистая.

Таблица 3.2 – Физико-химические свойства нефти

Температура застывания, °С	Молекулярная масса, г моль	Кинематическая вязкость, мм ² /с	Плотность, кг/м ³
-1,3	234	19,35	919

По данным лабораторных исследований было определено, что нефть относится к классу тяжелых, среднепарафинистая.

Определение структурно-групповой нефти проводился методом колоночной жидкостно-адсорбционной хроматографии с использованием стеклянной адсорбционной колонки

Таблица 3.3 – Структурно-групповой состав нефти

Парафины, % мас.	Ароматические УВ, % мас.	САВ, % мас.
4,35	87,98	7,67

Определили оптимальное число прогонов нефти через магнитную систему она составила 5 прогонов при котором наблюдается наименьший остаток. Ингибирующая способность составила менее 25 %.

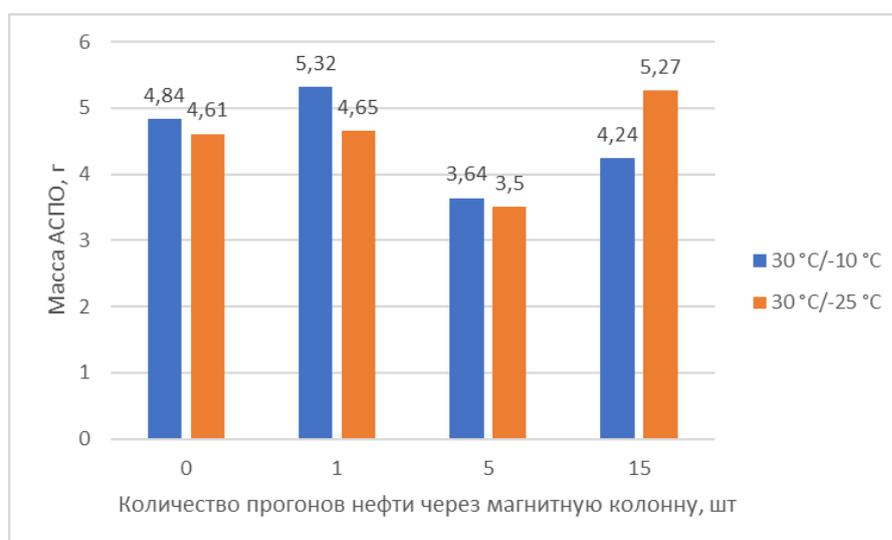


Рисунок 3.3 – Зависимость массы АСПО от количества прогонов нефти через магнитную систему

Сравнивая модельную систему с реальной нефтяной системой, наблюдается увеличение ингибирующей способности за счет содержания смолисто-асфальтеновых систем

Также проводили опыты при температуре 30/-20 и 40/-20

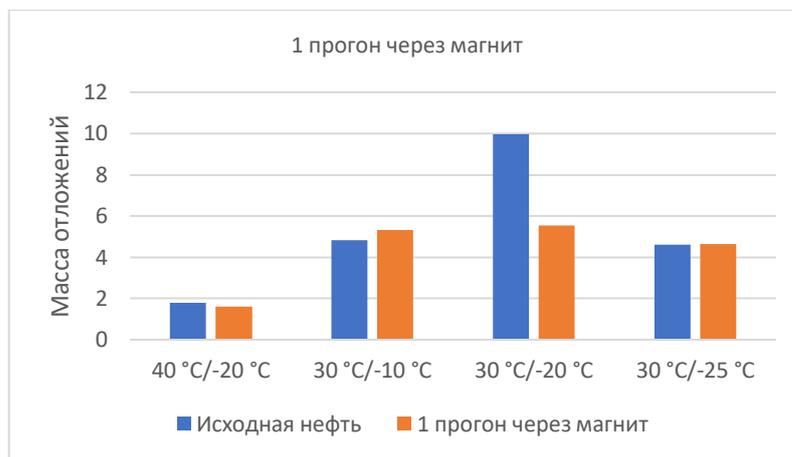


Рисунок 3.4 – Изменение количества осадка после 1 прогона

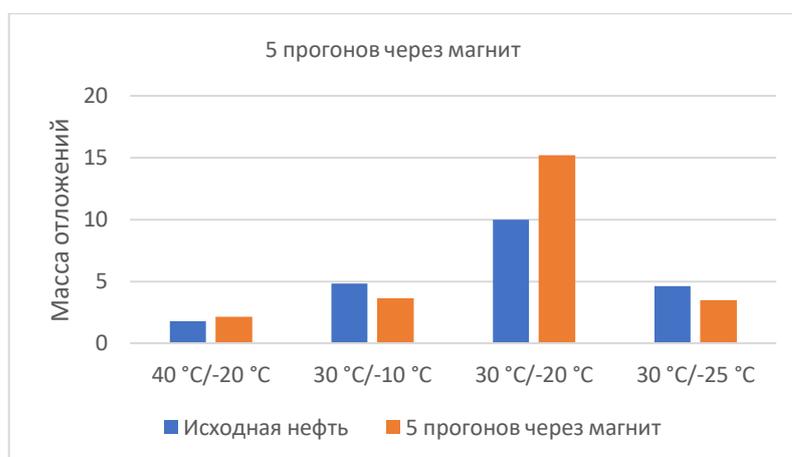


Рисунок 3.5 – Изменение количества осадка после 15 прогонов

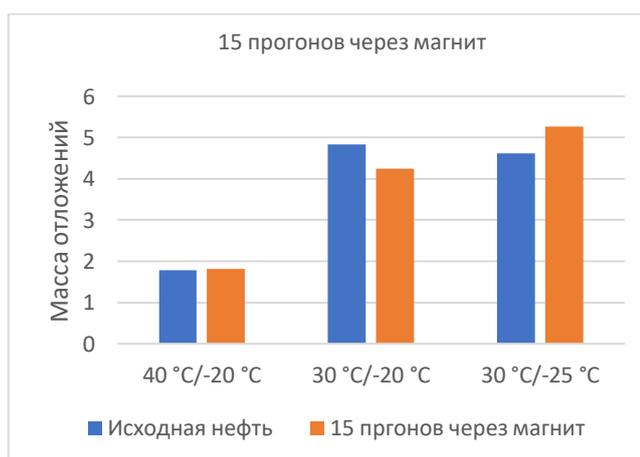


Рисунок 3.6 – Изменение количества осадка после 15 прогонов

Провели сравнительную характеристику омагничивания нефти на количество прогонов

Таблица 3.4 – Результаты омагничивания нефтей

Месторождение	1 прогон через магнитную колонну	5 прогон через магнитную колонну	15 прогон через магнитную колонну
Молоиченкское (40/-20)	+	-	-
Молоиченкское (30/-20)	+	+	
Молоиченкское (30/-10)	+	-	-
Молоиченкское (40/-25)	-	+	-
Верхнесалатское (40/-20)	-		
Модель 1 (2% П)	-		
Модель 2 (4% П)	+		
Модель 3 (6% П)	+		
Модель 4 (8% П)	+		
Модель 5 (10% П)	+		
Модель 6 (12% П)	+		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [21].

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в

будущем разработка. В свою очередь, *сегмент рынка* – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В данной работе продуктом и целевым рынком являются:

продукт: нефть;

целевой рынок: нефтеперерабатывающие компании.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений помогает определить, что будет являться сильными и слабыми сторонами конкурентов. Объектом исследования является метод магнитной обработки. Для наглядности сравним два метода: метод магнитной обработки на основе постоянных магнитов и электромагниты

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности	0,05	5	4	2	0,25	0,2	0,1
2. Удобство в эксплуатации	0,06	3	4	3	0,18	0,24	0,18
3. Надежность	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
4. Простота эксплуатации	0,06	5	5	3	0,3	0,3	0,18
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	3	4	3	0,03	0,04	0,03
3. Цена	0,2	4	1	3	0,8	0,2	0,6
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	4	3	2	0,16	0,12	0,08
5. Послепродажное обслуживание	0,01	4	2	2	0,04	0,02	0,02
6. Финансирование научной разработка	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,03	4	3	5	0,12	0,09	0,15

8.Наличие сертификации разработки	0,02	2	2	4	0,04	0,04	0,08
Итого	1				4,08	2,96	3,02

Исходя из оценочной карты, можно сделать вывод, что наиболее конкурентоспособным методом является метод магнитной обработки, основанный на постоянных магнитах. Данный метод прост в обслуживании и не требует затрат электрической энергии. Также, является довольно простым во внедрении на производство и эксплуатации. Установка магнитного активатора происходит в насосно-компрессорные трубы, через которые происходит омагничивание протекающей жидкости.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 4.2). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простота применения</p> <p>С2. Адекватность разработки</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Относительно невысокая денежная и временная</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки</p> <p>В3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Значимая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	
		B1	-	-	-	+
	B2	-	-	-	+	
	B3	+	+	+	-	
	B4	+	+	+	-	
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	
		У1	0	+	0	-
		У2	+	+	+	+
		У3	-	-	-	0
		У4	-	-	-	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
		B1	-	-	-	+
		B2	-	-	0	+
		B3	+	+	+	0
		B4	+	+	-	-
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
		У1	+	+	+	0
		У2	0	+	0	-
		У3	-	0	-	-
		У4	-	+	-	+

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4.4).

Таблица 4.4 –SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Простота применения</p> <p>С2. Адекватность разработки</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Относительно невысокая денежная и временная затратность проекта</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки</p> <p>В3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок</p>	<p>Простота применения, адекватность разработки, использование более свежей информации в проекте увеличит спрос и конкурентоспособность НИР (В3,В4,С1,С2,С3). При подключении в работу инновационных структур уменьшается время разработки и появляются дополнительные денежные средства(В1,В2,С4).</p>	<p>Помощь в финансировании проекта и его сертификации могут оказать инновационные инфраструктуры(В1,В2,Сл2,Сл4). Необходимо снизить конкурентоспособность подобных разработок и расширить использование данной НИР во многих компаниях (В3,В4,Сл1,Сл3).</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Значимая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Использование более новой информации, простота и адекватность математической модели позволяют повысить спрос и конкуренцию разработки, что уменьшает влияние финансирования (С1,С2,С3,У1,У2,У4).</p> <p>В силу малой затратности проекта представляется возможность вложения дополнительных денежных средств в другие услуги, такие как сертификация (С4,У3).</p>	<p>Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, невозможность использования в компаниях с традиционными методами обработки нефти приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции проекта (У1,У2,Сл1,Сл2,Сл3), а отсутствие финансирования приведет к невозможности получения сертификации (У3,Сл4).</p>

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 4.5).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 4.5 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3

5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	37	37

По результатам оценки можно сказать, что данная разработка считается средней перспективности.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом

объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Нефтеперерабатывающие компании	Получение разработки по магнитной системы для предупреждения накопления нефтяных отложений

В таблице 4.7 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка эффективной магнитной системы для предупреждения накопления нефтяных отложений
Ожидаемые результаты проекта:	Выявление наиболее оптимальных способов и методов разделения водонефтяных эмульсий
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность результатов

Требования к результату проекта:	Требование:
	Стандартизация готового продукта

В таблице 8 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Бешагина Е. В., НИ ТПУ, ОХИ, Доцент	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2	Старостин Н. М., НИ ТПУ, ОХИ, магистрант	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, отбор проб, пробоподготовка, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	663323,4
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2019-31.05.2021
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

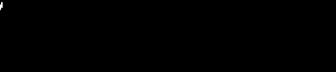
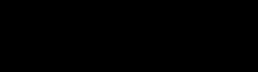
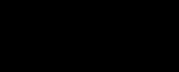
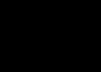
4.3.2 План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 10, 11).

Таблица 10 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.19	07.09.19	Старостин Н. М., Бешагина Е. В.
Согласование плана работ	7	08.09.19	15.09.19	Старостин Н. М., Бешагина Е. В.
Литературный обзор	138	16.09.19	31.01.20	Старостин Н. М.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292	01.02.20	20.12.20	Старостин Н. М., Бешагина Е. В.
Написание отчета	162	21.12.20	31.05.21	Старостин Н. М.
Итого:	606			

Таблица 4.11 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

Наименование этапа	Т, дней	2019				2020								2021										
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май		
Утверждение темы магистерской диссертации	7																							
Согласование плана работ	7																							
Литературный обзор	138																							
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292																							
Написание отчета	162																							



- Старостин Н. М.



- Старостин Н. М., Бешагина Е. В

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Материальные затраты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;
7. Накладные расходы.

Затраты на сырье, необходим керосин в качестве растворителя. Одна бутылка стоит 132 рублей. Затраты на исходное сырье равны нулю.

Таблица 4.24 – Материальные затраты

Наименование	Ед.изм	Количество			Цена за ед., л.руб			Затраты на материалы, (Зм), т.руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Керосин	л	2,5	3	4	132	132	132	330	396	528
Итого:								330	396	528

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (НР)	1	30000,0	30000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
Итого, руб.:				35990

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.14.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.1)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.2)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.3)$$

где: Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 * (k_{пр} + k_d) * k_p \quad (4.4)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_M = Z_6 * K_p \quad (4.5)$$

где $Z_б$ – базовый оклад, руб.;

K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук без учета РК составил 33664 руб.

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$Z_м$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33664	1	0,02	1,3	43763,2	1968,5	54	106297,11
Магистрант	26300	-	-	1,3	34190	1302,5	121	157602,5

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} * k_{доп} \quad (4.6)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	106297,11	157602,5
Дополнительная зарплата	12755,65	18912,3
Итого по статье $C_{зн}$	119052,76	176514,8

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.7)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления 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%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальный выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (249979,8 + 24997,9) = 82493,31 \text{ рублей}$$

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (274977,8 + 30797,8) = 244620,5$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляет 663323,4, которые приведены в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Доп- аязаработ наяплата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производствен ные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестои- мость
Данное исследование	330	35990	263899,6	35990	82493,31	-	-	-	244620,5	663323,4
Аналог	2000	300000	999919,2	99991,6	329973,2	109991,1	-	-	879928,6	2721803,7

4.4.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 2.

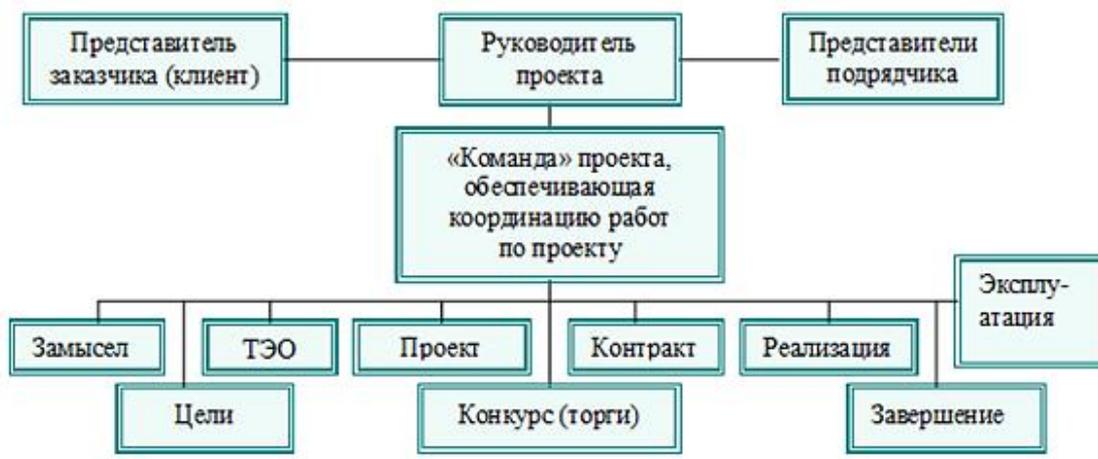


Рисунок 4.2 – Проектная структура проекта

4.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.4.3 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.20.

Таблица 4.20 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

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

4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);

- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (4.8)$$

где: ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.21. При расчете рентабельность проекта составляла 20 %, норма амортизации - 10 %.

$$A_r = C_{перв} * N_a / 100$$

Таблица 4.21 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	795 988,08	795 988,08	795 988,08	795 988,08
2	Итого приток, руб.	0	795 988,08	795 988,08	795 988,08	795 988,08
3	Инвестиционные издержки, руб.	-663323,4	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	278 595,828	278 595,828	278 595,828	278 595,828

5	Налогооблагаемая прибыль	0	517 392,252	517 392,252	517 392,252	517 392,252
6	Налоги 20 %, руб.	0	103 478,45	103 478,45	103 478,45	103 478,45
8	Чистая прибыль, руб.	0	413 913,8	413 913,8	413 913,8	413 913,8
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-663323,4	417 512,8	417 512,8	417 512,8	417 512,8
10	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,833	0,694	0,578	0,482
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.	-663323,4	347 788,16	289 753,88	241 322,39	201 241,16
12	Σ ЧДД		1 080 105,59			
12	Итого NPV, руб.		416 782,19			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t} \quad (4.9)$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 736216 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 \quad (4.10)$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1\ 080\ 105,59}{416\ 782,19} = 2,59$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.22 и на рисунке 4.3.

Таблица 4.22 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-663323,4	417512,8	417512,8	417512,8	417512,8	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-663323,4	379519,1352	344865,57	313552,11	285161,24	659774,6632
	0,2	-663323,4	347788,1624	289753,88	241322,4	201241,17	416782,2136

	0,3	-663323,4	321067,3432	247167,58	189968,32	146129,48	241009,3248
	0,4	-663323,4	298104,1392	212931,53	151974,66	108553,33	108240,2544
	0,5	-663323,4	278481,0376	185375,68	123166,28	82667,534	6367,1312
	0,6	-663323,4	260945,5	162829,99	101873,12	63879,458	-73795,3264
	0,7	-663323,4	245497,5264	139866,79	84755,098	46761,434	- 146442,5536
	0,8	-663323,4	232137,1168	129011,46	71394,689	39663,716	- 191116,4232
	0,9	-663323,4	219611,7328	115651,05	60956,869	32148,486	- 234955,2672
	1,0	-663323,4	208756,4	104378,2	52189,1	25885,794	- 272113,9064

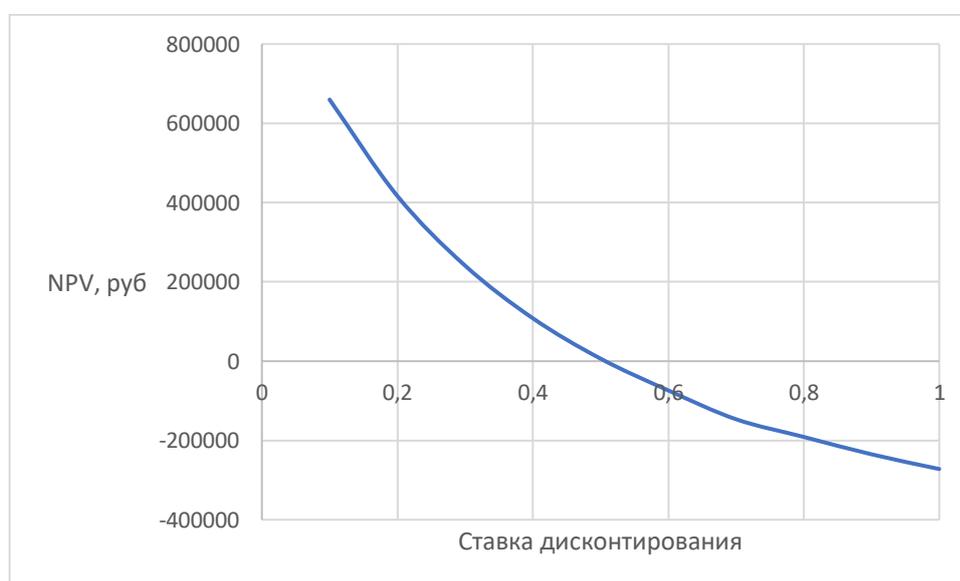


Рисунок 4.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,55.

Запас экономической прочности проекта: $55\% - 20\% = 35\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.23).

Таблица 4.23 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-663323,4	347 788,16	289 753,88	241 322,39	201 241,16
2	То же нарастающим итогом, руб.	-663323,4	-315 535,24	-25 781,36	215 541,03	416 782,19
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 2 + (25\ 781,36 / 241\ 322,39) = 2,1$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 4.24).

Таблица 4.24 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Осложнения, связанные с образованием и разделением водонефтяных эмульсий при сборе и подготовке продукции скважин	Выявление наиболее оптимальных способов и методов разделения водонефтяных эмульсий
осложнения, связанные с образованием и разделением водонефтяных эмульсий при сборе и подготовке продукции скважин	выявление наиболее оптимальных способов и методов разделения водонефтяных эмульсий

4.5.2 Оценка сравнительной 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 по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.11)$$

где: $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.12)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 4.25).

Таблица 4.25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Повышение производительности	0,1	4	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	3
3. Надежность	0,25	4	5	4
4. Простота эксплуатации	0,15	5	5	3
Итого	0,65	4,2	5	3,2

$$I_m^p = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 2,6$$

$$I_1^A = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,1$$

$$I_2^A = 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 2,2$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{2,6}{0,59} = 4,4;$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}} = \frac{3,1}{1,34} = 2,3$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}} = \frac{2,2}{1} = 2,2$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a1}} = \frac{4,4}{2,3} = 1,9$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a2}} = \frac{4,4}{2,2} = 2$$

где: $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.26.

Таблица 4.26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,59	1,34	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,6	3,1	2,2
3	Интегральный показатель эффективности	4,4	2,3	2,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,3	2,2	

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 416 782,19 руб.; индекс доходности

$PI=2,59$, внутренняя ставка доходности $IRR=55\%$, срок окупаемости $PP_{дск}=2,1$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Объектом исследований магистерской работы является разработка эффективной магнитной системы для предупреждения накопления нефтяных отложений

Цель данного раздела - выявление вредных и опасных факторов, возникающих при исследовании влияния магнитной обработки на процесс образования нефтяных отложений, а также меры по их устранению.

Область применения: асфальтосмолистые отложения на поверхностях нефтепромыслового оборудования

В разделе рассматриваются вопросы охраны труда, техники безопасности, охраны окружающей среды, связанные с работой в лаборатории.

Рабочей зоной является закрытое отапливаемое помещение, оснащенное вентиляцией и нормальным уровнем освещения.

Химическая лаборатория оснащена:

- шкаф для хранения летучих, взрывоопасных и легковоспламеняющихся веществ;
- вытяжной шкаф;
- блок "холодного" стержня с водяной баней;
- блок термостата / криостата;
- оборудование для сбора и утилизации отходов;
- контрольно-измерительное оборудование – весы, приборы для измерения температуры;
- оборудование для мытья и очистки лабораторной посуды;
- магнитная колонна.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Регулирование отношений между работником и работодателем, касающихся оплаты труда, трудового распорядка, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и прочих, осуществляется законодательством РФ, а именно трудовым кодексом РФ. Согласно трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) каждый работник имеет право на [30]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- дополнительное профессиональное образование за счет средств работодателя;
- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

На основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора [31], а также письменного согласия работника, оформленного путем заключения дополнительного соглашения к трудовому договору, продолжительность рабочего времени может быть увеличена, но не более чем до 40 часов в неделю с выплатой работнику отдельно устанавливаемой денежной компенсации в порядке, размерах и на условиях,

которые установлены отраслевыми (межотраслевыми) соглашениями, коллективными договорами.

В целях обеспечения прав и свобод человека и гражданина работодатель и его представители при обработке персональных данных работника обязаны соблюдать следующие общие требования:

1) обработка персональных данных работника может осуществляться исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов, содействия работникам в трудоустройстве;

2) при определении объема и содержания обрабатываемых персональных данных работника работодатель должен руководствоваться Конституцией Российской Федерации, настоящим Кодексом и иными федеральными законами;

3) все персональные данные работника следует получать у него самого;

4) работодатель не имеет права получать и обрабатывать сведения о работнике, относящиеся в соответствии с законодательством Российской Федерации в области персональных данных к специальным категориям персональных данных;

5) работодатель не имеет права получать и обрабатывать персональные данные работника о его членстве в общественных объединениях или его профсоюзной деятельности;

Заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом.

Работникам гарантируются: государственное содействие системной организации нормирования труда; применение систем нормирования труда, определяемых работодателем с учетом мнения представительного органа работников или устанавливаемых коллективным договором.

гарантии и компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, если работник принимается на работу в соответствующих условиях, с указанием характеристик условий труда на рабочем месте.

Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т. д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Выполнение трудовых операций «часто» и «очень часто» должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают мужчины и женщины — общие средние показатели мужчин и женщин.

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более чем на 15° [32].

5.2 Производственная безопасность

При проведении работы в химической лаборатории согласно «ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 5.1 [33]:

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	

Недостаточная освещенность рабочей зоны;	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
Отклонение показателей климата на открытом воздухе	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования	+	+	+	ГОСТ 12.2.061-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
Утечка токсичных и вредных веществ	+	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

Недостаточная освещенность. Искусственное освещение в лаборатории должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СП 52.13330.2016 Естественное и

искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* указаны в таблице 5.2 [34].

Таблица 5.2 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещения	Рабочая Поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г- горизонтальная , В- вертикальная), и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		КЕО е _н , %		КЕО е _н , %	
		При верхнем или комбинированно м освещении	При боковом освещени и	При верхнем или комбинированно м освещении	При боковом освещении
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительс т ва	Г – 0,8	3,0	1,0	1,8	0,6
Помещения	Искусственное освещение				
	Освещенность, лк				
	При комбинированном освещении		При общем освещени и	Показатель дискомфорт, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности , Кп, %, не более
	Всего	От общего			
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы,	400	200	300	40	15

представительс т ва					
---------------------------	--	--	--	--	--

Отклонение показателей микроклимата. Источник возникновения фактора – энергозатраты организма 151 – 200 ккал/ч, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения, при работе в реакторном зале.

Физическая природа – изменение температуры воздуха и теплового излучения. Негативное влияние теплового излучения на организм человека выражается в часто повторяющихся головных болях, тошноте, рвоте, интенсивном выделении пота, повышении уровня давления, слабости, нарушении координации движений.

Таблица 5.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	диапазон ниже опт. величин	диапазон выше опт. величин			для диапазона температур воздуха	для диапазона температур воздуха
Хол.	17,0- 18,9	21,1- 23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
Тепл.	18,0- 19,9	22,1- 27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4

Таблица 5.4 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Хол.	19-21	18-22	60-40	0,2
Тепл.	20-22	19-23	60-40	0,2

Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования. Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией [35].

Безопасность конструкции производственного оборудования обеспечивается:

- 1) выбором принципов действия и конструктивных решений, источников энергии и характеристик энергоносителей, параметров рабочих процессов, системы управления и ее элементов;
- 2) минимизацией потребляемой и накапливаемой энергии при функционировании оборудования;
- 3) выбором технологических процессов изготовления;
- 4) надежностью конструкции и ее элементов (в том числе дублированием отдельных систем управления, средств защиты и информации, отказы которых могут привести к созданию опасных ситуаций);
- 5) применением средств механизации, автоматизации (в том числе автоматического регулирования параметров рабочих процессов) дистанционного управления и контроля;
- 6) возможностью использования средств защиты, не входящих в конструкцию;
- 7) выполнением эргономических требований;

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации.

Конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные

единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих.

Конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа). Если из-за формы производственного оборудования, распределения масс отдельных его частей и (или) условий монтажа (демонтажа) не может быть достигнута необходимая устойчивость, то должны быть предусмотрены средства и методы закрепления, о чем эксплуатационная документация должна содержать соответствующие требования.

Система управления должна обеспечивать надежное и безопасное ее функционирование на всех предусмотренных режимах работы производственного оборудования и при всех внешних воздействиях, предусмотренных условиями эксплуатации. Система управления должна исключать создание опасных ситуаций из-за нарушения работающим (работающими) последовательности управляющих действий.

Утечка токсичных и вредных веществ. Лаборант обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом. Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца. Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу. Рациональная

планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 4.1 [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

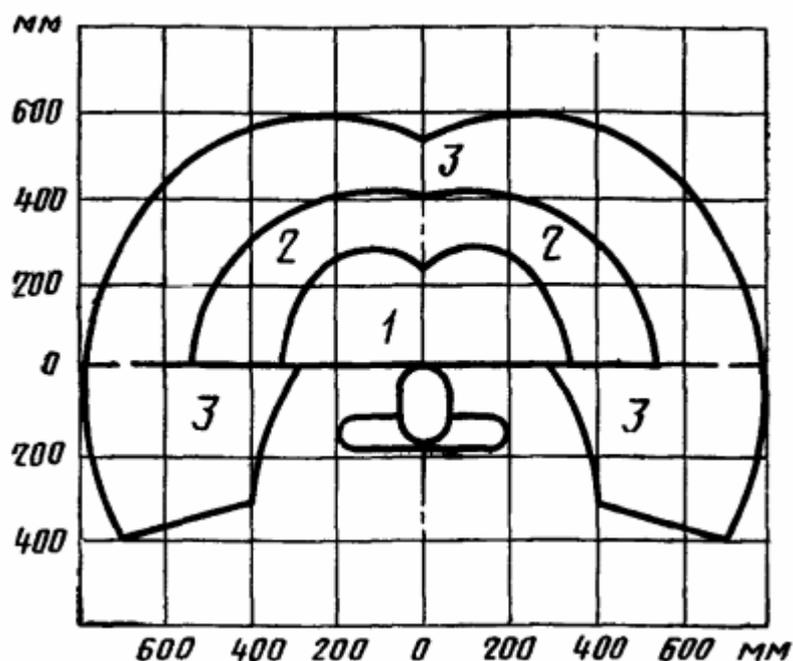


Рисунок 5.1 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления в горизонтальной плоскости:

1 – зона размещения очень часто используемых в наиболее важных органов управления (оптимальная зона моторного поля); 2 – зона для размещения часто используемых органов управления (зона легкой досягаемости моторного поля); 3 – зона для размещения редко используемых органов управления (зона досягаемости моторного поля)

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- блок "холодного" стержня с водяной баней размещается в зоне а (в центре);
- оборудование для сбора и утилизации отходов в зоне 2-3;

– контрольно-измерительное оборудование размещается в зоне 3;

Расчет потребного воздухообмена

В помещении объемом V работают n человек со средней производительностью a каждый. Они производят покраску и шпаклевку изделий нитро- (на основе ацетона) красками, эмалями и шпаклевками, для чего используется ручное и механизированное оборудование. В этом же помещении производится пайка N контактов припоем ПОС-60. Источники тепловыделения – оборудование мощностью $P_{\text{ном}}$ и осветительная сеть мощностью $P_{\text{осв}}$ из люминесцентных ламп. Расчеты вести для холодного периода года. Помещение имеет K окон, направленных на север размерами $2,5 \times 1,75$ м с двойным остеклением и деревянными рамами. Категория работ – III (тяжелая).

Рассчитать потребный воздухообмен и определить кратность воздухообмена для:

- 1) испарений растворителей и лаков;
- 2) при пайке припоем ПОС-60;
- 3) удаления выделяемой людьми углекислоты;
- 4) удаления избыточного тепла.

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчёта потребного воздухообмена

№ вар.	Материал	n чел.	V м ³	N шт/час	Местность	$P_{\text{ном}}$ кВт	$P_{\text{осв}}$ кВт	m окон
18	Цветной аэролак, окраска механизир.	2	400	480	Большие города	90	0,6	4

1. Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле

$$G = \frac{aAnm}{100}, \text{ г/ч}, \quad (5.1)$$

где a , м²/ч – средняя производительность по покраске одного рабочего (при ручной покраске кистью – 12 м²/ч, пульверизатором – 50 м²/ч); A , г/м² – расход лакокрасочных материалов; m , % – процент летучих растворителей, содержащихся в лакокрасочных материалах; n – число рабочих, одновременно занятых на покраске

Решение:

По табл. 1.3 прил. 1 для цветного аэролака при окраске распылением находим, что $A = 180$ г/м², $m = 75$ %, тогда

$$G = \frac{a \cdot A \cdot m \cdot n}{100} = 16560 \text{ г/ч}$$

Далее определяем потребный воздухообмен в помещении по формуле

$$L = \frac{1000G}{x_B - x_H}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.2)$$

где L , м³/ч – потребный воздухообмен; G , г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; x_B , мг/м³ – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [36]; x_H , мг/м³ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03) [37].

Находим для ацетона из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1, что $x_B = 200$ мг/м³, $x_H = 0,35$ мг/м³, тогда

$$L = \frac{1000 \cdot G}{x_B - x_H} = 82945 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Определение потребного воздухообмена при пайке электронных схем

Пайка осуществляется свинцово-оловянным припоем ПОС-60, который содержит $C = 0,4$ доли объема свинца и 60 % олова. Наиболее ядовиты аэрозоли (пары) свинца.

В процессе пайки из припоя испаряется до $B = 0,1$ % свинца, а на 1 пайку расходуется 10 мг припоя. При числе паек – N , количество выделяемых паров свинца определяется по формуле

$$G = CBN, \text{ мг/ч.} \quad (5.3)$$

Решение: По формуле (5.3) определяем количество аэрозолей свинца, выделяемых в воздух:

$$G = C \cdot B \cdot N = 5,8 \text{ мг/ч}$$

Далее определяем потребный воздухообмен по формуле. Находим из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1 для свинца и его соединений $x_B = 0,01$ мг/м³; $x_H = 0,001$ мг/м³. Тогда

$$L = \frac{1000 \cdot G}{x_B - x_H} = 640000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3. Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемый людьми углекислый газ (СО₂). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислого газа, выделяемого человеком и по допустимой концентрации его.

Содержание углекислого газа в атмосферном воздухе можно определить по химическому составу воздуха. Однако, учитывая повышенное содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов, следует принимать при расчете содержания СО₂ следующие значения: для сельских населенных пунктов – 650 мг/м³, для малых городов (до 300 тыс. жителей) – 800 мг/м³, для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) – 1000 мг/м³. ПДК СО₂ в воздухе рабочей зоны – 9000 мг/м³.

Решение:

По табл. 1.4 прил.1 определяем количество СО₂, выделяемой одним человеком $g = 68$ г/ч. Тогда $x_B = 9000$ мг/м³ и содержание СО₂ в наружном воздухе для больших городов $x_H = 1000$ мг/м³. Определяем потребный воздухообмен по формуле (5.2):

$$L := \frac{1000 \cdot G \cdot 2}{x_B - x_H} = 17 \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

4. Определение потребного воздухообмена при выделении газов (паров) через неплотности аппаратуры, находящейся под давлением

Производственная аппаратура, работающая под давлением, как правило, не является вполне герметичной. Степень герметичности аппаратуры уменьшается по мере ее износа. Считая, что просачивание газов через неплотности подчиняется тем же законам, что и истечение через небольшие отверстия, и, предполагая, что истечение происходит адиабатически, количество газов, просочившиеся через неплотности, можно определить по формуле:

$$G = kcv \sqrt{\frac{M}{T}}, \text{ кг/ч}, \quad (5.4)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования ($k = 1-2$); c – коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате; v – внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м^3 ; M – молекулярный вес газов, находящихся в аппаратуре; T – абсолютная температура газов в аппаратуре, К.

Таблица 5.6 – Коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате

Давление p , атм	до 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

Система, состоящая из аппаратов и трубопроводов, заполнена сероводородом. Рабочее давление в аппаратуре $p_a = 3$ атм, а в проводящих трубопроводах $p_a = 4$ атм. Внутренний объем аппаратуры $v_a = 5 \text{ м}^3$, объем трубопроводов, $v_{\text{тр}} = 1,2 \text{ м}^3$. Температура газа в аппаратуре – $t_a = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, в

трубопроводе – $t_{\text{тр}} = 25$ °С. Определить требуемый воздухообмен в помещении.

Решение:

Определяем величины утечек сероводорода (H_2S) из аппаратуры и трубопроводов. Принимаем $k = 1,5$; $c = 0,169$ (по табл. 1.2); $M = 34$, для H_2S ; Утечка газа из аппаратуры составляет:

$$G_a := 1.5 \cdot 0.169 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{34}{393}} = 0.373 \quad \text{кг/ч}$$

Утечка газа из трубопроводов составляет:

$$G_{\text{тр}} := 1.5 \cdot 0.172 \cdot 1.2 \cdot \sqrt{\frac{34}{298}} = 0.105 \quad \text{кг/ч}$$

$$G_{\text{вв}} := G_a + G_{\text{тр}} = 0.477 \quad \text{кг/ч}$$

Используя данные табл. 1 и 2 прил. 1, находим, что для сероводорода $x_v = 10$ мг/м³; $x_n = 0,008$ мг/м³. Требуемый воздухообмен равен:

$$L_{\text{вв}} := \frac{4761000}{(10 - 0.008)} = 476481.2 \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

Вывод: В воздух помещения одновременно могут выделяться несколько вредных веществ. По действию на организм человека они могут быть однонаправленными и разнонаправленными. Для однонаправленных веществ расчетные значения требуемого воздухообмена суммируются, а для разнонаправленных веществ выбирается наибольшее значение требуемого воздухообмена.

5. Расчёт требуемого воздухообмена для удаления избыточного тепла

Определяем количество тепла, вносимого за счет солнечной радиации

$$Q_p := M \cdot S \cdot q_{\text{ост}} = 1377.5 \quad \text{ккал/ч}$$

Определяем количество тепла, выделяемого находящимися в помещении людьми

$$Q_{\text{л}} := N \cdot q_{\text{л}} = 160$$

Определяем количество тепла, выделяемого системой освещения

$$Q_{\text{осв}} = 860P_{\text{осв}} \alpha b \cos(\varphi) = 181,89 \text{ ккал/ч,}$$

При ориентировочных расчетах произведение всех четырех коэффициентов можно принимать равным:

$$Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 = 0,25$$

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} Y_2 Y_3 Y_4 = 22,5 \text{ кВт}$$

Определяем количество тепла, выделяемого оборудованием

$$Q_{\text{об}} = 860P_{\text{об}} Y_1 = 4837,5 \text{ ккал/ч,}$$

Таким образом, для определения потребного воздухообмена необходимо определить количество избыточного тепла по формуле:

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{об}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{р}} - Q_{\text{отд}} = 6556,89 \text{ ккал/ч,}$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{изб}}}{V} = 16,39 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч}$$

Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла производится по формуле:

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{\gamma c \Delta t} = 3775,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Вывод:

Среди полученных расчетных значений потребного воздухообмена для вредных веществ и удаления избыточного тепла наибольшее значение потребного воздухообмена имеет тепло, выделяемого оборудованием 4837,5 ккал/ч.

5.3 Экологическая безопасность

Распыление и разлив нефти и химических реагентов сопутствует выделениям углекислого газа и метана в атмосферу. Потери при испарении легких фракций нефти во время хранения в резервуарах и производстве сливных и промывочных операций.

Атмосфера. Источником загрязнения являются газообразные отходы, прошедшие очистку и фильтрацию, рассеиваемые в атмосфере через вентиляционные трубы. Должны соблюдаться требования нормативных актов,

регулирующих отношения в области охраны атмосферного воздуха. В лаборатории разрабатываются и выполняются мероприятия: – по организации производственного экологического контроля; – по регулированию выбросов ЗВ в атмосферный воздух при неблагоприятных метеорологических условиях; – по проверке эффективности работы газоочистного оборудования.

Защита гидросферы. В ходе работ с химическими реагентами при неправильной утилизации остаточных веществ могут происходить различные воздействия на гидросферу. Например:

- загрязнение поверхностных и подземных вод остатками реагентов, загрязнение поверхностных водоемов, при утечке кислот (щелочей) или других веществ (нефтепродуктов);

- утечка нефтепродуктов и химических реагентов из резервуаров и дозирующих установок.

Мероприятия по защите гидросферы: герметизация всего оборудования и трубопровода; установка фильтров в пунктах сброса и применение первичных отстойников для уменьшения агрессивности химической среды реагентов; создание сети контрольных пунктов для наблюдения за составами поверхностных и подземных вод.

Защита литосферы. При проведении опытов в лаборатории могут возникнуть нарушения загрязнениями почвенного и растительного покрова утечками (проливами) кислот, щелочей, технических жидкостей и нефтепродуктов.

Охрана окружающей среды достигается комплексом мероприятий, направленных на предотвращение утечек и сокращение потерь от испарения.

Мероприятия, направленные на уменьшение воздействия УПН на окружающую среду:

- герметичная схема подготовки нефти;
- оснащение технологического оборудования предохранительными устройствами со сбросом в специальные емкости с последующим

возвращением жидких продуктов в технологический процесс; использование факельных установок для сжигания аварийных выбросов газа.

К технологическим источникам, загрязняющих атмосферу УПН, относятся:

- выбросы при продувках оборудования и коммуникации;
- утечки через неплотности оборудования и сальники, фланцевые соединения [38].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте выделяют внезапное обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар, угроза пандемии. С учетом специфики работы и техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием техники и угрожающий жизни и здоровью работников. Причинами возгорания при работе с техникой могут быть:

- нарушение как элементарных то правил за пожарной за безопасности;
- неисправность как электрооборудования, как электросетей, как и нарушение как электротехнических то правил;
- на самовозгорание, на статическое как электричество, за грозовые доход разряды;
- неудовлетворительная за постановка как инструктажа, плохая еще дисциплина.

Помещение лаборатории находится во втором учебном корпусе ТПУ. Здание корпуса находится в черте города Томска. Стены здания сложены из керамического кирпича и обладают большой прочностью. Здание устойчиво к воздействию природных опасностей – ураганов, наводнений и способно обеспечить защиту находящихся в нем людей от природных опасностей. Во

избежание затопления подвальных помещений талыми водами своевременно производится отчистка прилегающей территории от снега. В здании предусмотрено несколько аварийных выходов.

Во время военных конфликтов при угрозе нападения противника по телерадиационной сети передают сигнал тревоги «воздушная тревога». По сигналу тревоги необходимо отключить свет, все работающее электрооборудование, выключить рубильники, закрыть окна и покинуть помещение в соответствии с планом эвакуации (рисунок 5.2).

При стихийном бедствии необходимо оповестить всех работников лаборатории об угрозе или возникновении, отключить все электроприборы. Если возникает угроза для жизни, то следует эвакуировать людей по плану.

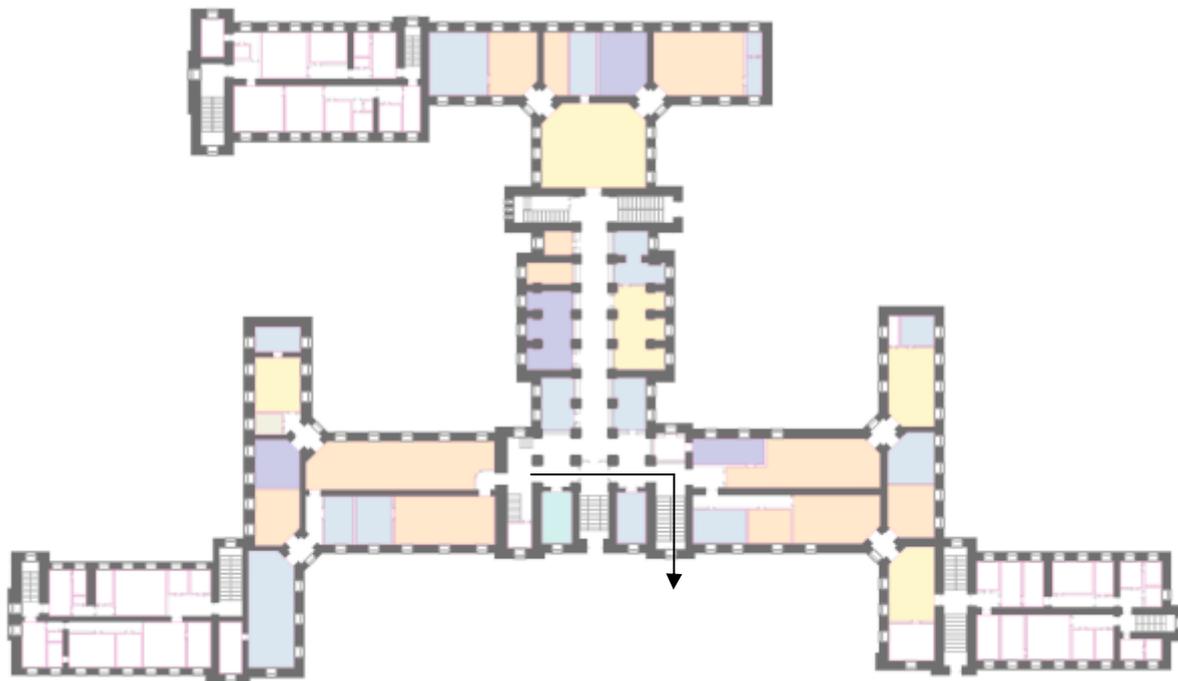


Рисунок 5.2 – План эвакуации при пожарах и других ЧС

Вывод: В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» были установлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении и эксплуатации кордиеритовой керамики. По мере анализа данных факторов были представлены пути решения по обеспечению нормальных условий жизнедеятельности рабочих, их защите от любых

опасностей и вредных факторов, предотвращению чрезвычайных ситуаций техногенного характера и ликвидации их последствий

Список использованной литературы

1. Сафиева Р.З. Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии переработки нефти – М.: Химия, 1998.-448с.
2. Сваровская Н. А. Корреляции «состав – свойство» в нефтепереработке // Наука и технология углеводородов. – 2001. – № 2. – С. 11–14
3. Сюняев С.Р., Сюняев Р.З., Сафиева Р.З. Нефтяные дисперсные системы. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
4. Унгер Ф.Г., Андреева Л.Н. Фундаментальные аспекты химии нефти. Природа смол и асфальтенов. – Новосибирск: Наука, 1995. – 186 с.
5. Ламоткин С. А. Химическая поляризация ядер при термо- и фоторазложении дипольных пероксидов и производных бензилацетата: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Минск, 2001. – 22 с.
6. Бешагина Е.В. Определение количества нефтяных отложений по методу «холодного стержня» / Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов III курса. — 2017. – 19 с.
7. Глущенко В.Н., Силин М.А. Нефтепромысловая химия: Осложнения в системе пласт-скважина-УППН.– М.: 2008.-328с.
8. Верховых А.А., Ермеев А.М., Елпидинский А.А. Облагораживание реологических свойств нефти физическими методами // Вестник технологического университета. 2015. Т 18. №15 – С.64
9. Жумаев, К. К. Исследование воздействия магнитной обработки на свойства нефтяного сырья / Молодой ученый. — 2016. — № 2 (106). — С. 151-153.
10. Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Малышева Н.Н., Ковальский С.Б. Технологии и устройства магнитной обработки нефти, воды и водных растворов: препринт / Сиб. федер. ун-т, 2013. – 78 с.
11. Тронов, В. П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними / В. П. Тронов. – М.: Недра, 1970. – 192 с.

12. Персиянцев, М. Н. Добыча нефти в осложненных условиях / М. Н. Персиянцев. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 653 с.
13. Инюшин, Н. В. Магнитная обработка промысловых жидкостей / Н. В. Инюшин, Л. Е. Каштанова, А. Б. Лаптев и др. Уфа: ГИННТЛ «Реактив». – 2000. – 58 с
14. Лоскутова Ю. В. Влияние магнитного поля на реологические свойства нефтей: Автореф. дис.... канд. хим. наук. – Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2003. – 22 с.
15. Лабораторные исследования влияния магнитного поля на водонефтяные эмульсии НГДУ «Уфанефть» / В. В. Шайдаков, А. Б. Лаптев, Н. В. Инюшин и др. – Уфа: Уфим. гос. нефт. техн. ун-т., 2001. – 6 с.
16. Пат. 2095119 РФ, МКИ6 В 01 D 17/06. Способ обезвоживания нефти / Газизов М. Г., Хазиев Н. Н., Г
17. Пат. RU 2067492, В 01 D 17/06. Способ обезвоживания нефти / Л. П. Семихина – № 93056733/26; Заявл. 23.12.93; Оpubл. 10.10.96. Бюл. № 28.
18. Пат.2152817 РФ, МПК⁷ В 01 D 17/06. Способ обезвоживания водонефтяной эмульсии / Велес П. Р., Пивоварова Н. А., Щугорев В. Д. и др.; ООО «Астраханьгазпром», ОАО «Газпром». – № 99124158/ 12; Заявл. 15.11.99; Оpubл. 20.07.2000, Бюл. № 20.
19. Получение катализаторов гидроочистки с улучшенными характеристиками / Н. А. Пивоварова, И. Р. Насиров, Б. И. Белинский и др. // Химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46, № 6. – С. 114–117.
20. Велес Парра, Пивоварова Н. А. Снижение токсичности выхлопных газов при предварительной магнитной обработке дизельного топлива // Материалы V Всерос. науч. конф., 9–10 октября 2002 г., Астрахань. – Астрахань: Изд-во АГПУ, 2002. – С. 201–203.
21. Способ переработки тяжелого углеводородного сырья: Заявка 2002116712 RU, МКИ7 С 10 G 15/00 / Н. А. Пивоварова, Б. И. Белинский, О. Н. Козырев, Б. П. Туманян / Приор. 21.06.2002.

22. Влияние магнитного поля на результаты перегонки нефтяных остатков // Н. А. Пивоварова, Н. А. Клепова, Б. И. Белинский, Б. П. Туманян // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2003. – № 12. – С. 23–26.
23. Бешагина Е. В., Маслов С. Г. Определение молекулярной массы нефтей методом криоскопии в бензоле на установке крион-1 / Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Переработка нефти и газа. Часть2» для студентов IV курса. 2019. – 15 с.
24. Бешагина Е. В., Маслов С. Г. Разделение нефтей (экстрактов) на масла, смолы, асфальтены / Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Переработка нефти и газа. Часть2» для студентов IV курса. 2019. – 15 с.
25. ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94) Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости
26. ГОСТ Р 51069-97 Нефть и нефтепродукты. Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром
27. Информация о Малоичском месторождении. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mklogistic.ru/maloichskoe_mestorojdenie, свободный.
28. Верхне-Салатское месторождение: карта и описание. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mklogistic.ru/verhnesalatskoe_mestorojdenie, свободный.
29. ГОСТ Р 51858-2020 Нефть. Общие технические условия
30. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
31. Отраслевое соглашение между Департаментом профессионального образования Томской области и Томской территориальной организацией Профсоюза работников народного образования и науки Российской Федерации на период 2019-2022 гг.

32. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
33. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
34. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
35. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
36. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
37. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
38. Снижение негативного воздействия на окружающую среду – Безопасное развитие – Обзор результатов – Годовой отчет ПАО «Газпром нефть» за 2016 г.
39. Busch K.W., Busch M.A., Darling R.E., Maggard S., Kubala S.W. Design of a test loop for the evaluation of magnetic water treatment devices. Process Safety and Environmental Protection. Transactions of the Institution of Chemical Engineers. 1977. Vol. 75, N. 2, p. 105-114.
40. Frenkel M., Danchuk V., Multanen V., Bormashenko E. Magnetic field inspired contact angle hysteresis drives floating polyolefin rafts. Colloid and Interface Science Communications. 2018. Vol. 22, p. 38-41.
41. Holysz L., Chibowski E., Szczes A. Influence of impurity ions and magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate. Water research. 2003. Vol. 37. N. 14, p. 3351-3360.
42. Golubev I., Karpova Y. Quality improvement of oil-contaminated wastewater, meant for injection into formation, using two-stage treatment technology. I International Conference “Corrosion in the Oil and Gas Industry”, May 22-24, 2019, Saint Petersburg, Russia. 2019. Vol. 121, p. 5.

43. Golubev I. A., Golubev A. V., Laptev A. B. Practice of using the magnetic treatment devices to intensify the processes of primary oil treating. 2020. – T. 245.
44. Golubev I.A., Laptev A.B., Alekseeva E.L., Shaposhnikov N.O., Povyshev A.M., Kurakin M.K. The effect of magnetic treatment on the effectiveness of inhibition in oilfields. I International Conference “Corrosion in the Oil and Gas Industry”, May 22- 24, 2019, Saint Petersburg, Russia. 2019. Vol. 121, p. 5.
45. Abouie A., Shirdel M., Darabi H., and Sepehrnoori K., Modeling asphaltene deposition in the wellbore during gas lift process, in *SPE Western Regional Meeting 2015: Old Horizons, New Horizons Through Enabling Technology*, 2015, p. 1023–1042.
46. Bereau T. and Kremer K., Automated Parametrization of the Coarse-Grained Martini Force Field for Small Organic Molecules, 2015. Vol. 11, N. 6, pp. 2783–2791.
47. Khalaf M. H. and Mansoori G. A., A new insight into asphaltene aggregation onset at molecular level in crude oil (an MD simulation study), 2018, Vol. 162, p. 244–250.
48. Loskutova Y. V., Yudina N. V., Pisareva S. I. Effect of magnetic field on the paramagnetic, antioxidant, and viscosity characteristics of some crude oils // *Petroleum Chemistry*. 2008, Vol. 48, N. 1, p. 51-55.
49. Cañas-Marin W. A., Ortiz-Arango J. D., Guerrero-Aconcha U. E., and Lira-Galeana C., Thermodynamics of wax precipitation under the influence of magnetic fields, 2006, Vol. 52, N. 8, p. 2887–2897.
50. Likhterova, N.M., Lunin, V.V., and Torkhovskii, V.N., *Khim. Tekhnol. Topl. Masel*, 1999, N. 5, p. 33.

Приложение А

(справочное)

Effect of magnetic treatment on formation of oil deposits

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Старостин Николай Михайлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бешагина Евгения Владимировна	к.х.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Терре Дина Анатольевна	к.ф.н.		

Since the 60s of the twentieth century, in the area of petroleum engineering attempts have been made to introduce magnetic treatment apparatus (MT) into the technological processes of gathering and field treatment of oil, gas and water. A lot of positive results of pilot tests and implementations of various designs of MT apparatus for treating the water-oil emulsions that are extracted or injected into the reservoir and transported through pipelines, in order to change their physical and chemical activity and rheological properties, are known.

Despite the convincing achievements in the area of magnetic treatment of extracted liquids in the oilfield [39] there are problems associated with low repeatability of satisfactory results in practice.

Due to the specifics of oilfield equipment, the most widespread are the apparatus with permanent magnets, which are easy to assemble and do not require special training of service personnel [40]. But the existing drawbacks, which are low intensity of the magnetic field (MF), the inability to regulate the treatment parameters for the changing physical and chemical properties of the pumped fluid as well as the ability to accumulate ferromagnetic impurities during operation [41] on the surface of permanent magnets, did not allow their application for a wide range of tasks. Another type of devices used – electromagnetic devices – has a fundamentally different design, however, there still occurs the problem similar to that brought about when the apparatus on permanent magnets are applied which is the low magnetic field intensity.

As a result of the analysis of theoretical explanations for the physical principles of operation and the indications of the mathematical apparatus for calculation of the devices for magnetic and hydrodynamic treatment of water-oil emulsion flows, we found that these devices were calculated and used under conditions of a laminar flow of a liquid. Under these conditions, a scheme is justified, in which the lines of magnetic induction are directed perpendicular to the velocity vector of the unit volumes of liquid. However, when the flow is turbulized, chaotically directed vortices are formed in it, the velocity vector of which, in

contrast to the laminar flow, is directed not along the generatrix of the pipeline, but perpendicular or at an angle to the generatrix. In this case, the direction of the magnetic induction vector may not be perpendicular to the flow vector, but coincide with it or be at an angle. Vortices in a turbulent flow move chaotically and often in opposite directions. On the one hand, this peculiarity increases the hydraulic resistance, and on the other hand, this makes it possible to increase the efficiency of the magnetic effect, when, for example, the probability of contact of suspended oil globules with a surface charge, changed due to a magnetic field, increases.

Thus, the scheme and the calculated dependencies of the magnetic treatment can be applied to the MT scheme using a solenoid – the direction of the magnetic induction lines coincides with the direction of the flow. To obtain the maximum values of the magnetic induction of the magnetic fields with a high intensity created in the solenoid, capable of exerting a maximum effect on the treated medium, the developed apparatus uses a pulse-treating mode [42]. Pulse magnetic device (PMD) consists of a low-frequency current generator and a solenoid connected to it by means of a cable, flanged to the pipeline section (Fig.1).



Figure 1 – Installation “PMD-2” at the test facilities

Fluid flowing through a non-magnetic pipeline that is the part of the solenoid is exposed to strong magnetic fields (400 kA/m). Low surface roughness, as well as the solidity of the structure (no transitions caused by the need to install permanent magnets) prevent the possible deposition of impurities in the device. Generator of current pulses provides a change in the current pulse repetition frequency within the range of 0-50 Hz. Adjustment is required due to the need to select the optimal treatment parameters for water-oil media with different physical, chemical, structural and mechanical properties.

Electromagnetic devices used in the practice of oil production are operated in a relatively wide frequency range. After a large number of experiments, the upper frequency limit in our setup was limited to 50 Hz due to a decrease in efficiency with a further increase in the pulse frequency. To generate strong pulse magnetic fields (1.2 T) in the storage and technological unit of the PMD, a capacitor is used as the most efficient source of energy. In this type of design, the frequency of the magnetic field is inversely related to the energy given off by the capacitor. Since there is a direct relationship between the energy stored in the capacitor and the energy of the magnetic field in the solenoid, increasing the frequency will reduce the intensity, and hence the current passing through the solenoid, and, as a consequence, will reduce the efficiency of magnetic treatment.

6.1 Destruction of oil-water emulsions

Significant complications in the technology of oil production, gathering and treatment are caused by waterflooding productive formations of the oil fields. These complications are associated with the forming oil-water emulsions with high values of viscosity and resistance to destruction [43]. Main method for the destruction of hard emulsions in the field (treatment of oil-contaminated wastewaters with complex composition) is the in-pipe demulsification method, based on the addition of a demulsifier reagent to the product during transportation. When reagents are introduced into an oil emulsion, the following processes take place at the oil-water

interface demulsifier, which has a greater surface activity, displaces natural stabilizers – emulsifiers, while adsorbing on the interface of the oil globule. Molecules of demulsifiers change the wettability, and this effect facilitates the transition of the particles from the interface into the bulk of the water or oil phase, which, in turn, leads to coalescence.

Investigations carried out by the authors of this article in [44] showed that as a result of magnetic treatment of water-oil emulsion, the surface tension at the oil-water interface decreases by 20 %. A drop in the stability of the dispersed system is observed, caused by a change in the polarity of the molecules at the interface. Since the mechanisms of effect for the magnetic field and the demulsifier that reduce the stability of oil-water emulsions are fundamentally similar to each other, it was suggested that magnetic treatment can intensify the processes of in-pipe demulsification.

6.2 Background and previous studies

Crude oil is a complex mixture composed of hydrocarbons in a wide range of molecular weights, various other organic compounds, metals, and oxides. In general, the heavy components of oils are classified into saturates (composed of paraffin/wax and diamondoids), aromatics, resins, and asphaltenes [45]. The exact structures of the various asphaltene molecules present in different crude oils are not fully known yet. However, various chemical analyses indicate that asphaltenes may usually contain polycyclic clusters, alkyl groups, nitrogen, oxygen and sulfur, in addition to carbon and hydrogen, in their structure [46]. Asphaltene fraction could also contain some metals, such as iron, nickel, and vanadium (and their oxides) that may be physically attached to it [47]. Asphaltenes are not crystallized and cannot be easily separated into individual monomer components, but they can be separated into narrow cuts, ‘fractions’. In addition to their highly sticky nature, asphaltenes may act as a site of nucleation for wax and diamondoids crystallization.

Hydrocarbons recovered from unconventional oil deposits, such as heavy oil, bitumen and tar sand, have contributed to the global energy portfolio. However, the usage of these resources usually leads to several challenges such as aggregation and deposition of heavy organics and low mobility arising from their high viscosities. Heavy organic deposition is a serious problem in the oil industry and it may happen due to changes in temperature, pressure, and composition. There are several approaches proposed to overcome these issues, including magnetic field. The detailed information about the role of magnetic field in enhancing or preventing the association of heavy organic materials is still lacking.

There are several industrial reports available about modifying crude oil rheological properties and eliminating heavy organics deposition when crude oils are exposed to a magnetic field. Various researchers reported that magnetic treatments of crude oils led to a disturbance in paraffin crystallization and reduced wax crystal size.

For example, Marques et al. (1997) studied the paraffin crystallization under magnetic treatments. They concluded that pure paraffin in hydrocarbon solutions showed susceptibility to a magnetic field and there was a fair correlation between magnetic field strength, exposure time, and the oil rheological properties. Also, they did a field test on producing wells of high and mild paraffinic oils and detected a high reduction in oil viscosity and heavy organics deposition rate. Gonçalves et al. (2011) claimed a 39% viscosity reduction in one of six oil samples. Their analysis on that sample showed the viscosity reduction was due to the presence of paramagnetic species, a high aromatic/aliphatic ratio, and a high water content. Also, they reported that paraffin could not be responsive to the viscosity reduction under the effect of a magnetic field. Morozov et al. (1978) studied the effect of magnetic field on the physical properties (volatility, dielectric constant, electrical conductivity, optical density, and electrical charging tendency) of a kerosene sample. Their results showed that the magnetic field influenced the physical properties of kerosene. They claimed that aromatic materials were sensitive to a

magnetic field. Loskutova and co-workers [48] studied changes in crude oil rheological properties due to magnetic fields. They concluded such changes were due to the presence of free radicals and vanadium complexes that were concentrated in the resinous-asphaltic fraction as well as the ratio between neutral and acidic resins. Orientation of free radicals and vanadium complexes due to a magnetic field lead to structural transformations and changes in oil rheological properties. They explained the high activity of acidic resin by its polarity in comparison to the neutral resin. Lesin et al. (2010) investigated the magnetic properties of the wax deposit sample from an oil producing well. They concluded that wax deposit sample had superparamagnetic properties due to the presence of iron oxide nanoparticles. It was also reported that sulfur, oxygen, nickel, vanadium and other atoms present in asphaltene-resin colloids caused higher magnetic susceptibility. Tung et al. (2001) studied the influence of magnetic field on paraffinic oil viscosity and deposition rate. They found out that oils with a high asphaltene-resin content were highly affected due to their polarity. The research also indicated that magnetically treated oils behaved as Newtonian fluids and there were reductions in wax crystals size and wax deposition rate.

In addition to experimental investigations, there are several simulations concerning the effect of magnetic fields. For example, Cañas-Marin et al. (2006) developed a thermodynamic model for calculating wax precipitation under the influence of a magnetic field. Their results indicated that the magnetic field increased the probability of wax crystallization based on the model and experimental results. Kulkarni and Wani (2013) discussed the alignment of wax magnetic dipoles with external magnetic field leading to disturbing the crystal agglomeration process. They argued that wax magnetic dipoles generated a repulsion force between them, preventing their aggregation and deposition. Moosavi and Gholizadeh (2014) used MD simulation to investigate the effect of a constant magnetic field on solvent properties. They detected that the magnetic field influences the number of hydrogen bonds, solvent structure, diffusion coefficient,

viscosity, and surface tension. The researchers reported that magnetic field increased the force of hydrogen bonds. They claimed that solvent molecules were distributed along the magnetic field direction. In another study, Chang and Weng (2006) investigated the effect of magnetic field and liquid water using MD simulation. They reported that the number of hydrogen bonds increased slightly as the strength of the magnetic field increased while diffusion coefficient decreased. Recently, Chen et al. (2018) investigated the effect of magnetic field on waxy crude oil using MD simulation. Their results showed that the magnetic field had different effects on waxy crude oil. The density decreased and increased with increasing magnetic field strength; diffusion coefficient increased when low magnetic field is applied and it decreased when there is high magnetic field; viscosity reduction was caused by a particular range of magnetic fields; aggregation and molecular morphology were affected by magnetic field.

6.3 Motivation of the study

In most of the studies, there is a discrepancy among experimental results of the influence of magnetic fields on crude oils. It can be observed that some of the studies mentioned that magnetic fields have effects only on polar species (asphaltenes) while others focused on paraffines. Even in paraffinic oils, there is a discrepancy between the results. Some of these analyses has pointed out that magnetic field reduced wax crystallization, however, others reported that magnetic field enhanced wax crystallization. It is shown above that most of the studies were about wax and there is little scientific information about the role of magnetic treatment of petroleum in asphaltenes. Some of the studies reported that magnetic field has effects on polar species. Thus, we believe asphaltene molecules present in oils are influenced by magnetic fields due to their asymmetrical charge distribution and polarity. The conducted analysis of literature references showed that there is no MD simulation about the effects of magnetic field on asphaltene aggregation or

deposition. The only available MD simulation is about waxy oils and they did not include asphaltene in the system.

The complex structural unit in crude oil is represented by a strong polar core that consists of asphaltene and less polar outer layer represented by resin. During magnetic treatment, their intermolecular interactions lead to formation of new associative structures. Thus, asphaltene molecules could aggregate or disaggregate due to magnetic field. Since little scientific evidence is available in the literature about the effect of magnetic field on asphaltenes behavior; we were motivated to undertake the present study. We are making use of molecular dynamics (MD) simulation technique to investigate the onset of asphaltenes aggregation with and without the effect of an external magnetic field in well-defined media. We are examining the impact of the magnetic field strength and the medium on the onset of asphaltene aggregation at the molecular level.

6.4 Molecular models

In crude oil, asphaltenes are found in different structures, depending on the reservoir properties. Asphaltene molecules that have a single aromatic core are known as “islands”. Asphaltene molecules that have multi-aromatic cores connected by bridging groups are known as “archipelagos”. Since asphaltenes have different structures, they have different aromaticity and polarity. To study the effect of asphaltene molecular structure on asphaltene behavior under magnetic treatment, three different asphaltene structures were chosen. They are named A1, A2, and A3 and are shown in Fig. 2., where A1 and A3 are island asphaltenes while A2 is an archipelago asphaltene. These three asphaltene models, used in some other studies, manifested different behaviors (Khalaf and Mansoori, 2018, 2019; Yaseen and Mansoori, 2017).

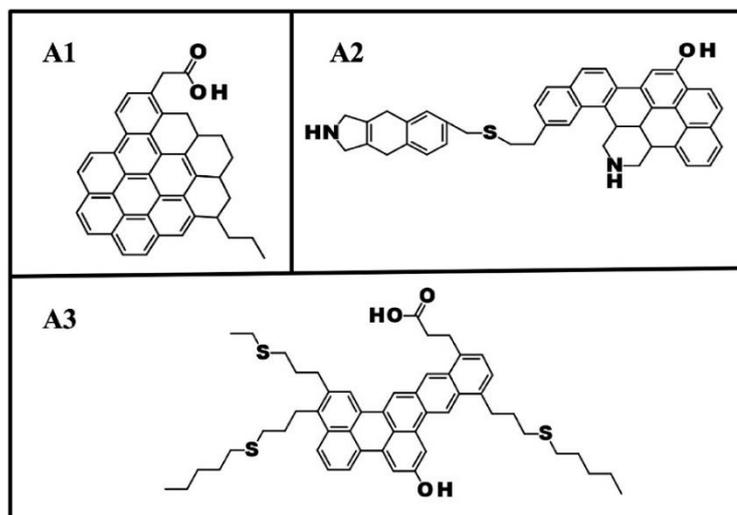


Figure 2 – Model asphaltenes used in this study.

It is known that asphaltenes are soluble in aromatics (such as orthoxylene) and insoluble in paraffines (such as normal-heptane). Thus, we intend to investigate the effect of magnetic treatment on asphaltenes that are soluble in an aromatic medium (o-xylene) and are already aggregated in a paraffinic medium (n-heptane). For the research we selected ortho-xylene, which is the best hydrocarbon solvent for asphaltene, and n-heptane which is a precipitant of asphaltene. The studies performed in the present research which refers to the onset of asphaltene aggregation are also valid in case when the same kinds of asphaltenes are present in real crude oil. The nature of aggregations beyond onset point is certain to be in a strong correlation with the medium.

For all the molecules in the system (asphaltenes, n-heptane, and oxylene), the field induced by OPLS-AA was used. It has been shown that OPLS-AA works well in organic liquids for reproducing experimental data. Therefore, it was used for asphaltene aggregation simulations.

6.5 Application of magnetic treatment to changing the composition and physicochemical properties of crude oil and petroleum products

Wave exposure (electrical, magnetic, radiation, acoustic, microwave, vibration, or laser) has an impact on the physical and chemical properties of oil and,

in some cases, contributes to the efficiency of the transportation of crude oil and subsequent refining.

Among the methods of producing wave effects on liquid systems, magnetic treatment is the most versatile, efficient, and technically simplest [46]. Two types of treatment are used: irradiation of a flow with an alternating magnetic field and flow treatment of samples under a constant magnetic field. In the development and exploitation of oil fields, the use of magnetic treatment helped to reduce deposits of inorganic salts and paraffin-asphalt-resin inlays, to split water-oil emulsions, and to facilitate the transportation of oil [49]. Researches in this area are not numerous; the methods used are different; and the results obtained are often incomparable.

The idea of oil and HOR as oil disperse systems largely clarifies their behavior and reactions occurring in them. Oil and HOR can be considered as an oil disperse system (ODS) with the dispersed phase of asphaltenes and the dispersion medium of resins and oils (maltenes). The research on the structure and properties of ODS has been conducted for the last three decades. A comprehensive analysis and integrated consideration of physical and chemical interactions of the components of petroleum systems, changing their structure, opens up new possibilities for the study of the composition of oil and HOR and for the intensification of the oil refining processes.

Nowadays, the concepts about the organization of disperse systems, based on a charge orientation of conventional colloids, undergo significant changes. It has been found that oil disperse systems have no charged particles, but exhibit paramagnetic properties. The structure of oil and HOR can be shown as clustered structure, in which a disperse particle is a centrally symmetric formation with a dense core containing paramagnetic molecules (high molecular weight paraffins or highly condensed aromatic, heterocyclic, or organometallic compounds). Aromatic, naphthenic, and paraffinic hydrocarbons are grouped around the core in accordance with the values of the pair interaction potentials, with a gradual decrease in the density of the intermolecular interaction potential from the center of the particle to

its periphery. In other studies, the ODS core is described as a network structure pierced with diamagnetic molecules rather than a dense symmetric body.

Supramolecular structures of oil and HOR and their varieties, aside from the chemical nature of the components and the concentration of asphaltenes, are largely dependent on external conditions (temperature, pressure, changes in the dispersion medium, time, etc.). The sizes of the cores and the adsorption- solvation layers of structural units of oil, ODS, and HOR can change, which leads to a change in their physical and chemical characteristics.

From this point of view, we can consider the effect of external influences on the state and structure of the ODS. The effect of extreme ultraviolet irradiation and ozonation on the rheological properties of fuel oil and liquid bitumen is described in [50]. As is well known, a transition of a liquid from the resting condition to the state of steady flow is accompanied by the destruction of its spatial structure and the rupture of bonds between associates. The activation energy of viscous flow, which is 103– 183 kJ/mol for the test samples, reflects the average effects of intermolecular interactions of different types. Due to irradiation of resin-asphaltene compounds with light, degradation and oxidative conversion were observed, with the gas phase and high melting point compounds insoluble in organic solvents being formed. It should be noted that the reaction products of resin-asphaltene substances are more paramagnetic.

Over the last decades, the magnetic effect in radical reactions has been the object of study in chemistry. There is strong evidence of the effect of relatively weak magnetic fields on the kinetics of chemical reactions. The studies of the effect of the magnetic field aimed at identifying the mechanism of its influence on real petroleum systems are scarce. The experimental conditions (the voltage or induction of the magnetic field, exposure time in the active zone, the rate of passage of an oil system through the magnetic field, the temperature of treatment, etc.) are often incompletely specified, making it difficult to compare the results and to perform overall analysis.