

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 18.04.01 Химическая технология
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяных дисперсных систем

УДК 665.6.033.28.065.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Тарасов Валентин Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Бондалетов Владимир Григорьевич	Д.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ОХИ ИШПР	Кривцова Ксения Борисовна	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Гавриленко Михаил Алексеевич	Д.Х.Н.		

Томск – 2022 г.

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 (специальность) 18.04.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Гавриленко М.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ01	Тарасову Валентину Евгеньевичу

Тема работы:

Исследование влияния ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяных дисперсных систем	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 31.01.2022 № 31-65/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Легкая нефть месторождения “Верхнесалатское”; 2. Средняя нефть месторождения “Снежное”.
<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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор; <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Нефтяное сырье: классификация и особенности; 1.2 Теории строения НДС; 1.3 Асфальтены и смолы, как основной структурирующий объект НДС; 1.4 Ингибиторы образования отложений; 2. Объекты и методы исследования; 3. Результаты проведенного исследования; <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Гравиметрический анализ; 3.2 Компонентный состав образцов; 3.3 ИК-спектральный анализ; 3.4 Структурно-групповой анализ; 3.5 Механизм ингибирования образования

	асфальтового осадка; 3.6 Технологическая схема процесса выделения нативных смол 4. Финансовый менеджмент; 5. Социальная ответственность
--	--

Перечень графического материала

(с точным указанием обязательных чертежей)

-

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Сечин Андрей Александрович, доцент ООД ШБИП, к.т.н.

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

1.2 Теории строения НДС

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Бондалетов Владимир Григорьевич	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Тарасов Валентин Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ01	Тарасову Валентину Евгеньевичу

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 “Химическая технология”

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – 742 866,42. Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16 %; Норма амортизации – 20 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Декларирование целей и ожидаемых результатов проекта; определение заинтересованных сторон; определение состава рабочей группы проекта; определение ограничений и допущений проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка абсолютной эффективности исследования; оценка сравнительной эффективности проекта.

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 НИИ
 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
 8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Тарасов Валентин Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ01	Тарасову Валентину Евгеньевичу

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Получение ингибитора осаждения асфальтенов на основе природных смол	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона и области его применения)</p>	<p><u>Объектами исследования</u> являются нефть месторождения “Верхнесалатское” и нефть месторождения “Снежное”. Исследуется изменение агрегационной устойчивости данных объектов при добавлении ингибиторов коагуляции, на основе природных нефтяных смол. Объект исследуется согласно СТО 1246-2011. “Массовая доля смолисто-асфальтовых веществ. Методика измерений в нефтях, нефтяных фракциях, природном битуме, угле, органическом веществе пород, продуктах термоллиза керогена и угля гравиметрическим методом.” ИХН СО РАН. <u>Рабочая зона:</u> научно-исследовательская лаборатория «Природные энергоносители» (134 аудитория 2 корпуса НИ ТПУ). <u>Оборудование рабочей зоны:</u> колбонагреватель электрический ES-4110 (0,5 л) - 4 шт.; весы лабораторные аналитические OHAUS PX85 – 1 шт.; вискозиметр Штабингера SVM 3000 – 1 шт.; химическая посуда стеклянная. <u>Рабочие процессы,</u> связанные с объектом исследования, осуществляемые в рабочей зоне: изготовление навесок нефти, ингибитора и растворителей при помощи аналитических весов; измерение реологических характеристик исследуемых объектов при помощи вискозиметра Штабингера; хроматографическое разделение проб нефти при помощи колоночной насадочной хроматографии; удаление растворителя из проб методом дистилляции.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Нормативные документы, регламентирующие организацию трудового процесса на рабочем месте: Конституция РФ; ТК РФ, № 197-ФЗ; ГОСТ 12.2.032-78; 426-ФЗ “О специальной оценке условий труда”.</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов: Воздействие вредных веществ;</p>

	<p>Неудовлетворительный микроклимат; Повышенный уровень шума; Недостаточная освещенность рабочей зоны; Поражение электрическим током; Пожаровзрывоопасность на объектах. Выводы на соответствие допустимым условиям труда согласно специальной оценке условий труда</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</p>	<p>Анализ воздействия объекта на: Селитебную зону: воздействие отсутствует; Атмосферу: выбросы вредных газов и паров органических веществ; Гидросферу: попадание жидких веществ (растворителей, моющих средств) в сточные воды; Литосферу: захоронение твердых бытовых отходов в почве.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:</p>	<p>Возможные ЧС: производственные аварии (загрязнение атмосферы ядовитыми парами, пожар), стихийные бедствия, социальные конфликты. Наиболее типичной ЧС является загрязнение атмосферы ядовитыми парами или газами, в результате повреждения емкостей для хранения нефти, смесей-ингибиторов или растворителей.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ01	Тарасов Валентин Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 155 с., 33 рисунка, 35 таблиц, 59 источников литературы.

Ключевые слова: нефтяная дисперсная система, асфальтеновые агрегаты, нефтяные смолы, ингибитор осаждения асфальтенов, коллоидная устойчивость.

Объектами исследования являются нефти двух месторождений с различными физико-химическими характеристиками.

Цель работы: исследование влияния ингибиторов на основе природных нефтяных смол на коллоидную устойчивость нефтяной дисперсной системы с целью предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений.

По результатам исследования были установлены и описаны механизмы взаимодействия различных фракций природных нефтяных смол и асфальтенов при нарушении коллоидной устойчивости нефтяной дисперсной системы; сделаны выводы о возможности использования ингибиторов на основе природных нефтяных смол в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности; предложена технологическая схема процесса выделения данных смол из АСПО.

Область применения: в рамках научных исследований работа вносит вклад в понимание механизмов взаимодействия высокомолекулярных компонентов нефти; в рамках практического применения работа предлагает доступный, эффективный и универсальный ингибитор процессов агрегатирования асфальтенов нефти, а также позволяет решить экологическую проблему накопления отвалов АСПО.

Экономическая значимость работы обусловлена снижением затрат на проведение ремонтных работ по удалению асфальтеновых отложений из технологического оборудования, снижением образования отходов производства (АСПО), возможностью переработки отходов производства (АСПО) с целью получения товарного продукта.

Определения, обозначения, сокращения

АСПО – асфальтосмолопарафиновые отложения;

ДЛФО – теория Дерягина, Ландау, Фервея, Овербека (теория агрегативной устойчивости лиофобных дисперсных систем);

ДМСО – диметилсульфоксид;

ДМФА – диметилформамид;

ДС – дисперсионная среда;

ДФ – дисперсная фаза;

ККМ – критическая концентрация мицеллообразования;

ККНА – критическая концентрация наноагрегатирования;

ММВ – межмолекулярные взаимодействия;

НДС – нефтяная дисперсная система;

САВ – смолисто-асфальтеновые вещества;

СГА – структурно-групповой анализ;

СС – сложная структура;

ССЕ – сложная структурная единица;

ТН – тяжёлая нефть;

ТНС – тяжёлое нефтяное сырьё;

УВ – углеводороды;

Оглавление

РЕФЕРАТ	8
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ.....	9
ОГЛАВЛЕНИЕ	10
ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	16
1.1 НЕФТЯНОЕ СЫРЬЕ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ	16
1.1.1 Химический состав нефтей различного сорта (парафинистые, средние, тяжелые).....	18
1.1.2 Проблемы добычи и переработки, связанные с особенностями различного нефтяного сырья	20
1.2 ТЕОРИИ СТРОЕНИЯ НДС	23
1.2.1 Основоположники теории строения НДС и их теории.....	23
1.2.2 Современные представления о строении НДС.....	28
1.2.3 Строение ССЕ.....	31
1.2.4 Коллоидные взаимодействия в НДС	35
1.3 АСФАЛЬТЕНЫ И СМОЛЫ КАК ОСНОВНОЙ СТРУКТУРИРУЮЩИЙ ОБЪЕКТ НДС.....	39
1.3.1 Асфальтены - строение, свойства, методы фракционирования.....	39
1.3.2 Смолы - строение, свойства, методы фракционирования	43
1.4 ИНГИБИТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ.....	46
1.4.1 Синтетические ингибиторы	46
1.4.2 Природные ингибиторы	48
1.4.3 Механизмы ингибирования	48
2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	51
2.1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	51
2.2 ОПИСАНИЕ ПРИМЕНЯЕМОЙ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	56
2.3 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	57
2.3.1 Определение физико-химических характеристик.....	57
2.3.2 Определение компонентного состава.....	58
2.3.3 ИК-спектральный анализ	58
2.3.4 Определение молекулярной массы	59
2.3.5 Элементный анализ.....	59
2.3.6 ЯМР-спектроскопия на ядрах ^1H	59
3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	61

3.1 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	61
3.2 КОМПОНЕНТНЫЙ АНАЛИЗ	66
3.3 ИК-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	69
3.4 СТРУКТУРНО-ГРУППОВОЙ АНАЛИЗ.....	72
3.5 МЕХАНИЗМ ИНГИБИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АСФАЛЬТЕНОВОГО ОСАДКА.....	76
3.6 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ НЕФТЯНЫХ СМОЛ.....	79
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	81
4.1 ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ	81
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	81
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позицией ресурсоэффективности и ресурсосбережения	82
4.1.3 SWOT-анализ	84
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	88
4.2 ИНИЦИАЦИЯ ПРОЕКТА.....	90
4.3 ПЛАНИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПРОЕКТОМ	92
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	92
4.3.2 План проекта	92
4.4 БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	97
4.5 ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРОЕКТА.....	101
4.6 ПЛАН УПРАВЛЕНИЯ КОММУНИКАЦИЯМИ ПРОЕКТА	102
4.7 РЕЕСТР РИСКОВ ПРОЕКТА	102
4.8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	103
4.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	103
4.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	108
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	112
ВВЕДЕНИЕ.....	112
5.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ .	113
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	113
5.1.2 Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя	114
5.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	115
5.2.1 Воздействие вредных веществ	117
5.2.2 Неудовлетворительный микроклимат	118

5.2.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте	119
5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	120
5.2.5 Поражение электрическим током	121
5.2.6 Пожаровзрывобезопасность	122
5.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	124
5.4 БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	125
5.4.1 Анализ возможных чрезвычайных ситуаций при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	125
5.4.2 Выбор наиболее типичной чрезвычайной ситуации.....	126
5.4.3 Разработка превентивных мер по предупреждению чрезвычайной ситуации.....	126
5.4.4 Разработка действий в результате возникшей чрезвычайной ситуации и мер по ликвидации её последствий	127
5.4.5 Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ I.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ II	140

Введение

Экономика современного мира в значительной степени зависит от рынка углеводородов, конъюнктура которого вынуждена встать на путь изменений, вызванных истощением запасов легких углеводородов, ведущих к активному освоению тяжелого нефтяного сырья, в том числе тяжелых и битуминозных нефтей, запасы которого многократно превышают запасы классических нефтей [1]. Однако, на данный момент особенности процессов добычи, транспортировки и глубокой переработки данного сырья с целью получения высокого выхода топливных фракций еще мало изучены, и, как следствие, данное сырье является нерентабельным [2].

Одной из особенностей ТНС является высокое содержание САВ, которые, являясь наиболее высокомолекулярной частью ТНС, характеризуются следующими особенностями:

- Высокая молекулярная масса;
- Склонность к образованию надмолекулярных структур;
- Высокое содержание соединений ванадия и никеля;
- Высокое содержание гетероатомных соединений кислорода, азота, серы.

Ряд данных факторов обуславливает ухудшение реологических свойств сырья, а именно: повышение плотности и вязкости; образование в объеме жидкости высокоструктурированных участков; склонность к образованию крупных агрегатов из компонентов нефти, с последующим разрушением дисперсной системы, что в конечном итоге затрудняет перемещение (течение) данного сырья [3].

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью предотвращения нарушения агрегативной устойчивости НДС, приводящей к образованию агрегатов асфальтеновых веществ на поверхностях технологического оборудования и скважин.

Цель исследования заключается в изучении влияния природных нефтяных смол на процесс осаждения асфальтенов, т.е. на устойчивость нефтяной дисперсной системы.

Для достижения цели были поставлены **задачи**:

- Провести выделение фракций природных нефтяных смол из образцов сырья методом жидкостно-адсорбционной хроматографии;
- Выполнить ИК-спектральный анализ полученных фракций природных нефтяных смол методом ИК-Фурье спектроскопии;
- Разработать ряд ингибиторов на основе природных нефтяных смол, варьируя концентрации компонентов;
- Определить физико-химические характеристики образцов исследования и разработанного ряда смесей-ингибиторов;
- Провести исследование компонентного состава образцов исследования и разработанного ряда смесей-ингибиторов;
- Выполнить обработку экспериментальных данных методами математического моделирования;
- Провести определение структурных характеристик асфальтенов и фракций смолистых веществ для построения «средней» гипотетической структуры молекулы компонентов;
- Установить закономерности влияния смесей-ингибиторов на основе природных нефтяных смол на процесс образования асфальтеновых агрегатов.

Объектами исследования были выбраны легкая парафинистая нефть месторождения «Верхнесалатское» и средняя нефть месторождения «Снежное».

Предметом исследования являются механизмы взаимодействия фракций природных нефтяных смол и асфальтенов при нарушении коллоидной устойчивости нефтяной дисперсной системы.

Научная новизна исследования заключается в:

- Выявленной возможности применения природных нефтяных смол, в качестве ингибитора нарушения коллоидной устойчивости нефти и образования асфальтеновых агрегатов;
- Возможности получения товарного продукта (ингибиторов) без применения технологии органического синтеза;
- Возможности выделения смол из отходов нефтяной промышленности (асфальтосмолопарафиновых отложений);
- Ингибиторы на основе нефтяных смол не являются чужеродным веществом для нефти, а значит не затрудняют процессы переработки нефти;
- Установленных и описанных механизмах взаимодействия природных нефтяных смол и асфальтенов в процессе ингибирования образования агрегатов последних при нарушении устойчивости нефтяной дисперсной системы.

Практическая значимость результатов обусловлена:

- Показанной возможностью применения ингибиторов на основе природных нефтяных смол для предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений асфальтенового типа на стенках производственного оборудования;
- Разработанной технологической схемой выделения фракций природных нефтяных смол жидкостной хроматографией из АСПО или нефтяного сырья с помощью диметилформамида и диметилсульфоксида.

1. Литературный обзор

1.1 Нефтяное сырье: классификация, особенности

Углеводородное сырье – полезные ископаемые и попутные полезные компоненты, добываемые, в основном, скважным методом. В данную группу входят различные по своему составу и свойствам вещества, из которых наиболее распространенными являются нефть, свободный газ, попутный газ и газовый конденсат. В данной работе речь пойдет об одном из представителей данного сырья – нефтяном сырье.

Нефтяное сырье – добытые и подготовленные нефть, конденсат и вторичное (рекуперированное) сырье, прошедшие аттестованные средства учета нефти, а также поставки по импорту [4].

Отдельное внимание в данной группе стоит уделить нефти, так как данный вид сырья добывается непосредственно из геологических формаций, в то время как газовый конденсат является побочным продуктом, выделяемым из добываемого природного газа, а рекуперированное сырье является продуктом, выделенным из различных отходов, образующихся на нефтяном промысле [5].

Согласно [6] нефть подразделяют на классы, типы, группы и виды, представленные в таблицах 1 – 4.

Таблица 1 – Классы нефти в зависимости от содержания серы

Класс нефти	Наименование	Массовая доля серы, %	Метод испытания
1	Малосернистая	До 0,60 включительно	По ГОСТ 1437, ГОСТ Р 51947
2	Сернистая	От 0,61 до 1,80	
3	Высокосернистая	От 1,81 до 3,50	
4	Особо высокосернистая	Свыше 3,50	

Таблица 2 – Типы нефти, согласно плотности, где 0 – особо легкая, 1 – легкая, 2 – средняя, 3 – тяжелая, 4 – битуминозная

Наименование параметра	Норма для нефти типа										Метод испытания
	0		1		2		3		4		
1. Плотность кг/м ³ , при температуре:	РФ	Экспорт	РФ	Экспорт	РФ	Экспорт	РФ	Экспорт	РФ	Экспорт	По ГОСТ 3900, По ГОСТ Р 51069
	Не более 830		830,1 – 870,0		850,1 – 870,0		870,1 – 895,0		Более 895,0		
	20 °С										
15 °С	Не более 833,7		833,8 – 853,6		853,7 – 873,5		873,6 – 898,4		Более 898,4		
2. Выход фракций, % об., не менее до температуры:											По ГОСТ 2177 (метод Б)
	-	30	-	27	-	21	-	-	-	-	
	-	52	-	47	-	42	-	-	-	-	
200 °С											
300 °С											
3. Массовая доля парафина, %, не более	-	6	-	6	-	6	-	-	-	-	По ГОСТ 11851

Таблица 3 – Группы нефти, по степени подготовки

Наименование показателя	Норма для группы нефти			Метод испытания
	1	2	3	
1. Массовая доля воды, %, не более	0,5	0,5	1,0	По ГОСТ 2477
2. Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³ , не более	100	300	900	По ГОСТ 21534
3. Массовая доля механических примесей, %, не более	0,05			По ГОСТ 6370
4. Давление насыщенных паров, кПа (мм рт. Ст.), не более	66,7 (500)			По ГОСТ 1756, ГОСТ Р 52340
5. Массовая доля органических хлоридов во фракции, выкипающей до температуры 204 °Сб млн ⁻¹ (ppm), не более	10	10	10	По ГОСТ Р 52247

Таблица 4 – Виды нефти, по массовой доле сероводорода и легких меркаптанов

Наименование показателя	Вид нефти		Метод испытания
	1	2	
1. Массовая доля сероводорода, млн ⁻¹ (ppm), не более	20	100	ПО ГОСТ Р 50802
2. Массовая доля метил- и этилмеркаптанов в сумме, млн ⁻¹ (ppm), не более	40	100	

Данная классификация необходима для подбора оптимальных параметров различных процессов: транспортировки, хранения, подготовки и переработки. Так, например, высокая плотность нефти затрудняет ее течение, а значит и перемещение насосами, высокое содержание серы затрудняет каталитическую переработку, а высокое содержание парафинов может являться причиной застывания нефти в трубопроводе или резервуаре.

Наиболее ценными являются легкие и средние нефти с низким содержанием соединений серы, воды, хлоридов и механических примесей, так как данное сырье требует меньших затрат на подготовку и переработку, а также позволяет получить высокий выход топливных фракций. Именно в связи с этим долгое время оставались менее востребованными тяжелые и битуминозные нефти, требующие для работы специализированные технологии, и дающие меньшее количество топлива при переработке.

1.1.1 Химический состав нефтей различного сорта (парафинистые, средние, тяжелые)

Различие свойств нефтей обуславливается различиями их химического состава. Изучение точного химического состава нефти является сложным вопросом, проистекающим из вопроса ее формирования, и потому лежит на стыке различных наук, таких как химия нефти, геохимия, геология и др. Однако особое внимание при изучении состава нефти следует уделить тем ее

компонентам, которые обуславливают ее низкую дисперсную устойчивость и, как следствие, приводят к образованиям различных осадков.

Одной из групп данных компонентов являются парафины – группа твердых воскоподобных алканов линейного строения, с содержанием атомов углерода на молекулу: 17 – 25 (парафин) и 36 – 55 (церезин). По содержанию парафинов нефти подразделяются на:

- Малопарафинистые (содержание парафина менее 1,5 %);
- Парафинистые (содержание парафина: 1,5 – 6,0 %);
- Высокопарафинистые (содержание парафина более 6,0 %) [5].

По принятой классификации [7] данные нефти распределены между двумя типами:

- А¹ (нефти парафинового и нафтено-парафинового основания);
- А² (нефти нафтено-парафинового и парафино-нафтенового основания).

Оба типа нефтей отличаются высоким содержанием бензиновой фракции, низкой смолистостью, и низким содержанием ароматических углеводородов, из-за чего являются наиболее выгодными для производства топлив и масел. Однако имеются и различия: содержание парафинов в нефти А¹ выше, и находится в интервале 5 – 25 %, при общем содержании ациклических алканов 40 – 70 %. Содержание изопреноидных алканов находится в интервале 0,05 – 6 %, а содержание разветвленных углеводородов превышает содержание нормальных.

Нефть типа А² характеризуется более низким содержанием алканов: 25 – 40 %, при содержании нормальных алканов в интервале 0,5 – 5 %, а изопреноидов – 1 -6 %. Общее содержание циклоалканов доходит до 60 – 75 %.

Следующие группой компонентов нефти, приводящей к нарушению ее дисперсной устойчивости, является группа смолисто-асфальтеновых веществ (САВ), характеризующихся высокой молекулярной массой, высоким содержанием гетероатомов и склонностью к образованию надмолекулярных агрегатов. Нефти, содержащие высокое количество САВ, относят к типу

тяжелых или битуминозных. По классификации [7] данные нефти относятся к типу Б¹ (нафетновые и нафетно-ароматические), отличающемуся малым содержанием легких фракций, отсутствием нормальных и изопреноидных алканов и малым содержанием разветвленных алканов 4 – 10 %. Также стоит отметить, что содержащиеся нафтенны в большей степени представлены би-, а не монокольцами. Нефти типа Б¹ содержат большое количество высококипящих полиароматических соединений.

Данный тип нефтей в наименьшей степени используется в промышленности ввиду крайней затрудненности добычи, транспортировки и переработки, а также более низкого содержания топливных фракций [2]. Однако ввиду истощения запасов классических легких и средних нефтей данный вид сырья, в перспективе, станет одним из основных источников углеводородов [1].

Промежуточное значение занимают нефти среднего типа – распространенное сырье, обладающее, в целом, удовлетворительной технологичностью, а также ценным составом, позволяющим эффективно перерабатывать нефть данного типа на различные продукты. Данное сырье представлено нефтями типа А² и Б². Нефть типа Б² соответствует нефтям парафино-нафетового и, в особенности, нафетового основания. Из насыщенных углеводородов здесь представлены циклоалканы (60 – 75 %), среди которых преобладают моно-, би- и трициклические углеводороды. Алканы представлены разветвленными структурами в интервале 5 – 30 %, нормальные алканы практически отсутствуют. Данный тип нефтей, в целом, более распространен, чем нефти типа А² [7].

1.1.2 Проблемы добычи и переработки, связанные с особенностями различного нефтяного сырья

Проблематика высокого содержания парафинов заключается в застывании таких нефтей при относительно низких температурах: 28 – 50 °С.

Парафины образуют твердую фазу, повышающую структурированность жидкости, что приводит к увеличению ее вязкости и затруднению транспортировки. Также образующиеся частицы парафинов адсорбируют на своей поверхности смолистоасфальтеновые вещества, что приводит к образованию асфальтеносмолистопарафиновых отложений на стенках технологического оборудования, уменьшающих сечение протоков, и в последствии полностью их закупоривающих. Причем, согласно представлениям о механизме коагуляции, скорость протекания данного процесса прямо пропорциональна размерам дисперсных частиц [8].

Выпадение парафинов из нефти возможно, как в скважине, так и в технологических трубопроводах. Причинами этого является:

- Падение давления во время добычи, в результате чего низкомолекулярные углеводороды переходят в газообразное состояние, и способность нефти растворять парафины снижается;
- Падение температуры.

В результате при работе с данным видом сырья необходимо использовать различные добавки-депрессоры кристаллизации парафинов или растворители, поддерживать повышенную температуру флюида, использовать наложение различных физических полей на нефть [9].

Следующей серьезной проблемой является высокое содержание смолисто-асфальтеновых веществ, что актуально для тяжелых нефтей. Проблематика заключается в высокой вязкости данных веществ, что осложняет течение нефти, а также дисперсной неустойчивостью таких веществ, приводящей к образованию отложений. Образование данных отложений происходит при нарушении коллоидной устойчивости нефти, в следствии изменения химического состава, либо изменения условий, в которых находится нефть [9].

Методики борьбы с данным явлением заключаются либо в удалении образовавшихся агрегатов из нефти, либо в недопущении их образования, путем использования различных ингибиторов, растворителей, наложения

физических полей [9]. Однако удаление асфальтеновых агрегатов возможно не на всех этапах работы с нефтью, а также является менее эффективным в целом, поскольку образующиеся агрегаты «захватывают» и уносят из нефти ценные компоненты. Методики предотвращения образования данных агрегатов на данном этапе развития науки и техники также развиты слабо. Это обуславливается тем, что механизм образования данных осадков мало изучен, в результате чего на рынке отсутствуют доступные, универсальные и эффективные ингибиторы. Введение же в НДС большого количества растворителя нерентабельно, а также приводит к изменению химического состава нефти.

Другой проблемой, связанной с наличием большого количества САВ, является сложность переработки таких нефтей ввиду высокого содержания гетероатомов и металлов. Проблематика переработки такого сырья заключается в:

- Необратимом отравлении катализаторов соединениями серы и металлов;
- Высокой коксуемости данного сырья;
- Малой пригодности к использованию темных нефтепродуктов, полученных из данного сырья ввиду невозможности удаления гетероатомов гидроочисткой [2].

Поскольку нарушение агрегатной устойчивости НДС является весьма важной темой, и реально образующиеся отложения содержат в себе как парафиновые агрегаты, так и агрегаты САВ, проблему образования данных отложений объединяют в единый раздел, под названием: «образование асфальтосмолистопарафиновых отложений (АСПО)». Данная проблема всегда была весьма актуальной ввиду того, что ремонтные работы на закупоренных трубопроводах приводят к большим финансовым потерям, а в современных реалиях утяжеления добываемого сырья и нефтедобычи в условиях низких температур данная проблема становится вопросом не рентабельности, а возможности добычи нефти.

Исходя из соотношения содержания трех основных компонентов, АСПО подразделяют на:

- Асфальтосмолистые;
- Парафинистые;
- Смешанные [9].

Тип образующихся АСПО зависит от исходного состава нефти, и каждый из них требует к себе особого подхода, хотя в случае смешанного типа АСПО можно говорить о необходимости применения комплекса мер.

1.2 Теории строения НДС

Нефтяная дисперсная система (НДС) - дисперсная система, зачастую полигетерогенная, образованная углеводородными компонентами нефти, а в некоторых случаях и неуглеводородными. В контексте данной работы интерес представляет строение тяжелых нефтей, в которых диспергированными частицами являются надмолекулярные структуры смолисто-асфальтеновых веществ. Они могут быть получены в процессе формирования, добычи, транспортировки или переработки нефти. Процесс формирования может протекать по механизмам диспергирования или конденсации. НДС имеет свойства, характерные классическим дисперсным системам (гетерогенность, дисперсность, определенные молекулярные взаимодействия на границе раздела фаз), однако общей классификации не подвергается. По своему составу, состоянию и условиям возникновения диспергированных частиц НДС разнообразны, что определяет различные особенности процессов добычи, транспортировки и переработки данных систем [8].

1.2.1 Основоположники теории строения НДС и их теории

В конце XX века на V всесоюзной конференции по коллоидной химии впервые были представлены гипотезы строения НДС, давшие толчок развитию

данного направления. Центральная роль в теории НДС отводится представлениям о существовании дисперсных частиц или структурных единиц различного типа. Особенностью последних, в отличие от дисперсных частиц классических дисперсных систем, является то, что они формируются в нефтяных системах, состоящих из большого числа компонентов, в том числе гомологов, относящихся к различным классам органических соединений с мало различающимися потенциалами межмолекулярного взаимодействия. Внутреннее строение структурных единиц, состоящих из ядра и примыкающего к нему адсорбционно-сольватного слоя, также имеет свои особенности, заключающиеся в условности границ раздела между ядром, адсорбционно-сольватным слоем и дисперсионной средой. При влиянии внешних условий на НДС происходит соответствующее изменение строения структурных единиц системы, что проявляется через соответствующее изменение свойств НДС, в конечном итоге влияя на технологичность сырья [8].

В основе механизма существования дисперсной фазы в НДС лежат межмолекулярные взаимодействия и фазовые переходы. Таким образом межмолекулярные взаимодействия обеспечивают склонность к ассоциации углеводородных и не углеводородных компонентов, а образование частиц происходит при протекании фазовых переходов, составляющих физико-химическую основу большинства технологических процессов [10].

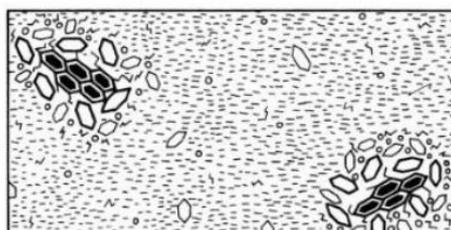
Из-за большого разнообразия дисперсных частиц и дисперсионных сред, а также малой изученности смолисто-асфальтеновых компонентов нефтей, единая система классификации нефтяных дисперсных систем, а также принципы их образования были предметом долгих дискуссий.

Изначально исследование НДС строилось на изучение строения битумов, так как данные системы содержали наибольшее количество молекул тяжелых углеводородов, но были слабо изучены. Так, одним из первых описаний строения НДС является предложенная в 1923 году теория Нелленштейна [11], согласно которой асфальтены очень близки по строению к свободному углероду, окруженному оболочкой из ненасыщенных и

гетероатомных молекул, которые и образуют коллоидную взвесь в среде жидких углеводородов. Это подтверждается эффектом Тиндаля в растворах асфальтенов, наблюдением броуновского движения асфальтенов в таких растворах и отсутствием диффузии через мембраны. Однако дальнейшего развития данная теория не получила.

Дальнейшее исследование битумов, как коллоидных систем, нашло продолжение в работах Пфейфера И.П. и Сааль Р.Н.И. [12, 13], которые полагали, что коллоидное строение битума заключается в образовании одной из двух структур: зольной или гелевой. В первом случае САВ существуют в виде не взаимодействующих друг с другом мицелл, с ядрами из химических связанных асфальтенов и смол, которые полностью растворяются комбинацией ароматических, алифатических и нафтеновых углеводородов, расположенных по уменьшению ароматичности и молекулярной массы от ядра мицеллы. Во втором случае данные мицеллы не свободно распределены в объеме вещества, а полностью связаны в единый каркас. Образование того или иного типа НДС зависит от соотношения асфальтенов и низкомолекулярных ароматических веществ при практически неизменном содержании смол и насыщенных алифатических углеводородов. В следствии чего битумы подразделялись на два типа: зольный (А) и гелевый (В) (Рисунок 1), имеющих различные реологические свойства.

А/



В/

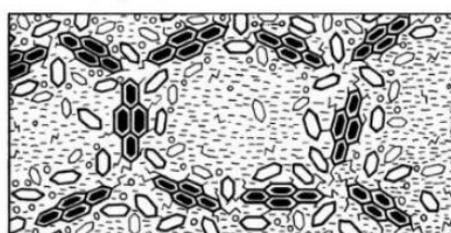


Рисунок 1 - Коллоидные модели битума: А - зольная, В - гелевая

Однако данная теория оказалась несколько неверной, что проявлялось в конфликте ожидаемых реологических свойств гель-битумов с их реальными свойствами.

Следующая гипотеза о строении НДС была выдвинута Уитерспуном П.А. и Уиннифордом Р.С., согласно которой коллоидная система состоит из асфальтенов, представленных пачечными структурами, образующими мицеллы. К тому же учёные отметили возможность включения в слои мицелл ароматических соединений, их сернистых и азотистых производных, а также смол [14].

Нойманн Х.И. [15] выдвинул предположение, согласно которому ядро мицелл, образующих дисперсную фазу, состоит из молекул неорганических солей, окруженных органическими соединениями. Однако данная теория опровергается свойствами углеводородов, входящих в состав нефтей.

Наиболее распространенной является модель НДС, выдвинутая Йеном Т.Ф. [16]. Согласно данной теории, молекула асфальтена содержит ядро, составленное из слоев конденсированных ароматических колец. В данной системе резонанс делокализованных π -электронов обеспечивает стабильность неспаренных электронов, которые возникают из-за структурных особенностей внутренних участков планарных полиядерных ароматических пластин. Данные рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что в ядре содержится около 5 пластин, ассоциированных посредством π - π -взаимодействия. Механизм агрегации асфальтенов представлен на рисунке 2.

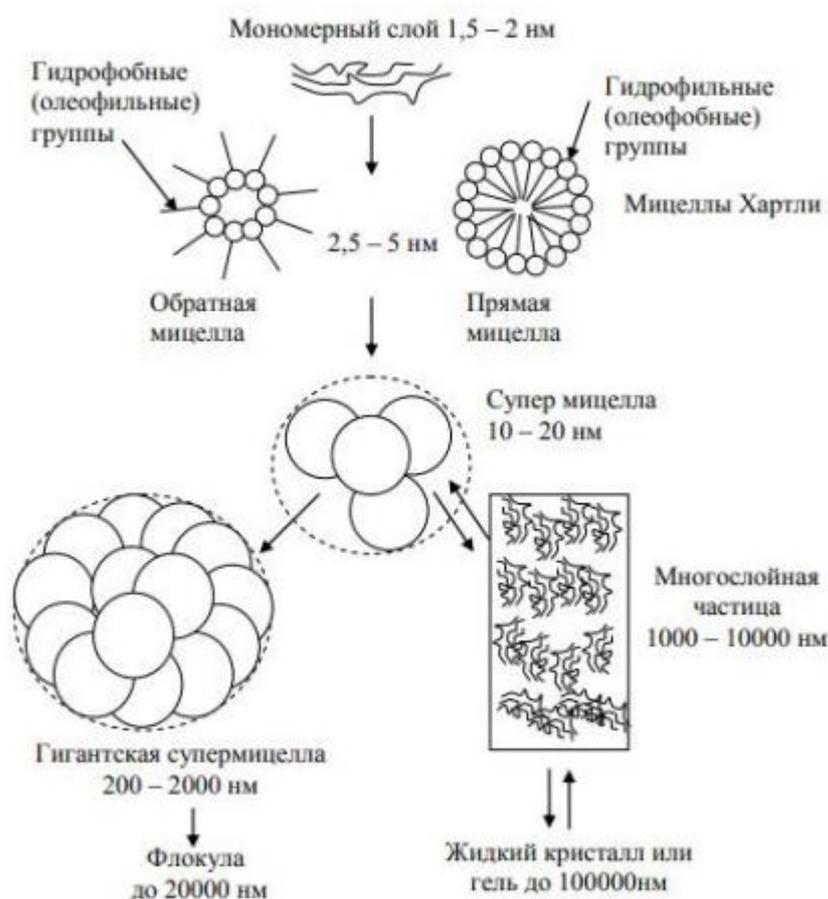


Рисунок 2 – Модель агрегации асфальтенов согласно теории Йена Т.Ф.

Дальнейшие работы по изучению НДС привели к тому, что для обозначения элементарной структурной единицы НДС, было введено новое понятие - сложная структурная единица (ССЕ) [8]. Данная частица НДС имеет преимущественно сферическую форму, способна к самостоятельному существованию при неизменных условиях и образованна из компонентов нефтяной системы. В центре располагается упорядоченная область, названная ядром, образованная высокомолекулярными алканами, полиареновыми углеводородами и смолистоасфальтовыми веществами. Сольватная оболочка, окружающая ядро, образована из менее склонных к межмолекулярным взаимодействиям соединений. Принципиальная структура ССЕ представлена на рисунке 3.

Главное отличие сложной структурной единицы от мицеллы состоит в том, что в образовании сольватных слоев мицеллы участвуют дифильные молекулы, размеры слоев постоянны, тогда как в образовании слоев ССЕ могут

участвовать все углеводороды, входящие в НДС, ориентируясь вокруг ядра определенным образом и на определенном расстоянии, что позволяет адсорбционно-сольватным слоям ССЕ иметь переменное строение и размер [8].

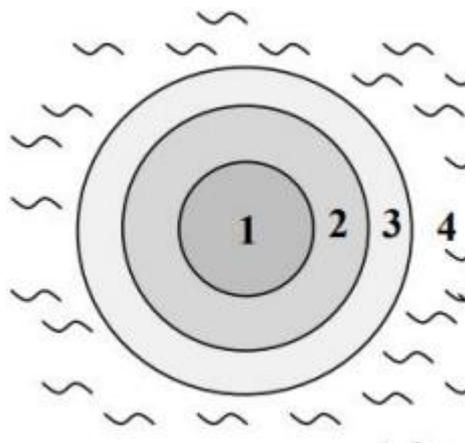


Рисунок 3 - Принципиальная схема строения ССЕ, где 1 - ядро, 2,3 - адсорбционно-сольватные оболочки, 4 - дисперсионная среда

1.2.2 Современные представления о строении НДС

Современные представления о строении НДС являются продолжением идей о том, что дисперсной фазой данных систем являются асфальтены либо их надмолекулярные агрегаты, нерастворимые в легких углеводородах, а дисперсионной средой - растворимые в легких углеводородах тяжелые компоненты нефти (смолы, полициклические углеводороды, высокомолекулярные парафины) и легкие углеводороды.

Так, по различным данным асфальтены присутствуют в нефтяных средах в свободном состоянии при концентрациях в интервале от 1 до 10 мг/л [17 - 18]. Однако последние исследования показывают, что индивидуальные молекулы асфальтенов идентифицируются в растворах при концентрациях менее 0,3-0,7 мг/л [19]. При превышении этих пределов формируются первичные агрегаты в виде димеров и олигомеров [20, 21] (рисунок 4). Образование стабильных ассоциатов с размерами 2 – 10 нм наблюдается при концентрации 50 – 200 мг/л, называемой критической концентрацией наноагрегирования (ККНА) [22, 23].

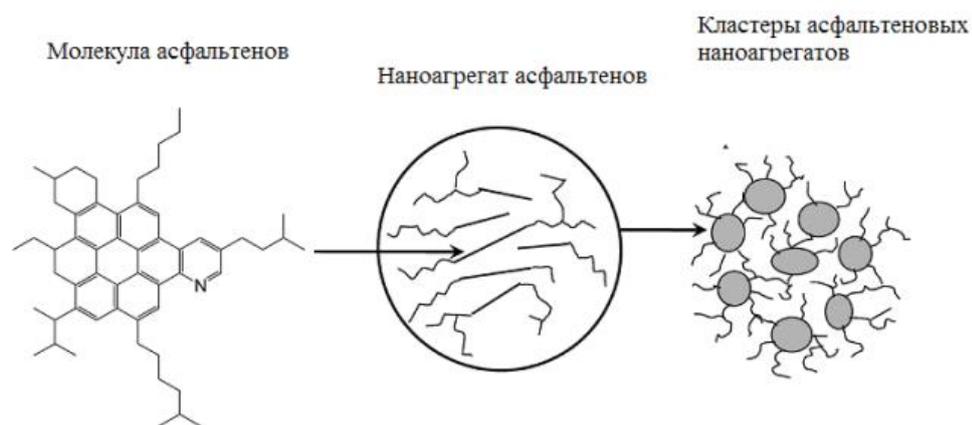


Рисунок 4 - Уровни надмолекулярной структуры асфальтенов

При этом было установлено, что пачечная структура ядер дисперсных частиц не обязательна. Количество таких структур в асфальтеновом осадке составляет порядка $4 \div 6$ %. Авторами работ [24, 25] предложен альтернативный механизм образования асфальтеновых агрегатов, основанный на супрамолекулярной сборке молекул посредством совокупности различных нековалентных взаимодействий (рисунок 5).

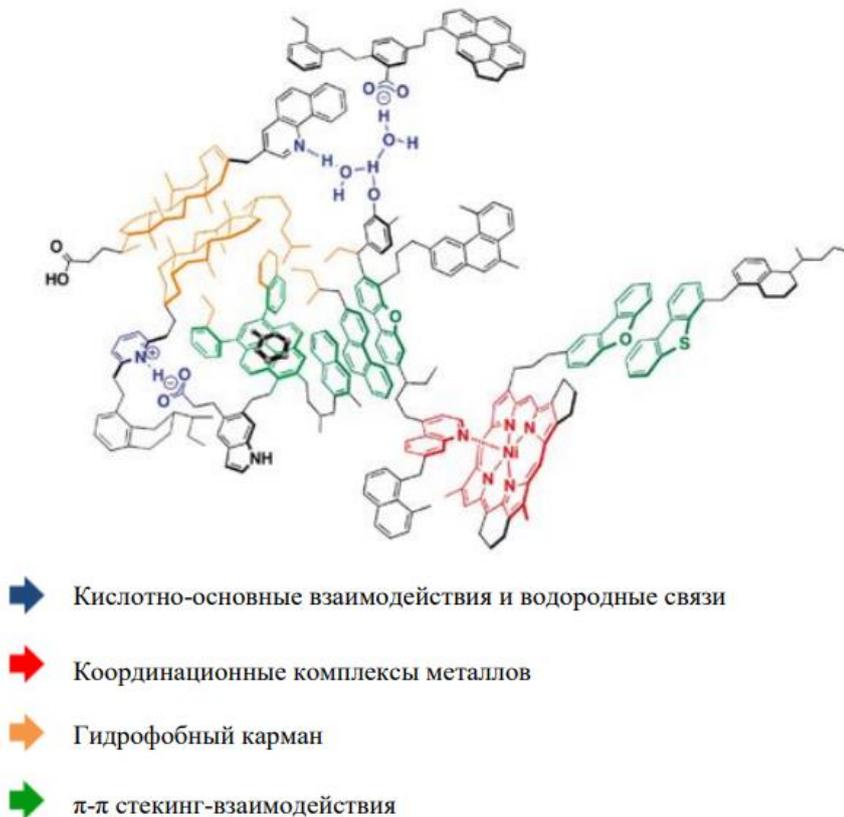


Рисунок 5 - Схема супрамолекулярной сборки асфальтеновых агрегатов

Помимо пачечной структуры ароматических слоев, вызванной стэкинг взаимодействием, в механизме супрамолекулярной сборки учитываются кислотно-основные взаимодействия, водородные связи, координационные комплексы металлов. Нековалентные связи между циклоалкильными и алкильными фрагментами молекул асфальтенов могут обуславливать наличие так называемых «гидрофобных карманов», а полости внутри агрегатов могут быть заполнены низкомолекулярными соединениями, захваченными при формировании надмолекулярной структуры и стабилизирующими асфальтеновый агрегат [24, 25].

Центральное ядро ССЕ окружено сольватными слоями, содержащими различные углеводороды. Унгером Ф.Г. [10] было доказано, что притяжение и отталкивание молекул НДС происходят за счёт обменных взаимодействий парамагнитных и спин-поляризованных молекул. Энергия взаимодействия ассоциатов сравнима с энергией разрыва С-С связи, из-за чего считается, что ассоциат ведёт себя как молекула большого размера. Считается, что ССЕ представляет собой ассоциативную комбинацию сферически-симметричной формы. Ядро ССЕ состоит из парамагнитных молекул (радикалов) с большими потенциальными энергиями взаимодействия, вокруг которого от ядра к периферии располагаются оболочки диамагнитных молекул в соответствии с уменьшением их взаимных потенциалов. Таким образом, вокруг ядра послойно будут располагаться ароматические, нафтенные и парафиновые УВ. Гетероатомные соединения, как ароматического, так и неароматического рядов, могут находиться в различных слоях, в том числе и в первом. Данное явление связано с тем, что гетероатомные π -связанные диамагнитные молекулы обладают наименьшей энергией возбуждения в триплетное состояние, поэтому могут легко вступать в гомолитические реакции. По своей природе данные молекулы являются спин-поляризованными, а также могут выступать в качестве потенциального источника радикалов. На рисунке 6 представлена качественная схема строения ССЕ.

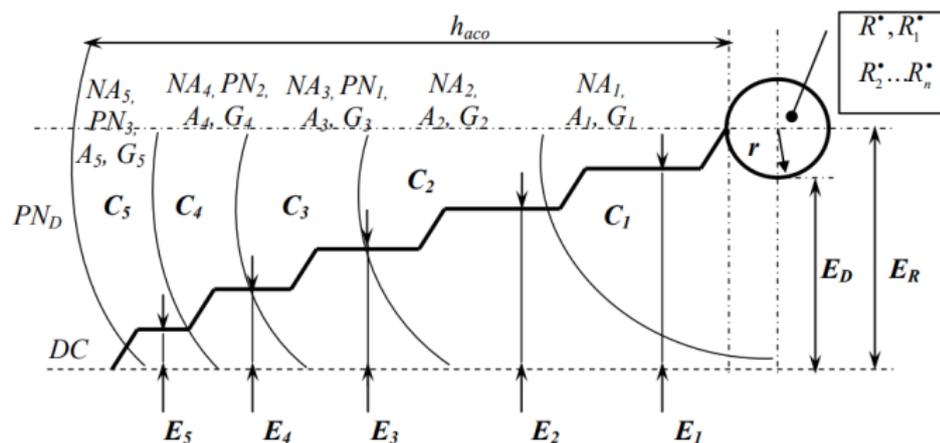


Рисунок 6 - Качественная схема строения ССЕ, где: $R^*, R_1^* \dots R_n^*$ – радикалы ядра; h_{aco} – ширина адсорбционно-сольватной оболочки; DC – дисперсионная среда; $C_1 \div C_5$ – сольватные слои, образованные диамагнитными соединениями с убывающими спиновыми дипольными моментами; $E_1 \div E_5$ – уровни потенциалов парных взаимодействий между молекулами отдельных слоев и дисперсионной среды; r – радиус ядра; E_D – потенциал парных взаимодействий между ядром и периферией ССЕ; E_R – потенциал парных взаимодействий между центром ядра и периферией ССЕ; $A_1 \div A_5$ – ароматические углеводороды; $G_1 \div G_5$ – гетероатомные соединения; $NA_1 \div NA_5$ – нафтено-ароматические углеводороды; $PN_1 \div PN_3$ – парафино-нафтеновые углеводороды с признаками спиновой поляризации; PN_D – парафино-нафтеновые углеводороды дисперсионной среды без признаков спиновой поляризации

1.2.3 Строение ССЕ

Элементарной структурной единицей НДС является ССЕ [8, 10], которая выступает в роли дисперсной фазы НДС, состоящей из ядра и адсорбционно-сольватных оболочек, занимающих некоторый объем в дисперсионной среде низкомолекулярных углеводородов. Отличается от классической мицеллы рядом особенностей:

- В структуру ССЕ могут входить не только дифильные молекулы;
- Размеры ядра и адсорбционно-сольватных слоев ССЕ переменны.

В зависимости от качественного состава ядра ССЕ можно подразделить на три категории:

- Необратимые золи и гели;

- Обратимые золи и гели;
- Обратимые газовые эмульсии.

В первую категорию входят ССЕ, ядро которых представлено кристаллитами карбенов и карбоидов, полученных в результате протекания поликонденсационных превращений углеводородных и неуглеводородных соединений нефтяных остатков при повышенных температурах различных технологических процессов. Данные коллоидные системы являются необратимыми, т.е. вещества, входящие в состав ядра ССЕ не способны к переходу в молекулярное состояние. Адсорбционно-сольватные оболочки данных частиц включают в свой состав полициклоароматические вещества и циклоалканы.

Во вторую категорию входят ССЕ, ядро которых представлено ассоциатами асфальтенов либо циклоалканов. Данный тип ССЕ может существовать и в сырой нефти, не подвергавшейся различному воздействию в ходе технологических операций. Ассоциаты асфальтенов образуются в следствии совместного действия различных межмолекулярных сил, наличие которых обусловлено особенностями строения молекул данного класса:

- Кислотно-основные взаимодействия;
- Водородные связи;
- Координационные эффекты металлокомплексов;
- Наличие гидрофобных “карманов”;
- Стэкинг-взаимодействие облаков π - π электронов.

Данные ассоциаты появляются при достижении концентрации асфальтенов в нефти равной 0,7 мг/л [20, 22]. При превышении данной концентрации образуются первичные агрегаты в виде димеров и олигомеров. При концентрации 50-200 мг/л происходит образование стабильных ассоциатов с размерами 2- 10 нм [26 - 32].

Ассоциаты высокомолекулярных n-алканов, которые также существуют в нефти в виде ССЕ, возможны только при температурах, близких к

температуре кристаллизации нефти, и представляют собой ассоциат с параллельной укладкой молекул, способный самостоятельно существовать в равновесных условиях. При этом склонность молекул к ассоциации возрастает по мере увеличения молекулярной массы. Ядро ССЕ, образованной молекулами высокомолекулярных n-алканов, отличается большой упорядоченностью по сравнению с сольватным слоем. Обладающие большой подвижностью и меньшим поверхностным натяжением низкомолекулярные n-алканы концентрируются в адсорбционно-сольватном слое ССЕ [8].

Адсорбционно-сольватные оболочки данных агрегатов представлены низкомолекулярными аренами, циклоалканами, а в случае асфальтенового ассоциата – смолами и полициклоароматическими соединениями. Более слабые связи между молекулами ассоциатов, по сравнению с кристаллитами, обуславливают обратимость коллоидных систем, образованных данным типом ССЕ [8].

Третий тип ССЕ - обратимые газовые эмульсии, ядром которых является пузырек газа или пара. Возникают в результате разряжения, когда растворенные в нефти газы образуют пузырьки, которые впоследствии стабилизируются оболочкой из ориентированных углеводородов с большей молекулярной массой [8].

Одним из приемов изменения размера сольватной оболочки ССЕ является изменение растворяющей способности дисперсионной среды. Так, введение в мазут экстрактов селективной очистки масляных фракций в процессе вакуумной перегонки позволяет на 5 – 10 мас. % увеличить выход вакуумного газойля за счет растворения части сольватной оболочки [33].

Другим приемом изменения размеров сольватной оболочки ССЕ является внесение в НДС небольших количеств нативных смол, входящих в состав данных оболочек. Из исследования [17] видно, что при внесении небольших количеств нативных смол в НДС происходит перераспределение вещества, которое выражается либо в уменьшении выхода асфальтеновой фракции при увеличении выхода всех прочих, либо же наоборот, повышает

массовый выход асфальтенов, что в совокупности свидетельствует об изменении устойчивости НДС в результате изменения строения сольватных оболочек ССЕ.

Практическая значимость возможности изменения размера оболочки ССЕ заключается в возможности изменения устойчивости НДС, что находит применение не только в процессах добычи, транспортировки и хранения нефти и нефтепродуктов, но и возможности регулирования протекания различных технологических процессов, как пример: процессы деасфальтизации, депарафинизации и демеаллизации требуют низкой устойчивости НДС, в то же время процессы висбрекинга, каталитического и гидрокрекинга - высокой.

В своей работе Ф.Г. Унгер [10] сформулировал условия существования ССЕ в дисперсионной среде НДС, заключающиеся в наличии убывающего градиента потенциала парного взаимодействия молекул в направлении ядро — сольватный слой — дисперсионная среда, причем потенциал парного взаимодействия молекул превышает кинетическую энергию их движения. Также установлено, что сольватная оболочка характеризуется пониженным значением молекулярной массы, высокой концентрацией сильнополярных компонентов и малой концентрацией парамагнитных молекул по сравнению с ядром [8].

Также следует различать первичные и вторичные ССЕ, образующиеся в системе в результате столкновений первичных ССЕ при определенных условиях, а именно:

- Высокой концентрации первичных ССЕ;
- Отсутствие стерических препятствий для сближения ССЕ;
- Кинетическая энергия молекул НДС должна быть меньше энергии парного взаимодействия молекул, входящих в состав сольватных слоев сближающихся первичных ССЕ [10].

При слиянии ядер небольших взаимодействующих первичных ССЕ образуются более крупная вторичная ССЕ с большим значением радиуса ядра и меньшей толщиной сольватной оболочки [8].

1.2.4 Коллоидные взаимодействия в НДС

Нефтяная дисперсная система, в основном, состоит из различных углеводородных и гетероатомных соединений, распределенными между дисперсной фазой и дисперсионной средой. Как и любая другая дисперсная система она стремится к установлению энергетически выгодного равновесия за счет взаимодействия своих компонентов, обусловленного различными межмолекулярными и внутримолекулярными взаимодействиями под действием внешних сил.

Ранее было описано, что основным фактором распределения вещества в НДС, а равно и в ССЕ, является потенциал межмолекулярного взаимодействия, складывающийся из всех возникающих между молекулами сил, согласно которому распределение компонентов в адсорбционно-сольватных оболочках ССЕ происходит уменьшение потенциала межмолекулярного взаимодействия по направлению от ядра ССЕ к дисперсионной среде.

Также стоит отметить, что несмотря на то, что все данные силы в основе своей имеют одинаковую природу - взаимодействие ядер и электронов атомов, они различны по своей интенсивности, направленности и условиям возникновения. В зависимости от характера взаимодействия авторы работ [34, 35] подразделяют межмолекулярные взаимодействия по специфике на универсальные и специфические, и по расстоянию между частицами на взаимодействия: ближнего, промежуточного и дальнего порядка.

Оценка межмолекулярного взаимодействия происходит с использованием модельного потенциала, параметры которого должны удовлетворять экспериментальным данным, полученным при исследовании макроскопических свойств системы. При этом принимается условие, что молекулы жестко фиксированы в пространстве. Данное условие позволяет

описать потенциал, как функцию от расстояния, и согласно действующим силам графически изобразить модель распределения молекул в системе.

В общем виде потенциал межмолекулярного взаимодействия можно представить в виде формулы:

$$E(R) = \pm Ke^{-K_0R} \pm K_1R^{-1} \pm K_2R^{-2} \pm K_3R^{-3} \pm K_4R^{-4} \pm K_5R^{-5} - K_6R^{-6}, (1)$$

где K_i – коэффициенты при членах разложения.

Первый член уравнения (1) отражает силы, действующие на коротких расстояниях (кулоновские, обменные), потенциал которых является отталкивающим, а обмен электронами в результате перекрытия электронных облаков весьма существенен. Именно данные наиболее энергетические связи обуславливают образование химической связи, ориентируя атомы на таких расстояниях, при которых наблюдается наиболее энергетически выгодное состояние системы. Однако с увеличением расстояния между молекулами (атомами) вклад данных сил уменьшается экспоненциально, а при попытке сближения частиц на более близкие расстояния наблюдается явление Кулоновского барьера, когда данные силы отталкивают частицы друг от друга.

Второй и третий член уравнения (1) принадлежат силам промежуточного порядка и обусловлены взаимодействием ионов и ионов с нейтральными частицами: электростатические взаимодействия, обменные, обменно-поляризационные, перенос заряда.

Четвертый, пятый и шестой члены уравнения (1) принадлежат силам дальнего порядка, представленным следующими взаимодействиями: электростатическое мультиполь-мультипольное взаимодействие, индукционные и дисперсионные поляризационные взаимодействия, магнитные релятивистские взаимодействия, запаздывающие электромагнитные взаимодействия.

Также стоит отметить, что в неполярных веществах нефти в случае флуктуации электрического поля молекулы возможно появление переменного диполя, способного к индуцированию диполей в соседних молекулах. Данный вид сил обладает особенностью аддитивности парных взаимодействий [10].

Также наблюдается образование слабых (по сравнению с ковалентной) химических связей между молекулами, на расстояниях меньше суммы Ван-Дер-Ваальсовых радиусов молекул. Примером такой связи является водородная связь, образуемая между несколькими молекулами или между частями одной молекулы, что может обуславливать конформационные переходы. Данная связь является неполярной, однако в результате смещения водорода к гетероатому данная связь может несколько “поляризоваться”, ослабляясь при этом [34].

По силе взаимодействия водородные связи подразделяются на сильные, средние и слабые [34]. К образованию сильных водородных связей склонны сильно поляризованные молекулы, способные к образованию ионов, однако таковые в составе нефти не описаны. Средние водородные связи обуславливаются наличием в нефти гетероатомных соединений, а также ароматических колец. Слабые водородные связи присущи всем углеводородам, входящим в состав нефти.

Следующим наблюдаемым взаимодействием является стэкинг-эффект, характерный для ароматических колец и псевдоароматических соединений, за счет перекрытия облаков π -электронов. В результате возникновения данной силы молекулы располагаются таким образом, что плоскости, в которых содержатся их ароматические участки, располагаются параллельно на Ван-Дер-Ваальсовых расстояниях, “плотно упакованные” в пачечную структуру [16].

Данные силы обуславливают взаимодействия между компонентами, входящими в состав НДС, в том числе и взаимодействия, характерные классическим коллоидным системам:

- Коагуляция, флокуляция и коалесценция;
- Мицеллообразование.

Также необходимо уделить внимание процессу адсорбции, механизм которого описывает процесс образования отложений.

В основе процесса коагуляции, флокуляции и коалесценции лежит общий принцип столкновения двух частиц в объеме дисперсионной среды с последующим образованием частицы более крупного размера.

Данный процесс достаточно хорошо изучен и описан рядом теорий, из которых наиболее подробная – теория ДЛФО. Согласно данной теории, при сближении двух частиц возникает так называемое расклинивающее давление – синергия различных межмолекулярных сил, которые, в зависимости от значения, могут либо оттолкнуть частицы друг от друга, либо привести к их слипанию. В общем случае механизм образования нового агрегата состоит из следующих этапов:

- Сближение двух частиц и образование между ними тонкой прослойки межмолекулярной фазы;
- Утоньшение прослойки с дальнейшим разрывом;
- Присоединение одной частицы к другой.

Различие между данными процессами заключается в том, что при флокуляции дисперсные частицы сталкиваются с более крупными частицами третьего вещества – флокулянта, высокомолекулярного вещества, специально введенного в систему для ускорения процесса разрушения дисперсной системы, т.к. данное вещество имеет большие размеры, а также большое количество функциональных групп в составе. При процессе коалесценции, в отличие от коагуляции, характерной для твердых частиц, происходит разрушение дисперсной системы с образованием жидкой или газообразной фазы.

Вследствие наличия в нефти дифильных молекул, в том числе производных бензола с длинными алифатическими заместителями, в объеме нефти должны существовать мицеллы, т.к. данная форма существования термодинамически более выгодна для них. Механизм самоорганизации ПАВ обуславливается увеличением их химического потенциала с ростом концентрации в растворе, при этом ПАВ в нефти образуют «обратные»

мицеллы, ориентированные лиофильными частями к объему дисперсионной среды, при этом в центре образуется псевдофаза из их полярных частей.

1.3 Асфальтены и смолы как основной структурирующий объект НДС

Как было отмечено ранее, одним из основных структурирующих компонентов нефти, особенно в тяжелых нефтях, являются смолисто-асфальтеновые вещества в силу их агрегатного состояния и склонности к образованию надмолекулярных структур. Поэтому для понимания механизма структурирования, а также влияния различных воздействий на данный механизм, необходимо обратить внимание на строение данных веществ.

1.3.1 Асфальтены - строение, свойства, методы фракционирования

Асфальтены - темные кристаллы, наиболее высокомолекулярная фракция веществ, входящих в состав нефти. Асфальтены представляет из себя смесь полициклических ароматических и нафтеноароматических структур, содержащих в том числе гетероатомы, металлические комплексы и алифатические заместители [36]. Основные элементы содержатся в следующих количествах: 76-86 % мас. углерода, 7,3-8,5 % мас. водорода, 5,0-9,0 % мас. серы, 0,7-1,2 % мас. кислорода, 1,3-1,4 % мас. азота и 0,1-0,2 % мас. металлов (в основном никеля, ванадия и железа) [37]. Гетероатомы представлены в виде различных функциональных групп, входящих в состав асфальтеновых молекул. Сера главным образом присутствует в виде сульфидных и тиофеновых групп, а также в виде сульфоксида. Азот представлен пиррольными группами, пиридиновыми, реже третичными аминогруппами. Кислород находится в карбонильных и гидроксильных/фенольных группах.

Сложным вопросом является определение молекулярной массы асфальтенов, т.к. здесь важную роль играет не только то, какой метод определения был выбран, но и то, каким образом были выделены асфальтены. В работе [33] приводятся данные, свидетельствующие о том, что молекулярная масса асфальтенов, определенная криоскопически составляет 2000 – 4000 а.е.м. (в нитробензоле) и до 6000 а.е.м. (в бензоле), при осмометрическом

определении - 25000 а.е.м. Автор резюмирует, что в приведенных исследованиях дисперсия молекулярной массы асфальтенов находится в области 700 – 40000 а.е.м. В более современных исследованиях область молекулярных масс асфальтенов определяется намного уже. Так, методами массспектрометрии и рамановской спектроскопии установлено, что нефтяные асфальтены имеют диапазон молекулярных масс 200-1500 г/моль, в то же время асфальтены, выделенные из асфальтосмолопарафиновых отложений, характеризуются молекулярными массами, лежащими в диапазоне 150-1050 г/моль [38 – 41].

Рассмотрим термические свойства асфальтенов. При повышении температуры до 200 – 300 °С асфальтены переходят в высоковязкое состояние, при нагреве в интервале 300 – 400 °С наблюдается интенсивное газовыделение, причем скорость процесса линейно возрастает с повышением температуры, т.к. преобладает процесс разрушения относительно слабых химических связей, сопровождающийся образованием низкомолекулярных продуктов и радикалов. Масс-спектрометрия позволила установить, что выше 320 – 350 °С происходит отщепление одно- и двухкольчатых гетероциклов и ароматических соединений, способных рекомбинировать с асфальтеновыми радикалами. При повышении температуры до 400 – 500 °С зависимость скорости расщипления асфальтеновых молекул от температуры перестает быть линейной, происходит процесс деалкилирования и деструкции молекул, а также внутри- и межмолекулярная конденсация с образованием кокса [40].

Другим немаловажным свойством асфальтенов является склонность к образованию агрегатов, что в конечном итоге приводит к осложнению многих технологических процессов, связанных с нефтью и нефтепродуктами. При высоком давлении в пласте асфальтены существуют в виде отдельных молекул, реже в виде наноагрегатов. Однако в дальнейшем, при изменении условий системы, в которых находятся асфальтены, может происходить их агрегация. Среди прочих данными факторами могут являться:

- Падение давления в пласте во время добычи;

- Смещение потоков различных нефтей;
- Изменение температуры нефти;
- Изменение режима течения;
- Внесение в нефть сторонних веществ [9].

Немаловажным вопросом, вызывающим активные дискуссии, является вопрос структуры молекулы асфальтенов, обуславливающей свойства вещества. На основе имеющихся данных разработаны две модели строения асфальтенов: “континент” и “архипелаг”. Первая модель основывается на том, что молекула представляет собой большое поликонденсированное ядро из 6 – 17 колец, окруженное некоторым количеством алифатических хвостов и гетероатомов (рисунок 7). В ходе исследования [42] было доказано, что данный тип молекул является доминирующим, т.к. сравнительный анализ масс-спектров асфальтенов из двух реальных нефтей и 23 модельных соединений, показал, что нативные асфальтены и модели, имитирующие континентальную структуру, имеют схожую слабовыраженную фрагментацию.

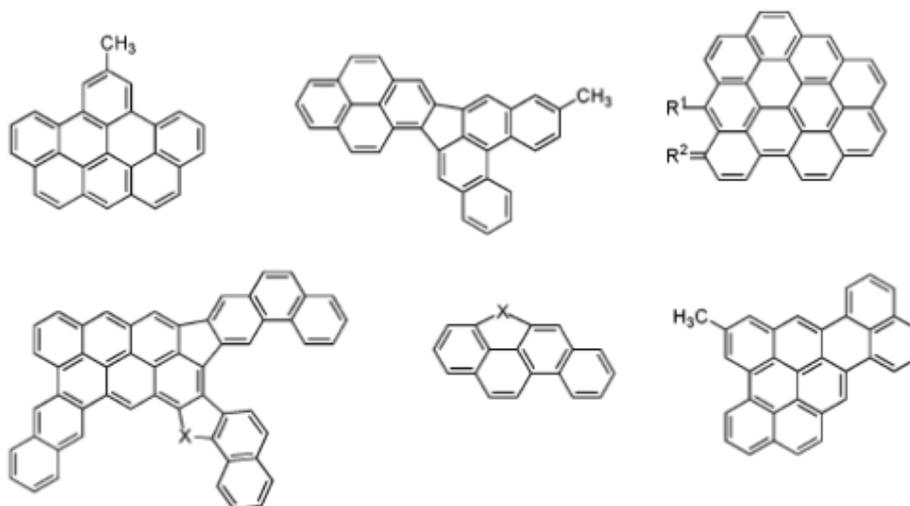


Рисунок 7 - Молекулы асфальтенов типа “континент”

Согласно второй модели - “архипелаг”, молекулы асфальтенов представляют собой множество отдельных групп из 5 – 7 конденсированных колец, соединенных между собой алифатическими и гетероатомными мостами.

Также в таких молекулах присутствуют боковые заместители, представленные алифатическими и гетероатомными участками (рисунок 8) [9].

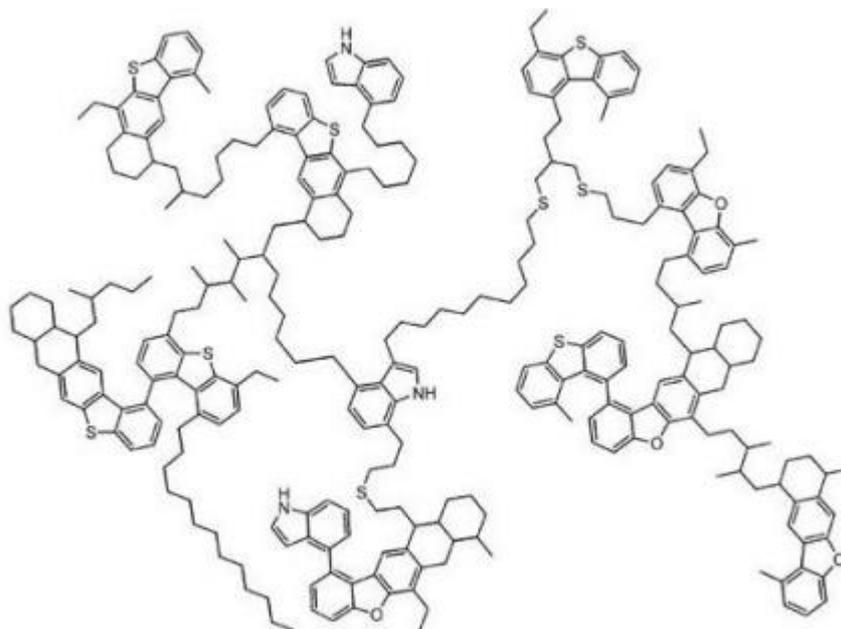


Рисунок 8 - Молекулы асфальтенов типа “архипелаг”

В связи с имеющейся неоднородностью в строении асфальтенов логичным решением являются попытки фракционировать данный тип веществ. Для выполнения данной процедуры используют методику добавления бинарных растворителей, таких как толуол/н-гептан, метиленхлорид/н-пентан, хлороформ/н-гексан, ацетон/н-гексан [43, 44]. Также фракционирования можно достичь с использованием одного осадителя, например, н-гептана, гексана или пентана, приливаемого к нефти в различных пропорциях [44]. В независимости от применяемой методики фиксируются закономерности состава и свойств полученных фракций. Также установлено, что соотношение различных типов молекулярных структур обуславливается природой исходной нефти.

Существуют две основные фракции асфальтенов - А1 и А2. Во фракции А1 преобладающий тип молекул - “континент”, выпадает в осадок из нефти при минимальном добавлении н-алкана, является наиболее тяжелой и полярной частью асфальтенов. В состав фракции входят наиболее высокомолекулярные соединения, характеризующиеся высокими фактором ароматичности и степенью конденсированности колец, низким отношением Н/С, повышенным

содержанием металлов и гетероатомов, а также низкой растворимостью в ароматических растворителях. Во фракции А2 преобладающий тип молекул - "архипелаг", осаждается из нефти при добавлении максимального количества н-алкана и является более легкой и малополярной частью, лучше растворяется в низкомолекулярных аренах по сравнению с А1, характеризуется низким фактором ароматичности и повышенным отношением Н/С, что свидетельствует о большем содержании алифатических участков в структуре молекулы [45, 46, 47].

Следует отметить, что различные фракции неодинаково оказывают влияние на устойчивость к выпадению асфальтенов из нефтяных систем. Так, молекулы "континентальной" фракции являются ускорителями агрегирования, что при их высоком содержании в сырье приводит к нестабильности дисперсной системы и выпадению асфальтеновых агрегатов при минимальном изменении внешних условий. Преобладание молекул фракции "архипелаг", напротив, повышает устойчивость системы к осаждению асфальтенов [48, 49].

1.3.2 Смолы - строение, свойства, методы фракционирования

Природные нефтяные смолы - темные вязкие жидкости, высокомолекулярные вещества, входящие в мальтеновую часть нефти. В отличие от асфальтенов растворяются в алифатических углеводородах. Подобно асфальтенам, состав данной нефтяной фракции зависит от характеристики исходного сырья, а также от использованного метода выделения [36]. Стоит также отметить, что некоторые молекулы смол могут иметь очень близкое к асфальтенам строение, что свидетельствует об их "родстве", однако даже в этом случае наблюдается различие в свойствах [10].

Структура молекул данной фракции нефтяного сырья представлена конденсированными циклами, соединенными алифатическими или гетероатомными мостами. Также стоит отметить, что на данную фракцию приходится от 70 до 90 % всех гетероатомных веществ, входящих в состав нефти [50]. Среди них атомы азота, встречающиеся в молекулах смол в составе

гетероароматических фрагментов основного (пиридин и его бензологи) и нейтрального характера (пиррол и его бензологи). Согласно [51], преобладающая часть азота заключена в структурных элементах молекул высокомолекулярных соединений, соединяясь с соседними атомами через σ -связи. Меньшая часть азота – составная часть сравнительно низкомолекулярных соединений, которые либо сорбируются на макромолекулярных агрегатах за счет донорно-акцепторных взаимодействий, либо захватываются полыми ячейками их структур. Кислород представлен в нефтяных смолах гидроксильными (спиртовыми и фенольными), карбоксильными, карбонильными, эфирными и сложноэфирными функциями. Атомы серы содержатся в молекулах смолистых веществ в гетероциклических фрагментах (тиофеновых, тиациклановых), тиольных и сульфидных группах [52, 53].

Подобно асфальтенам при работе со смолами существует практика фракционирования смол. Оно может быть выполнено различными методами, основанными на двух явлениях: коагуляции и экстракции.

Суть первой группы методов, основанных на коагуляции, заключается в избирательном осаждении различных фракций веществ, путем последовательного использования различных осадителей. Например, метод [54], согласно которому асфальтены осаждаются гексаном, “твердые” смолы - смесью изобутилового спирта и циклогексана (8 : 2), парафины - смесью ацетона и хлористого метилена (1 : 2), “мягкие” смолы - изобутиловым спиртом, а полученный остаток представляет из себя смесь жидких углеводородов (масел).

Вторая группа методов, основанных на экстракции, заключается в избирательной экстракции различных фракций, которая может быть оформлена в виде жидкостной экстракции, либо в виде хроматографии. Известен метод [55] использования в качестве экстрагентов ацетона, метанола, изопропилового спирта, гексана и бензола. Однако большее распространение получил метод фракционирования нефтяных смол на две фракции [56]: бензоловую и спирт-

бензоловую. Суть метода заключается в выделении из деасфальтизата на силикагеле сперва масляной фракции н-гексаном, затем проводят десорбцию бензоловых смол бензолом, а спирт-бензоловых смол – смесью этиловый спирт :бензол (1:1 по объёму). На рисунке 9 представлены модели молекул, входящих в состав двух фракций смол.

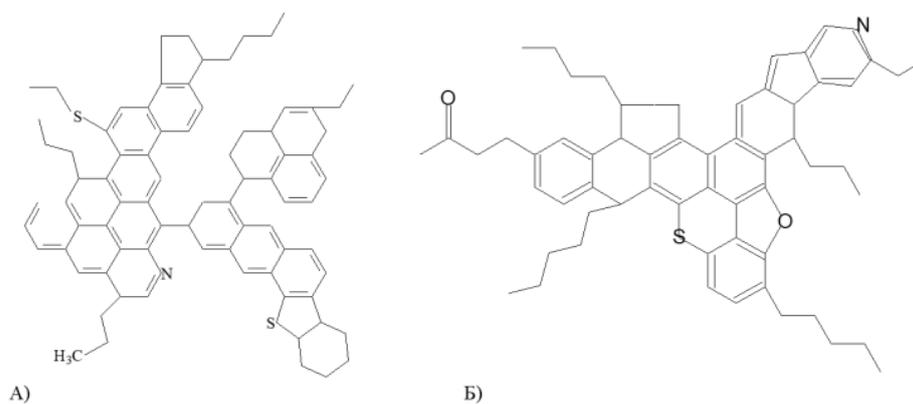


Рисунок 9 - Модели молекул двух фракций смол, где А - бензоловая фракция, Б - спирт-бензоловая фракция

Фракция бензоловых смол представлена вязкотекучим жидким либо твёрдым веществом, цвет которого варьируется от темно-оранжевого до темно-коричневого. Бензоловые смолы отличаются меньшим содержанием гетероэлементов, омыляемых компонентов, большей ароматичностью, и в целом имеют близкое к асфальтенам строение. Согласно данным ИК-спектрального анализа данная фракция содержит больше полиароматических структур, чем спирт-бензоловая фракция, но содержание гетероатомов и алкильных участков в молекулах данной фракции ниже [57].

Фракция спирт-бензоловых смол представлена вязкотекучим жидким либо твёрдым веществом, цвет которого варьируется от тёмно-коричневого до чёрного. Данная фракция характеризуется более высоким содержанием гетероатомов и меньшим содержанием конденсированных колец, в отличие от фракции бензоловых смол. ИК-спектральный анализ фракции указывает на меньшее содержание поликонденсированных систем и высокое содержание алифатических, карбонильных и сульфоксидных заместителей, по сравнению с фракцией бензольных смол [57].

1.4 Ингибиторы образования отложений

Нефтяные технологические процессы, в особенности добыча сырой нефти, связаны с процессами образования различных отложений. Среди них:

- Отложения неорганических солей;
- Отложения солей карбоновых кислот;
- Отложения парафинов;
- Отложения САВ [9].

Борьба с различного рода отложениями осуществляется по одному из двух путей: предотвращение их образования или удаление образовавшихся агрегатов. По механизму взаимодействия с отложениями методы подразделяются на: физические, химические и физико-химические.

Ингибитор - вещество, подавляющее или замедляющее во времени течение какого-либо процесса. По природе своего происхождения ингибиторы подразделяются на природные и синтетические. Однако все они имеют общее свойство - амфифильное строение, что позволяет им концентрироваться на границе раздела фаз. Количество вводимых ингибиторов в нефть, обычно, составляет значение от нескольких сотых процента до нескольких процентов. Введение ингибиторов в нефть можно производить как во время добычи, закачивая непосредственно в скважины, так и после извлечения нефти из недр.

На данный момент на рынке ингибиторов образования асфальтеновых агрегатов наблюдается следующая ситуация: существует небольшое количество предложений, представленных различными синтетическими ингибиторами, однако они в полной мере не отвечают потребностям потребителей, т.к. имеют высокую стоимость, низкую эффективность и универсальность.

1.4.1 Синтетические ингибиторы

Данный класс ингибиторов представлен различными продуктами органического синтеза. Фактор их происхождения обуславливает ряд проблем, связанных с их использованием, среди которых высокая стоимость и

возможное осложнение процессов переработки в связи с чужеродностью по отношению к нефти. Как отмечает автор [9], в целом, данные ингибиторы отличаются достаточно низкой эффективностью, зависящей от типа нефти, различных внешних воздействий, в том числе технологических. Этот недостаток обуславливается низкой изученностью процессов образования асфальтеновых осадков, ввиду чего отсутствует понимание механизма ингибирования данных процессов.

Данный класс ингибиторов представлен тремя группами веществ в зависимости от своего строения:

- Неполимерные;
- Олигомерные;
- Полимерные.

Неполимерные ингибиторы представлены множеством веществ, полярность которых возрастает от низкополярных алкилароматических соединений до амфотерных ПАВ, веществ с высоко полярными функциональными группами, органических солей и ионных жидкостей [9].

Олигомерные и полимерные ингибиторы представлены веществами, состоящими из 2 – 12 мономерных звеньев (олигомерные), либо > 12 мономерных звеньев (полимерные). Данные ингибиторы могут получаться как непосредственно полимеризацией, так и сополимеризацией, или путем прививки макромолекулы. Примером могут послужить алкилфенольные и альдегидные смолы, полиолефиновые эфиры, алкенильно-винилпирролидоновые сополимеры и полиолефины, привитые малеиновым ангидридом, либо винил-имидазолом. Необходимым свойством все также является амфифильность. Однако в случае высокомолекулярных ингибиторов необходимо строго контролировать число полярных групп в молекуле и ее молекулярный вес ввиду того, что имеется вероятность ускорить процесс образования асфальтеновых осадков ввиду неправильно подобранных свойств [9].

1.4.2 Природные ингибиторы

Данный класс ингибиторов пока не представлен на рынке, имеются данные лишь о небольшом количестве исследований, произведенных с веществами природного происхождения. Как отмечают авторы работы [17], имеются данные лишь о небольшом количестве ПАВ, полученных из растительного сырья, однако их эффективность весьма спорна. В тоже время авторы данного исследования выдвигают гипотезу о том, что ингибиторами процессов образования асфальтеновых агрегатов могут быть нефтяные природные смолы. В своем исследовании они изучают влияние ингибиторов, изготовленных на основе данных смол, на тяжелую нефть и, как показали результаты, авторам удалось снизить количество осаждаемых асфальтенов на треть.

Следовательно, изучение возможности ингибирования процессов образования асфальтеновых агрегатов нефтяными смолами является перспективной темой для исследования. Следует отметить факт того, что данные вещества не требуют применения процессов органического синтеза и не являются чужеродными веществами по отношению к нефти.

1.4.3 Механизмы ингибирования

Механизм ингибирования процессов образования асфальтеновых агрегатов на данный момент слабо изучен ввиду сложного строения высокомолекулярных компонентов нефти. Из этого следует, что ключ к пониманию механизма ингибирования лежит в изучении особенностей строения САВ нефти. Данные особенности были изучены в работе Ф.Г. Унгера [10], в которой он описывал природу взаимодействия смол и асфальтенов, изучал силы, обуславливающие образование надмолекулярных структур. Так автором была опровергнута идея о том, что основной силой, обуславливающей образование асфальтеновых агрегатов, является образование водородных связей ввиду того, что более склонные к агрегатированию асфальтены содержат

в своем составе меньше атомов водорода по сравнению с мальтенами, которым образование надмолекулярных структур несвойственно.

Следующей рассмотренной силой межмолекулярного взаимодействия является донорно-акцепторная связь, однако для ее образования молекулы должны обладать достаточным количеством полисопряженных систем, что в случае асфальтенов было ранее опровергнуто [10].

В качестве третьей причины образования надмолекулярных структур ранее учеными выдвигалось предположение о возникающих полярных эффектах и соответствующих взаимодействиях. Природа возникновения данных эффектов обуславливается высокой диэлектрической проницаемостью, характерной для свободных ионов или наличием гетероатомов. Т.к. в составе асфальтенов нефтей свободные ионы не обнаружены, то данные эффекты можно объяснить наличием гетероатомов. Но и это предположение опровергается тем, что в некоторых асфальтенах вторичного происхождения гетероатомные участки практически отсутствуют и не могут играть решающей роли в построении надмолекулярных структур [10].

Далее автор делает предположение, что причиной образования надмолекулярных структур является парамагнетизм, вызванный рядом особенностей строения, таких как комплексы металлов, дефекты структуры, свободные радикалы и комплексы переноса заряда [10].

Так, до шестидесятых годов двадцатого столетия считалось, что источником парамагнетизма в нефти являются молекулы асфальтенов, парамагнетизм которых обуславливается наличием в составе комплексов металлов и дефектами структуры, т.к. отсутствие комплексов переноса заряда у асфальтенов установлено в исследованиях Уэльса и Ван-Дер-Ваадена, что говорит о свободно-радикальной природе парамагнетизма асфальтенов [10].

Однако отсутствие корреляции между парамагнетизмом нефти и количеством осаждаемых асфальтенов, свидетельствует о том, что источником данного явления являются не только молекулы асфальтенов, но и молекулы смол. И в отличие от асфальтенов парамагнетизм смол не может быть

обусловлен наличием металлокомплексов по причине отсутствия таковых у молекул смол. На основании этого автор [10] делает вывод о том, что ассоциирование молекул асфальтенов и смол обуславливается обменными и резонансными взаимодействиями, вызванными наличием свободных радикалов и парамагнитных комплексов. Образование свободных радикалов в нефти возможно вследствие гомолитического разрыва химической связи, ослабленной соседством с конденсированными ароматическими кольцами, причем данный разрыв возможен без создания особых условий, либо же в результате гомолитического разрыва химической связи в условиях пласта, характеризующихся повышенной температурой и давлением.

Причем энергия данных взаимодействий в асфальтенах сопоставима с энергией ковалентной связи С-С, вследствие чего ассоциат асфальтеновых молекул, образующий ядро ССЕ, можно рассматривать как единую молекулу, что несколько упрощает рассмотрение процесса ингибирования [10].

2 Объекты и методы исследования

На рисунке 10 представлена общая схема исследования, описывающая последовательность экспериментов, а также их суть.



Рисунок 10 - Общая схема проведения исследования

2.1 Характеристика объектов исследования

В качестве объекта исследования были выбраны легкая парафинистая нефть месторождения “Верхнесалатское” и средняя нефть месторождения “Снежное”. Исходные характеристики объектов исследования представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Характеристики объектов исследования

Месторождение	"Верхнесалатское"	"Снежное"
Плотность 20 °С, кг/м ³	781,5	817,5
Плотность 50 °С, кг/м ³	787,0	784,9
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	4,38	3,11
Вязкость кинематическая при 50 °С, мм ² /с	2,38	1,75
Вязкость динамическая при 20 °С, мПа*с	3,42	2,54
Вязкость динамическая при 50 °С, мПа*с	1,87	1,37
Асфальтены, % масс.	0,17	3,00
Бензольные смолы, % масс.	2,19	2,30
Спирт-бензольные смолы, % масс.	1,13	6,20
Масла, % масс.	96,51	88,50

При создании ингибиторов использовались две фракции нефтяных смол, выделенных из нефти "горячим" методом Гольде: фракция бензоловых смол и спирт-бензоловых. Их качественный состав был исследован при помощи ИК-спектроскопии (Рисунок 11, 12).

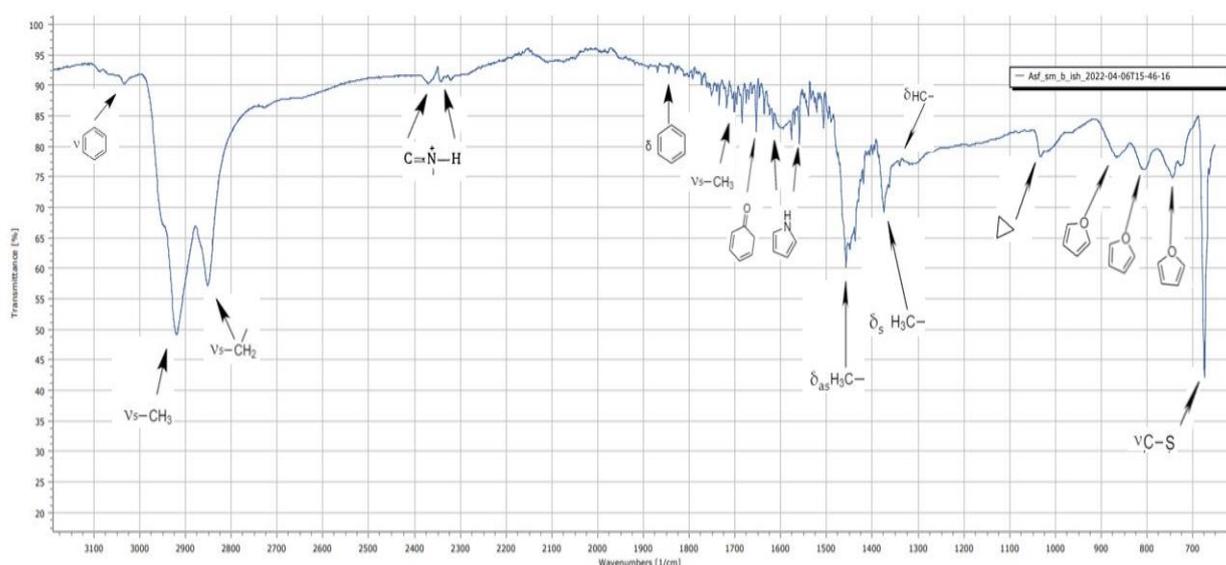


Рисунок 11 - ИК-спектр бензоловой фракции нефтяных смол

В ИК-спектре исходных бензоловых смол наблюдается полоса 3034 см^{-1} слабой интенсивности, соответствующая валентным колебаниям связи C-H в ароматическом кольце. Полосы 2920 см^{-1} и 1701 см^{-1} соответствуют симметричным валентным колебаниям группы $-\text{CH}_3$, а 2852 см^{-1} - симметричным валентным колебаниям $-\text{CH}_2-$ группы в составе алифатических заместителей. Полосы поглощения 2371 см^{-1} и 2342 см^{-1} соответствуют колебаниям связей ненасыщенных ароматических аминов, входящих в состав гетероароматических частей молекул смол. Полоса 1653 см^{-1} свидетельствует о колебаниях ненасыщенных (ароматических) кето-групп в составе молекулы. Полосы 1617 см^{-1} и 1559 см^{-1} обусловлены валентными колебаниями C=C связи, входящей в состав азотсодержащего гетероцикла. Полоса 1507 см^{-1} соответствует валентным колебаниям C=C в гетероциклических кислородсодержащих ядрах. Полоса 1457 см^{-1} соответствует ассиметричным деформационным колебаниям $-\text{CH}_3$ групп, а полоса 1375 см^{-1} симметричным деформационным колебаниям данной группы. Слабая полоса 1319 см^{-1} относится к деформационному колебанию C-H группы в составе алифатического заместителя. Полоса 1033 см^{-1} обусловлена скелетными колебаниями нафтеновых участков молекулы. Полоса 866 см^{-1} обусловлена колебаниями в гетероциклических кислородсодержащих ядрах. Полосы $806,1\text{ см}^{-1}$ и $744,4\text{ см}^{-1}$ принадлежат колебаниям кислородсодержащих гетероциклических участков в составе молекулы. Полоса $674,7\text{ см}^{-1}$ соответствует валентными колебаниями связи C-S.

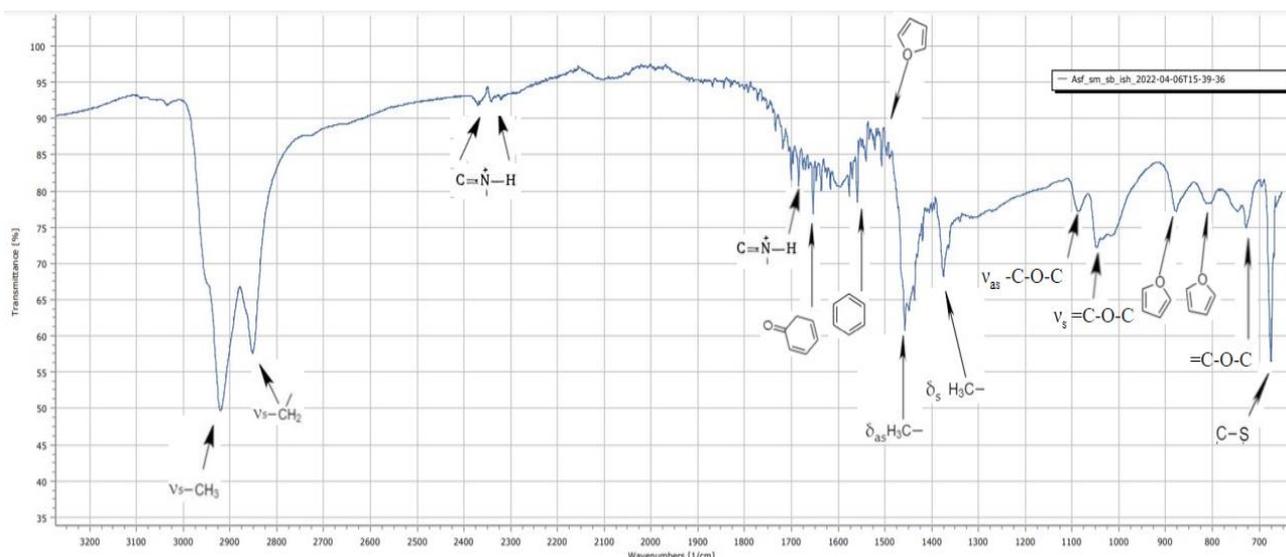


Рисунок 12 - ИК-спектр спирт-бензоловой фракции нефтяных смол

В ИК-спектре исходных спирт-бензоловых смол наблюдаются следующие высокоинтенсивные полосы: 2920 см^{-1} , соответствующая валентным асимметричным колебаниям группы $-\text{CH}_3$, и 2852 см^{-1} , соответствующая симметричным валентным колебаниям $-\text{CH}_2-$ группы, входящих в алифатические “мосты”. Полосы поглощения 2371 см^{-1} , 2343 см^{-1} и 1685 см^{-1} соответствуют колебаниям связей ненасыщенных ароматических аминов, входящих в состав гетероароматических частей молекул смол. Полоса 1653 см^{-1} свидетельствует о колебаниях ненасыщенных (ароматических) кето-групп в составе смол. Полоса 1559 см^{-1} соответствует скелетным колебаниям в бензольном кольце, сопряженном с ненасыщенной группой или группой, имеющей свободную электронную пару. Полоса 1507 см^{-1} соответствует валентным колебаниям $\text{C}=\text{C}$ в гетероциклических, кислородсодержащих ядрах. Полоса 1457 см^{-1} соответствует асимметричным деформационным колебаниям $-\text{CH}_3$ групп, а полоса 1375 см^{-1} – симметричным деформационным колебаниям данной группы. Полоса 1087 см^{-1} обусловлена асимметричными валентными колебаниями $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ группы, входящей в состав алифатических и нафтеновых участков. Полоса 1048 см^{-1} принадлежит валентным симметричным колебаниям группы $=\text{C}-\text{O}-\text{C}$. Полоса $878,3\text{ см}^{-1}$ обусловлена колебаниями в гетероциклических, кислородсодержащих ядрах. Широкая полоса $805,2\text{ см}^{-1}$ и

узкая $727,7 \text{ см}^{-1}$ принадлежат колебаниям кислородсодержащих гетероциклических участков либо эпокси-группам в составе молекулы. Полоса $675,2 \text{ см}^{-1}$ вызвана валентными колебаниями связи C-S.

На основании полученных данных были рассчитаны спектральные коэффициенты алифатичности ($K_{ал}$), ароматичности ($K_{ар}$), разветвленности ($K_{рз}$), конденсированности ($K_{кн}$), окисленности ($K_{ок}$), осерненности ($K_{ос}$), представленные в таблице 6.

Таблица 6 – Спектральные коэффициенты исходных фракций смол

Коэффициент	Бензоловая фракция	Спирт-бензоловая фракция
Алифатичности ($K_{ал}$)	1,08	1,84
Ароматичности ($K_{ар}$)	0,66	0,37
Разветвленности ($K_{рз}$)	1,22	1,26
Конденсированности ($K_{кн}$)	0,79	0,48
Окисленности ($K_{ок}$)	0,44	1,08
Осерненности ($K_{ос}$)	0,59	1,31

Видно, что коэффициент алифатичности бензоловой фракции смол ниже соответствующего коэффициента спирт-бензоловой фракции на 41 %, коэффициент ароматичности выше на 44 %, коэффициент разветвленности ниже на 5 %, коэффициент конденсированности выше на 40 %, коэффициент окисленности ниже на 59 %, коэффициент осерненности ниже на 55 %. На основании этого можно утверждать, что фракция бензоловых смол отличается более высоким содержанием конденсированных ароматических колец, в то время как фракция спирт-бензоловых смол – более высоким содержанием гетероатомов и алифатических заместителей.

В ходе исследования было разработано четыре линейки ингибиторов: первая состоит из бензоловых смол, вторая из спирт-бензоловых смол, третья и четвертая – из их смеси в пропорции 1:1 и 1:2 по массе, соответственно. Ингибиторы изготавливались путем отбора заданной навески смол с последующим растворением в толуоле непосредственно перед использованием. Затем раствор смол приливался к пробе исследуемой нефти.

2.2 Описание применяемой методики эксперимента

Для приготовления ингибитора смолы выделяли и фракционировали "горячим" методом Гольде согласно методике [58]. На первом этапе изготавливали раствор деасфальтизата, путем разбавления навески смеси "нефть + ингибитор" 40 - 50 кратным избытком легкого растворителя - гексана, после чего смесь выдерживали в течение 24 часов для полного протекания процесса коагуляции асфальтенов. Далее суспензию пропускали через стеклянную колонку, заполненную ватой, для отделения асфальтеновых агрегатов, после чего с ваты смыли адсорбированную мальту путем проливания гексана до стечения чистого растворителя. Асфальтены удаляли с ваты растворением путем пропускания через колонку бензола до стечения чистого растворителя.

Полученный деасфальтизат помещали в аппарат Сокслета на силикагель, после чего разделяли на масла, бензоловую фракцию и спирт-бензоловую фракцию смол с использованием соответствующих растворителей: гексан, бензол, смесь этанола и бензола 1:1 (объемные доли). Схема установки экстракции представлена на рисунке 13.

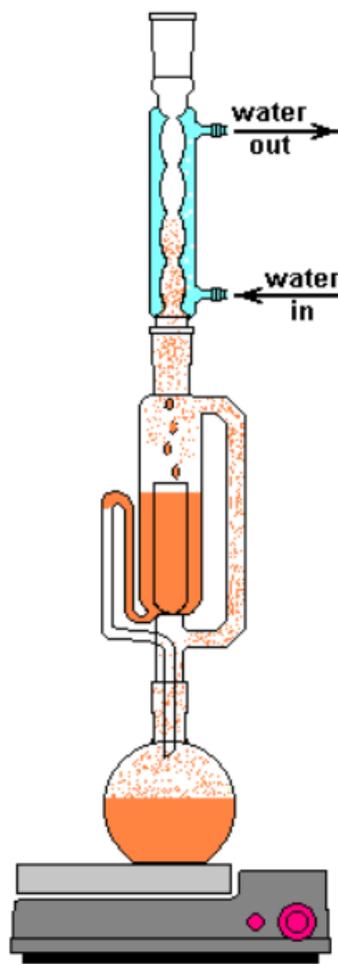


Рисунок 13 - Схема установки экстракции, где 1 - круглодонная колба для растворителя, 2 - экстрактор Сокслета, 3 - обратный холодильник

Гравиметрический анализ систем “нефть + ингибитор” проводили с использованием лабораторных-аналитических весов «OHAUS EX124/AD» (США). При этом в коническую колбу помещали нефть и ингибитор, после чего содержимое перемешивали, а колбу герметично запечатывали. Запечатанную колбу помещали на весы, и фиксировали их показания через 0, 1, 5, 30, 60, 1440 минут. Данный анализ свидетельствует об происходящих в системе коллоидных взаимодействиях посредством изменения массы колбы с образцом.

2.3 Методы исследования

2.3.1 Определение физико-химических характеристик

Реологические характеристики нефти (плотность, динамическая и кинематическая вязкость) определяли при помощи вискозиметра-плотномера

Штабингера (Anton Paar SVM 3000, Австрия) по стандартной методике (ASTM D 7042-14 «Метод определения динамической вязкости и плотности жидкостей на вискозиметре Штабингера (и расчёт кинематической вязкости)).

2.3.2 Определение компонентного состава

Для определения компонентного состава исследуемых систем “нефть + ингибитор” использовали методику, описанную в [58]: в результате разбавления пробы нефти сорокакратным объемом гексана получена суспензия, состоящая из асфальтенового осадка и жидкого деасфальтизата, после чего осадок отфильтровывали и промывали гексаном для удаления адсорбированных углеводородов, затем полученный деасфальтизат разделяли на фракции (масла, бензолы, смолы, спирт-бензолы) в аппарате Сокслета, при помощи подбора определенных растворителей (гексан, бензол, спирт + бензол (1:1 об. ч.)). Масса фракций была установлена при помощи лабораторных аналитических весов «OHAUS EX124/AD» (США). На основании полученных масс был установлен компонентный состав анализируемых проб.

2.3.3 ИК-спектральный анализ

Анализ производился на приборе Agilent Technologies Cary 630 FTIR (США). ИК-спектроскопия - методика определения качественного состава, является одним из методов определения структурно-группового состава. Суть метода заключается в пропускании инфракрасного излучения через исследуемое вещество, что приводит к возбуждению колебательных движений молекул и их отдельных частей. При этом наблюдается ослабление интенсивности излучения, а т.к. определенные фрагменты поглощают излучение определенной длины волны (частоты), то по полосам поглощения на спектре можно идентифицировать качественный состав вещества.

2.3.4 Определение молекулярной массы

Для определения молекулярной массы исследуемого вещества была применена методика определения молекулярной массы криоскопическим методом, при помощи термометра Бекмана. Данная методика основан на втором законе Рауля - понижение температуры кипения и повышение температуры замерзания раствора прямо пропорционально моляльной концентрации раствора. При проведении исследования определяют разницу температур кристаллизации чистого бензола и раствора исследуемого вещества в бензоле (температурную депрессию). После чего определяют молекулярную массу по формуле:

$$M = K \cdot \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{G_1}{G_2} \cdot 1000; \quad (2)$$

где M - молекулярная масса исследуемого вещества, г/моль; K - криоскопическая константа растворителя, °С•г/моль; ΔT - температурная депрессия, °С; G_1 - масса пробы, г; G_2 - масса растворителя, г.

2.3.5 Элементный анализ

Элементный анализ был выполнен на элементном анализаторе Vario EL Cube (Германия). Данный анализ позволяет определить количество углерода (С), водорода (Н), азота (N) и серы (S) в образце. Принцип работы анализаторов основан на использовании классического метода Дюма-Прегля – сжигании пробы в присутствии окислителя в токе инертного газа, в результате чего получается пропорциональное количество продуктов полного сгорания, смесь из которых разделяется при помощи газового хроматографа, детектируется, а после, на основании полученной информации о количестве оксидов, рассчитывается исходное содержание атомов данных элементов в веществе.

2.3.6 ЯМР-спектроскопия на ядрах ^1H

Данный анализ был выполнен на Фурье-спектрометре AVANCE-AV-600 (Германия). ЯМР-спектроскопия на ядрах ^1H является разновидностью ЯМР-спектроскопии, основанной на резонансном поглощении подводимой

электромагнитной энергии системой ядерных магнитных моментов, находящихся во внешнем магнитном поле. Метод ЯМР исследует поглощение электромагнитной радиации веществом в необычных условиях формирования спектра: в отличие от оптических молекулярных спектров спектр ЯМР получается при поглощении радиации веществом, находящимся в очень сильном однородном магнитном поле. А так как одни и те же ядра атомов при различном окружении показывают различные сигналы, отличие такого сигнала ЯМР от сигнала стандартного вещества позволяет определить химический сдвиг, обусловленный химическим строением изучаемого вещества.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Раздел “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение” введен в состав ВКР с целью оценки конкурентоспособности проводимого научно-технического исследования и эффективности использования ресурсов.

Для обеспечения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Провести предпроектный анализ;
- Разработать план управления научно-исследовательской работы;
- Определить ресурсную (ресурсосберегающая), финансовую, социальная и экономическая эффективность исследования.

Исследование произведено в химической лаборатории на базе ОХИ ТПУ. Целью исследования является исследование влияния ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы. Объектом исследования является нефть месторождения «Верхнесалатское» и нефть месторождения «Снежное».

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Продуктом исследования является ингибитор, препятствующий образованию АСПО асфальтенового типа.

Целевым рынком являются предприятия нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего секторов. Основными конкурентами разрабатываемой технологии являются крупнейшие нефтесервисные компании, среди которых стоит выделить Schlumberger, Halliburton и Weatherford (таблица 8). Данные компании являются одними из самых крупных и влиятельных игроков на российском и международном рынке. Помимо проводимых

разработок в области разведки, бурения скважин, геологического анализа, компании уделяют большое внимание дальнейшему транспорту нефтяного сырья.

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка услуг по предотвращению образования АСПО

		Вид услуг											
		Создание гладких поверхностей технологического оборудования			Использование физических методов			Использование синтетических депрессаторов, модификаторов и диспергаторов			Использование ингибиторов образования АСПО природного происхождения		
Размер компании	Крупный	■ ■ ■			■ ■ ■			■ ■ ■					
	Средний	■ ■ ■			■ ■ ■			■ ■ ■					
	Мелкий	■ ■ ■			■ ■ ■								
		Halliburton			Schlumberger			Weatherford					

Из представленной карты сегментирования рынка услуг видно, что разрабатываемое проектное решение не имеет прямых конкурентов, что обусловлено его инновационностью. А в связи с возможностью применения во множестве технологических процессов к различным видам нефти, а также в связи с ожидаемой доступностью, продукт данного исследования может быть использован компаниями различных масштабов.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позицииресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет оценить эффективность разрабатываемого продукта НТИ, а также определить направления для дальнейшей модернизации. Для этого необходимо регулярно анализировать состояние современного рынка решений проблемы образования АСПО, определять сильные и слабые стороны своего проекта и проекта конкурентов.

Основными конкурентными техническими решениями являются западные разработки, позволяющие также снижать накопление асфальтеновых отложений. К первой разработке относится метод добавления к нефтяному сырью различных растительных масел. Авторами Техасского университета

предложено использовать кокосовое и рапсовое масла, которые позволяют предотвращать образование АСПО. Ко второй разработке относится метод добавления к углеводородному сырью синтетических полимеров различной структуры. Авторами университета Вайоминга предложено использование синтезированных полимеров на основе нонилфенолформальдегидных смол для предотвращения асфальтовых отложений. Анализ конкурентных технических решений был проведён с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 9. Конкурентные решения, описанные выше, обозначены в приведенной таблице «к1» и «к2» соответственно.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,11	4	3	4	0,44	0,33	0,44
3. Надежность	0,08	5	4	5	0,40	0,32	0,40
4. Простота эксплуатации	0,07	4	3	3	0,28	0,21	0,21
5. Энергоэкономичность	0,07	3	3	2	0,21	0,21	0,14
6. Безопасность	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	4	3	0,06	0,12	0,09
3. Цена	0,09	3	4	3	0,27	0,36	0,27
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
5. Послепродажное обслуживание	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,20
6. Финансирование научной разработки	0,05	2	4	3	0,10	0,20	0,15
7. Срок выхода на рынок	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
8. Наличие сертификации разработки	0,09	5	3	4	0,5	0,27	0,36
Итого	1,00	55	52	52	4,02	3,64	3,73

Конкурентоспособность технических разработок определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, (3)$$

где K_i – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента; V_i – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента; B_i – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента.

Для разрабатываемого технологического решения был выявлен ряд конкурентных преимуществ, к которым стоит отнести высокое качество получаемого сырья, простоту в эксплуатации смеси-ингибитора, сокращение имеющегося производственного цикла, снижение операционных затрат и высокую конкурентоспособность решения. Выявленные конкурентные преимущества позволяют завоевывать доверие потребителя путём предложения решения высокого качества и доступной цены.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ является комплексным анализом инженерного проекта, так как позволяет в ходе исследования произвести анализ внутренней и внешней среды проекта. Анализ проводится в несколько этапов. Первым этапом является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые имеются или могут появиться во внешней среде. Результаты первого этапа SWOT-анализа приведены в таблице 10. После формулирования четырёх областей матрицы SWOT-анализа переходят к реализации второго этапа, который заключается в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Данные соответствия или несоответствия позволят выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая позволяет всесторонне проанализировать внутреннюю и внешнюю среду научно-исследовательского проекта.

Таблица 10 - Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны (S): S1. Потенциальная экономичность и энергоэффективность; S2. Потенциал для улучшения экологической составляющей на действующих предприятиях; S3. Простота использования предложенных рецептур на практике; S4. Возможность подбора и изменения рецептуры ингибиторов в зависимости от физико-химических характеристик сырья.	Слабые стороны (W): W1. Большой срок внедрения научно-технического решения на производство; W2. Отсутствие бюджетного финансирования; W3. Недостаточно большой объем проведенных исследований; W4. Возможные неточности при использовании стохастического моделирования.
Возможности (O): O1. Повсеместное внедрение на предприятия нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего секторов; O2. Разработка нового способа предотвращения образования асфальтовых отложений; O3. Внедрение разработанной технологической схемы на предприятия для производства ингибиторов; O4. Повышение стоимости конкурентных технологических решений	Угрозы (T): T1. Отсутствие спроса на новое технологическое решение; T2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства; T3. Разработка аналогов технологического решения конкурентами; T4. Опровержение полученных результатов в ходе научного исследования.

Согласно второму этапу необходимо составить интерактивную матрицу научно-исследовательского проекта. Использование такой матрицы позволяет определить различные комбинации взаимосвязей областей матрицы SWOT-анализа. Каждый фактор отмечается знаками «+», «-» или «0» в зависимости от соответствия сильных или слабых сторон возможностям или угрозам. Так знак «+» означает сильное соответствие, знак «-» - слабое соответствие, знак «0» обозначает сомнения в том, какой знак поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в Таблице 11.

Таблица 11 – Интерактивная матрица научно-исследовательского проекта

		Сильные стороны проекта			
		S1	S2	S3	S4
Возможности проекта	O1	+	+	+	+
	O2	+	-	+	+
	O3	+	+	+	+
	O4	+	-	+	+
Угрозы проекта	T1	+	0	+	+
	T2	+	0	-	+
	T3	+	+	+	+
	T4	-	-	0	+

Продолжение таблицы 11

		Слабые стороны проекта			
		W1	W2	W3	W4
Возможности проекта	O1	+	+	0	+
	O2	+	+	+	-
	O3	+	+	0	-
	O4	+	+	+	+
Угрозы проекта	T1	+	0	-	-
	T2	0	+	-	-
	T3	+	+	+	+
	T4	0	-	+	+

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей и так далее. Каждая запись представляет собой направление реализации проекта. Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в Таблице 12.

Таблица 12 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны (S): S1. Потенциальная экономичность и энергоэффективность; S2. Потенциал для улучшения экологической составляющей на действующих предприятиях; S3. Простота использования предложенных рецептов на практике; S4. Возможность подбора и изменения рецептуры ингибиторов в зависимости от физико-химических характеристик сырья.</p>	<p>Слабые стороны (W): W1. Большой срок внедрения научно-технического решения на производство; W2. Отсутствие бюджетного финансирования; W3. Недостаточно большой объём проведённых исследований; W4. Возможные неточности при использовании стохастического моделирования.</p>
<p>Возможности (O): O1. Повсеместное внедрение на предприятия нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего секторов; O2. Разработка нового способа предотвращения образования асфальтовых отложений; O3. Внедрение разработанной технологической схемы на предприятия для производства ингибиторов; O4. Повышение стоимости конкурентных технологических решений</p>	<p>1. Разработка нового метода по предотвращению образования асфальтовых отложений (O1S1S2S3S4); 2. Сокращение количества АСПО на всех этапах производственного цикла и утилизация имеющихся отходов (O2S1S3S4); 3. Анализ эффективности смесей-ингибиторов различного состава для подбора наиболее эффективной рецептуры (O3S1S2S3S4; O4S1S3S4).</p>	<p>1. В связи с отсутствием подобных технологических решений, возможно отставание от конкурентов (O1W1W2W4; O2W1W2W3; O3W1W2; O4W1W2W3W4).</p>
<p>Угрозы (T): T1. Отсутствие спроса на новое технологическое решение; T2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства; T3. Разработка аналогов технологического решения конкурентами; T4. Опровержение полученных результатов в ходе научного исследования.</p>	<p>1. Продвижение разработанных технологических решений с целью создания спроса на продукт (T1S1S3S4); 2. Обеспечение конкурентных преимуществ готового технологического решения и поиск запасных источников финансирования, спонсоров, которые будут заинтересованы (T2S1S4; T3S1S2S3S4; T4S4).</p>	<p>1. Более детальная проработка имеющихся рисков реализации научноисследовательского проекта (T1W1; T2W2); 2. Увеличение экспериментальной и информационной базы для большей точности прогнозирования рецептов (T3W1W2W3W4; T4W3W4).</p>

Анализ внутренней и внешней среды научно-исследовательского проекта отразил имеющиеся у данной разработки проблемы, которые должны быть

решены в первую очередь. Данные проблемы обусловлены сильными и слабыми сторонами проекта, а также имеющимися угрозами и возможностями внешней среды. Согласно этому были обозначены основные стратегические направления по улучшению положения предлагаемого технологического решения в ближайшем будущем:

- Увеличение экспериментальной и информативной базы для большей точности прогнозирования рецептур ингибиторов;
- Уточнение и оптимизация разработанной математической модели для прогнозирования рецептуры ингибиторов;
- Модернизация технологического решения для возможности внедрения представленной разработки на действующие предприятия.

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 13).

При проведении анализа 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.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i B_{\text{сум}} = \sum B_i; \quad (4)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 13 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	59	59

По результатам данной оценки можем сделать вывод, что перспективность проекта выше среднего, как и знания разработчика. Для повышения коммерческой перспективности проекта и привлечения больших объемов инвестирования необходимо улучшать уровень компетенций разработчика, а также лучше прорабатывать аспекты, связанные с выходом продукта на зарубежный рынок и разработкой бизнес-план.

4.2 Инициация проекта

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав научного проекта магистерской работы имеет следующую структуру:

1. Цели и результат проекта. В данном разделе приводится информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 14.

Таблица 14 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованная сторона	Ожидания заинтересованной стороны
Нефтедобывающие, нефтеперерабатывающие компании	Получение дешевого, универсального и высокоэффективного ингибитора коагуляции асфальтенов
Нефтедобывающие, нефтеперерабатывающие компании	Возможность использования производственных отходов (АСПО) для получения ингибитора
Общественность	Снижение нагрузки на окружающую среду путем разработки технологии получения полезного продукта из промышленных отходов (АСПО)
Предприятия органического синтеза	Появление на рынке конкурентного продукта, отличающегося универсальностью, высокой эффективностью и дешевизной

В таблице 15 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 15 - Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Оценить влияние природных смол на процесс коагуляции асфальтенов в легких и средних нефтях; изучить механизм ингибирования данного процесса; разработать методику получения нефтяных смол из промышленных отходов (АСПО).
Ожидаемые результаты проекта:	Разработанные ингибиторы на основе природных нефтяных смол должны обеспечивать ингибирование процесса коагуляции асфальтенов в легких и средних нефтях; описание механизма ингибирования процесса коагуляции асфальтенов природными нефтяными смолами; проект технологической схемы получения нефтяных смол для производства ингибитора из АСПО.
Критерии приемки результата проекта:	Исследование компонентного состава систем “нефть + ингибитор” согласно методике [54]; возможность построения усредненных моделей реально существующих молекул на основе результатов структурно-группового анализа; возможность построения сложных структурных единиц (ССЕ) из имеющихся моделей молекул согласно описанным фундаментальным законам; построение технологически обоснованной схемы промышленного получения нефтяных смол из АСПО.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Снижение количества образующихся асфальтенов в ходе установления компонентного состава систем “нефть + ингибитор” согласно методике [54];
	Построенные модели усредненных молекул;
	Построение ССЕ из моделей молекул, согласующихся с фундаментальными законами природы;
	Построенная технологическая схема проекта получения нефтяных смол из АСПО.

2. Организационная структура проекта. Данные о составе рабочей группы данного проекта представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Рабочая группа проекта

№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1.	Бондалетов В.Г., НИ ТПУ, профессор ОХИ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Кривцова Ксения Борисовна, НИ ТПУ, инженер ОХИ	Эксперт проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600

Продолжение таблицы 16

3.	Тарасов В.Е., магистрант ОХИ ИШПР	Исполнитель проекта	Анализ литературных источников, проведение экспериментов в лаборатории, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
ИТОГО:				2800

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

В процессе создания ИСР структурировано и определено содержание всего проекта. На рисунке 31 приведена иерархическая схема для данного проекта.



Рисунок 31 - иерархическая структура работ проекта

4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта (Таблица 17), где НР - научный руководитель, Э – эксперт проекта, ФМ - консультант по разделу “Финансовый менеджмент”, СО - консультант по разделу “Социальная ответственность”, М - магистрант.

Таблица 17 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Составление и утверждение технического задания	1	08.02.2022	08.02.2022	НР, Э, ФМ, СО
Выбор направления исследования	3	09.02.2022	11.02.2022	НР, М
Обзор современных методов и патентных исследования по выбранному направлению	6	14.02.2022	21.02.2022	М
Календарное планирование работ по теме	1	22.02.2022	22.02.2022	НР, М
Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	4	23.02.2022	28.02.2022	НР, Э, М
Проведение экспериментов	59	01.03.2022	11.04.2022	М
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	3	12.04.2022	14.04.2022	НР, Э, М
Оценка эффективности проведенных исследований	1	15.04.2022	15.04.2022	НР, Э
Определение целесообразности проведения ОКР	2	18.04.2022	19.04.2022	НР, М
Разработка предполагаемой технологической схемы	2	20.04.2022	22.04.2022	НР, Э, М
Оценка эффективности	3	22.04.2022	26.04.2022	М
Сбор информации для выполнения раздела “Финансовый менеджмент”	3	27.04.2022	29.04.2022	М
Оформление раздела “Финансовый менеджмент”	3	02.05.2022	04.05.2022	М, ФМ
Сбор информации для раздела “Социальная ответственность”	3	05.03.2022	09.05.2022	М

Продолжение таблицы 17

Оформление раздела “Социальная ответственность”	2	10.05.2022	11.05.2022	М, СО
Составление пояснительной записки	10	12.05.2022	25.05.2022	НР, М
Сдача работы на рецензирование	3	26.05.2022	30.05.2022	М
Защита преддипломной практики	1	31.05.2022	31.05.2022	НР, М
Подготовка к защите ВКР	10	01.06.2022	14.06.2022	М
Защита ВКР	1	15.06.2022	15.06.2022	НР, М
Итого:	121			

Итоговое количество рабочих дней для членов рабочей группы: НР – 29, Э – 11, ФМ – 4, СО – 3, М – 72.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (Таблица 18).

Таблица 18 - Календарный план-график проведения научно-исследовательских работ по теме

№ п/п	Наименование работы	Исполнители	Т _к , кл.дн.	Продолжительность проведения работ													
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	НР, Э, ФМ, СО	1	■													
2	Выбор направления исследования	НР, М	3	■													
3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	М	6		■												
4	Календарное планирование работ по теме	НР, М	1		■												
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследования	НР, Э, М	4		■												
6	Проведение экспериментов	М	59	■	■	■	■	■	■	■	■						
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР, Э, М	3						■	■							
8	Оценка эффективности проведенных исследований	НР, Э	1							■							
9	Определение целесообразности проведения ОКР	НР, М	2							■							
10	Разработка предполагаемой технологической схемы	НР, Э, М	2								■	■					
11	Оценка эффективности	М	3							■							
12	Сбор информации для выполнения раздела «Финансовый менеджмент»	М	3								■	■					
13	Оформление раздела «Финансовый менеджмент»	М, ФМ	3								■	■					

4.4 Бюджет научно-технического исследования

Материальные затраты, необходимые для реализации данного научно-исследовательского проекта представлены в Таблица 19. Коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаем равным 20 %.

Таблица 19 – Материальные затраты для реализации научно-исследовательского проекта

Наименование затрат	Единица измерения	Количество		Цена за единицу, руб.		Затраты на материалы, руб.	
		Исп.1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Нефть	кг	2,0	4,0	20	20	40	80
Толуол	кг	1,0	3,0	200	200	200	600
Гексан	кг	16,0	28,0	670	670	10 720	18 760
Бензол	кг	24,0	36,0	360	360	8 640	12 960
Этанол	кг	16,0	28,0	250	250	4 000	7 000
Вата медицинская	кг	1,0	2,0	360	360	360	720
Фильтры беззольные	шт	1,0	2,0	96	96	96	192
Силикагель	кг	3,0	10,0	1250	1250	3 750	12 500
Итого						27 806	52 812

В статью «Специальное оборудование для научных работ» включили все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Результаты расчетов приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование оборудования	Количество		Цена за единицу, руб.		Затраты на оборудование, руб.	
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Колба со стеклянной пробкой, 250 мл	8	10	130		1 040	1 300
Колба круглодонная, 500 мл	4	8	522		2 088	4 176
Колба круглодонная, 250 мл	4	8	468		1 872	3 744
Экстрактор Сокслетта, 200 мл	4	-	1 259		5 036	-
Колонка хроматографическая, 1000 мм	-	8	3 762		-	30 096

Продолжение таблицы 20

Штатив лабораторный, 700 мм	4	8	3 980	15 920	31 840
Воронка стеклянная	-	12	156	-	1 872
Палочка стеклянная	5	5	5	25	25
Холодильник обратный	4	-	1 066	4 264	-
Стакан мерный, 100 мл	5	12	126	630	1 512
Стакан мерный, 200 мл	50	70	264	13 200	18 480
Цилиндр мерный, 100 мл	2	4	165	330	660
Стаканчик для взвешивания, 70x35	30	60	294	8 820	17 640
Весы аналитические	1	1	104 415	104 415	104 415
Колбонагреватель на 250 мл	2	-	9 200	18 400	-
Колбонагреватель на 500 мл	2	-	11 300	22 600	-
Роторный испаритель	1	1	228 000	228 000	228 000
Итого				426 640	443 760
Итого с учетом доставки и монтажа оборудования				490 636	510 324

В статью «Основная заработная плата исполнителей темы» включили основную заработную плату научных и инженерно-технических работников участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 - 30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 15. В таблице 21 представлен годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Консультант	Магистрант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней:			
- Выходные дни;	118	118	118
- Праздничные дни.			

Продолжение таблицы 21

Потери рабочего времени: Отпуск; Больничный.	56	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	191	191	219

Также для расчета оплаты труда будем использовать следующие коэффициенты:

- $Z_{тс}$ – базовый оклад, руб.;
- $k_{пр}$ – премиальный коэффициент (определяется положением об оплате труда);
- $k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок;
- $k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{д}$, руб.	$T_{р}$, руб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	Профессор, дн	52700	1	0,02	1,3	69880,20	3744,78	29	108 598,62
Эксперт проекта	Инженер-исследователь, Без степени	23800	1	0,02	1,3	31558,80	1691,19	11	18 603,09
Магистрант	-	2500	-	-	1,3	3250	174,16	72	12 539,52
Итого:									139 741,23

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, (5)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,10 – 0,15). Результаты занесены в таблицу 23.

Таблица 23 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Руководитель	0,10	108 598,62	10 859,86
Магистрант		12 539,52	1 253,95
Эксперт проекта		18 603,09	1 860,31
Итого:			13 974,12

Отчисления на социальные нужды (Таблица 24) отражают обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФР) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6)$$

где $Z_{\text{внеб}}$ – отчисления во внебюджетные фонды, руб.; $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.); $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата сотрудника, руб.

Таблица 24 – Расчёт отчислений во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб	$Z_{\text{доп}}$, руб	ПФР (22,0 %)	ФСС (2,9 %)	ФОМС (5,1 %)	$Z_{\text{внеб}}$, руб
Научный руководитель	108 598,62	10 859,86	26 280,87	3 464,30	6 092,38	35 837,55
Магистрант	12 539,52	1 253,95	3 034,56	400,01	703,47	4 138,04
Эксперт проекта	18 603,09	1 860,31	4 501,95	593,44	1 043,63	6 139,02
Итого	139 741,23	13 974,12	33 817,38	4 457,75	7 839,48	46 114,61

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{нр}} = (139 741,23 + 13 974,12) \cdot 0,16 = 24 594,46 \text{ руб.}, \quad (7)$$

где $Z_{\text{накл}}$ – накладные расходы, руб.; $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, его величина принимается в размере 16 %.

Бюджет затрат на реализацию научно-исследовательского проекта по каждому варианту исполнения представлен в Таблице 25.

Таблица 25 – бюджет исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп. 1	Исп. 2
Материальные затраты исследовательских работ	27806,00	52812,00
Затраты на специальное оборудование для исследовательских работ (амортизационные отчисления)	490636,00	510324,00
Затраты по основной заработной плате исполнительной группы	139741,23	139741,23
Затраты по дополнительной заработной плате исполнительной группы	13 974,12	13 974,12
Отчисления во внебюджетные фонды	46 114,61	46 114,61
Накладные расходы	24 594,46	24 594,46
Бюджет затрат исследовательских работ	742 866,42	787 560,42

Таким образом, в данном разделе был проведён и обоснован расчёт бюджета затрат на реализацию научно-исследовательского проекта. Итоговая сумма затрат составляет 742 866,42 руб. Расчёты были произведены с учётом актуальной информации о тарифах и ценах на материалы, оборудовании, оплате труда сотрудников.

4.5 Организационная структура проекта

В практике управления научными проектами используется ряд различных вариантов организации исследования, различающихся по ряду критериев. В случае данного научно-технического исследования выбрана проектная организационная форма, т.к. технология проекта новая. На рисунке 32 представлена структура проекта.



Рисунок 32 - Структура проекта

4.6 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. План управления коммуникациями для данного проекта приведен в таблице 26.

Таблица 26 – 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	Еженедельно (понедельник)
3.	Документы и информацию по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и контрольных точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.7 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 данному разделу приведена в таблице 27.

Таблица 27 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешние и внутренние анализы	Неисправность прибора
2	Погрешность расчетов	2	5	Низкий	Проверка, пересчет	Невнимательность

Продолжение таблицы 27

3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикации результатов	Отсутствие результатов исследования
---	--	---	---	--------	---	-------------------------------------

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

4.8.1 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:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0 \quad (8)$$

где:

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

I₀ – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета (t= 0, 1, 2 ...n)

n – горизонт расчета;

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 28. Продуктом научного исследования является патент на линейку рецептов ингибиторов, в качестве первоначальных инвестиций заложены затраты на проведение научного исследования, ожидаемая выручка от реализации складывается из платежей лицензиатов на право использования и составляет 5 000 000 руб. в год, при цене лицензии в 1 млн руб.

Таблица 28 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	5000000	5000000	5000000	5000000
2	Итого приток, руб.		5000000	5000000	5000000	5000000
3	Инвестиционные издержки, руб.	-742 866,42	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	1500000	1500000	1500000	1500000
5	Налогооблагаемая прибыль	0	3500000	3500000	3500000	3500000
6	Налоги 20 %, руб.	0	700000	700000	700000	700000
7	Чистая прибыль, руб.	0	2800000	2800000	2800000	2800000
8	Чистый денежный поток (ЧПД), руб.		3360000	3360000	3360000	3360000
9	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,909	0,826	0,751	0,683
10	Чистый денежный поток (ЧДД), руб.	-742 866,42	3054240	2775360	2523360	2294880
11	Σ ЧДД		9904973,58			
12	Итого NPV, руб.		9 162 107,16			

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств: $NPV > 0$, проект эффективен.

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:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 \quad (9)$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб; I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом, PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{9\,904\,973,58}{742\,866,42} = 12,33 \quad (10)$$

$PI > 1$, 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 29 и на Рисунке 33.

Таблица 29 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-742 866,42	3360000	3360000	3360000	3360000	
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	

Продолжение таблицы 29

	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	-742 866,42	3054240	2775360	2523360	2294880	9 904 973,58
	0,2	-742 866,42	2798880	2331840	1942080	1619520	7 949 453,58
	0,3	-742 866,42	2583840	1989120	1528800	1176000	6 534 893,58
	0,4	-742 866,42	2399040	1713600	1223040	873600	5 466 413,58
	0,5	-742 866,42	2241120	1491840	991200	665280	4 646 573,58
	0,6	-742 866,42	2100000	1310400	819840	514080	4 001 453,58
	0,7	-742 866,42	1975680	1125600	682080	376320	3 416 813,58
	0,8	-742 866,42	1868160	1038240	574560	319200	3 057 293,58
	0,9	-742 866,42	1767360	930720	490560	258720	2 704 493,58
	1,0	-742 866,42	1680000	840000	420000	208320	2 405 453,58

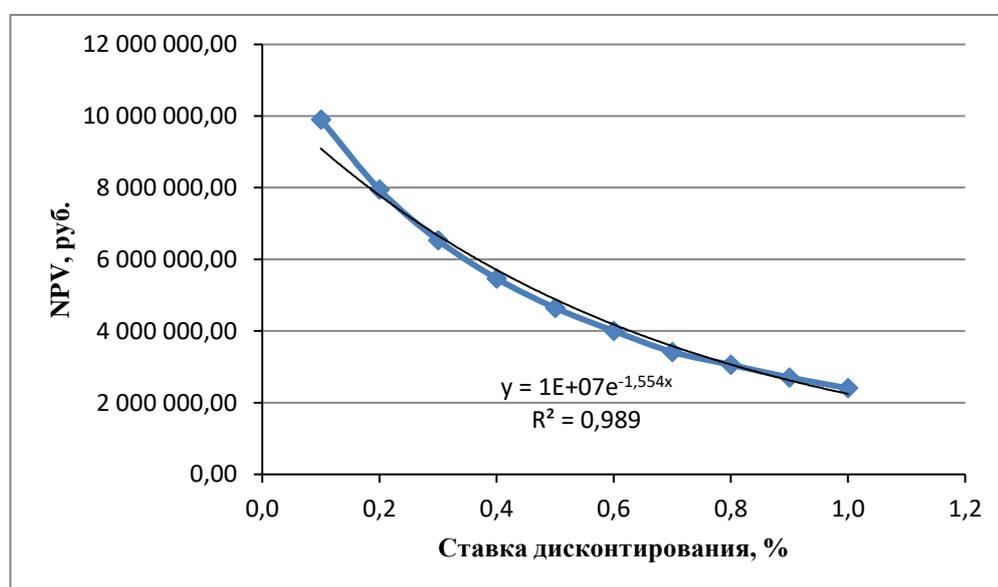


Рисунок 33 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается. Исходя из полученного в ходе аппроксимации уравнения видно, что при увеличении ставки NPV стремится к нулю, но никогда не достигает данного значения.

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 30).

Таблица 30 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,10$), руб.	-742866,4	3054240	2775360	2523360	229880
2	То же нарастающим итогом, руб.	-742866,4	2776581,82	1261527,27	764654,545	52245,4545
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP = 1 + 742866,4 / 3054240 = 1,24$ 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 31).

Таблица 31 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Накопление большого количество промышленных отходов (АСПО) в отвалах	Использование АСПО для получения ценного продукта для нефтяных предприятий
Нерентабельность или невозможность добычи тяжелого нефтяного сырья, влекущие замедление развитие нефтяной отрасли, и закрытие “отработанных” месторождений, имеющих запас тяжелого сырья	Бурное развитие нефтедобычи и нефтепереработки тяжелых нефтей, вследствие упрощения и удешевления процесса работы с ними

4.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности исследования. Его нахождение 110 связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (11)$$

Где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для исполнения 1: $I_{\text{финр}}^1 = 742\,866,42 / 787\,560,42 = 0,94$

Для исполнения 2: $I_{\text{финр}}^2 = 787\,560,42 / 787\,560,42 = 1.$

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 (Таблица 32) вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_p^i = \sum a_i \cdot b_i, \quad (12)$$

где I_p^i – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^1, b_i^2 – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Таблица 32 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент	Исп. 1	Исп. 2
Повышение производительности труда пользователя	0,10	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителя)	0,15	5	4
Надежность	0,20	5	4
Простота эксплуатации	0,10	4	5
Энергоэкономичность	0,25	4	4
Безопасность	0,20	5	4
Итого	1,00	4,7	4,2

$$I_p^1 = 5 * 0,10 + 5 * 0,15 + 5 * 0,20 + 4 * 0,10 + 4 * 0,25 + 5 * 0,20 = 4,65;$$

$$I_p^2 = 4 * 0,10 + 4 * 0,15 + 4 * 0,20 + 4 * 0,10 + 4 * 0,25 + 4 * 0,20 = 4,10.$$

Интегральный показатель эффективности исполнения 1 и исполнения 2 определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1}^1 = I_p^1 / I_{финр}^1 = 4,65 / 0,94 = 4,95; \quad (13)$$

$$I_{исп2}^2 = I_p^2 / I_{финр}^2 = 4,10 / 1 = 4,10;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта (исполнение 1) и аналога (исполнение 2) позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 33).

Сравнительная эффективность проекта:

$$Э_{\text{ср}} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{4,95}{4,10} = 1,21 \quad (14)$$

где $Э_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; I_1 – интегральный показатель исполнения 1; I_2 – интегральный технико-экономический показатель исполнения 2.

Таблица 33 - Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	1,00
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,10
Интегральный показатель эффективности	4,95	4,10
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,21	1,00

Таким образом, при определении ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования был сделан вывод о том, что представленный проект в первом исполнении является наиболее эффективным.

В ходе данной работы была проведена оценка коммерческой ценности разработки. Основными потребителями являются заводы нефтехимического сегмента, такие как ПАО «Роснефть», ПАО «Сургутнефтегаз» и другие нефтяные компании. Данное проектное решение выгодно отличается своей эффективностью от ближайших конкурентов на рынке благодаря ряду факторов:

- Использование отходов нефтепромысла в качестве сырья;
- Использование более простых технологий;
- Малые энергетические затраты;
- Малый расход вспомогательных веществ благодаря простоте их регенирации в ходе производственного цикла.

В ходе SWOT-анализа были выявлены слабые места проекта, а также возможные угрозы, связанные с его реализацией. Для них были найдены решения на основе сильных сторон и возможностей для научно-исследовательского проекта. Основными задачами являются: оптимизация технологии получения смол для изготовления ингибитора, а также внедрение продукта на внутренний и внешний рынки.

В процессе формирования бюджета НИИ были рассчитаны основные затраты. Необходимый бюджет для реализации научно-технического исследования составил 742 866,42 руб. Также определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 9 162 107,16 руб; индекс доходности $PI = 1,65$; срок окупаемости $PP_{\text{дск}} = 1,24$ года.

Заключительным этапом было определение эффективности проекта. На основании таблицы 26 можно сделать вывод, что полученный в ходе расчетов первый вариант решения, является оптимальным как с финансовой стороны, так и с позиции ресурсной эффективности.

Апробация работы

Результаты исследований были представлены на следующих конференциях и конкурсах:

- Тарасов В.Е., Исследование влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы / В.Е. Тарасов, К.Б. Кривцова // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера. В 2 томах. Том 2 (г. Томск, 16–19 мая 2022 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2022 – С. 102 – 103.
- XXVI Международный научный симпозиум молодых ученых и студентов имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», посвященный 90-летию со дня рождения Н.М. Расказова, 120-летию со дня рождения Л.Л. Халфина, 50-летию научных молодежных конференций имени академика М.А. Усова (г. Томск, ТПУ, 4 – 8 апреля 2022 г.);
- XIX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (г. Томск, ТГУ, 26 – 29 апреля 2022 г.);
- Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии - нефтегазовому региону» (г. Тюмень, ТИУ, 17 – 19 мая 2022 г.);
- VII Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов «Наука будущего - наука молодых» (НГТУ, Новосибирск);
- XII международная конференция «Химия нефти и газа», (Томск, ИХН СО РАН, 26 – 30 сентября 2022 г.);
- Кривцова К. Б., Тарасов В.Е. Исследование влияния природных нефтяных смол на агрегативную устойчивость НДС легких и средних нефтей //

Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2022.