

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Химическая технология подготовки и переработки нефти и газа»
 Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы

УДК 665.775.4:661.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Стреляев Артём Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов Вячеслав Алексеевич	К.Т.Н.		

Консультант

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ОСГН ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.01

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать <i>новые</i> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <i>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <i>выводить на рынок новые материалы</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Химическая технология подготовки и переработки нефти и газа»
 Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Юрьев Е.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Стреляеву Артёму Дмитриевичу

Тема работы:

Исследование влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 02.02.2021 г. № 33-23/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2021 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Образцы тяжёлых нефтей различных месторождений. 2. Реагенты и вспомогательные материалы для разработки рецептур смесей. 3. Реагенты и вспомогательные материалы для анализа компонентного состава образцов.
<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,</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 Литературный обзор. <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Тяжёлое нефтяное сырьё. 1.2 Нефтяная дисперсная система. 1.3 Асфальтены и смолы как основной структурирующий компонент нефтяных дисперсных систем.

<p>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>2 Объект и методы исследования. 3 Результаты проведённого исследования. 3.1 Гравиметрический анализ. 3.2 Компонентный состав образцов. 3.3 Разработка статистической модели на основе экспериментальных данных. 3.4 ИК-спектральный анализ образцов. 3.5 Структурно-групповой анализ образцов. 3.6 Механизмы ингибирования образования асфальтовых агрегатов. 3.7 Технологическая схема выделения нефтяных смол. 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>–</p>
--	----------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Спицына Любовь Юрьевна, к.э.н., доцент отделения социально-гуманитарных наук ШБИП</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович, старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин ШБИП</p>

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

<p>–</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p></p>
--	---------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОХИ ИШПР</p>	<p>Чузлов Вячеслав Алексеевич</p>	<p>к.т.н.</p>	<p></p>	<p></p>
<p>Инженер ОХИ ИШПР</p>	<p>Кривцова Ксения Борисовна</p>	<p>-</p>	<p></p>	<p></p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2Д7В</p>	<p>Стреляев Артём Дмитриевич</p>	<p></p>	<p></p>

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Стреляев Артёму Дмитриевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 2 млн. руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 700 тыс. руб. Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16 %; Норма амортизации – 20 %.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды – 30 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение этапов работ; Определение трудоемкости работ; Разработка графика Ганта; Определение затрат на проектирование (смета затрат).</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет интегрального показателя эффективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Стреляев Артём Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Стреляеву Артёму Дмитриевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Исследование влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является исследование влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы. Область применения: изучение влияния смесей-ингибиторов на основе природных нефтяных смол различной концентрации на устойчивость нефтяной дисперсной системы при нарушении коллоидного равновесия воздействием избытка лёгкого растворителя. Рабочая зона: научно-исследовательская лаборатория «Природные энергоносители» (134 аудитория 2 корпуса НИ ТПУ).</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p>	<p>Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Воздействие вредных веществ; – Неудовлетворительный микроклимат; – Повышенный уровень шума; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Поражение электрическим током; – Пожаровзрывоопасность на объектах. <p>Выводы на соответствие допустимым условиям труда согласно специальной оценке условий труда.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. – Решение по обеспечению экологической безопасности.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – Выбор наиболее типичной ЧС; – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий; – Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
--	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ООД	Гуляев Милий Всеволодович	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Стреляев Артём Дмитриевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 140 с., 35 рисунков, 25 таблиц, 53 источников литературы.

Ключевые слова: нефтяные дисперсные системы, асфальтеновые агрегаты, нефтяные смолы, ингибитор осаждения асфальтенов, коллоидная устойчивость.

Объектами исследования являются два образца нефтяного сырья, имеющие различные физико-химические характеристики.

Цель работы: исследовать влияние ингибирующих смесей на основе природных нефтяных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы с целью предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений.

В результате исследования были установлены и описаны механизмы взаимодействия различных фракций смол и асфальтенов при нарушении коллоидной устойчивости нефтяной дисперсной системы; сделан вывод о пригодности использования смесей-ингибиторов на действующих производствах нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего комплексов.

Область применения: в рамках научных исследований представленные результаты вносят большой вклад в фундаментальные аспекты науки химии нефти; в рамках практического применения на действующих предприятиях нефтехимического сектора представленные результаты предполагают создание смесей-ингибиторов для различного типа нефтяного сырья, что позволит обеспечить снижение количества образующихся асфальтосмолопарафиновых отложений. Разработанная математическая модель позволит унифицировать состав смеси-ингибитора для любого месторождения.

Экономическая значимость работы обусловлена снижением затрат на ремонтные работы по удалению асфальтеновых отложений из трубопроводов и различных производственных объектов.

Определения, обозначения, сокращения

АСПО – асфальтосмолопарафиновые отложения;

ДМСО – диметилсульфоксид;

ДМФА – диметилформамид;

ДС – дисперсионная среда;

ДФ – дисперсная фаза;

ККМ – критическая концентрация мицеллообразования;

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

Введение.....	14
1 Литературный обзор	18
1.1 Тяжёлое нефтяное сырьё.....	18
1.1.1 Классификация тяжёлого нефтяного сырья.....	18
1.1.2 Химический состав тяжёлого нефтяного сырья.....	19
1.2 Нефтяная дисперсная система	23
1.2.1 Основные теории строения нефтяных дисперсных систем.....	24
1.2.2 Современные представления о нефтяных дисперсных системах...	27
1.2.3 Проблемы добычи и переработки, связанные с особенностями нефтяных дисперсных систем.....	31
1.2.4 Коллоидные взаимодействия, происходящие в тяжёлом нефтяном сырье.....	32
1.2.4.1 Классификация и механизмы взаимодействий в тяжёлом нефтяном сырье.....	32
1.2.5 Коллоидные взаимодействия, происходящие в нефтяных дисперсных системах.....	40
1.2.5.1 Классификация и механизмы взаимодействий в нефтяных дисперсных системах.....	40
1.3 Асфальтены и смолы как основной структурирующий компонент нефтяных дисперсных систем.....	44
1.3.1 Асфальтены – строение, свойства, особенности	45
1.3.1.1 Основные фракции асфальтенов	46
1.3.2 Смолы – строение, свойства, особенности.....	49
1.3.2.1 Основные фракции смол	50
2 Объект и методы исследования.....	53
2.1 Характеристика объекта исследования	53
2.2 Описание применяемой методики эксперимента.....	53
2.3 Методы исследования	54

2.3.1	Определение физико-химических показателей	54
2.3.2	Компонентный состав	55
2.3.3	ИК-спектральный анализ	56
2.3.4	Элементный анализ.....	57
2.3.5	Спектроскопия ядерно-магнитного резонанса	57
2.3.6	Определение молекулярной массы	58
3	Результаты проведённого исследования	59
3.1	Гравиметрический анализ	59
3.2	Компонентный состав образцов	63
3.3	Разработка статистической модели на основе экспериментальных данных	69
3.4	ИК-спектральный анализ образцов.....	71
3.5	Структурно-групповой анализ образцов	75
3.6	Механизмы ингибирования образования асфальтовых агрегатов.	79
3.7	Технологическая схема выделения нефтяных смол.....	82
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	84
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	84
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	84
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	86
4.1.3	SWOT-анализ.....	88
4.2	Определение возможных альтернатив проведения научного исследования.....	92
4.3	Планирование научно-исследовательских работ	94
4.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	94
4.3.2	Определение трудоёмкости выполнения работ	97
4.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	99
4.3.4	Бюджет научно-технического исследования	103

4.3.4.1 Расчёт материальных затрат научно-технического исследования	103
4.3.4.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	104
4.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	105
4.3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	107
4.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	108
4.3.4.6 Накладные расходы	108
4.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-технического проекта	109
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	109
Выводы	112
5 Социальная ответственность	113
Введение	113
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	114
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	114
5.1.2 Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя	115
5.2 Производственная безопасность	116
5.2.1 Воздействие вредных веществ	117
5.2.2 Неудовлетворительный микроклимат	120
5.2.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте	120
5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны	121
5.2.5 Поражение электрическим током	122
5.2.6 Пожаровзрывоопасность на объектах	123
5.3 Экологическая безопасность	125
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	126
5.4.1 Анализ возможных чрезвычайных ситуаций при разработке и эксплуатации проектируемого решения	126

5.4.2	Выбор наиболее типичной чрезвычайной ситуации.....	127
5.4.3	Разработка превентивных мер по предупреждению чрезвычайной ситуации.....	127
5.4.4	Разработка действий в результате возникшей чрезвычайной ситуации и мер по ликвидации её последствий.....	128
5.4.5	Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	128
	Выводы.....	129
	Заключение	130
	Список публикаций студента	132
	Список использованных источников	136

Введение

В связи с интенсивным истощением запасов лёгкого углеводородного сырья в мире остро стоит вопрос о вовлечении в переработку нетрадиционных источников углеводородов, в первую очередь высоковязких нефтей и природных битумов. Их мировые запасы значительно превышают запасы традиционной нефти и по данным [1] на 2020 г. составляют около 350 млрд т.

Вовлечение тяжёлого нефтяного сырья в процессы добычи и переработки требует модернизации имеющихся схем и разработки новых технологий, позволяющих достигать высоких мощностей нефтедобычи и обеспечивающих максимальных выход целевого продукта – светлых дистиллятов высокого качества для последующего производства моторных топлив и масел. Проблема добычи и переработки ТНС не нова, однако по-прежнему остаётся актуальной. На данный момент на российских НПЗ до сих пор нет приемлемых технологий добычи, транспортировки и переработки тяжёлых нефтей, обеспечивающих высокую рентабельность производства [2].

Первостепенную роль при выборе путей добычи и переработки тяжёлых нефтей играет количественное содержание в сырье смолисто-асфальтеновых веществ. САВ являются высокомолекулярными соединениями нефти, в которых сконцентрировано большое количество гетероатомов (S, O, N) и металлов переходных групп (Fe, V, Ni) [3]. Данные компоненты ввиду своего молекулярного строения обуславливают повышение таких физико-химических показателей нефти, как плотность и вязкость. Вследствие чего изменяются реологические свойства сырья, затрудняющие перемещение нефти по трубопроводам на всех этапах производственного цикла.

Количество САВ в тяжёлом углеводородном сырье определяет свойства дисперсной среды и дисперсной фазы нефтяной дисперсной системы, а также агрегативную устойчивость сырья в процессах термического воздействия (термодеструкция, термолиз). В НДС смолы и асфальтены выступают в качестве

основного структурирующего компонента, влияющего на строение и устойчивость системы в целом [3].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью предотвращения нарушения агрегативной устойчивости нефтяной дисперсной системы, образования асфальтовых агрегатов и, как следствие, асфальтовых отложений на стенках производственного оборудования.

Цель исследования заключается в изучении влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных нефтяных смол 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 смесей-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 асфальтовых агрегатов.

Объектом исследования были выбраны два образца тяжёлых нефтей Поселковского и Усинского месторождений, фракции смолистых веществ, созданный ряд смесей-ингибиторов на основе природных нефтяных смол.

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

Научная новизна исследования заключается в:

- показанной возможности применения смесей-ингибиторов на основе природных нефтяных смол для предотвращения образования асфальтеновых отложений;
- установленном межклассовом перераспределении сродственных компонентов, которое наблюдается для бензольных смол и асфальтенов и обусловлено близкими значениями взаимных потенциалов;
- 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 смесей-ингибиторов на основе природных нефтяных смол для предотвращения образования асфальтосмолопарафиновых отложений асфальтенового типа на стенках производственного оборудования;
- разработанной математической моделью на основе полученных экспериментальных данных, которая позволяет прогнозировать концентрационное соотношение природных нефтяных смол, необходимое для предотвращения образования асфальтеновых отложений;
- разработанной технологической схемой выделения фракций природных нефтяных смол жидкофазной экстракцией из АСПО или нефтяного сырья с помощью диметилформамида и диметилсульфоксида.

Апробация работы:

Основные результаты работы были представлены на следующих конференциях:

XXIV и XXV Международные научные симпозиумы студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения

недр» (Томск, 2020 и 2021); XVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук» (Томск, 2021); XVII Международный форум-конкурс студентов и молодых учёных «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2021); XXI и XXII Международные научно-практические конференции «Химия и химическая технология в XXI веке» студентов и молодых учёных имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера (Томск, 2020 и 2021); XXXI Менделеевская школа-конференция молодых учёных (Москва, 2021).

1 Литературный обзор

1.1 Тяжёлое нефтяное сырьё

В данной главе речь пойдёт об альтернативном источнике получения углеводородов – тяжёлом нефтяном сырьё. Рассмотрены его классификация, компонентный состав и строение. Даны общие положения о нефтяных дисперсных системах, основные теории строения и современные представления о них. Представлены коллоидные взаимодействия в ТНС и НДС, их классификация и механизмы.

1.1.1 Классификация тяжёлого нефтяного сырья

Тяжёлое нефтяное сырьё – тип углеводородного сырья, характеризующийся низким содержанием целевых моторных фракций и высоким содержанием сера-, азот-, кислородсодержащих соединений и металлов переходных групп. Вследствие чего ТНС имеет высокие показатели реологических свойств и трудности при процессах добычи, транспортировки и переработки [2].

Природное тяжёлое нефтяное сырьё подразделяется на три основных типа: тяжёлые нефти, битуминозные пески и битумы, внешний вид которых представлен на Рисунок 1. Рассмотрим подробнее каждый тип, его физико-химические свойства, классификацию.



Рисунок 1 – Внешний вид различного типа тяжёлого нефтяного сырья:

А – тяжёлая нефть, Б – битуминозный песок, В – природный битум

Тяжёлые нефти – нефти, которые обладают специфическими физико-химическими характеристиками, высоким содержанием САВ, присутствием большого количества гетероатомных соединений и некоторого количества тяжёлых металлов. Вследствие чего не могут быть извлечены на поверхность традиционными способами [4].

Битуминозные пески – тип горючего полезного ископаемого, представляющего собой смесь мокрого песка и глины, пропитанную битумом. По содержанию органической части делятся на богатые или интенсивные (более 10 % мас. битума), средние (от 5 до 10 % мас.) и тощие (до 5 % мас.). Классификация битумов, выделенных из битуминозных песков, соответствует классификации природных битумов [5].

Битумы – тип каустобиолитов, который представляет собой продукт естественных преобразований нефтей, залегающих в недрах в разнообразном состоянии. Состоят из высокомолекулярных соединений и азотистых, кислородных, сернистых и металлосодержащих производных углеводородов. Наиболее распространены нафтиды, в меньшей степени – нафтоиды. Битумы подразделяются на 5 типов: мальты, асфальты, асфальтиты, кериты, антраксолиты [6].

1.1.2 Химический состав тяжёлого нефтяного сырья

Сведения о химическом составе нефтяных систем являются необходимым для прогнозирования фазового состояния и свойств фаз при различных термобарических параметрах, наблюдаемых в процессах добычи, транспортировки и переработки нефтей [7]. Нефтяные системы характеризуются многообразием компонентов, которые способны находиться в молекулярном или дисперсном состоянии в зависимости от условий. В состав нефтей входят наиболее и наименее склонные к межмолекулярным взаимодействиям различного рода компоненты, обуславливающие дисперсность нефтяных систем и происходящие ассоциативные явления.

Химический состав нефтей может быть элементным и компонентным. Основными химическими элементами являются углерод (от 82 до 87 %), водород (от 11 до 14 %). Также присутствуют сера (от 0,01 до 7 %), азот (от 0,005 до 1,8 %) и кислород (от 0,005 до 1,2 %). Отмечено следовое содержание таких элементов как железо, магний, алюминий, медь, олово, натрий, кобальт, хром, германий, ванадий и др [7].

Компонентным составом нефтяного сырья называют массовое соотношение, выраженное в процентах, углеводородов и гетероорганических соединений. К первым относят насыщенные, ароматические УВ и церезины, ко вторым – сера-, азот-, кислородсодержащие соединения.

К насыщенным углеводородам относятся алканы. Различают алканы нормального строения, изостроения, изопреноидного строения и цикланы. Содержание алканов в нефти варьируется от 30 до 70 %. Алканы присутствуют в нефтях в виде растворённых газов от C_1 до C_4 . Жидкие алканы (от C_5 до C_{16}) составляют основную массу жидких фракций нефти. Твёрдые алканы (от C_1 до C_4) входят в состав тяжёлых нефтяных фракций и называются твёрдыми парафинами. Их содержание невелико, однако, твёрдые алканы наблюдаются во всех нефтях, и их содержание варьируется от 0,1 до 5 % мас., в редких случаях до 12 %. В нефти присутствуют всевозможные изомеры алканов (от моно- до тетра-), однако, в основном преобладают монозамещённые. К алканам изопреноидного строения относят алканы с метильными группами в положениях 2, 6, 10, 14, 18 и т.д. Наиболее распространёнными являются пристан и фитан. Их содержание варьируется от 1,0 до 1,5 % мас. [7].

Нафтенновые углеводороды (циклоалканы) являются обособленной частью алканов (как и изопренаны) и преобладают над другими УВ, так как их содержание варьируется от 25 до 75 % мас. Присутствуют во всех нефтяных фракциях. Цикланы в свою очередь подразделяются на моно- и полициклические. Из моноциклических преобладают УВ пяти- и шестичленных рядов. Бицикланы представлены пенталаном, гидринданом, норборнаном и их ближайшими гомологами. Трицикланы представлены преимущественно

алкилпергидрофенантренами, тетрацикланы – производными циклопентано-пергидрофенантрена – стеранами. Пентацикланы представляют собой углеводородные ряды гопана, лупана, фриделана [7].

Ароматические УВ (арены) представлены соединениями, которые имеют циклические углеводороды с π -сопряжёнными системами в молекулах. Их содержание достигает от 10 до 50 % мас. Арены подразделяются на моноциклические, бициклические, трициклические и тетрациклические. Моноарены представлены алкилбензолами, бицикланы – производными нафталина, такими как аценафтен, флуорен и ряд его гомологов. Триарены представлены производными фенантрена и антрацена, тетрацикланы включают в себя ряды хризена, пирена, бензофенантрена и трифенилена [7].

Гибридные углеводороды – особый класс УВ, представленные углеводородами смешенного строения (парафино-нафтенового, парафино-ароматического и нафтено-ароматического). Церезины являются твёрдыми алканами с примесью длинноцепочечных углеводородов, которые содержат нафтеновое или ароматическое кольцо [7]. В связи с чем данный класс УВ является основной частью АСПО парафинового типа в процессах добычи и переработки.

Сераорганические соединения представлены алифатическими, алициклическими и ароматическими тиолами (меркаптанами). Основные представители: тиолы, тиофенолы, циклоалкантиолы, ареноалканотиолы, тионафтолы. Тиоэфиры (сульфиды) представлены тиаалканами, тиаалкенами, тиаалкинами, диарилсульфидами, тиациклоалканами, алкиларилсульфидами, арилтиакланами. Тиофены и их производные представлены алкилбензотиофенами, алкилбензонафтотиофенами и алкилдибензотиофенами [7].

Кислородсодержащие соединения представлены веществами кислого и нейтрального характера. К кислым компонентам относят карбоновые кислоты и фенолы, к нейтральным – кетоны, ангидриды и амиды кислот, сложные эфиры, производные фурана, спирты и лактоны [7].

Азотсодержащие соединения представлены азотистыми основаниями и нейтральными соединениями. К сильноосновным соединениям относят пиридины, пиперидины, хинолины, изохинолины, бензохинолины, акридины, к слабоосновным – анилины, амиды, имиды, пирролы. К нейтральным соединениям относят индзолы (бензпирролы), карбазолы и их нафтеновые и серосодержащие производные. Также были выделены и нефтяного сырья полиароматические соединения с двумя атомами азота в молекуле (феназин), соединения с двумя гетероатомами в одном цикле (тиазолы, бензтиазолы и их алкил- и нафтеновые гомологи), соединения с двумя гетероатомами в разных циклах (тиофенсодержащие алкил-, циклоалкилиндолы и карбазолы), соединения с карбонильной группой в азотсодержащем гетероцикле (пиперидоны и хинолоны) [7]. Особый интерес представляют порфирины, которые являются типичным примером нативных нефтяных комплексных соединений.

Смолисто-асфальтеновые вещества являются наиболее представительной группой высокомолекулярных гетероорганических соединений нефти. Среди характерных особенностей САВ выделяют значительные молекулярные массы, наличие в составе различных гетероатомов, полярность, парамагнетизм, высокая склонность к межмолекулярным взаимодействиям и ассоциации, полидисперсность, выраженные коллоидно-дисперсные свойства. Сера в САВ входит преимущественно в состав гетероциклов (тиофеновых, тиациклановых, тиазольных), тиольных групп и сульфидных мостиков. Кислород в данном классе веществ представлен в гидроксильных (фенольных, спиртовых), карбоксильных, эфирных (простых, сложных лактонных), карбонильных (кетонных, хинонных) групп и фурановых циклов. Азот входит в состав фрагментов пиридинового (основного), пиррольного (нейтрального) и порфиринового (металлокомплексного) типа.

При определении компонентного состава нефтяного сырья обычно выделяют асфальтены, смолы и масла. При воздействии на сырьё большим количеством лёгкого растворителя происходит осаждение веществ, которые

принято называть асфальтенами. Помимо этого, протекает процесс сольватирования, при котором образуются мальтены, которые состоят из углеводов и смол. К карбенам относят вещества, которые растворимы в сероуглероде, к карбоидам относят вещества, которые нерастворимы в сероуглероде и других высокополярных растворителях.

В таблице 1 приведён компонентный состав природного тяжёлого нефтяного сырья.

Таблица 1 – Компонентный состав природного ТНС

Тип ТНС	Компонентный состав, % мас.			
	Масла	Смолы	Асфальтены	Карбоиды
Тяжёлая нефть	65 ÷ 100	0 ÷ 30	0 ÷ 5	0
Мальты	45 ÷ 65	30 ÷ 40	5 ÷ 15	0
Асфальты	25 ÷ 45	30 ÷ 50	15 ÷ 40	0
Асфальтиты	5 ÷ 25	5 ÷ 50	30 ÷ 90	0 ÷ 10
Кериты	1 ÷ 20	5 ÷ 20	1 ÷ 50	10 ÷ 95
Антраксолиты	-	-	-	95 ÷ 100

1.2 Нефтяная дисперсная система

Дисперсное состояние характерно для нефтяных систем как при нахождении сырья в пласте, так и в условиях добычи, транспортировки, переработки и других технологических операций с ним. Находясь в коллоидно-дисперсном состоянии, которое возникает при зарождении новой фазы при проведении различных технологических операций, НДС оказывает влияние на смачиваемость нефтеносного пласта. К НДС относятся практически все типы углеводородного сырья, разные типы нефтепродуктов от топлив до коксов различной степени анизотропности и химические реагенты на основе углеводов, которые применяются в нефтехимической промышленности [8].

В классическом представлении дисперсная система – гетерогенная система, в которой по крайней мере одна из фаз находится в дисперсном (раздробленном) состоянии. Такая фаза называется дисперсной, а другая

составляющая системы является непрерывной и называется дисперсионной средой [9].

Нефтяная дисперсная система – дисперсная система, образованная углеводородными компонентами нефти, является строго упорядоченной, жёсткой и напряжённой системой. Имеет свойства, присущие классическим ДС, но при этом не подвергается общей классификации [8].

1.2.1 Основные теории строения нефтяных дисперсных систем

В конце XX века на V всесоюзной конференции по коллоидной химии впервые были представлены гипотезы строения НДС, давшие толчок развитию данного направления. Главная роль в теории НДС отводится концепциям о существовании структурных единиц различного типа, особенностью которых, в отличие от классических дисперсных частиц, является их формирование в дисперсных системах, состоящих из большого числа компонентов [8].

Основными причинами существования дисперсной фазы в НДС являются межмолекулярные взаимодействия и фазовые переходы. Таким образом ММВ обеспечивают склонность к ассоциации углеводородных и не углеводородных компонентов, а образование частиц происходит при протекании фазовых переходов, составляющих физико-химическую основу большинства технологических процессов нефтехимии.

Коллоидная структура НДС была долгим дискуссионным вопросом химии нефти, что обусловлено природой высокомолекулярных соединений нефти, отсутствием единого метода изучения данных систем и трудностями анализа и интерпретации результатов без учёта специфических свойств САВ [10].

Нелленштейном Ф.И. [11] были тщательно исследованы коллоидно-химические свойства асфальтовых битумов, при этом учёный рассматривал битум как защищённый масляный золь углерода. Согласно его модели в центре мицеллы находятся твёрдые частицы, являющиеся продуктами разложения углеводородов, т.е. радикалы. Исследователь представлял, что мицеллы

образуют углеродные ядра с защитными телами, в качестве которых выступали высоконенасыщенные полициклические углеводороды с большим содержанием серы и кислорода. В качестве среды этих коллоидных систем выступали маслянистые вещества. Стабильность такой системы определялась соотношением мицелла/среда. Показательным результатом изменения устойчивости являются процессы флокуляции, пептизации и седиментации, которые могут быть как обратимыми, так и необратимыми при полном разрушении мицеллы. Дальнейшее развитие данная теория не получила ввиду некоторых обстоятельств [10].

Позднее в своих исследованиях Пфейфер И.П. и Сааль Р.Н.И. [12] полагали, что коллоидное строение битума заключается в образовании мицелл с асфальтовыми ядрами и смолами, которые захватываются комбинацией ароматических, алифатических и нафтеновых углеводородов. Причем стоит отметить, что между собой компоненты связаны химически. Смолистые вещества подвергаются процессам адсорбции и десорбции на поверхности либо внутри асфальтенов. В данной модели вещества, имеющие большую степень ароматичности и молекулярную массу, располагаются в непосредственной близости с ядром мицеллы. С увеличением радиуса мицеллы понижается степень ароматичности и молекулярная масса [12].

Уитерспун П.А. и Уиннифорд Р.С. [13] выдвинули гипотезу о том, что образование коллоидных частиц асфальтенов происходит при взаимодействии пачечных асфальтовых структур между собой с дальнейшим формированием мицеллы. К тому же учёные отметили возможность включения в ароматические слои асфальтенов в мицелле ароматических соединений, их сернистых и азотистых производных, а также смол.

Нойманн Х.И. [14] предположил, что в качестве ядра мицеллы выступают молекулы неорганических солей, которые окружены группами органических соединений. Эти вещества располагаются вовнутрь своими функциональными группами и диспергируются как во внутренних, так и в наружных слоях мицеллы. Данная теория противоречит свойствам нефтяных соединений.

Поддерживая пачечную концепцию структурной организации асфальтенов, Сергиенко С.Р. [15] выдвинул теорию образования ассоциатов в нефти по типу «виноградной грозди». Стоит отметить, что данная теория не нашла ни экспериментального, ни теоретического подтверждения.

Йеном Т.Ф. [16] была разработана наиболее распространенная структурная гипотетическая модель. Согласно данной теории в средней молекуле асфальтенов содержится ядро, которое составлено из пластин конденсированных ароматических колец. В данной системе резонансом делокализованных π -электронов обеспечивается стабильность неспаренных электронов, которые возникают из-за структурных особенностей внутренних участков планарных полиядерных ароматических пластин. Руководствуясь данными рентгеноструктурного анализа, было выявлено, что около пяти пластин ассоциируются посредством π - π -взаимодействий. Механизм агрегации асфальтенов представлен на Рисунок 2.

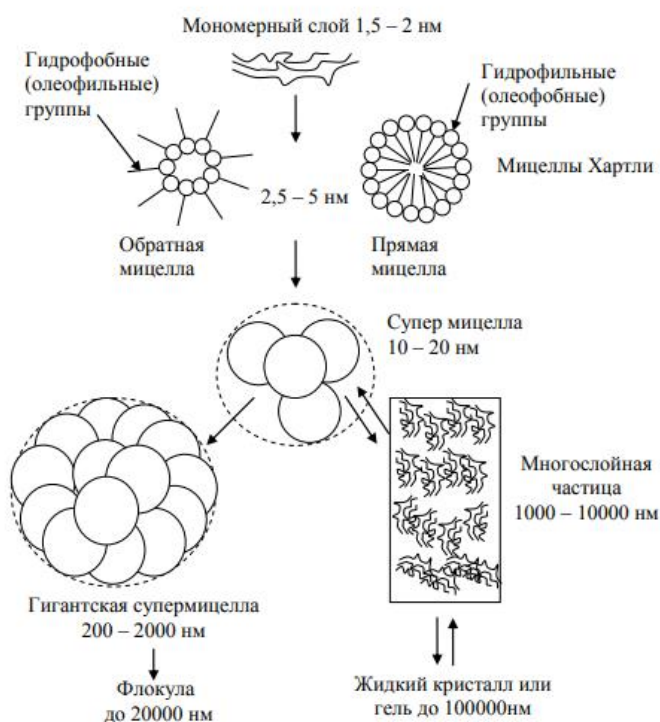
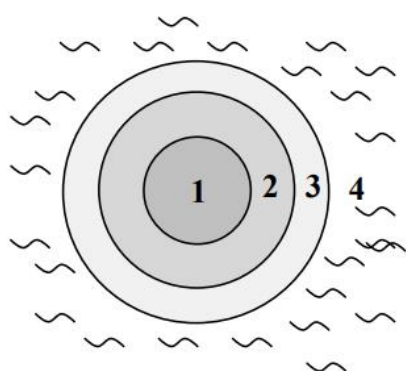


Рисунок 2 – Модель агрегации асфальтенов по теории Йена Т.Ф.

Сегодня для обозначения структурного элемента НДС используется термин сложная структурная единица (ССЕ), введенный Сюняевым З.И. [17].

Это элемент нефтяной системы преимущественно сферической формы, способный к самостоятельному существованию при неизменных условиях и образованный из компонентов нефтяной системы. В центре располагается упорядоченная область, названная ядром и образованная в большинстве случаев высокомолекулярными алканами, полиареновыми углеводородами и смолисто-асфальтовыми веществами. Сольватная оболочка, окружающая ядро, образована из менее склонных к межмолекулярным взаимодействиям соединений. Использование в данном случае термина «мицелла» не является допустимым. Принципиальная структура ССЕ представлена на Рисунок 3.

Главное отличие сложной структурной единицы от мицеллы состоит в том, что в образовании ССЕ могут участвовать углеводороды любого строения, в частности дифильного, и в том, что размеры ядра и сольватной оболочки ССЕ могут быть переменными [8].



1. Ядро (жидкость, газ, твёрдое тело)
2. Сольватная оболочка
3. Переходная зона
4. Дисперсионная среда

Рисунок 3 – Принципиальное строение ССЕ

1.2.2 Современные представления о нефтяных дисперсных системах

В современном представлении НДС является сложной коллоидной системой органических соединений. Дисперсионной средой в данной системе является смесь взаиморастворимых смол и гибридных структур полициклических УВ, а дисперсной фазой – твёрдые вещества, представленные асфальтенами, карбенами и карбоидами [10]. Стабильность такой коллоидной системы, по мнению Сергиенко С.Р. [18], обеспечивается наличием в ней поверхностно-активных компонентов, химической природой

высокомолекулярных УВ и соотношением её основных компонентов – углеводов, смол и асфальтенов.

Благодаря развитию инструментальных методов для исследования НДС, было выявлено, что пачечная структура ядер дисперсных частиц не обязательна. Количество таких структур в асфальтеновом осадке составляет порядка $4 \div 6$ %. Рост доли пачечных структур происходит с увеличением степени переработки сырья.

На фоне развития методов анализа и появления большого количества научных работ, возникло новое фундаментальное направление в химии нефти, которое носит название физической химии парамагнитных молекул нефтяных дисперсных систем [10]. В рамках данного направления было показано, что притяжение и отталкивание молекул НДС происходят за счёт обменных взаимодействий парамагнитных и спин-поляризованных молекул. Молекулы ассоциатов взаимодействуют с энергией, сравнимой с энергией разрыва С-С связи, из-за чего считают, 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 [10]. Качественная модель ССЕ НДС представлена на Рисунок 4.

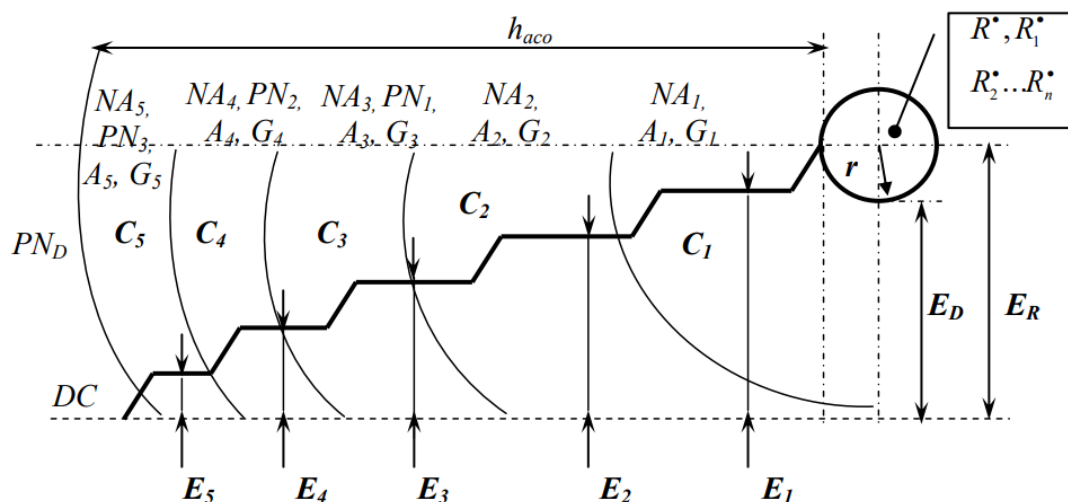


Рисунок 4 – Качественная модель ССЕ НДС

где: $R^*, R_1^* \dots R_n^*$ – радикалы ядра;

h_{aco} – ширина адсорбционно-сольватной оболочки, или межфазного слоя, состоящего из сольватных слоёв;

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 слоёв 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;

$NA_1 \div NA_5$ – нафтно-ароматические углеводороды;

$PN_1 \div PN_3$ – парафино-нафтеносые углеводороды с признаками спиновой поляризации;

PN_D – парафино-нафтеносые углеводороды дисперсионной среды без признаков спиновой поляризации.

К настоящему моменту установлено, что нефтеподобные системы являются термодинамически подвижными. Это значит, что в НДС непрерывно происходят гомолитические переходы (диамагнитные молекулы переходят в парамагнитные и обратно). Парамагнитные молекулы и гомолитические процессы определяют поведение НДС в целом, так как они вызывают переорганизацию надмолекулярных структур в системе [10].

Большое количество литературных данных свидетельствуют о способности нефтяных систем изменять свою внутреннюю организацию при воздействии внешних факторов и с течением времени. Данные факты логичны с позиций физикохимии обратимых гомолитических переходов молекул с точки зрения растянутого во времени равновесия. Ввиду этих специфических свойств НДС, при исследовании их различными физико-химическими и инструментальными методами не наблюдается воспроизводимость результатов и адекватность группового состава при разделении нефтяной системы на различные высокомолекулярные компоненты [10].

В работе Мухаметзянова И.З [19] были введены такие понятия как «самоорганизующиеся структуры» и «самопроизвольные» процессы агрегирования и диспергирования элементов в НДС. Также данным автором было получено доказательство изменения парамагнетизма от периферии к ядру для парамагнитных агрегатов в нефтяной системе на основании математических расчётов фрактальных систем.

Стоит отметить большое количество исследований в рамках изучения формирования макрочастиц в НДС. В частности, были выявлены следующие возможные взаимодействия [10]:

- водородные связи (в нефтеподобных системах малое количество молекул, имеющих большой дипольный момент и высокую электронную плотность);
- кислотно-основные (кислотная и основная функция в НДС практически отсутствуют, что подтверждено экспериментами по электрофорезу);

- донорно-акцепторные (в НДС электрон не отдаётся и не присоединяется, однако происходит перекрывание орбиталей);
- диполь-дипольные (в литературе не указывается какие именно диполи работают – зарядовые, квантовые спиновые или магнитные);
- π -комплексные (взаимодействия, в которых π -сопряженные соединения крупного размера соединяются при перекрывании соответствующих орбиталей с образованием слабой связи. Стоит отметить, что ароматичность САВ недостаточна для образования связей такого типа);
- металлокомплексных (связи при этом удерживают комплексообразователь в поле лигандов, они имеют квантованный характер и соответствуют обменным взаимодействиям);
- обменных (квантовых, которым соответствуют взаимодействия между радикалами и спин-поляризованными молекулами).

1.2.3 Проблемы добычи и переработки, связанные с особенностями нефтяных дисперсных систем

Главная проблема извлечения тяжёлой нефти из пласта заключается в низкой подвижности нефтяного флюида или вовсе её отсутствии. Данный факт обусловлен высоким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ, которое определяет формирование пространственной надмолекулярной структуры. Помимо этого, невозможно использовать трубопроводный транспорт, вследствие чего увеличиваются затраты на различные технологические решения. К таким решениям относятся электрообогрев трубопроводов, транспорт в виде эмульсии типа «нефть в воде» и разбавление тяжёлого сырья различными растворителями [20].

К характерной особенности ТНС относится обеспечение сцепления зёрен песка в неконсолидированных песчаниках, пористость которых составляет более 30 %. Вследствие чего в коллекторах такого типа имеется возможность притока песка в ствол скважины вместе с добываемыми флюидами. Из-за чего значительно повышается эффективность «холодной» добычи ТНС [21].

Однако наиболее глобальной и тяжёлой проблемой является образование асфальтосмолопарафиновых отложений. Асфальтены наряду с парафинами являются основными компонентами, которые образуют кольматирующие отложения. Стоит отметить, что, говоря о ТНС, АСПО преимущественно будут являться отложениями асфальтенового типа, а не парафинового. Проблема образования асфальтеновых агрегатов с дальнейшим их осаждением при изменении термобарических параметров и состава сырья существует на этапах добычи, транспортировки и переработки нефти [22].

1.2.4 Коллоидные взаимодействия, происходящие в тяжёлом нефтяном сырье

К основным взаимодействиям, которые возможны в ТНС, можно отнести адсорбцию, адгезию, коагуляцию, коалесценцию и седиментацию, которые наиболее возможны при рассмотрении процессов в нефтяных дисперсных системах.

1.2.4.1 Классификация и механизмы взаимодействий в тяжёлом нефтяном сырье

1.2.4.1.1 Мицеллообразование в дисперсных системах

К обособленному типу лиофобных дисперсных систем относятся мицеллярные системы, которые состоят из самоорганизованных структур – мицелл. Самоорганизация происходит в силу воздействия определённых внешних условий, при которых молекулы ПАВ образуют большое количество наноразмерных агрегатов [23].

Известно, что молекулы ПАВ являются амфифильными, то есть имеют полярную (гидрофильную) и неполярную (гидрофобную) части, что придаёт им особые свойства. Именно из-за данного свойства молекулы ПАВ имеют поверхностную активность. При малых концентрациях ПАВ образуют истинные растворы и находятся в молекулярном, а иногда и в ионном состояниях. Однако

с ростом концентрации их гидрофильные свойства приводят к самоассоциации их в растворе с образованием мицелл [23].

Мицеллообразование происходит при кооперативном связывании мономеров между собой при концентрациях, превышающих критическую концентрацию мицеллообразования [23]. При достижении данной концентрации ПАВ в растворе возникает большое количество мицелл, которые находятся в термодинамическом равновесии с молекулами и при этом изменяют свойства растворов.

Механизм образования мицелл может быть объяснён следующим образом. С ростом концентрации ПАВ в растворе увеличивается и их химический потенциал, который определяет тенденцию выхода компонента из раствора. При малых концентрациях ионы ПАВ переходят в поверхностный слой на границе раздела фаз, уменьшая энергию системы. После чего поверхностный слой становится насыщенным. При дальнейшем увеличении концентрации ПАВ система выводит гидрофобные цепи из воды в жидкую «псевдофазу» – мицеллу, которая отделяется от воды гидрофильной оболочкой полярных групп. Данное явление принято называть «самоадсорбцией» [9].

Рассмотрим строение мицелл, которые имеют высокоорганизованную внутреннюю структуру. В ней расположение молекул происходит по правилу уравнивания полярностей Ребиндера. Структуры мицелл приведены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Строение мицеллы:

А – прямая, Б – обратная

В прямых мицеллах неполярные части молекул располагаются во внутренней части мицеллы и образуют её ядро. Наружная часть, называемая оболочкой, образована полярными частями ПАВ. При таком строении полярные группы обращены в сторону полярной дисперсионной среды, а неполярные группы экранируются полярной оболочкой от прямого контакта со средой [24].

В обратных мицеллах расположение молекул ПАВ диаметрально противоположное по сравнению с мицеллами прямого строения. В обратной мицелле ядро состоит из полярных групп, а в сторону неполярной дисперсионной среды обращены гидрофобные части. Данное строение также соответствует правилу уравнивания полярностей Ребиндера [24].

1.2.4.1.2 Общие положения о процессе адсорбции

Адсорбция есть самопроизвольный процесс изменения концентрации компонента в поверхностном слое по сравнению с его концентрацией в объёме фазы [23].

Адсорбент – вещество, выступающее в роли более плотной фазы, которая определяет форму поверхности. Адсорбтив – поглощаемое вещество, которое находится в объёме фазы. Адсорбат – вещество, находящееся на поверхности адсорбента, то есть уже адсорбированное. Десорбция – процесс обратный адсорбции [23].

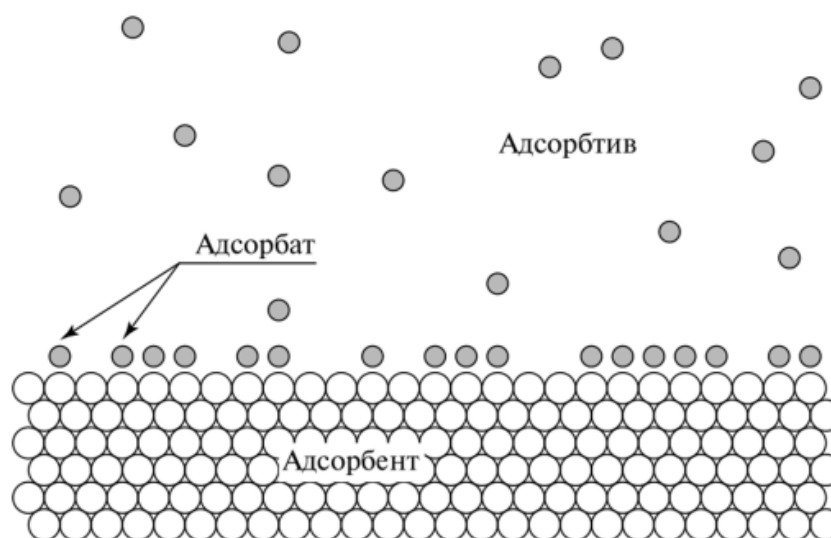


Рисунок 6 – Графическое представление процесса адсорбции

На рисунке 6 представлено графическое изображение протекания процесса адсорбции.

Все адсорбционные процессы принято классифицировать на физические и химические. Физическая адсорбция возникает в результате межмолекулярных взаимодействий. Необходимо учитывать тот факт, что при полярных молекулах могут возникать три типа взаимодействия: ориентационное, индукционное и дисперсионное [24]. Если же молекулы неполярны, то возможны только дисперсионные взаимодействия. Химическая адсорбция обусловлена результатом химического взаимодействия между адсорбтивом и адсорбентом. Данный процесс протекает исключительно на поверхности более плотной фазы.

1.2.4.1.3 Общие положения о процессе адгезии

Адгезия – процесс взаимодействия между двумя поверхностями, приведёнными в контакт, конденсированных фаз разной природы [24]. При приведении в тесный контакт двух взаимно нерастворимых жидкостей, жидкости и твёрдого тела или двух твёрдых тел под действием межмолекулярных сил они прочно прилипнут друг к другу таким образом, что для их разделения необходимо будет приложить некоторую определённую работу. Как правило, явлению адгезии сопутствует явление смачивания, точно так же, как и явлению смачивания сопутствует адгезия. Они соответствующим образом характеризуют межфазное взаимодействие [24].

Адгезия является самопроизвольным процессом, так как обусловлена стремлением системы к уменьшению поверхностной энергии [24].

1.2.4.1.4 Общие положения о термодинамической устойчивости дисперсных систем

Проблема устойчивости дисперсных систем – одна из важнейших проблем коллоидной химии. Образование дисперсных систем приводит к увеличению свободной энергии системы, из чего следует, что система является термодинамически неустойчивой [25].

Относительная устойчивость – способность системы в течение определённого времени сохранять свою структуру неизменной [25]. Под этим подразумевается, что размер частиц должен не изменяться, как и равномерное распределение частиц в объёме системы.

В 1917 году Песковым Н.П. было предложено разделять относительную устойчивость на седиментационную и агрегативную [25].

Седиментационная устойчивость – способность дисперсной системы сохранять распределение частиц по всему объёму системы неизменным во времени [25]. Данная способность заключается в противостоянии действию сил тяжести. Главным образом седиментационная устойчивость определяется размерами частиц дисперсной фазы [25]

- лиофобные золи ($10^{-7} - 10^{-5}$ см) – являются седиментационно устойчивыми. Для таких систем характерным является диффузия, которая обеспечивает равномерное распределение частиц по всему объёму системы;

- микрогетерогенные системы ($10^{-5} - 10^{-3}$ см) – происходит установление седиментационно-диффузионного равновесия, для которого характерно гипсометрическое распределение частиц по объёму системы;

- грубодисперсные (более 10^{-3} см) – являются седиментационно неустойчивыми. В данных системах происходит быстрая седиментация.

Агрегативная устойчивость – способность системы сохранять неизменной во времени степень дисперсности. Данная способность заключается в сохранении размера частиц и их индивидуальности. При нарушении агрегативной устойчивости происходят коагуляция и коалесценция [25].

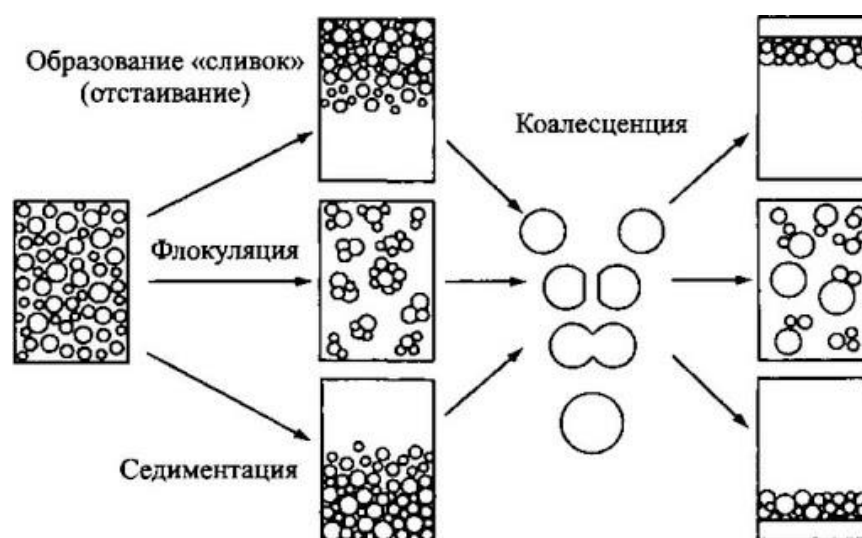


Рисунок 7 – Процессы термодинамической устойчивости дисперсных систем

На рисунке 7 приведены основные процесс, протекающие в дисперсных системах при нарушении термодинамической устойчивости.

Коалесценция – процесс слияния мелких дисперсных частиц в более крупные. Происходит увеличение размера частиц при неизменном поверхностном натяжении. Коалесценция характерна для дисперсных систем с газовой и жидкой дисперсионной фазой. В результате данного процесса частицы становятся настолько крупными, что дисперсионная фаза прекращает своё существование и превращается в макрофазу [25].

Коагуляция – процесс слипания частиц с образованием более крупных агрегатов. Происходит уменьшение поверхностного натяжения при постоянном размере частиц. Процесс характерен для систем с жидкой дисперсионной средой и твёрдой дисперсионной фазой. В результате коагуляции система теряет седиментационную устойчивость, так как частицы не могут участвовать в броуновском движении из-за своих размеров [25].

Процесс является самопроизвольным в виду того, что он приводит к уменьшению межфазной поверхности и как следствие уменьшает свободную поверхностную энергию системы.

В процессе коагуляции принято различать две стадии [25]:

– 1 стадия – скрытая коагуляция. На данной стадии частицы увеличиваются в размерах, но при этом не происходит нарушение седиментационной устойчивости;

– 2 стадия – явная коагуляция. На этой стадии происходит потеря седиментационной устойчивости. Если плотность частиц больше плотности дисперсионной среды, то частицы оседают, и образуется осадок. Если плотность частиц меньше, то они всплывают на поверхность дисперсионной среды.

Причин коагуляции насчитывается большое множество. Существуют внешние воздействия, которые при достаточной интенсивности способны вызывать коагуляцию. К ним относят [23]: изменение температуры, действие видимого света, механическое воздействие, добавление электролитов, действие электрического и электромагнитного полей и др.

Несмотря на то, что данные воздействия имеют различный характер, они обладают общим свойством, которое заключается в уничтожении энергетического барьера или его снижении, в следствие чего коллоидный раствор в процессе коагуляции переходит в более устойчивое состояние.

1.2.4.1.5 Факторы стабилизации дисперсных систем

Лиофобные дисперсные системы являются термодинамически неустойчивыми по сравнению с макрогетерогенными системами. Однако они могут быть агрегативно устойчивы и способны сохранять эту устойчивость достаточно продолжительное время. Рассмотрим основные термодинамические и кинетические факторы, которые способствуют стабилизации дисперсных систем [23].

Эффективная упругость плёнок с адсорбционными слоями ПАВ. Увеличение размеров плёнки при её деформации (растяжение, прогиб), вызванное внешним воздействием. Это приводит к изменению условий равновесия адсорбционного слоя с раствором ПАВ в объёмной части плёнки. При медленной деформации и малой толщине плёнки происходит её растяжение и выход части молекул ПАВ из объёма фазы на поверхность плёнки. При этом в

объёме фазы происходит уменьшение концентрации ПАВ, что приводит к повышению поверхностного натяжения. Если скорость растяжения плёнки велика настолько, что за время деформации не успевает установиться равновесие между адсорбционным слоем и внутренней частью плёнки, то происходит увеличение устойчивости плёнок и всей системы соответственно [23].

Электростатическое отталкивание диффузных частей двойных электрических слоёв является термодинамическим фактором агрегативной устойчивости дисперсных систем. Дополнительно были введены структурная составляющая расклинивающего давления, которая связана с перекрытием граничных слоёв дисперсионной среды, которые имеют отличную от структуры жидкости в объёме структуру, возникающие у твёрдых поверхностей. Также рассмотрена адсорбционная составляющая, которая обусловлена перекрытием диффузионных адсорбционных слоёв при сближении поверхностей [23].

Гидродинамическое сопротивление прослойки среды вытеканию является кинетическим фактором. Утоньшение прослойки дисперсионной среды в процессе коагуляции является следствием вязкого истечения жидкости из узкого зазора между частицами. Влиянию данного фактора устойчивости способствует увеличение плотности и динамической вязкости дисперсионной среды [23].

Структурно-механический барьер является фактором наиболее сильной стабилизации и способен обеспечить практически неограниченную агрегативную устойчивость системы. Обусловлен образованием плёнок на поверхности частиц дисперсной фазы. Плёнки обладают упругостью и механической прочностью, вследствие чего их разрушение требует времени и затрат энергии. Реализуется данный фактор в случае использования высокомолекулярных соединений в качестве стабилизатора [23].

1.2.5 Коллоидные взаимодействия, происходящие в нефтяных дисперсных системах

В основном дисперсионная среда НДС состоит из нефтяных компонентов, находящихся в различном соотношении. Стоит отметить, что эти компоненты могут быть в составе дисперсной фазы или дисперсионной среды в зависимости от совокупности внешних параметров. Далее кратко охарактеризованы виды межмолекулярных взаимодействий нефтяных компонентов и изложены сведения о строении молекулярных растворов.

1.2.5.1 Классификация и механизмы взаимодействий в нефтяных дисперсных системах

Межмолекулярные взаимодействия между компонентами происходят за счёт межмолекулярных сил, которые наблюдаются при рассмотрении всевозможных вариантов НДС. В нефтяных газах, в процессах взаимодействия молекул в жидких нефтяных средах и даже при адсорбции на поверхности нефтяного углерода и т.д. Как было описано ранее основным положением теории строения ССЕ является факт убывания потенциала межмолекулярных взаимодействий по мере удаления от центра единицы и приближения к её периферии.

На настоящий момент не существует определённой классификации межмолекулярных сил. Авторами [26] предложено подразделять их на физические, которые определяются физическими характеристиками взаимодействующих молекул, и химические, те, которые приводят к образованию химических и квазихимических связей. Некоторые авторы [27] подразделяют межмолекулярные взаимодействия на универсальные и специфические, а некоторые [28] – на взаимодействия дальнего и ближнего порядков. Всё это достаточно условно, так как природа взаимодействий едина. В основе данных взаимодействий находятся электростатические и электродинамические взаимодействия ядер и электронов, которые входят в состав молекул.

Энергия межмолекулярного взаимодействия оценивается следующим образом: выбирается соответствующий модельный потенциал, параметры которого подгоняют таким образом, чтобы расчёты с этим модельным потенциалом удовлетворяли экспериментальным данным, которые были получены при исследовании макроскопических свойств системы. В общем случае потенциал межмолекулярного взаимодействия представлен кривой взаимодействия от расстояния между молекулами. При этом, учитывая факт, что взаимодействующие молекулы фиксированы в пространстве, то появляется координата, которая связана с взаимным расположением молекул. Таким образом, межмолекулярному потенциалу будет соответствовать потенциальная поверхность, которая построена на основе соответствующей системы уравнений. В общем виде выражение для потенциала межмолекулярного взаимодействия, который является функцией расстояния, можно записать следующим образом [29]:

$$E(R) = \pm K e^{-K_0 R} \pm K_1 R^{-1} \pm K_2 R^{-2} \pm K_3 R^{-3} \pm K_4 R^{-4} \pm K_5 R^{-5} - K_6 R^{-6},$$

где K, K_i – коэффициенты при членах разложения.

Представление потенциала в таком виде (в виде суммы различных членов) даёт возможность выделить составляющие, которые вносят наибольший вклад в данной области расстояний. Первый член уравнения отражает короткодействующие силы межмолекулярного взаимодействия, которые проявляются на малых расстояниях. Возникают данные силы в результате перекрывания электронных волновых функций, которые отвечают отдельным атомам или молекулам. С увеличением расстояния значения короткодействующих сил снижаются по экспоненте. Вклад данного члена уравнения в величину потенциала является наибольшим и выражает энергию образования ковалентной связи гомео- или гетерополярного типа. Силы, действующие на малых расстояниях, могут быть отталкивающими или притягивающими, что отражается соответствующим знаком. При взаимодействии двух атомов с образованием молекулы возникает огромная короткодействующая сила

притяжения, приводящая к минимуму энергии при характерных межъядерных расстояниях. При меньших расстояниях происходит резкий рост энергии отталкивания.

Следующие члены уравнения, которые представлены в виде R^{-n} , выражают вклад далекодействующих сил. Их составляющие описываются вторым и третьим членами уравнения. Данные силы обусловлены кулоновскими взаимодействиями ионов между собой и ионов с незаряженными частицами.

Четвёртый член уравнения относится к резонансным взаимодействиям, возникающим при взаимодействии свободных радикалов с диамагнитными молекулами, а также диполь-дипольные взаимодействия. Для нефтяных систем, содержащих смолисто-асфальтеновые вещества, соответствуют специфические взаимодействия свободных радикалов.

Пятый и шестой члены уравнения описывают вклад электростатических мультиполь-мультипольных взаимодействий диамагнитных молекул, к которым относятся алканы, цикланы и др.

Шестой член уравнения также отражает вклад ван-дер-ваальсового притяжения молекул, которое соответствует ориентационным, индукционным и дисперсионным силам. Константа межмолекулярного притяжения включает в себя следующие составляющие: взаимодействие двух постоянных диполей, диполя с неполярной молекулой и взаимодействие двух неполярных молекул.

Важным аспектом является природа дисперсионного взаимодействия двух неполярных молекул, которая описывается с позиции квантовой механики. Она заключается в том, что происходящие случайные флуктуации электрического поля молекулы способны к созданию переменного диполя, который может индуцировать диполи в соседних молекулах. Стоит отметить, что особенностью таких сил притяжения в отличие от ориентационных и индукционных является аддитивность в отношении парных взаимодействий.

Имеет место и образование слабых химических связей между взаимодействующими молекулами, на расстояниях, которые меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов молекул. Основное отличие слабых связей по

сравнению с сильными заключается в том, что энергия образования слабых связей в 2 раза меньше энергии образования ковалентной связи. Ключевым типом слабых связей является водородная связь, которая может быть внутренней или межмолекулярной. Внутренние связи возникают между атомами одной молекулы, чем объясняются конформационные переходы в молекулах n-алканов от шахматной к затенённой конформации, а межмолекулярные между атомами разных молекул. Водородная связь преимущественно является ковалентной, однако вследствие связывания водорода с гетероатомом указанная связь ослабляется, а расстояние между атомами увеличиваются. Такая связь является строго направленной и ненасыщаемой. По энергии образования и расстоянию между атомами водородные связи подразделяются на слабые, средние и сильные [28].

Сильных водородных связей между молекулами нефтяных компонентов не описано, к образованию средних склонны гетероатомы, входящие в состав соединений, ароматические фрагменты молекул смол и асфальтенов. Слабые связи характерны практически для любых углеводородов, входящих в нефтяную систему [27]. К образованию водородных связей приводит взаимодействие гетероатомов, атомов углерода (первичных, вторичных и третичных), ароматических циклов, а также связей $-C=C-$, $-C\equiv C-$, $-C\equiv N$, $-C=O$ и др. Вклад водородных связей в потенциальную энергию нефтяных соединений может достигать до 99 % [28].

При достижении определённых условий происходят стекинг-взаимодействия, к которым приводит суммарное действие межмолекулярных сил [27]. Плоские молекулы располагаются на ван-дер-ваальсовых расстояниях в плотной упаковке за счёт возникающих связей между ареновыми фрагментами, карбоксильными группами или аминогруппами, входящих в состав асфальтеновых структур. В связи с чем образуется пачечная кристаллоподобная структура.

Оценка межмолекулярного взаимодействия может быть произведена с помощью методов, основанных на данных по энтальпиям испарения или

растворения, второму вириальному коэффициенту, вискозиметрии и диэлькометрии. С помощью данных методов также можно проанализировать склонность углеводородов к ассоциации в широком интервале температур. За счёт чего возможна классификация исследуемого углеводорода к сильно-, средне- и слабоассоциирующим жидкостям.

1.3 Асфальтены и смолы как основной структурирующий компонент нефтяных дисперсных систем

Смолисто-асфальтеновые вещества являются основным структурирующим компонентом нефтяных дисперсных систем, что связано с их строением и, как следствие, реологическими характеристиками. Молекулярная структура смол и асфальтенов являлась темой долгих дискуссий учёных различных школ и отраслей. Для изучения структур данных веществ используются различные методики: ЯМР, ПМР, ЭМР, ИК-спектроскопия и др. С помощью данных методов было доказано, что показатель ароматичности асфальтенов выше, чем в смолах и составляет около 40 ÷ 50 %. Ароматичность смол ниже и варьируется от 20 ÷ 40 %. При близких молекулярных массах наиболее ароматичными оказались наименее полярные фракции [30]. Сравнительная характеристика асфальтенов и смол приведена в Таблица 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика смолисто-асфальтеновых веществ

	Асфальтены	Смолы
Растворимость в низкомолекулярных алканах	Не имеется	Имеется
Возможность разделения на узкие фракции однородных веществ	Имеется	Имеется
Полидисперсность	Незначительная	Значительная
Отношение С : Н	9-11	7-9
Степень ароматичности	0,45-0,58	0,2-0,4
Молекулярная масса	1800-5000	400-2500
Структурные характеристики	Вещества с кристаллоподобной структурой	Бесструктурные вещества

1.3.1 Асфальтены – строение, свойства, особенности

Асфальтены представляют собой кристаллические вещества бурого или чёрного цвета, имеющие высокие показатели молекулярной массы и плотности, нерастворимые в низших алканах. Из-за большого значения молекулярной массы и степени ароматичности они склонны к значительному межмолекулярному взаимодействию, которое способствует созданию надмолекулярных структур [30].

На основании многочисленных исследований химического строения молекул асфальтенов считают, что последние представляют собой полициклическую, ароматическую, сильно конденсированную систему с короткими алифатическими заместителями у ароматических ядер. В молекулах асфальтенов присутствуют также пяти- и шестичленные гетероциклы. В зависимости от природы нефти количественное соотношение ароматических, нафтеновых и гетероциклических структурных элементов может меняться в широких пределах [31].

Ввиду своего строения асфальтены оказывают влияние на стабильность коллоидной структуры нефтей как в условиях пласта, так и при последующей подготовке и транспортировке. Асфальтены являются концентратом парамагнитных молекул. Основной составляющей их парамагнетизма являются, как правило, ванадиловые комплексы и неспаренные электроны, делокализованные на полиароматических фрагментах структуры молекул асфальтенов – свободные стабильные радикалы. Незначительные детали состава и структуры молекул асфальтенов, включая взаимное расположение функциональных групп, полиароматических и нафтено-алифатических фрагментов, оказывают существенное влияние на устойчивость к выпадению в условиях пласта. Влияние асфальтенов на смачиваемость породы, например, в смешанных и карбонатных коллекторах в значительной степени определяет нефтеотдачу [31].

1.3.1.1 Основные фракции асфальтенов

Состав асфальтенов является неоднородным, содержащим различные фракции, которые отличаются молекулярными массами, содержанием различных металлов, растворимостью и другими характеристиками.

Фракционирование асфальтенов производится с помощью смесей различных растворителей, один из которых является растворителем асфальтенов, другой же – осадителем. В различной литературе описаны методики с использованием таких смесей как: н-гептан и толуол, н-пентан и дихлорметан, толуол и ацетон, тетрагидрофуран и ацетон [31].

Данный способ назван методом дробного осаждения. Он предполагает получение фракций, различающихся своими молекулярными массами, так как сначала осаждаются крупные молекулы с большей молекулярной массой. При использовании метода, в качестве растворителей использовались дихлорметан, пентан, смесь гептан : толуол. Было обнаружено, что асфальтены, выделенные с помощью смеси с высоким содержанием полярного растворителя, имеют более высокий показатель ароматичности и способны к наибольшему коксованию, чем асфальтены, выделенные смесью с низким содержанием толуола [32].

Так же известно о фракционировании в потоке элюента при градиенте температур, методе адсорбционной жидкостной хроматографии, методе жидкостной экстракции смесью метиловый спирт : толуол для разделения асфальтенов по полярности и выделения фракций асфальтенов с помощью способности п-нитрофенола образовывать комплексы с асфальтенами.

Помимо описания различных методик, в литературе есть и характеристика свойств фракций, полученных при фракционировании. Различают две основные фракции, которые несмотря на различные методики их выделения, характеризуются схожими свойствами [33].

Фракция, выпадающая из асфальтенового раствора при содержании н-алкана в минимальном количестве, описывается как тяжёлая, нерастворимая и полярная. Обозначается как A1, а молекулы, из которых состоит эта фракция, соответственно называют молекулами типа A1 или молекулами

«континентального» типа. Из-за большого среднего размера частиц и высокой ароматичности данная фракция обладает наибольшей тенденцией к флокуляции и осаждается первой. В большинстве случаев имеет высокое содержание металлов (V, Ni, Fe), азота и хлора. При удалении металлов скорость растворения и растворимость резко возрастают. А1 характеризуется как блестящий, плотный, графитоподобный порошок. Фракция, выпадающая при максимальном содержании n-алкана, отличается высоким соотношением Н : С и низким фактором ароматичности. Данная фракция называется А2, её молекулы – молекулы типа А2 или молекулы типа «архипелаг». Она представляет собой матовые коричневые частицы [33].

Две эти фракции имеют различия в строении молекул, связанные со способом соединения полициклических ядер. В ходе исследований было сделано предположение о том, что в составе фракции А1 преобладают молекулы, имеющие жёсткую структуру, а молекулы, образующие фракцию А2 состоят из полициклических ядер, соединенных метиленовыми цепочками. Такие структуры гибкие, способные к конформационным превращениям, что и обуславливает их высокую растворимость [34]. На Рисунок 8 представлены структурны молекулы асфальтенов обоих типов.

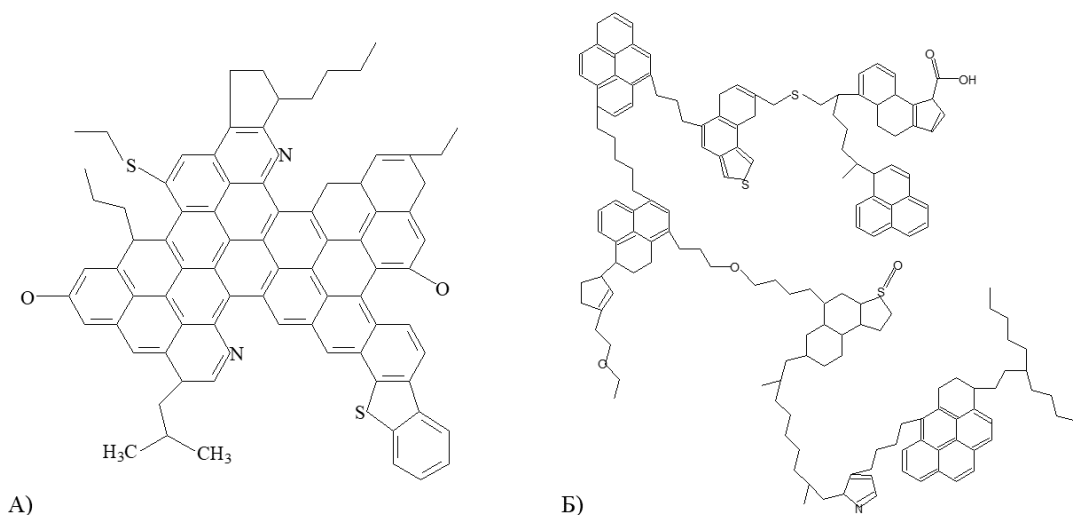


Рисунок 8 – Молекулярные структуры асфальтенов типа:

А – «континент», Б – «архипелаг»

Известны способы выделения фракций асфальтенов непосредственно из самой нефти, но их значительно меньше. Одним из них является дробное осаждение фракций асфальтенов *n*-гептаном из раствора битума в толуоле при соотношении *n*-гептан : толуол : битум 5 : 5 : 1. При различных соотношениях *n*-пентан : нефть возможно выделить несколько фракций. Так при соотношениях 3, 10, 15, 20 были осаждены 4 фракции асфальтенов, а при отношении 3 и 18 – две фракции. Так же путём увеличения соотношения *n*-гептан : битум 1.25, 2, 4, 10, 20, 40 были получены 6 фракций асфальтенов. Осаждение фракций связано с увеличением их растворимости от первого осаждения к последующим. Однако при фракционировании подобным методом непосредственно из нефти при низких соотношениях *n*-алкан : нефть отсутствует чёткое разделение между асфальтенами и деасфальтизатом [34].

При фракционировании самой нефти удалось выяснить, что фракция А1 имеет меньшую устойчивость к выпадению асфальтенов, и характеризуется большим поверхностным натяжением на границе толуол-вода, что говорит о более высоком содержании в первой фракции конденсированного ядра, чем во второй [34].

Исследование динамики осаждения асфальтенов из самой нефти при дробном осаждении позволило описать структуру асфальтеновых агрегатов и выявить их различия. Установлено, что при фракционировании асфальтенов выход фракции А1 значительно выше, нежели фракции А2, однако при уменьшении количества осадителя уменьшается выход фракции А1, а выход фракции А2 наоборот увеличивается. На основе литературных данных было сделано предположение о том, что осаждающиеся на первой стадии асфальтены являются наиболее склонными к агрегированию и способствуют агрегации других асфальтенов, выступая в качестве зародышей для формирования новых агрегатов [35].

Таким образом, если в молекулярных структурах преобладает «континентальный» тип, то нефтяная система является пропагатором (распространителем) агрегирования. Если в молекулярных структурах

преобладают асфальтенов типа «архипелаг», то нефтяная система является терминатором (ограничителем) агрегирования. Установлено, что асфальтены из нестабильных, склонных к выпадению асфальтенов, нефтей характеризуются низким атомным соотношением Н : С, высокой ароматичностью, высокой степенью конденсированности ароматических колец, высокой долей полярных фракций, что свойственно в большей степени асфальтенам типа «континент». Преобладание в асфальтовых отложениях асфальтенов типа А1 также подтверждает их меньшую устойчивость к выпадению [36].

1.3.2 Смолы – строение, свойства, особенности

Состав и свойства нефтяных смол в большинстве случаев зависят от химической природы нефти, из которой они были выделены, глубины её переработки и метода, выбранного для выделения. Разными авторами были опубликованы результаты исследований, которые отличаются по описанию характеристики состава и свойств нефтяных смол. Это связано с тем, что авторами применялись разнообразные методики и исследовались различные нефти и нефтепродукты. Смолы относятся к классу гетероорганических высокомолекулярных соединений, в состав которых входят кислород, сера, азот и другие элементы, в том числе металлы [30].

Нефтяные смолы представляют собой вязкие тягучие жидкости, которые занимают область между углеводородными маслами и асфальтенами. К ним относят бесструктурные высокомолекулярные гетероатомные соединения. Начиная с определенного размера и степени ароматичности относительно сформированных полициклических молекул, решающим фактором становится межмолекулярное взаимодействие, приводящее к формированию структуры.

Основными структурными элементами молекул являются конденсированные циклические системы, в состав которых входят ароматические, циклоалкановые и гетероциклические кольца. Эти конденсированные циклические системы соединены между собой сравнительно короткими алифатическими мостиками и имеют по несколько алифатических,

реже циклических заместителей в цикле. Конденсированные структуры смол содержат в основном два конденсированных кольца, полициклических систем очень мало [31].

1.3.2.1 Основные фракции смол

Нефтяные смолы являются смесью наиболее многочисленных и разнообразных по химическому строению высокомолекулярных соединений нефти, трудно делимых на более однородные узкие фракции по строению веществ и достаточно химически изменчивы.

Для фракционирования смол применяются различные методы хроматографии: метод гель-хроматографии, метод адсорбционной колоночной хроматографии и метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. Так же известно применение метода тонкослойной хроматографии на силикагеле. Таким образом возможно разделение исходных смол на фракции с различной молекулярной массой, которая возрастает при увеличении концентрации бензола и спирта в смеси с n-алканом. При использовании хроматографических методов в момент, когда элюент становится светлым, отмечают конец выхода каждой фракции [33].

Основное требование, которое предъявляется к адсорбенту и десорбирующим жидкостям при разделении нефтяных смол, заключается в отсутствии химического взаимодействия между ними и компонентами разделяемой смеси. Общая адсорбционная ёмкость определяется соответствием размеров пор адсорбентов и размеров молекул разделяемой смеси. Эффективность разделения при использовании хроматографических методов определяется хорошей специфичностью (адсорбционной избирательностью) адсорбента по отношению к молекулам, имеющим различные типы структур. Экстрагенты должны иметь высокую степень чистоты и определённую десорбирующую способность [33].

Основным методом разделения нефтяных смол на фракции является метод, предложенный Д.К. Жестковым [37]. В процессе разделения на

силикагеле получают две основные фракции: бензольные и спирто-бензольные смолы. После окончания экстракции масел н-гексаном проводят десорбцию бензольных смол бензолом, а спирто-бензольных смол – смесью этиловый спирт : бензол (в соотношении 1 : 1 по объёму). Десорбцию проводят для каждого растворителя до получения бесцветного экстрагента. На Рисунок 9 представлено молекулярное строение фракций смолистых веществ.

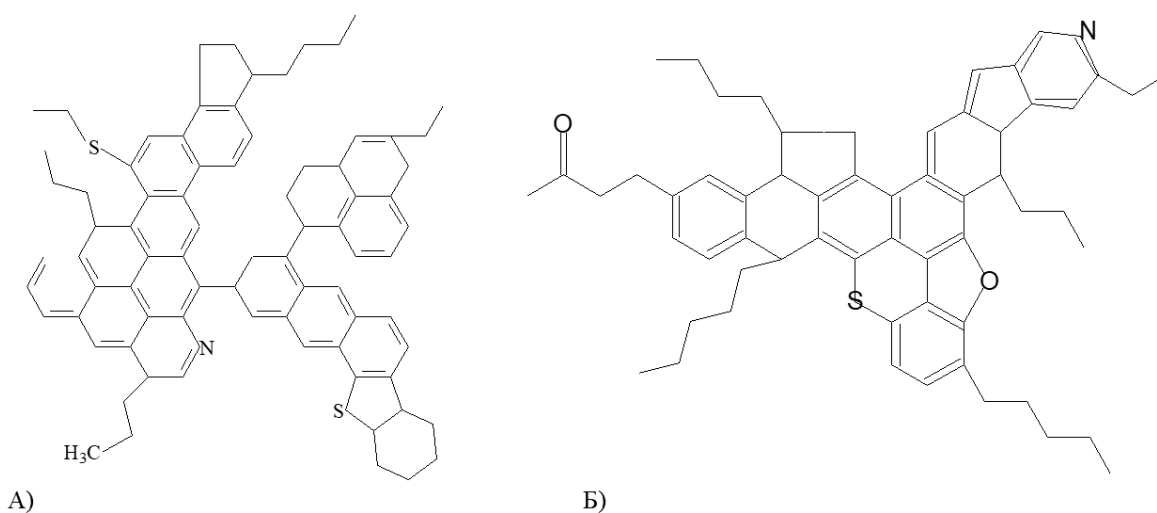


Рисунок 9 – Молекулярные структуры смол типа:

А – бензольные, Б – спирто-бензольные

Фракция бензольных смол характеризуется полужидким или твёрдым веществом от жёлто-оранжевого до тёмно-коричневого цвета. Бензольные смолы характеризуются меньшим содержанием гетероэлементов, омыляемых компонентов и большей концентрацией ароматических соединений, в отличие от фракции спирто-бензольных смол. Согласно данным ИК-спектрального анализа данная фракция содержит большее количество полиароматических структур, а содержание сульфоксидных и карбонильных групп ниже по сравнению со спирто-бензольными смолами, так же как и алифатичность и разветвлённость молекул данной фракции смолистых веществ [38].

Фракция спирто-бензольных смол представляет собой полужидкие или твёрдые вещества от тёмно-коричневого до чёрного цвета. Данная фракция характеризуется большим содержанием гетероэлементов, омыляемых

компонентов и меньшей концентрацией конденсированных систем, в отличие от фракции бензольных смол. По данным ИК-спектрального анализа спирто-бензольные смолы содержат меньшее количество поликонденсированных систем, а содержание карбонильных и сульфоксидных заместителей значительно выше по сравнению с фракцией бензольных смол, как разветвлённость и алифатичность молекул, составляющей фракцию данного типа смол [38].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел был разработан с целью проектирования и создания конкурентоспособных разработок, технологий, которые отвечают современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для этого были решены следующие задачи:

- проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- проведено планирование научно-исследовательских работ;
- определена ресурсная (ресурсосберегающая), финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования по разработке смеси-ингибитора для предотвращения образования АСПО асфальтенового типа на основе природных нефтяных смол с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения были выявлены потенциальные потребители, проанализированы конкурентные технические решения и проведён SWOT-анализ.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования









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




Продуктом исследования является смесь-ингибитор, которая позволяет предотвращать образование 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. Данные компании занимают устойчивые позиции не только на российском, но и на международном рынке. Помимо проводимых разработок в области разведки, бурения скважин, геологического анализа, компании уделяют большое внимание дальнейшему транспорту нефтяного сырья.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка услуг по предотвращению образования АСПО

		Вид услуги						
		Создание гладких поверхностей технологического оборудования	Использование ультразвуковых, вибрационных и электрических методов	Использование депрессаторов, модификаторов и диспергаторов	Использование природных ингибиторов образования АСПО			
Размер компании	Крупные							
	Средние							
	Мелкие							

 – Schlumberger  – Halliburton  – Weatherford

Из представленной карты сегментирования рынка услуг был сделан вывод о том, что применение инновационной смеси-ингибитора на основе природных нефтяных смол с целью предотвращения образования АСПО асфальтенового типа, является высокоэффективным решением. Также отметим, что приоритетными сегментами рынка будут являться компании крупных, средних и малых размеров, что связано с отсутствием применения природных ингибиторов на предприятиях нефтехимического сектора.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет проводить оценку сравнительной эффективности научной разработки, а также определить направления для её будущего повышения.

Необходимо систематически производить детальный анализ конкурирующих разработок, которые имеются на рынке, так как рынок находится в постоянном движении. Данный анализ даёт возможность вносить различные коррективы в научные разработки с целью успешного противостояния конкурентам. Необходимо достаточно реалистично оценивать сильные и слабые стороны имеющихся конкурентных разработок.

Основными конкурентными техническими решениями являются западные разработки, позволяющие также снижать накопление асфальтовых 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 Таблица 6. Конкурентные решения, описанные выше, обозначены в приведенной таблице «к1» и «к2» соответственно.

Таблица 6 – 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. Надёжность	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	0,45	0,27	0,36
Итого	1,00	55	52	52	4,02	3,64	3,73

Конкурентоспособность технических разработок определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – 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 Таблица 7.

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 7 – Матрица SWOT-анализа

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

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 Таблица 8.

Таблица 8 – 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	+
		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 Таблица 9.

Таблица 9 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны (S):</p> <p>S1. Потенциальная экономичность и энергоэффективность;</p> <p>S2. Потенциал для улучшения экологической составляющей на действующих предприятиях;</p> <p>S3. Простота использования предложенных рецептур на практике;</p> <p>S4. Возможность подбора и изменения рецептуры смесей-ингибиторов в зависимости от физико-химических характеристик сырья.</p>	<p>Слабые стороны (W):</p> <p>W1. Большой срок внедрения научно-технического решения на производство;</p> <p>W2. Отсутствие бюджетного финансирования;</p> <p>W3. Недостаточно большой объём проведённых исследований;</p> <p>W4. Возможные неточности при использовании стохастического моделирования.</p>
<p>Возможности (O):</p> <p>O1. Повсеместное внедрение на предприятия нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего секторов;</p> <p>O2. Разработка нового способа предотвращения образования асфальтовых отложений;</p> <p>O3. Внедрение разработанной технологической схемы на предприятия для производства смесей-ингибиторов;</p> <p>O4. Повышение стоимости конкурентных технологических решений.</p>	<p>1. Разработка нового метода по предотвращению образования асфальтовых отложений (O1S1S2S3S4);</p> <p>2. Сокращение количества АСПО на всех этапах производственного цикла и утилизация имеющихся отходов (O2S1S3S4);</p> <p>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):</p> <p>T1. Отсутствие спроса на новое технологическое решение;</p> <p>T2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства;</p> <p>T3. Разработка аналогов технологического решения конкурентами;</p> <p>T4. Опровержение полученных результатов в ходе научного исследования.</p>	<p>1. Продвижение разработанных технологических решений с целью создания спроса на продукт (T1S1S3S4);</p> <p>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 научно-исследовательского проекта (T1W1; T2W2);</p> <p>2. Увеличение экспериментальной и информационной базы для большей точности прогнозирования рецептур (T3W1W2W3W4; T4W3W4).</p>

Анализ внутренней и внешней среды научно-исследовательского проекта отразил имеющиеся у данной разработки проблемы, которые необходимо решить в ближайшем будущем. Эти 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 смесей-ингибиторов;
- уточнение и оптимизация разработанной математической модели для прогнозирования рецептуры смесей;
- модернизация технологического решения для возможности внедрения представленной разработки на действующие предприятия.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научного исследования

При проведении различных научных исследований всегда можно определить альтернативные способы. В предыдущем разделе были использованы методы, которые позволили выявить и предложить возможные альтернативы проведения научного исследования. Для рассмотрения альтернативы проведения научного исследования, воспользуемся морфологическим подходом.

Данный подход заключается в исследовании всех альтернатив, которые вытекают из закономерностей строения объекта исследования. Такой подход охватывает известные и новые варианты решения. С помощью комбинирования полученных вариантов могут быть получены решения, которые представляют практический интерес.

В проведённом научном исследовании основным методом получения экспериментальных данных является анализ компонентного состава образцов. Однако, данный анализ может быть проведён различными методами. Может

быть использовано различное количество навески нефтяного сырья, различные растворители, методы выделения веществ и т.д.

В Таблица 10 представлена морфологическая матрица для проведения экспериментального научного исследования.

Таблица 10 – Морфологическая матрица для проведения научного исследования

		1	2	3
А	Метод проведения анализа	«Горячий» метод Гольде	«Холодный» метод Гольде	SARA-анализ хроматографией
Б	Масса навески образца	1 грамм	3 грамма	2 грамма
В	Основное оборудование для проведения анализа	Экстрактор Соклетта	Колонка хроматографическая	Колонка хроматографическая
Г	Время выдерживания образцов	24 часа	12 часов	0 часов
Д	Количество параллельно проводимых опытов	4 опыта	8 опытов	6 опытов
Е	Экстрагент для масел	Гексан	Гексан-толуольная смесь (4 : 1)	Гексан
Ж	Экстрагент для бензольных смол	Бензол	Толуол	Бензол
З	Экстрагент для спирт-бензольных смол	Спирт-бензольная смесь (1 : 1)	Спирт-толуольная смесь (1 : 1)	Спирт-бензольная смесь (1 : 1)

Приведённые варианты представляют собой три разные методики проведения экспериментального исследования. Отметим, что имеется возможность комбинирования различных вариантов, приведённых в таблице. Однако, не стоит забывать о том, что существует невозможность совмещения, к примеру, «горячего» метода Гольде и времени выдерживания 0 часов. Поэтому определим три основных возможных варианта:

- А1Б1В1Г1Д1Е1Ж1З1;
- А2Б2В2Г2Д2Е2Ж2З2;
- А3Б3В3Г3Д3Е3Ж3З3.

Также отметим, что вариант под номером 3 является достаточно неточным, хотя является экспрессным. В связи с этим далее приведены расчёты для двух исполнений. Исполнение 1 представляет собой первый вариант. Проведение анализа «горячим» методом Гольде в аппарате Соклетта с экстракцией масел гексаном, бензольных смол – бензолом и спирт-бензольных

смола – смесью этиловый спирт : бензол в соотношении 1 : 1 по объёму. Масса навески 1 грамм, время выдерживания раствора – 24 часа, параллельное проведение 4 опытов. Исполнение 2 представляет собой второй вариант. Проведение анализа «холодным» методом Гольде с помощью хроматографического разделения в колонке с экстракцией масел смесью гексан : толуол в соотношении 3 : 1 по объёму, бензольных смол – толуолом и спирт-бензольных смол – смесью этиловый спирт : толуол в соотношении 1 : 1 по объёму. Масса навески 3 грамм, время выдерживания раствора – 12 часов, параллельное проведение 8 опытов. Далее данные исполнения обозначены в таблицах как «Исп. 1» и «Исп. 2» соответственно.

Таким образом, был проведён обзор альтернативных проведения научного исследования, составлена морфологическая матрица, выбраны варианты исполнения для дальнейших расчётов.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для реализации научно-исследовательского проекта была сформирована исследовательская группа, в состав которой вошли: студент (С), научный руководитель (НР), консультант по разделу «Объект и методы исследования», «Результаты исследования» (К), консультант по разделу «Финансовый менеджмент» (ФМ), консультант по разделу «Социальная ответственность» (СО). Был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научно-исследовательского проекта и проведено распределение исполнителей. Результаты представлены в

Таблица 1111.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей для реализации научно-исследовательского проекта

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультанты К, ФМ, СО
Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Научный руководитель, студент
	3	Обзор современных методов и патентных исследования по выбранному направлению	Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Научный руководитель, консультант К, студент
	6	Проведение экспериментов	Студент
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Научный руководитель, консультант К, студент
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведённых исследований	Научный руководитель, консультант К
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Научный руководитель, студент
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка предполагаемой технологической схемы	Научный руководитель, консультант К, студент
	11	Оценка эффективности	Студент
	12	Сбор информации для выполнения раздела «Финансовый менеджмент»	Студент
	13	Оформление раздела «Финансовый менеджмент»	Студент, консультант ФМ
	14	Сбор информации для раздела «Социальная ответственность»	Студент
	15	Оформление раздела «Социальная ответственность»	Студент, консультант СО
Оформление отчёта по НИР	16	Составление пояснительной записки	Научный руководитель, студент
	17	Сдача работы на рецензирование	Студент
	18	Предзащита	Научный руководитель, студент
	19	Подготовка к защите ВКР	Студент
	20	Защита ВКР	Научный руководитель, студент

4.3.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудоёмкость выполнения исследования в рамках выполнения ВКР оценивается экспертным путём в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

Для удобства дальнейшего построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности; $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные временные показатели реализации научно-исследовательского проекта приведены в Таблица 12.

Таблица 12 – Временные показатели реализации научно-исследовательского проекта

Наименование работы	Трудоёмкость работ, чел-дни			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mini}	t_{maxi}	$t_{ожи}$			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	НР, К, ФМ, СО	0,5	1
Выбор направления исследования	3	6	4,2	НР, С	2,1	3
Обзор современных методов и патентных исследования по выбранному направлению	3	6	4,2	С	4,2	6
Календарное планирование работ по теме	1	3	1,8	НР, С	0,9	1
Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	5	14	8,6	НР, К, С	2,9	4
Проведение экспериментов	30	90	54,0	С	54,0	80
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5	10	7,0	НР, К, С	2,3	3
Оценка эффективности проведённых исследований	1	3	1,8	НР, К	0,9	1
Определение целесообразности проведения ОКР	2	4	2,8	НР, С	1,4	2

Продолжение таблицы 12

Разработка предполагаемой технологической схемы	3	5	3,8	НР, К, С	1,3	2
Оценка эффективности	1	3	1,8	С	1,8	3
Сбор информации для выполнения раздела «Финансовый менеджмент»	1	3	1,8	С	1,8	3
Оформление раздела «Финансовый менеджмент»	3	5	3,8	С, ФМ	1,9	3
Сбор информации для раздела «Социальная ответственность»	1	3	1,8	С	1,8	3
Оформление раздела «Социальная ответственность»	2	5	3,2	С, СО	1,6	2
Составление пояснительной записки	10	20	14,0	НР, С	7,0	10
Сдача работы на рецензирование	1	3	1,8	С	1,8	3
Предзащита	1	2	1,4	НР, С	0,7	1
Подготовка к защите ВКР	5	10	7,0	С	7,0	10
Защита ВКР	1	1	1,0	НР, С	0,5	1

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Используя данные, полученные при составлении таблицы 11, выполним построение календарного плана-графика. Для этого взяты максимальные значения по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 12 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за весь период времени дипломирования. При этом работы в графике выделены различными цветами в зависимости от исполнителей.

Таблица 13 – Временные показатели реализации научно-исследовательского проекта для построения диаграммы Ганта

Наименование работы	Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
Составление и утверждение технического задания	НР, К, ФМ, СО	0,5	1
Выбор направления исследования	НР, С	2,1	3
Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	С	4,2	6
Календарное планирование работ по теме	НР, С	0,9	1
Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	НР, К, С	2,9	4
Проведение экспериментов	С	54,0	80
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР, К, С	2,3	3
Оценка эффективности проведённых исследований	НР, К	0,9	1
Определение целесообразности проведения ОКР	НР, С	1,4	2
Разработка предполагаемой технологической схемы	НР, К, С	1,3	2
Оценка эффективности	С	1,8	3
Сбор информации для выполнения раздела «Финансовый менеджмент»	С	1,8	3
Оформление раздела «Финансовый менеджмент»	С, ФМ	1,9	3
Сбор информации для раздела «Социальная ответственность»	С	1,8	3
Оформление раздела «Социальная ответственность»	С, СО	1,6	2
Составление пояснительной записки	НР, С	7,0	10
Сдача работы на рецензирование	С	1,8	3
Предзащита	НР, С	0,7	1
Подготовка к защите ВКР	С	7,0	10
Защита ВКР	НР, С	0,5	1

Диаграмма Ганта представлена в Таблица 14.

Таблица 14 – Календарный план-график проведения научно-исследовательских работ по теме

№ работ	Наименование работы	Исполнители	T_{ki} , кал.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, К, ФМ, СО	1	■												
2	Выбор направления исследования	НР, С	3	■												
3	Обзор современных методов и патентных исследования по выбранному направлению	С	6		■											
4	Календарное планирование работ по теме	НР, С	1		■											
5	Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	НР, К, С	4		■											
6	Проведение экспериментов	С	80	■	■	■	■	■	■	■	■					
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР, К, С	3						■	■						
8	Оценка эффективности проведённых исследований	НР, К	1						■	■						
9	Определение целесообразности проведения ОКР	НР, С	2						■	■						
10	Разработка предполагаемой технологической схемы	НР, К, С	2							■	■					
11	Оценка эффективности	С	3						■	■						

Продолжение таблицы 14

12	Сбор информации для выполнения раздела «Финансовый менеджмент»	С	3															
13	Оформление раздела «Финансовый менеджмент»	С, ФМ	3															
14	Сбор информации для раздела «Социальная ответственность»	С	3															
15	Оформление раздела «Социальная ответственность»	С, СО	2															
16	Составление пояснительной записки	НР, С	10															
17	Сдача работы на рецензирование	С	3															
18	Предзащита	НР, С	1															
19	Подготовка к защите ВКР	С	10															
20	Защита ВКР	НР, С	1															

– НР
 – С
 – К
 – ФМ
 – СО

4.3.4 Бюджет научно-технического исследования

В процессе формирования бюджета научно-технического исследования должно производиться полное и достоверное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. При планировании бюджета используются следующие статьи расходов:

- материальные затраты научно-технического исследования;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.3.4.1 Расчёт материальных затрат научно-технического исследования

Расчёт материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где Z_m – материальные затраты, руб.; k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы; m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении исследования; $N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.).

Материальные затраты, необходимые для реализации данного научно-исследовательского проекта представлены в Таблица 15. Коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаем равным 20 %.

Таблица 15 – Материальные затраты для реализации научно-исследовательского проекта

Наименование затрат	Единица измерений	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
Спирт этиловый	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

* обозначения «Исп. 1» и «Исп. 2» – исполнение 1 и исполнение 2 соответственно; более подробное описание в разделе 4.2.

4.3.4.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данной статье затрат учитываются все затраты, которые связаны с приобретением специального оборудования, которое необходимо для данного научно-исследовательского проекта. Определение стоимости спецоборудования производилось по действующим прейскурантам. Все расчёты, которые связаны с приобретением спецоборудования и оборудования, которые имеется в организации, но используется для данного научно-исследовательского проекта сведены в Таблица 16.

Таблица 16 – Расчёт бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научно-исследовательского проекта

Наименование оборудования	Количество		Цена за ед., 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	-

Продолжение таблицы 16

Колонка хроматографическая, 1000 мм	-	8	3 762	-	30 096
Штатив лабораторный (Бунзена), 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 для колбы на 250 мл	2	-	9 200	18 400	-
Колбонагреватель для колбы 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 учётом доставки и монтажа оборудования				490 636	510 324

4.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением исследовательских работ и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение рабочего времени; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени исполнителей научно-исследовательского проекта

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные дни; - праздничные дни.	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск; - невыходы по болезни.	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	191	219

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{тс}}$); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Гомска).

Таблица 18 – Расчёт основной заработной платы исполнителей научно-исследовательского проекта

Исполнитель	$Z_{тс}$, руб	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Научный руководитель	34 187,0	0,3	0,2	1,3	66 664,7	3 629,9	29	105 267,3
Студент	14 512,0	0,3	0,2	1,3	28 298,4	1 343,9	140	188 139,1
Консультант по разделам «Объект и методы исследования», «Результаты исследования»	20 058,0	0,3	0,2	1,3	39 113,1	2 129,7	11	23 426,9
Консультант по разделу «Финансовый менеджмент»	34 187,0	0,3	0,2	1,3	66 664,7	3 629,9	3	10 889,7
Консультант по разделу «Социальная ответственность»	26 872,0	0,3	0,2	1,3	52 400,4	2 853,2	3	8 559,6

4.3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчёт дополнительной заработной платы ведётся по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата сотрудника, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15); $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 19 – Расчёт заработной платы исполнителей научно-исследовательского проекта

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб	$k_{доп}$	$Z_{доп}$, руб	$Z_{зп}$, руб
Научный руководитель	105 267,3	0,13	13 684,8	118 952,1
Студент	188 139,1		24 458,1	212 597,2
Консультант по разделам «Объект и методы исследования», «Результаты исследования»	23 426,9		3 045,5	26 472,4
Консультант по разделу «Финансовый менеджмент»	10 889,7		1 415,7	12 305,4
Консультант по разделу «Социальная ответственность»	8 559,6		1 112,8	9 672,4

Итого	336 282,7		43 716,8	379 999,5
-------	-----------	--	----------	-----------

4.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

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

где $Z_{\text{внеб}}$ – отчисления во внебюджетный 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 20 – 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	105267,3	13684,8	26169,5	3449,6	6066,6	35685,6
Студент	188139,1	24458,1	46771,4	6165,3	10842,5	63779,2
Консультант по разделам «Объект и методы исследования», «Результаты исследования»	23426,9	3045,5	5823,9	767,7	1350,1	7941,7
Консультант по разделу «Финансовый менеджмент»	10889,7	1415,7	2707,2	356,9	627,6	3691,6
Консультант по разделу «Социальная ответственность»	8559,6	1112,8	2127,9	280,5	493,3	2901,7
Итого	336282,7	43716,8	83599,9	11020,0	19380,0	113999,8

4.3.4.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей 1} \div 5) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

4.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-технического проекта

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

Бюджет затрат на реализацию научно-исследовательского проекта по каждому варианту исполнения представлен в таблице 21.

Таблица 21 – Расчёт бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб		Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	
Материальные затраты исследовательских работ	27 806,0	52 812,0	Подраздел 4.3.4.1
Затраты на специальное оборудование для исследовательских работ (амортизационные отчисления)	490 636,0	510 324,0	Подраздел 4.3.4.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	336 282,7	336 282,7	Подраздел 4.3.4.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	43 716,8	43 716,8	Подраздел 4.3.4.4
Отчисления во внебюджетные фонды	113 999,8	113 999,8	Подраздел 4.3.4.5
Накладные расходы	161 990,6	169 141,7	Подраздел 4.3.4.6
Бюджет затрат исследовательских работ	1 174 431,9	1 226 277,0	Сумма всех статей

Таким образом, в данном разделе был проведён и обоснован расчёт бюджета затрат на реализацию научно-исследовательского проекта. Итоговая сумма затрат составляет 1 174 тыс. руб. Расчёты были произведены с учётом актуальной информации о тарифах и ценах на материалы, оборудовании, оплате труда сотрудников.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности исследования. Его нахождение

связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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).

$$\text{Для исполнения 1: } I_{\text{финр}}^1 = \frac{1\,174\,431,9}{1\,226\,277,0} = 0,96.$$

$$\text{Для исполнения 2: } I_{\text{финр}}^2 = \frac{1\,226\,277,0}{1\,226\,277,0} = 1,00.$$

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

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

$$I_p^i = \sum a_i \cdot b_i,$$

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

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

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

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

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

$$I_{\text{исп1}}^1 = \frac{I_p^1}{I_{\text{финр}}^1} = \frac{4,65}{0,96} = 4,84;$$

$$I_{\text{исп2}}^2 = \frac{I_p^2}{I_{\text{финр}}^2} = \frac{4,10}{1} = 4,10.$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}^1}{I_{\text{исп2}}^2} = \frac{4,84}{4,10} = 1,18.$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{исп1}}^1$ – интегральный показатель исполнения 1; $I_{\text{исп2}}^2$ – интегральный технико-экономический показатель исполнения 2.

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	1,00
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,10
Интегральный показатель эффективности	4,84	4,10
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	1,18

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.

Выводы

В данном разделе был рассмотрен коммерческий потенциал реализации научно-исследовательского проекта и его возможные перспективы на рынке. Проведена оценка ресурсоэффективности предложенного проекта. Описан и составлен план необходимых работ для реализации данного проекта.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило сделать вывод о том, что наиболее эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является текущий научно-исследовательский проект.

5 Социальная ответственность

Введение

Ввиду глубокого истощения запасов лёгких и средних нефтей, в процессы добычи, транспортировки и переработки в настоящее время вовлекаются нетрадиционные источники углеводородов. Вследствие чего производство различных операций с сырьём данного типа будет отягощено из-за его специфических реологических свойств.

Актуальность исследования заключается в необходимости предотвращения нарушения агрегативной устойчивости нефтяной дисперсной системы, агрегатов асфальтеновых веществ и, как следствие, асфальтосмолопарафиновых отложений асфальтенового типа.

Исследование влияние смесей-ингибиторов на основе природных нефтяных смол на процесс осаждения асфальтеновых агрегатов позволит получить сведения о возможных механизмах взаимодействий, протекающих между асфальтенами и смолистыми веществами. Согласно результатам исследования имеет место потенциал к разработке технологии извлечения смолистых веществ и их применения в качестве ингибитора кольматирующих отложений на стенках производственного оборудования.

Область применения данного исследования затрагивает большое количество предприятий, относящихся к нефтедобывающему и нефтеперерабатывающему сектору. Данные предприятия в свою очередь нуждаются в глубокой модернизации имеющихся технологий и разработке новых, связанных с нетрадиционными источниками углеводородов.

Объектами исследования были выбраны образцы тяжёлой нефти различных месторождений, имеющих разные физико-химические характеристики.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала является обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. Это связано неразрывно с решением различных задач, направленных на улучшение условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности. Помимо этого, с целью повышения эффективности систем оценки условий труда работников, выявления и управления профессиональными рисками, должно производиться непрерывное совершенствование нормативной правовой базы.

Для того, чтобы обеспечивать и производить контроль соблюдения требований охраны труда на предприятии, имеются органы власти. К данной категории относятся: Правительство РФ, местные уполномоченные исполнительные органы, Федеральная служба по труду и Государственные инспекции труда.

В значительной мере улучшить условия труда работников позволит разработка комплекса мер, которые будут направлены на модернизацию производства. Однако, необходимо учитывать при разработке данного комплекса не только отечественный опыт, но и международный. Это позволит производить совершенствование нормативных правовых баз Российской Федерации в соответствии с международными нормами.

Федеральный закон Российской Федерации № 426-ФЗ устанавливает правовые и организационные основы, а также порядок проведения специальной оценки условий труда, определяет правовое положение, права, обязанности и ответственность участников оценки условий труда.

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, № 197-ФЗ каждый работник аудитории 134, 2 корпус НИ ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счёт средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счёт средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

Согласно ТК РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ Глава 21:

- работник, занятый на тяжёлых работах, работах с вредными или опасными и иными особыми условиями труда, имеет право получать повышенную ставку оплаты труда.

5.1.2 Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место исследований влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы представляет собой научно-исследовательскую лабораторию «Природные энергоносители», расположенную в 134 аудитории 2 корпуса

отделения химической инженерии инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета. Рабочее место в аудитории 134, 2 корпуса НИ ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [46]. Данная лаборатория оборудована приточно-вытяжной вентиляцией принудительного типа, горячим и холодным водоснабжением, а также канализацией. Полы выполнены из материала, представляющего собой жаростойкую, гидрофобную керамогранитную плитку. Лабораторные столы имеют гладкую поверхность, произведённую из материалов, которые не сорбируют токсичные вещества и легко поддаются очистке.

При работе с вредными, токсичными и легколетучими веществами сотрудники пользуются вытяжными шкафами, которые обеспечивают их изоляцию от опасной среды. Помещение, в котором находится лаборатория имеет достаточное освещение дневным и искусственным светом. В условиях работы в химической лаборатории задачами производственной санитарии являются:

- предупреждение профессиональных отравлений;
- предотвращение воздействие на работающих ядовитых и раздражающих веществ, производственной пыли, шума и других вредных факторов;
- определение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе производственных помещений;
- разработка и эксплуатация средств индивидуальной защиты, системы вентиляции, отопления, рационального освещения.

Таким образом, место сотрудника аудитории 134, 2 корпуса НИ ТПУ соответствует требованиям [47].

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, которая уменьшает вероятность

воздействия на сотрудников опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до необходимого уровня. Важным этапом в организации данной системы является выявление вредных и опасных факторов, которые возникают на этапах разработки, изготовления и эксплуатации смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных нефтяных смол. Определение факторов было произведено с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [48]. Факторы, которые были определены в ходе исследования представлены в Таблица 24.

Таблица 24 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Воздействие вредных веществ	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. Неудовлетворительный микроклимат	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
3. Повышенный уровень шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. Система безопасности труда. Шум.
4. Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
5. Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
6. Пожаровзрывоопасность на объектах	+	+	+	ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования.

5.2.1 Воздействие вредных веществ

Основными загрязнителями воздушной среды рабочего места исследователя являются пыль и газообразные выбросы опасных веществ. Для

возможности установления степени вредности различных типов загрязнений воздушной среды используют значения предельно допустимой концентрации.

ПДК – концентрация, которая при ежедневной (исключая выходные дни) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности рабочего дня, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Класс опасности вещества и ПДК были определены согласно ГОСТ 12.1.005-88 [49]. Перечень веществ, которые используются в лаборатории, представлен в Таблица 25.

Таблица 25 – Перечень вредных веществ, выделяемых в воздушное пространство рабочей зоны исследователя

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Воздействие на человека и окружающую среду
Нефть	10	III	При отравлении наблюдаются головная боль, головокружение, чувство опьянения, расстройство координации движения, понижение температуры тела, замедление пульса, насморк, першение в горле, кашель, тошнота. Наиболее поражаемыми органами и системами являются нервная, дыхательная и сердечно-сосудистая, желудочно-кишечный тракт, печень, почки, селезенка.
Толуол	50	III	При отравлении наблюдаются возбуждение, сменяющееся вялостью, заторможенностью, головокружение, головная боль, чувство опьянения, першение в горле, кашель, слезотечение, нарушение координации движений, тошнота, рвота, боли в области живота; в тяжелых случаях – судороги, галлюцинации, потеря сознания, возможен смертельный исход. Наиболее поражаемыми органами и системами являются центральная нервная и дыхательная системы, печень, почки, селезенка, система крови.

Продолжение таблицы 25

Гексан	300	IV	Отравление происходит при вдыхании и при поступлении через рот. При вдыхании наблюдаются головная боль, головокружение, слезотечение, першение в горле, кашель, тошнота, рвота, горизонтальный нистагм, психические нарушения, потеря сознания, остановка дыхания. При поступлении через рот наблюдаются тошнота, рвота, жжение в желудке, головная боль, головокружение, боль в области живота, потеря сознания. Наиболее поражаемыми органами и системами являются центральная и периферическая нервная система, дыхательная система, печень, почки, кожа, глаза.
Бензол	15	II	Отравление происходит при вдыхании и при поступлении через рот. При вдыхании наблюдаются возбуждение, головная боль, головокружение, одышка, тошнота, рвота, нарушение координации движений, при нарастании явлений интоксикации эйфория сменяется общей слабостью, апатией, сонливостью, непрерывный тремор, постепенно ослабевающий и сменяющийся судорогами, спутанность сознания. При попадании через рот наблюдаются тошнота, рвота, сильная отрыжка (опасность аспирации), боль в горле, по ходу пищевода, в области живота, диарея; в тяжелых случаях возможен летальный исход в результате паралича дыхательного центра или прекращения сердечно-сосудистой деятельности. Наиболее поражаемыми органами и системами являются центральная и периферическая нервная и дыхательная системы, желудочно-кишечный тракт, печень, почки, система крови.
Спирт этиловый	1 000	IV	Отравление происходит при вдыхании и при поступлении через рот. При вдыхании наблюдаются кашель, головная боль, головокружение, сонливость, нарушение координации движений. При поступлении через рот наблюдаются головокружение, нарушение координации движений, спутанность сознания, рвота, сонливость; в тяжелых случаях – потеря сознания, полный наркоз, цианоз кожи и слизистых оболочек, поверхностное дыхание. Наиболее поражаемыми органами и системами являются центральная нервная, дыхательная и сердечно-сосудистая системы, желудочно-кишечный тракт, печень, почки, селезенка, кровь.

Согласно [47] ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны в аудитории 134, 2 корпуса НИ ТПУ соответствует допустимым нормам.

5.2.2 Неудовлетворительный микроклимат

Метеорологические условия производственной среды регламентируются санитарными нормами промышленных предприятий СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [50].

Научно-исследовательская лаборатория относится к категории Па. В данном помещении необходимо создание специального микроклимата, чтобы сотрудники могли в зимнее время обогреться, а в летнее – укрыться от зноя и осадков. Температура воздуха в тёплый период года должна поддерживаться от 20 до 22 °С, а в холодный период – от 19 до 21 °С. Необходимо также поддержание относительной влажности на уровне от 40 до 60 %, скорости воздуха не более 0,2 м/с. Необходимо наличие хорошего освещения, отопления, удобной мебели для отдыха и светлые тона комнаты, которые способствуют быстрому восстановлению работоспособности.

Для поддержания в помещениях необходимых условий труда широко используется система кондиционирования. В здании применяется приточно-вытяжная вентиляция принудительного типа. Для снижения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны для допустимого значения ПДК используется приток воздуха. По требованию производства имеется аварийная вентиляции, которая включается автоматически при чрезвычайных ситуациях.

Согласно [47] микроклимат аудитории 134, 2 корпуса НИ ТПУ соответствует допустимым нормам.

5.2.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

В основе шума находится физическое явление – это машины, аппараты, механически колебания, которые создаются при работе машин и механизмов из-за неуравновешенности вращающихся частей, трения и соударения деталей,

больших скоростей движения и пульсации, перемещаемых в транспортных магистралях жидкостей и газов. Практически любое технологическое оборудование может являться источником шума различной интенсивности. К такому оборудованию можно отнести насосы, вентиляционные установки, компрессоры, трансформаторы, электродвигатели и т.п.

Нормативный эквивалентный уровень звука установлен равным 80 дБ согласно ГОСТ 12.1.003-2014 «Система безопасности труда. Шум» [51].

Предел слухового восприятия для человека достигает 140 дБ. Уровень интенсивности в 150 дБ не переносим для человека. Для снижения шума используются следующие методы:

- уменьшение шума в источнике его образования;
- изоляция источника шума средствами звукоизоляции, звукопоглощения, архитектурно-планировочные решения, которые предусматривают рациональное размещение производственного оборудования;
- применение средств индивидуальной защиты согласно техническим регламентирующим документам.

Согласно [47] уровень шума в аудитории 134, 2 корпуса НИ ТПУ не более 80 дБ и соответствует нормам.

5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

К важнейшим элементам благоприятных условий труда относится рациональное освещение помещений и рабочих установок. В лаборатории используется искусственное и естественное освещение. Нормирование естественного освещения сводится к нормированию коэффициента естественного освещения, который должен быть не менее 1,5 %. Нормирование искусственного освещения производится в единицах освещённости – люксах (лк), значение которых должно быть 300 лк. Для создания необходимой освещённости используют люминесцентные лампы типа ЛБУ, которые создают искусственный свет, близкий к естественному.

В научно-исследовательской лаборатории «Природные энергоносители», в которой проводилось исследование, используется комбинированная система освещения (искусственное и местное).

Согласно [47] освещённость в аудитории 134, 2 корпуса НИ ТПУ соответствует допустимым нормам.

5.2.5 Поражение электрическим током

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещается рабочее место с электроприборами в аудитории 134, 2 корпуса НИ ТПУ, всё электрооборудование оснащено защитным заземлением. По опасности поражения электрическим током аудитория 134, 2 корпуса НИ ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности, так как аудитория характеризуется пониженной влажностью воздуха, наличием вентиляционной системы, отопления, токонепроводящих полов [52].

Основными непосредственными причинами электротравматизма являются использование электроустановок, непринятых в эксплуатацию; несвоевременная замена неисправного или устаревшего оборудования, несоблюдение технических мероприятий безопасности при эксплуатации электроустановок, невыполнение или неправильное выполнение организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность производства работ; допуск к работе лиц, имеющих медицинские противопоказания; игнорирование правил безопасности квалифицированным персоналом.

Основными техническими средствами защиты, согласно [52], являются изолирующие штанги, электроизмерительные клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки, инструменты с изолирующим покрытием, диэлектрическая обувь, сигнализаторы напряжения, плакаты и знаки безопасности.

В соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» [53] действующее на производстве электрооборудование подразделяется на 5 классов защиты: 0, 0I, I, II, III. Исходя

из этой классификации, применяются следующие мероприятия по обеспечению безопасности при работе с электрооборудованием: изоляция токоведущих частей, малое напряжение в электрических цепях, защитное заземление, защитное отключение, использование оболочек блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям.

Регламентирование требований безопасности при эксплуатации электрооборудования производится в соответствии с нормативными документами [52]. При этом к не электротехническому персоналу, который выполняет работы с возможностью возникновения опасности поражения электрическим током, присваивается группа I по электробезопасности.

Присваивание данной группы производится при проведении инструктажа и проверке навыков безопасных способов работы при оказании первой помощи при поражении электрическим током. Присвоение I группы по электробезопасности проводится с периодичностью не реже 1 раза в год.

5.2.6 Пожаровзрывоопасность на объектах

Пожарная опасность при работе с нефтями и нефтепродуктами обусловлена наличием легковоспламеняющихся жидкостей и газов.

Научно-исследовательская лаборатория «Природные энергоносители» относится по степени пожароопасности к категории «А», что означает, что это производство, связанное с обращением с легковоспламеняющимися жидкостями и обработкой несгораемого материала.

Ответственные лица за пожарную безопасность должны обеспечить помещения первичными средствами пожаротушения согласно нормативным документам.

В качестве первичных средств пожаротушения используются ручные огнетушители, кошма, песок, внутренние пожарные краны.

В качестве средств индивидуальной защиты применяются противогазы, респираторы, защитные накидки, маски, диэлектрические средства защиты, аптечка.

Согласно Правилам пожарной безопасности, работники и учащиеся образовательного учреждения обязаны проходить противопожарный инструктаж и допускаться к работе только после этого. При изменении специфики работы необходимо обеспечивать прохождение дополнительного обучения по предупреждению и тушению возможных пожаров в порядке, который установлен руководителем организации.

Проведение противопожарных инструктажей необходимо сопровождать показом способов использования имеющихся средств пожаротушения.

Согласно требованиям нормативных документов производится оценка энергетического уровня и определение категории взрывоопасности помещений. В соответствии с этими документами предусмотрены отключающие устройства, средства контроля, управления противоаварийной защиты с целью обеспечения минимального уровня взрывоопасности.

Взрывобезопасность любого производственного процесса должна обеспечиваться взрывопреупреждением и взрывозащитой, организационно-техническими мероприятиями.

В научно-исследовательской лаборатории предусмотрена защита помещения, оборудования путём присоединения корпусов установок и приборов к заземляющему устройству, а также установкой молниеприёмников.

Таким образом, исходя из специальной оценки условий труда, был сделан вывод о том, что анализируемое рабочее место (научно-исследовательская лаборатория «Природные энергоносители») относится ко 2 классу по степени вредности. Следовательно, на работника воздействуют вредные и опасные факторы, но при этом уровни их воздействия не превышают уровни, установленные нормативами условий труда. При этом изменённое состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены).

5.3 Экологическая безопасность

Научно-исследовательская лаборатория «Природные энергоносители» является не особо опасным объектом, воздействующим на окружающую среду.

Имеется два основных принципа при защите окружающей среды от вредного воздействия: максимально эффективная очистка отходов производства; создание безотходного производства.

Для научно-исследовательских лабораторий применяют оба принципа, однако находит большее применение ввиду наиболее простого исполнения первый принцип.

Воздействие на атмосферу обусловлено выбросами вредных газов и паров. Ввиду незначительной концентрации данных газов в воздухе рабочего места, для очистки выбросов необходимо использование адсорбционного фильтра. Для этого в системе приточно-вытяжной вентиляции принудительного типа установлены перегородки, а поверх них уложен слой адсорбента, в качестве которого достаточно часто используется активированный уголь. Поток воздуха проходит через слой адсорбента, при этом происходит адсорбция паров и газов. Тем самым достигается очистка воздуха и снижается вредное воздействие на исследователя на рабочем месте.

Воздействие на гидросферу обусловлено попаданием различных жидкостей в сточные воды. Все выбросы в канализацию должны быть подвержены обезвреживанию и очистке. Для того, чтобы обеспечить нейтрализацию щелочных и водных сливов, они собираются в отдельные тары для каждого вида, после чего подвергаются нейтрализации, а затем могут быть слиты в канализацию при 10-кратном разбавлением водопроводной водой. Органические сливы также собираются в специальную герметически закрытую тару, которая по мере своего заполнения отправляется на обезвреживание и утилизацию.

Воздействие на литосферу обусловлено выбросами большого количества твёрдых бытовых отходов (ТБО). На данный момент происходит увеличения доли тары и упаковки, а, следовательно, и накопление таких отходов как бумага,

картон, полимерные материалы, стекло и т.п. В связи с недостаточным количеством полигонов для ТБО распространена практика размещения данного типа отходов в местах неорганизованного складирования, что является особо опасным для окружающей среды. Для снижения вредного воздействия необходимо обеспечить организованную утилизацию твёрдых отходов путём сбора в специальные тары и, при возможности, их дальнейшую переработку или уничтожение.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В научно-исследовательской лаборатории существует вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Чрезвычайной ситуацией называется совокупность обстоятельств, сопровождающиеся разрушениями зданий, сооружений, материальных ценностей, поражением и гибелью людей. Для ликвидации аварий разрабатываются различные планы, которые предусматривают мероприятия, которые направлены на спасение людей и ликвидацию аварий.

5.4.1 Анализ возможных чрезвычайных ситуаций при разработке и эксплуатации проектируемого решения

К чрезвычайным ситуациям, способным возникать в научно-исследовательской лаборатории, могут относиться: производственные аварии, стихийные бедствия, социальные конфликты.

Чрезвычайная ситуация техногенного характера, т.е. производственная авария, является наиболее типичной и опасной. В каждой научно-исследовательской лаборатории имеется вероятность возникновения аварийной ситуации. Также возможно возникновение ситуации, при которой атмосфера лаборатории может быть заражена ядовитыми парами или газами. При этом необходимо находиться только в противогазе и отключенных нагревательным приборах. При стихийных бедствиях обязательным является оповещение всех сотрудников об угрозе возникновения ЧС. При возникновении такого сигнала,

работники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, затем необходимо отключить электроэнергию и водоснабжение. После чего, при необходимости необходимо эвакуироваться в безопасное место.

5.4.2 Выбор наиболее типичной чрезвычайной ситуации

Наиболее типичной ЧС в условиях проведения исследования в лаборатории будет являться ситуация техногенного характера, которая может быть вызвана выходом из строя отсеков с хранением образцов нефти и смесей на основе природных смол, а также пожаром в помещениях. Мероприятия по предупреждению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС представлены в разделах 5.4.3 и 5.4.4.

5.4.3 Разработка превентивных мер по предупреждению чрезвычайной ситуации

Превентивные меры по предупреждению ЧС разработаны в соответствии с ГОСТ Р 22.3.03-94:

- своевременная диагностика лабораторного оборудования;
- обслуживание и ремонт приточно-вытяжной вентиляции принудительного типа и осветительных приборов;
- установка современных сигнализаций и приборов контроля помещений научно-исследовательской лаборатории;
- систематический инструктаж персонала научно-исследовательской лаборатории;
- создание планов поддержания рабочего состояния научно-исследовательской лаборатории после возникновения ЧС или аварии;
- создание планов реагирования в случае возникновения террористических актов.

5.4.4 Разработка действий в результате возникшей чрезвычайной ситуации и мер по ликвидации её последствий

При ликвидации последствий ЧС техногенного характера принято осуществлять следующие мероприятия:

- поиск пострадавших во время аварии;
- определение масштабов, степени и характера повреждений зданий и сооружений;
- определение мест аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях, угрожающих жизни пострадавших и затрудняющих проведение спасательных работ;
- фиксация завалов от смещения;
- высвобождение пострадавших и погибших из-под завалов;
- оказание пострадавшим первой медицинской помощи и врачебной помощи на месте;
- регистрация погибших.

5.4.5 Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Пожаровзрывоопасность при работе с нефтями и нефтепродуктами обусловлена наличием легковоспламеняющихся жидкостей и газов.

В качестве профилактических мер работники и учащиеся образовательного учреждения обязаны проходить противопожарный инструктаж и допускаться к работе только после этого. При этом проведение противопожарных инструктажей необходимо сопровождать показом способов использования имеющихся средств пожаротушения. В качестве мер по взрывобезопасности предусмотрены отключающие устройства, средства контроля, управления противоаварийной защиты с целью обеспечения минимального уровня взрывоопасности.

Ответственные лица за пожарную безопасность должны обеспечить помещения первичными средствами пожаротушения согласно нормативным

документам. В исследовательских лабораториях используются ручные огнетушители, кошма, песок, внутренние пожарные краны.

В корпусе 2 НИ ТПУ имеется пожарная автоматика и сигнализация.

Выводы

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где выполнялось исследование влияния смесей-ингибиторов осаждения асфальтенов на основе природных смол на устойчивость нефтяной дисперсной системы, был сделан вывод о том, что научно-исследовательская лаборатория удовлетворяет предъявляемым требованиям и нормам. Соблюдение правил техники безопасности и правил работы в лаборатории не окажет особого влияние на здоровье сотрудника.

Воздействие вредных и опасных факторов на данном рабочем месте сведено к минимуму. Микроклимат, освещение и уровень шума удовлетворяют требованиям, так же, как и требования по электро-, пожаро- и взрывоопасности.

При соблюдении описанных требований к утилизации и обезвреживанию различных видов отходов, деятельность в научно-исследовательской лаборатории не представляет особой опасности для окружающей среды.

Список публикаций студента

1 Стреляев А.Д. Исследование скорости оседания ассоциатов асфальтенов в зависимости от углеводородного состава растворителя / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Фундаментальная математика и её приложения в естествознании: тезисы докладов X Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию первого декана математического факультета БашГУ Зигандара Иргалеевича Биглова, 16-20 октября 2018 г. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. – С. 283-284.

2 Зырянова П.И. Исследование фракций смолисто-асфальтеновых веществ / Зырянова П.И., Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Фундаментальная математика и её приложения в естествознании: тезисы докладов X Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию первого декана математического факультета БашГУ Зигандара Иргалеевича Биглова, 16-20 октября 2018 г. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. – С. 293-294.

3 Зырянова П.И. Перспектива развития процессов облагораживания тяжёлого нефтяного сырья / Зырянова П.И., Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых учёных, 20-23 мая 2019 г. – Томск: ТПУ, 2019. – С. 363-364.

4 Стреляев А.Д. Смолисто-асфальтеновые вещества как основной структурирующий компонент нефтяных дисперсных систем / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых учёных, 20-23 мая 2019 г. – Томск: ТПУ, 2019. – С. 394-396.

5 Логачева Д.Н. Исследование влияния азотсодержащих соединений на переработку углеводородного сырья / Логачева Д.Н., Стреляев А.Д., Шатова

Е.Н., Кривцова К.Б. // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В. Радугина, 8-12 апреля 2019 г. – Томск: ТПУ, 2019. – С. 337-339.

6 Стреляев А.Д. Перспективы развития процессов облагораживания тяжёлого нефтяного сырья / Стреляев А.Д., Зырянова П.И., Кривцова К.Б. // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В. Радугина, 8-12 апреля 2019 г. – Томск: ТПУ, 2019. – С. 371-372.

7 Стреляев А.Д. Сравнительный анализ фракций смолисто-асфальтеновых веществ / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 7-ми томах. Под редакцией И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой, 23-26 апреля 2019 г. – Томск: ТПУ, 2019. – С. 207-209.

8 Стреляев А.Д. Исследование влияния ингибирующей смеси на процессы образования агрегатов смолисто-асфальтеновых веществ / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2019. – Т. 1. – С. 209-211.

9 Стреляев А.Д. Влияние природы растворителя на процесс агрегации смолисто-асфальтеновых веществ / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Вестник современных исследований. – 2019. – № 2.7 (29). – С. 70-74.

10 Стреляев А.Д. Исследование ингибирующего влияния природных нефтяных смол на процесс образования асфальтеновых агрегатов / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. 21-21 апреля 2020 г. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 176-178.

11 Стреляев А.Д. Исследование влияния природных ингибирующих компонентов на процесс образования агрегатов высокомолекулярных соединений нефтяного сырья / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, 6-10 апреля 2020 г. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 314-316.

12 Стреляев А.Д. Исследование механизма ингибирования коагуляции высокомолекулярных компонентов тяжёлого нефтяного сырья с помощью природного ингибитора осаждения / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых учёных, 21-24 сентября 2020 г. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 411-412.

13 Стреляев А.Д. Исследование влияния природных ингибиторов коагуляции на процесс образования асфальтовых агрегатов / Стреляев А.Д. // Химия нефти и газа: материалы XI Международной конференции, посвящённой 50-летию Института химии нефти СО РАН, 28 сентября – 2 октября 2020 г. – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2020. – С. 93.

14 Кривцова К.Б., Стреляев А.Д. Исследование влияния смесей ингибиторов на основе природных смол на процесс осаждения асфальтенов / Кривцова К.Б., Стреляев А.Д. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2021. – № 1. – С. 20-22.

15 Стреляев А.Д. Исследование механизма ингибирования коагуляции высокомолекулярных компонентов тяжёлого нефтяного сырья с помощью природного ингибитора осаждения / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXII Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых учёных, посвящённой 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, 17-20 мая 2021 г. В 2 томах. Том 2. – Томск: ТПУ, 2021. – С. 91-92.

16 Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. Сравнительный анализ фракций смол и их ингибирующего влияния на процесс агрегирования асфальтовых частиц / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов, 12-16 апреля 2021. В 6 томах. Том 2. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет. – С. 145-147.

17 Стреляев А.Д. Исследование механизмов ингибирующего влияния фракций природных нефтяных смол на процесс образования агрегатов асфальтенов тяжёлого нефтяного сырья / Стреляев А.Д., Кривцова К.Б. // Материалы XXXI Менделеевской школы-конференции молодых учёных, 12-14 мая 2021 г. – М.: Издательство «Перо», 2021. – С. 12.

Список использованных источников

- 1 Орлов С.В. Технологическое развитие меняет нефтяную карту мира / Орлов С.В. // Сибирская нефть. – 2020. – № 8 / 175. – С. 8-15.
- 2 Калыбай А.А. Модернизация процессов переработки тяжелого нефтяного сырья / Калыбай А.А., Надиров Н.К., Ширинских А.В., Нуржанова С.Б., Солодова Е.В., Зайтова С.Т. // Вестник Евразийской науки. – 2019. – Т. 11. – № 2. – С. 1-12.
- 3 Ахметов А.Ф., Гареева Н.И. Исследование тяжелой нефти Волго-Уральской нефтегазоносной провинции / Ахметов А.Ф., Гареева Н.И. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2020. – № 2. – С. 10-12.
- 4 Шабалина О.К. Тяжелые нефти и проблемы их измерений / Шабалина О.К. // Инновационные научные исследования в современном мире: теория, методология, практика: сб. науч. статей по материалам III Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2020. – С. 69-73.
- 5 Войтович А.И. Истощение мировых запасов нефти. Перспектива битуминозной нефти / Войтович А.И., Альмендингер Т.И. // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 1. – С. 39-41.
- 6 Бикмухаметова Г.К. Природные битумы. Перспективы использования / Бикмухаметова Г.К., Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А., Сибагатуллина Р.И., Муллахметова Л.И., Мустафина А.М. // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 18. – С. 31-36.
- 7 Рябов В.Д. Химия нефти и газа : учеб. пособие / В.Д. Рябов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. – 335 с.
- 8 Сюняев З.И. Нефтяные дисперсные системы / З.И. Сюняев, Р.З. Сафиева, Р.З. Сюняев. – М.: Химия, 1990. 226 с.
- 9 Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1984. – 368 с., ил.
- 10 Унгер Ф.Г. Фундаментальные аспекты химии нефти. Природа смол и асфальтенов / Унгер Ф.Г., Андреева Л.Н. Институт химии нефти Сибирского

отделения РАН. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 192 с.

11 Nellensteyn F.I. Asphalt / Nellensteyn F.I. // Colloid chemistry. – 1931. – V. 3. – P. 535-544.

12 Pfeiffer I.P. Asphaltic bitumen as colloid system / Pfeiffer I.P., Saal R.N.I. // J. Phys. Chem. – 1940. – V. 44. – № 2. – P. 139-149.

13 Витерспун П.А. Асфальтовые компоненты нефти / Витерспун П.А., Виннифорд Р.С. – М.: Недра, 1970. – С. 244-278.

14 Neuman H.I. Bitumen – neu Erkenntnisse über Aufbau und Eigenschaften / Neuman H.I. // Erdöl und Kohle Erdgas – Petrochemie Brennstoff Chemie. – 1981. – Bd. 34. – № 8. – P. 336-342.

15 Сергиенко С.Р. Высокомолекулярные соединения нефти / Сергиенко С.Р. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 412 с.

16 Yen T.F. Structure of petroleum asphaltene and its significance / Yen T.F. // Energy Sources. – 1974. – V. 7. – № 6. – P. 447-456.

17 Сюняев З.И. Физико-химическая механика нефтей и основы интенсификации процессов их переработки: Учеб. пос. – М.: МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, 1979. – С. 93.

18 Сергиенко С.Р. Высокомолекулярные неуглеводородные соединения нефти / Сергиенко С.Р., Таимова Б.А., Талалаев Е.И. – М.: Наука, 1979. – 269 с.

19 Мухаметзянов И.З. Фрактальная модель конденсированных нефтяных систем / Мухаметзянов И.З., Хафизов Ф.Ш., Кузеев И.Р. // Тез. докл. науч.-техн. конф. «Проблемы синергетики». – Уфа: Уфим. нефт. ин-т, 1989. – С. 104.

20 Лядов А.С. Добыча и переработка тяжёлых нефтей – проблемы и перспективы (Обзор) / Лядов А.С., Петрухина Н.Н. // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91. – № 12. – С. 1683-1692.

21 Гатауллин Р.Н. Состояние разработки месторождений тяжёлой нефти и природных битумов / Гатауллин Р.Н. // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 10. – С. 71-82.

22 Якубов М.Р. Исследование флокуляции и осаждения асфальтенов тяжёлых нефтей УФ-спектрофотометрическим кинематическим анализом / Якубов М.Р., Борисов Д.Н., Якубова С.Г., Абилова Г.Р., Милордов Д.В. // Электронный научный журнал «Нефтяная провинция». – 2016.– № 2. – С. 80-97.

23 Шукин Е.Д. Коллоидная химия: Учеб. для университетов и химико-технолог. вузов / Шукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 445 с.: ил.

24 Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.Д. Сумм. – 2-е издание., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.

25 Гельфман М.И. Коллоидная химия / Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. 5-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 336 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

26 Теренин А.И. Фотоника молекул красителей и сродственных органических соединений / Теренин А.И. – Л.: Наука, 1967. – 616 с.: ил.

27 Бахшиев Н.Г. Спектроскопия межмолекулярных взаимодействий / Бахшиев Н.Г. – Л.: Наука, 1972. – 263 с.: ил.

28 Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий / Каплан И.Г. – М.: Наука, 1982. – 312 с.: ил.

29 Ландау Л.Д. Квантовая механика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М.: Наука, 1974. – 750 с.: ил.

30 Батуева И.Ю. Химия нефти / Батуева И.Ю., Гайле А.А., Поконова Ю.В. и др. – Л.:Химия, 1984 – 360 с.: ил.

31 Якубова С.Г. Особенности состава асфальтенов и смол высоковязкой и сверхвязкой нефтей месторождений Татарстана / Якубова С.Г., Абилова Г.Р., Тазеева Э.Г., Синяшин К.О., Милордов Д.В., Борисов Д.Н., Грязнов П.И., Миронов Н.А., Борисова Ю.Ю., Якубов М.Р. // Нефтяная провинция. – 2017. – № 4 (12). – С. 31-55.

32 Avid B. Characterization of asphaltenes from Marlim vacuum residue using heptane toluene mixture / Avid B., Sato S., Takanohashi T., Saiyo I. // *Energy and Fuel*. – 2004. – V. 18. – № 6. – P. 1792.

33 Гринько А.А. Фракционирование смол и асфальтенов и исследование их состава и структуры на примере тяжёлой нефти Усинского месторождения / Гринько А.А., Головкин А.К. // *Нефтехимия*. – 2011. – Т. 51. – № 3. – С. 204-213.

34 Петрова Л.М. Фракционирование асфальтенов из тяжёлой нефти полярным растворителем и их характеристика / Петрова Л.М., Аббакумова Н.А., Зайдуллин И.М., Борисов Д.Н. // *Нефтехимия*. – 2013. – Т. 53. – № 2. – С. 94-100.

35 Ганеева Ю.М. Особенности самоорганизации асфальтеновых молекул в тяжёлых нефтях при варьировании соотношений нефть : осадитель / Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Морозов В.И., Романов Г.В. // *Нефтехимия*. – 2013. – Т. 53. – № 4. – С. 254-258.

36 Галимова Г.А. Состав, свойства, структура и фракции асфальтенов нефтяных дисперсных систем / Галимова Г.А., Юсупова Т.Н., Ибрагимова Д.А., Якупов И.Р. // *Вестник технологического университета*. – 2015. – Т. 18. – № 20. – С. 60-64.

37 Жестков Д.К. Компонентный анализ тяжелой части нефтей и битумов в малых навесках. Элементный и групповой анализ; химические, хроматографические и спектральные методы / Жестков Д.К., Гальперн Г.Д. – М.: Наука, 1969. – С. 21.

38 Гордадзе Г.Н. Исследование строения бензольных, спирто-бензольных смол и керогена органического вещества пород (на примере пород Баженовской свиты северной части Гыданского полуострова) / Гордадзе Г.Н., Гируц М.В., Пошибаева А.Р., Пошибаев В.В., Гаянова А.А., Постников А.В., Постникова О.В. // *Нефтехимия*. – 2019. – Т. 59. – № 6. – С.618-631.

39 ASTM D 7042-14 «Метод определения динамической вязкости и плотности жидкостей на вискозиметре Штабингера (и расчёт кинематической вязкости)».

40 СТО 1246-2011. Массовая доля смолисто-асфальтовых веществ. Методика измерений в нефтях, нефтяных фракциях, природном битуме, угле, органическом веществе пород, продуктах термолиза керогена и угля гравиметрическим методом.

41 Тарасевич Б.Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье – Москва: МГУ им. Ломоносова, 2012. – 22 с.

42 Фадеева В.П., Тихова В.Д. Количественный элементный анализ органических веществ и материалов. – Новосибирск: НГУ, 2013. – 128 с.

43 ОФС.1.2.1.1.0007.15 Спектроскопия ядерного магнитного резонанса.

44 Степовая Н.А., Пешкова Л.В. Физическая химия. Практикум: учебно-методическое пособие. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2013. – 259 с.

45 Breiman L. Random forests / Breiman L. // Machine Learning. – 2001. – V. 45. – № 1. – P. 5-32.

46 ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

47 426-ФЗ О специальной оценки условий труда, 2013.

48 ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2019.

49 ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008.

50 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

51 ГОСТ 12.1.003-2014. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2019.

52 ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2019.

53 ГОСТ 12.2.007.0-75. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2008.