

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология

Кафедра Химической технологий топлива и химической кибернетики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы				
Влияние условий формирования водонефтяных эмульсий на их структурно-механические свойства				

УДК 622.276.8; 665.622.43

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Мусина Анна Дмитриевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ХТТ и ХК	Левашова Альбина Ивановна	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Экспериментальная часть»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст.науч.сотр. ИХН СО РАН	Прозорова Ирина Витальевна	к.х.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Криницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 18.04.01 Химическая технология
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

Юрьев Е.М.

на выполнение выпускной квалификационной работы

Магистерской диссертации

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

Группа

ФИО

2ДМ5Б

Муслиной Анне Дмитриевне

Влияние условий формирования водонефтяных эмульсий
на их структурно-механические свойства

Утверждена приказом директора (дата, номер)

13.02.2017 г., №762/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

25 мая 2017 г.

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, 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.).

Объектом исследования являются эмульсии на основе высокопарафинистой, смолистой нефти Южно-Табаганского месторождения различной степени обводненности (5, 10, 20, 30 и 40 %), сформированные при температурах 10, 20, 40 и 60 °С

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1) Введение: актуальность; 2) Аналитический обзор: механизм образования водонефтяных эмульсий, влияние температуры и степени обводненности на физико-химические свойства эмульсий; 3) Объекты и методы исследования; 4) Результаты и их обсуждение (влияние температуры формирования эмульсий различной степени обводненности на реологические свойства; анализ микрофотографий эмульсий и их осадков; групповой состав осадка); 5) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 6) Социальная ответственность; 7) Заключение; 8) Список используемой литературы;
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Характеристика объектов и методов исследования; 2) Результаты исследования; 3) Таблицы и диаграммы экономических расчетов;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	Прозорова Ирина Витальевна, к.х.н., с.н.с. ИХН СО РАН
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент кафедры МЕН
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович, ассистент кафедры ЭБЖ
Раздел, выполненный на иностранном языке	Сыскина Анна Александровна, к.ф.н., доцент кафедры ИЯПР
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Обзор литературы 1.1 Физико-химические свойства водонефтяных эмульсий 1.2 Асфальтосмолопарафиновые отложения	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20 февраля 2017 г.
--	---------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ХТТ и ХК	Левашова Альбина Ивановна	к.т.н., доцент		20.02.17 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Мусина Анна Дмитриевна		20.02.17 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5Б	Мусиной Анне Дмитриевне

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– Примерный бюджет проекта – 400 000 руб.; – В реализации проекта задействованы: руководитель от предприятия, руководитель от кафедры, инженер;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	– ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; – ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– Отчисления во внебюджетные фонды – 30% от ФОТ;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– Потенциальные потребители; – Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения; – Оценка готовности проекта к коммерциализации; – Метод коммерциализации;
2. Разработка устава научно-технического проекта	– Цели и результат проекта; – Организационная структура проекта;
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– Контрольные события проекта; – План проекта; – Бюджет научного исследования; – Регистр рисков проекта;
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	– Оценка сравнительной эффективности исследования;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка;
2. Диаграмма причины-следствия Исикавы;
3. Иерархическая структура работ;
4. Календарный план-график проведения НИР;
5. Проектная структура научного исследования;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20 февраля 2017 г.
--	--------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Криницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		20.02.17 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Мусина Анна Дмитриевна		20.02.17 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ5Б	Мусиной Анне Дмитриевне

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Рассматриваемая рабочая зона представляет собой аудиторию № 313 лаборатории реологии нефти ИХН СО РАН В рамках данной работы проводились исследования искусственных водонефтяных эмульсий. В частности, выполнялись опыты на высокоточном измерители низкотемпературных показателей температур.
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда» Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании от 27 декабря 2002 года. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Основными вредными факторами при работе в рассматриваемой рабочей зоне являются факторы, связанные с вредными веществами (трихлорметан, н-гексан, этиловый спирт, толуол), качеством освещения, уровнем шума, состоянием микроклимата. К коллективным средствам защиты в лаборатории можно отнести приточно-вытяжную вентиляцию и вытяжные шкафы. Также в химической лаборатории необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины,	Основными опасными факторами для данного помещения являются возможность поражения электрическим током и возникновение пожара. Источниками возникновения данных факторов электрооборудование и неправильное обращение с ним. В лаборатории проводят пожарную профилактику, которая предусматривает правила обращения с горючими веществами, недопущение утечки

профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	вредных продуктов переработки, соблюдение правил пожарной безопасности и проверку наличия первичных средств пожаротушения: ящик с песком; асбестовое одеяло; углекислотный огнетушитель марки ОУ-2.
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Рассматриваемая рабочая зона не оказывает существенного воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу. Химическая лаборатория оснащена техническими средствами защиты от выбросов в атмосферу – фильтрами. Утилизация этих отходов производится на специальные химические полигоны. Твердые отходы увозятся для уничтожения.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Наиболее возможными ЧС в рассматриваемой рабочей зоне являются поражение людей электрическим током и возникновение пожара. Для их предупреждения необходимо строгое соблюдение правил безопасности и норм, определяющих порядок работы с оборудованием. Персонал и студенты для допуска к работе должны изучить технику безопасности и уметь правильно действовать в случае ЧС. Рассмотреть средства, определяющие действия при возникновении ЧС и ликвидации их последствий (например, план эвакуации и средства пожаротушения).
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Каждому работающему с химическими веществами выдаются средства индивидуальной защиты. Проводятся инструктажи, обучения. В научно-исследовательских лабораториях разрешается работать не более 8 часов, при этом каждые 45-50 минут работы необходимо делать перерыв не менее 15 минут и после 4 часов работы обеденный перерыв не менее 1 часа
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	План эвакуации из лаборатории реологии нефти ИХН СО РАН (кабинет №313)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20 февраля 2017 г.
---	--------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ЭБЖ	Раденков Тимофей Александрович	—		20.02.17 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ5Б	Мусина Анна Дмитриевна		20.02.17 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 102 с., 25 рис., 33 табл., 70 источников, 1 прил.

Ключевые слова: водонефтяные эмульсии, формирование эмульсий, реологические свойства, дисперсность, динамическая вязкость, асфальтосмолопарафиновые отложения.

Объектом исследования являются эмульсии, приготовленные искусственно на основе высокопарафинистой, смолистой нефти Южно-Табаганского месторождения.

Цель работы – исследовать процесс осадкообразования и реологические свойства водонефтяных эмульсий различной степени обводненности в зависимости от температуры их формирования.

Для всех образцов исследуемых эмульсий был выполнен единый комплекс физико-химических исследований. Работа выполнена в лаборатории реологии нефти ИХН СО РАН. В результате исследования установлено, что в эмульсиях, сформированных при 40 °С, наблюдается ухудшение структурно-реологических параметров, вероятнее всего, обусловленное образованием более прочных надмолекулярных структур в водонефтяной системе. Увеличение температуры до 60 °С приводит к формированию водонефтяных эмульсий в условиях полного расплавления парафиновых углеводородов, что значительно улучшает реологические свойства и снижает количество АСПО.

Степень внедрения: на стадии исследования.

Область применения: полученные результаты исследования имеют прикладное значение и позволят спрогнозировать поведение эмульсий при добыче и транспортировке, а также определить наиболее оптимальные варианты деэмульгирования нефти.

С экономической точки зрения работа имеет большое значение для предприятий и организаций нефтяной промышленности.

В будущем планируется дальнейшее изучение данной темы.

Перечень условных обозначений, сокращений:

ВНЭ – водонефтяная эмульсия;

АСПО – асфальтосмолопарафиновые отложения;

ПАВ – поверхностно-активные вещества;

ПУ – парафиновые углеводороды;

САВ – смолисто-асфальтеновые вещества;

ИНПН – измеритель низкотемпературных показателей нефтепродуктов;

ХМС – хромато-масс-спектрометрия;

ММР – молекулярно-массовое распределение;

$E_{\text{акт}}^{\text{в.т.}}$ – энергия активации вязкого течения;

η – динамическая вязкость;

T_F – температура формирования;

$T_{\text{пл}}$ – температура плавления;

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
1.1 Физико-химические свойства водонефтяных эмульсий	14
1.1.1 Образование и основные типы ВНЭ	14
1.1.2 Дисперсность	16
1.1.3 Устойчивость ВНЭ	17
1.1.4 Реологические свойства	19
1.1.5 Влияние температуры формирования на свойства эмульсий	22
1.2 Асфальтосмолопарафиновые отложения	25
1.2.1 Состав АСПО	25
1.2.2 Механизм формирования	26
1.2.3 Факторы, влияющие на образование АСПО	28
1.2.4 Осадкообразование в ВНЭ	31
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	34
2.1 Объекты исследования	34
2.2 Методы исследования	34
2.2.1 Методика приготовления водонефтяных эмульсий	34
2.2.2 Определение температуры застывания и динамической вязкости эмульсий методом экспресс-анализа	35
2.2.3 Определение количества АСПО методом «холодного стержня»	36
2.2.4 Определение дисперсности эмульсий и их осадков	37
2.2.5 Определение содержания воды в АСПО	38
2.2.6 Определение группового состава нефти и АСПО	39
2.2.7 Определение состава и содержания парафиновых углеводородов нормального строения	41
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	42
3.1 Влияние условий формирования эмульсий различной степени обводненности на температуру застывания	42

3.2 Вязкость водонефтяных эмульсий при различных условиях формирования.....	43
3.3 Влияние температуры формирования эмульсий различной степени обводненности на количество АСПО	47
3.4 Анализ микрофотографий эмульсий и их осадков.....	48
3.5 Групповой состав АСПО нефти и водонефтяных эмульсий при различных условиях формирования.....	53
3.6 Состав парафиновых углеводородов АСПО исходной нефти и водонефтяных эмульсий при различных условиях формирования	54
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	60
4.1 Предпроектный анализ	60
4.2 Инициация проекта	66
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	68
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	79
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	82
5.1 Техногенная безопасность	82
5.2 Региональная безопасность.....	89
5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	90
5.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений...	90
5.5 Защита в чрезвычайные ситуации	91
ВЫВОДЫ	93
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	94
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	95
ПРИЛОЖЕНИЕ А	103

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития нефтяной промышленности увеличилось число месторождений, вступивших на позднюю стадию разработки. Общеизвестно, что процесс длительной эксплуатации нефтяных месторождений и использование методов повышения нефтеотдачи пластов приводит к обводнению добываемой продукции. В настоящее время средняя обводненность на разрабатываемых крупных месторождениях Западной Сибири составляет более 85 % (Самотлорское – 95 %, Федоровское – 97 %, Мамонтовское – 95 %) [1].

При подъеме обводненной нефти от забоя до ее устья и дальнейшем движении по промысловым коммуникациям нефть с водой непрерывно перемешивается, что приводит к образованию водонефтяных эмульсий (ВНЭ). Формирование и устойчивость ВНЭ определяются следующими факторами: степенью обводненности нефтяных скважин, минерализацией пластовых вод, способом добычи нефти, ее компонентным составом и физико-химическими свойствами и т.д.

Образование ВНЭ значительно осложняет добычу, сбор и подготовку товарной нефти, создавая дополнительные проблемы при ее транспорте и хранении. Наличие водонефтяных систем способствует интенсивному коррозионному износу оборудования, повышает температуру застывания нефти, увеличивает её вязкость, вызывает более интенсивное выпадение асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) [2]. Осадкообразование приводит к снижению продуктивности скважин и пропускной способности нефтепроводов.

Опубликовано много работ, посвященных исследованиям физико-химических основ процесса формирования и стабилизации эмульсий, а также изучению способов разрушения ВНЭ как в зарубежной [3], так и в отечественной литературе [4-6]. Конечно, полученные ранее результаты дают возможность повысить эффективность технологии подготовки нефти. Однако

при этом становится очевидным необходимость методологического подхода на основе углубленного изучения механизма формирования эмульсий при оценке свойств и подбору дезэмульгаторов, а также реагентов комплексного действия для улучшения структурно-реологических свойств и предотвращения АСПО.

Исследования физико-химических свойств эмульсий в зависимости от температуры их формирования изучены недостаточно. Поэтому особую актуальность в настоящее время приобретает изучение влияния условий формирования ВНЭ на их структурно-механические свойства.

Целью настоящей работы является исследование процесса осадкообразования и реологических свойств водонефтяных эмульсий различной степени обводненности в зависимости от температуры их формирования.

Основные задачи исследования:

- исследовать влияние температуры формирования эмульсий на реологические свойства;
- определить количество АСПО водонефтяных эмульсий;
- исследовать влияние температуры формирования эмульсий на групповой состав их осадка;
- определить распределение капель по размерам в эмульсиях и их АСПО.

Изучение влияния температуры формирования ВНЭ с разной степенью обводненности на их структурно-механические свойства позволит спрогнозировать поведение эмульсий при добыче и транспортировке, а также определить наиболее оптимальные варианты действия химических реагентов.

Основные положения работы были обсуждены и одобрены на XXI Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», г. Томск; опубликованы тезисы доклада в сборнике тезисов XXVII Менделеевской конференции молодых ученых, г. Уфа.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Физико-химические свойства водонефтяных эмульсий

1.1.1 Образование и основные типы ВНЭ

Эмульсии представляют собой термодинамические неустойчивые дисперсные системы двух жидкостей, не растворимых или малорастворимых друг в друге, одна из которых диспергирована в другой в виде мелких капель (глобул) [7]. При этом диспергированная жидкость является дисперсной (внутренней) фазой, а жидкость, в которой она находится, называется дисперсионной средой (внешней, сплошной).

Анализ литературных источников [8-10] показал, что имеется много гипотез, объясняющих механизм образования водонефтяных эмульсий. В настоящее время основополагающей признана теория, предложенная академиком П.А. Ребиндером и его школой. По мнению авторов [9], механизм образования эмульсии можно представить как последовательность трех стадий. На первой стадии диспергирования происходит растягивание капли жидкости в форму цилиндра, что сопровождается увеличением поверхности дисперсной фазы и происходит с затратой работы по преодолению молекулярных сил поверхностного натяжения. На второй стадии вытянутая капля становится неустойчивой и распадается на мелкие частицы сферической формы, что сопровождается уменьшением поверхности и свободной поверхностной энергии. На третьей стадии происходят одновременно процессы коалесценции и диспергирования образовавшихся капель. Однако чем меньше становятся капельки, тем труднее происходит их вытягивание.

По определению Оствальда [11], если дисперсионная среда в эмульсии представлена полярной жидкостью, то такая эмульсия называется прямой (нефть в воде). Если же дисперсионная среда является неполярной или малополярной жидкостью, то эмульсию называют обратной (вода в нефти).

По свойствам дисперсионной среды устанавливают тип эмульсии. В прямых эмульсиях внешней фазой является вода, и поэтому они смешиваются с водой (не смачивают гидрофобную поверхность) и обладают высокой электропроводностью. Обратные эмульсии, наоборот, смешиваются с нефтью (смачивают гидрофобную поверхность) и не обладают заметной электропроводностью. Кроме того, эмульсии обладают способностью в определенных условиях изменять свой тип, т.е. прямая эмульсия может превращаться в обратную и, наоборот.

При добыче и промысловой подготовке нефть несколько раз смешивается с водой, образуя эмульсии [12, 13]:

- при закачке водорастворимых полимеров, поверхностно-активных веществ (ПАВ) для повышения нефтеотдачи пластов;
- при выходе с большой скоростью из скважины вместе с сопутствующей ей пластовой водой;
- в процессе обессоливания, т.е. промывки пресной водой для удаления хлористых солей.

Образующиеся ВНЭ, как правило, относятся к обратным эмульсиям.

Отдельно следует рассмотреть множественные ВНЭ. Они представляют собой эмульсию одного рода, в которой диспергирована эмульсия противоположного вида. Дисперсная фаза сама является эмульсией, и может быть как прямого, так и обратного типа. Содержание механических примесей в таких эмульсиях обычно повышенное. Множественные эмульсии образуются в процессе деэмульсации нефти и очистки сточных вод на границе раздела фаз нефть-вода. Множественные ВНЭ составляют основу так называемых ловушечных нефтей, чрезвычайно плохо разрушаемых известными методами [14].

1.1.2 Дисперсность

Основной характеристикой физико-химических свойств нефтяных эмульсий является дисперсность. Дисперсность эмульсии – это степень раздробленности дисперсной фазы в дисперсионной среде [15].

Дисперсность обычно характеризуется тремя величинами, которые взаимосвязаны между собой: 1) диаметром капель; 2) дисперсностью – обратная величина диаметра капель; 3) удельной межфазной поверхностью, т.е. отношением суммарной поверхности капелек к общему их объему.

Дисперсные системы, состоящие из капелек одного и того же диаметра, называются монодисперсными. Нефтяные эмульсии относятся, как правило, к полидисперсным системам, т.е. к системам, содержащим частицы самых разных размеров.

Размеры капель в эмульсиях колеблются в пределах от 0,1 до 100 мкм и более. ВНЭ по дисперсности подразделяются на мелкодисперсные (размер капель от 0,02 до 20 мкм), средней дисперсности (от 20 до 50 мкм) и грубодисперсные (от 50 до 300 мкм) [16]. Стойкие эмульсии содержат в основном глобулы размером от 0,1 до 10 мкм, в легко расслаивающихся эмульсиях обычно большинство капель размером от 50 до 100 мкм. Капли более крупного размера существуют в потоке вследствие быстрой седиментации в статических условиях.

Нефтяные эмульсии относятся к микрогетерогенным системам, т.е. капли дисперсной фазы видны под микроскопом. Поэтому при исследовании ВНЭ степень дисперсности можно определить микроскопическим способом. Так авторы [16] изучали зависимость дисперсности эмульсии от интенсивности гидродинамического воздействия. Установлено, что при малых оборотах мешалки наблюдается различие дисперсности от обводненности ВНЭ. Однако при больших скоростях мешалки дисперсность эмульсии выравнивается и стремится к минимальным значениям.

Таким образом, реологические свойства и стабильность эмульсий можно объяснить зависимостью размеров капель или распределение капель по размерам. Степень дисперсности эмульсий зависит от скорости потока, а также величины поверхностного натяжения на границе раздела фаз и масштаба пульсации [17]. Поэтому дисперсность эмульсии может меняться при движении потока от устья скважины до пунктов подготовки нефти.

1.1.3 Устойчивость ВНЭ

Ввиду термодинамической нестабильности эмульсий важнейшей их характеристикой является устойчивость, т.е. способность в течение определенного времени не разрушаться и не разделяться на две несмешивающиеся фазы.

Различают два вида устойчивости: кинетическую и агрегативную [16]. Седиментационная (кинетическая) устойчивость – это способность системы противостоять оседанию или всплыванию частиц дисперсной фазы под действием стоксовых сил. Под агрегативной устойчивостью понимают способность системы сохранять первоначальный размер глобул дисперсной фазы при их столкновении друг с другом или границей раздела фаз.

Стабильность водонефтяных систем обусловлена образованием прочных адсорбционно-сольватных слоев природными эмульгаторами на границе раздела фаз. Известно, что основными природными стабилизаторами ВНЭ служат смолы, асфальтены и парафиновые углеводороды (ПУ) [18-27].

Смолы представляют собой вязкие, липкие жидкости или твердые вещества с молекулярной массой 450 – 1500, плотность 990 – 1080 кг/м³ и содержанием 3 – 12 % гетероатомов (O, S, N) [28]. Это растворимые в углеводородах высокомолекулярные соединения нефти.

Асфальтены – нерастворимые в алканах высокомолекулярные гетероциклические соединения нефти с молекулярной массой и степенью ароматичности, которые способствуют их значительному межмолекулярному

взаимодействию с образованием надмолекулярных структур [29]. Наличие прочных ассоциативных связей между асфальтенами и смолами (рисунок 1.1) служит основанием для отнесения их к общей группе смолисто-асфальтеновых веществ (САВ).

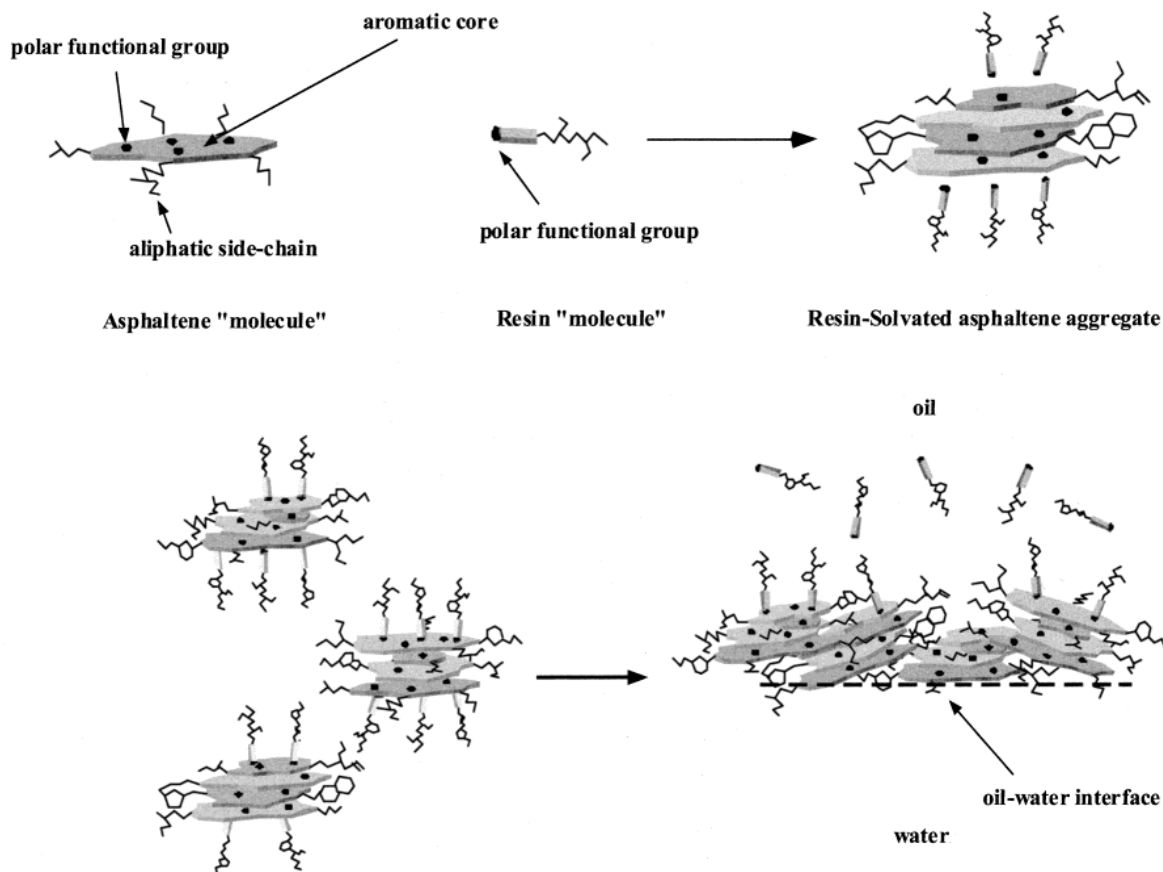


Рисунок 1.1 – Взаимодействие между асфальтенами и смолами и их ассоциации с образованием межфазного слоя [30]

С.А. Ермаков и А.А. Мордвинов [20] обобщили данные различных авторов о влиянии асфальтенов на устойчивость нефтяных эмульсий. Для большинства месторождений, по мнению авторов, асфальтены служат основными стабилизаторами эмульсий среди высокомолекулярных компонентов нефти. Исследованиями [21-23] было показано, что стабилизирующие свойства асфальтенов в ВНЭ сильно зависят от их концентрации и коллоидно-дисперсного состояния.

Подробное исследование структуры природных нефтяных эмульгаторов было проведено Небогиной Н.А. В своей работе [24] автор

изучила зависимость компонентного состава природных стабилизаторов от величины минерализации пластовых вод. Показано, что с ростом минерализации пластовой воды растёт доля САВ в межфазных бронирующих оболочках.

Известно, что сами по себе парафины неспособны стабилизировать нефтяные эмульсии. Однако, адсорбция молекулярных агрегатов асфальтенов на поверхности кристаллов парафинов способствует формированию прочных оболочек вокруг капель воды, тем самым повышая прочность и стабильность водонефтяных эмульсий [26].

Изучение группового состава межфазного слоя позволяет определить тип стабилизатора эмульсий. Так, в зависимости от соотношения САВ к н-алканам существуют следующие типы стабилизаторов [27]:

- асфальтено-смолистый – $\text{CAВ/н-алканам} \geq 1,0$;
- парафиновый – $\text{CAВ/н-алканам} \leq 1,0$;
- смешанный – $\text{CAВ/н-алканам} \approx 1,0$ (0,8 – 1,2)

Таким образом, устойчивость эмульсии определяется в основном размерами капель и прочностью бронирующих оболочек, образующихся на границе раздела фаз нефть-вода в результате адсорбции САВ и парафинов.

1.1.4 Реологические свойства

При течении ВНЭ в турбулентном режиме принято различать вязкость, обусловленную пульсациями давления дисперсной среды (нефти) и дисперсионной фазы (воды), и динамическую вязкость. Динамическая вязкость ВНЭ – неаддитивное свойство и зависит от вязкости нефти, ее химического состава, а также от свойств водной фазы [31, 32].

Известно, что эмульсии не подчиняются закону Ньютона, поэтому их называют неньютоновскими (аномальными) жидкостями. Основной причиной аномальной вязкости эмульсии, с точки зрения академика П.А. Ребиндера [9], является механизм деформации и дробления крупных

капель воды на более мелкие. Для этого необходимо затратить определенные усилия, связанные с вытягиванием этих капель в цилиндрики.

Принято считать, что при увеличении содержания воды происходит изменение типа (инверсия) промышленных эмульсий: от обратного до прямого типа [15; 33]. Согласно рисунку 1.2, увеличение содержания воды в ВНЭ приводит к увеличению кажущейся вязкости эмульсии. Максимум вязкости соответствует «точки инверсии», после этого вязкость эмульсии начинает снижаться.

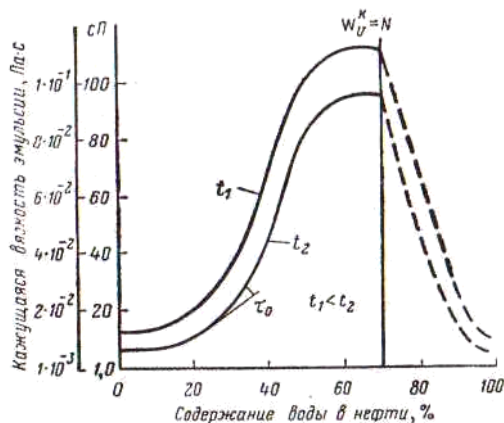


Рисунок 1.2 –Зависимость кажущейся вязкости эмульсии от процентного содержания воды в нефти и исходной температуры смешения [15]

Однако многие зарубежные источники указывают на отсутствие данных о возможности инверсии промышленных нефтяных эмульсий, не обработанных химическими реагентами [34]. В своих работах профессор И.Н. Евдокимов [35, 36] также указывает на ошибочность традиционных представлений об инверсии фаз в промышленных ВНЭ. Экспериментально установлено, что промышленные эмульсии остаются эмульсиями типа «вода в нефти» даже при содержании воды, превышающей 80 % объема.

Как показывают исследования, на вязкость нефтяных эмульсий влияет и размер частиц. Согласно [37] влияние дисперсности на увеличение вязкости эмульсии весьма существенно при небольших размерах капель, но оно быстро ослабевает при увеличении их размеров до 120 – 160 мкм.

В работе [38] представлены результаты исследования влияния температуры и дисперсности на реологические свойства ВНЭ. Показано, что в интервале температур 5 – 30 °С происходит существенное увеличение вязкости вследствие повышения степени дисперсности эмульсии. При дальнейшем повышении температуры разность между вязкостями, вызванная различной степенью дисперсности, уменьшается; а при температуре 80 °С становится минимальной.

Отмечено, что состояние молекул нефтяной системы зависит от соотношения энергии межмолекулярного взаимодействия и теплового движения. Увеличение или уменьшение энергии активации вязкого течения $E_{\text{акт}}^{\text{в.т.}}$ от температуры указывает на изменения надмолекулярных структур [39]. Энергия активации вязкого течения определяется по тангенсу угла наклона касательной к графику зависимости логарифма вязкости от обратной температуры ($\ln \eta - 1/T$). Таким образом, большой интерес представляют вязкостно-температурные зависимости.

Однако в настоящее время в литературе мало сведений об $E_{\text{акт}}^{\text{в.т.}}$ ВНЭ в зависимости от содержания воды. В связи с этим было проведено исследование [40] изменения структурно-реологических свойств эмульсий в зависимости от содержания воды при различных температурах. Так, при содержании воды в эмульсиях, равном 10 %, $E_{\text{акт}}^{\text{в.т.}}$ возросла, что может свидетельствовать об увеличении степени ассоциации данных систем по сравнению с нефтью. Однако дальнейшее повышение содержания воды увеличивает размеры капель в ВНЭ и снижает стабильность системы.

Реологические исследования нефтяных дисперсных систем позволяют определить изменение размеров ассоциатов дисперсной фазы, энергии межмолекулярного взаимодействия внутри них, температуры фазовых переходов системы в динамических условиях.

1.1.5 Влияние температуры формирования на свойства эмульсий

Эффективными методами разработки нефтяных месторождений являются тепловые методы. Поскольку для процессов транспорта и переработки нефтяных систем основополагающими являются вязкость и реологические свойства, в литературе подчеркивается, что «термообработка значительно улучшает реологические свойства», отмечается «положительная» аномалия вязкости [41, 42].

В то же время была осуществлена работа [43] по изучению влияния температуры на изменение структурно-механических свойств нефти и ВНЭ. При сравнении реологических кривых течения образцов подвергнутых термообработке, выявлено, что в диапазоне температур 30 – 60 °С термообработка приводит к увеличению их вязкости. При этом максимальная температура термообработки (60 °С) соответствует экстремальному ухудшению реологических характеристик нефти и промысловых ВНЭ.

Авторы работ [44-46] обнаружили температурные особенности различных физико-химических процессов в нефтяных системах, обусловленные наличием САВ. Исследования показали, что увеличение температуры формирования ВНЭ не всегда благоприятно. А именно, в эмульсиях, сформированных при $T_F = 36$ °С, наблюдается значительное увеличение вязкости по сравнению с эмульсиями, сформированными при комнатной температуре (рисунок 1.3а).

Увеличение вязкости можно объяснить формированием молекулярных структур, которые разрушаются при высоких температурах потока (рисунок 1.4).

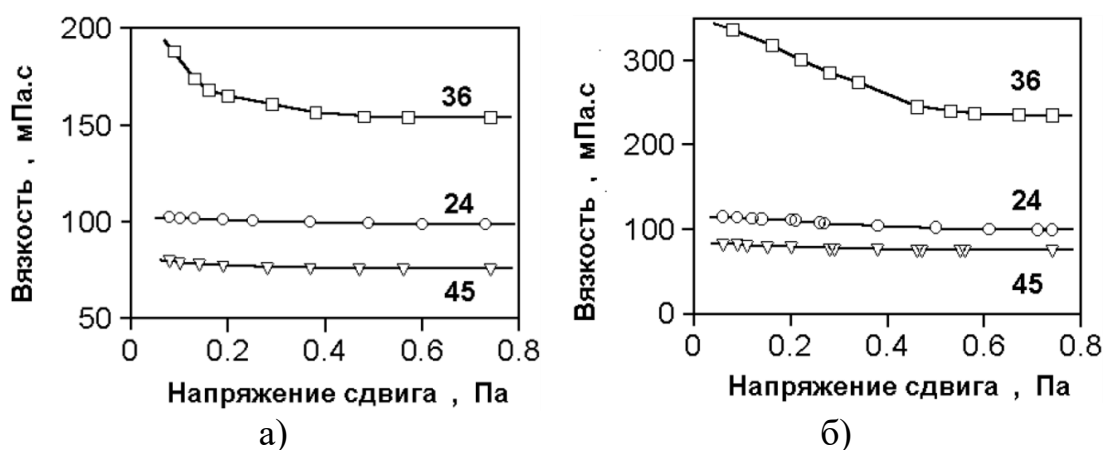


Рисунок 1.3 – Кривые течения при 16 °C:

- а) для нефтяных эмульсий, сформированных при температурах T_F (°C),
 б) для обезвоженной нефтяной фазы, предварительно прогретой до температур T_F (°C), указанных на рисунке [46]

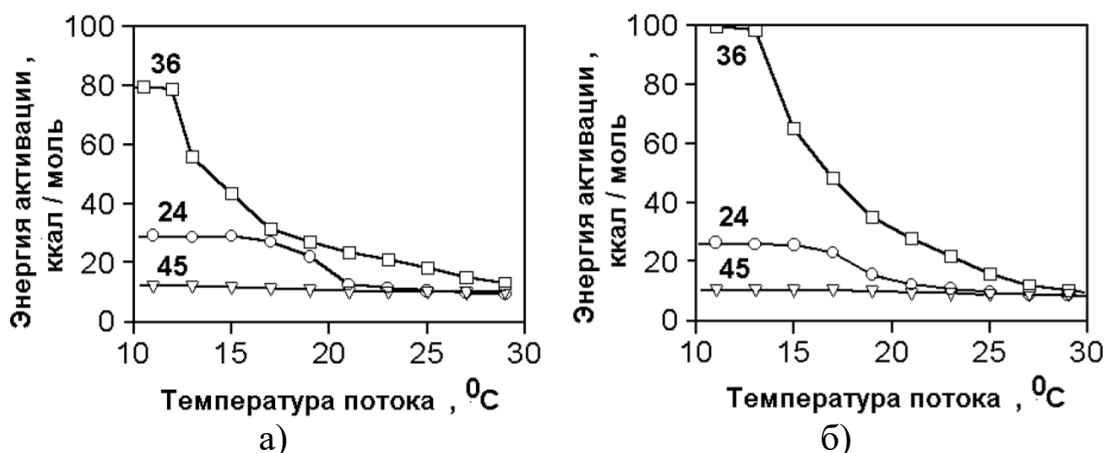


Рисунок 1.4 – Энергии активации вязкого течения:

- а) для нефтяных эмульсий, сформированных при температурах T_F (°C),
 б) для обезвоженной нефтяной фазы, предварительно прогретой до температур T_F (°C), указанных на рисунке [46]

Из рисунка 1.3(б) видно, что для вязкости обезвоженной нефти наблюдается аналогичные термические эффекты, что и в нефтяных эмульсиях. Возникновение термической аномалии в ВНЭ связано с изменением свойств нефтяной фазы, что подтверждается и при сравнении рисунка 1.4(а) и 1.4(б). Таким образом, термический эффект определяется молекулярными процессами, как в объеме нефтяной фазы, так и на границе раздела вода-нефть.

Согласно реологическим исследованиям обезвоженной нефтяной фазы нижняя граница “критической” температуры находится около 30 °С, что соответствует температуре структурного фазового перехода в подсистеме асфальтены-смолы [47]. Верхняя граница установлена в диапазоне 42 – 43 °С, что вероятно связано с температурой плавления парафинов.

Таким образом, если температура формирования эмульсии достаточно высокая ($T_F = 45$ °С), то кристаллы парафинов расплавляются, молекулярные агрегаты асфальтенов имеют сравнительно большие размеры. В процессе быстрого остывания образуются новые микрокристаллы парафинов. При этом крупные агрегаты асфальтенов уже не могут эффективно адсорбироваться на их поверхности. Поэтому, при понижении температуры кристаллы парафинов начинают взаимодействовать друг с другом и формируют пространственные сетки, которые легко разрушаются в условиях механических нагрузок и практически не оказывают влияния на характеристики течения при более высоких температурах измерений.

Если эмульсию формируют при «критических» температурах ($T_F = 36$ °С), то структурно модифицированные агрегаты асфальтенов эффективно адсорбируются на имеющихся крупных кристаллах парафинов. В процессе переохлаждения до начальной температуры измерений, кристаллы парафинов, покрытые асфальтенами, формируют прочно связанные пространственные структуры. Отмечено, аномалия свойств эмульсий наблюдается в течении продолжительного времени (эффект «термической памяти»), что указывает на долговременное сохранение достаточно прочных молекулярных структур, возникших при «критических» температурах.

Таким образом, механические свойства структурированных нефтяных дисперсных систем имеют свои характерные особенности, обусловленные присутствием парафинов, смол и асфальтенов. Исследования показали, что температура формирования ВНЭ является одним из основных факторов,

определяющим динамическую вязкость η и энергию активации вязкого течения $E_{\text{акт}}^{\text{в.т.}}$. Установленные закономерности в изменении реологических свойств нефти и ВНЭ являются важным моментом в выборе технологии. Требуется тщательный индивидуальный подход на основе глубокого анализа состава и свойств нефтяных систем, термодинамических показателей каждой конкретной скважины.

1.2 Асфальтосмолопарафиновые отложения

Помимо повышенной обводненности продукции существенные сложности вызывает осаждение АСПО в призабойной зоне пласта и на поверхности нефтепромыслового оборудования. Осадкообразование приводит к снижению продуктивности скважины и пропускной способности нефтепроводов.

1.2.1 Состав АСПО

АСПО представляют собой сложную углеводородную смесь, в состав которой входит органические и неорганические соединения. Основными компонентами отложений являются парафины (20 – 70 мас.%) и САВ (20 – 40 мас.%), а также силикагелевые смолы, масла, вода, механические примеси [48].

Известно, что парафины – это углеводороды метанового ряда от $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ до $\text{C}_{64}\text{H}_{130}$. По химическому составу АСПО в класс «парафины» относят не просто смесь высокомолекулярный алкановых углеводородов, а сложную смесь углеводородных компонентов нефти (нормальных алканов, высокоплавких изоалканов, нафтеновых и ароматических углеводородов с длинными заместителями). Парафины в нефти в пластовых условиях находятся в растворенном состоянии. Чем больше молекулярная масса ПУ, тем выше его температура плавления. При охлаждении парафины способны образовывать кристаллы.

Смолы и асфальтены относятся к неуглеводородным компонентам АСПО. В их составе содержатся углерод, водород, кислород, азот, сера, а также в небольших количествах металлы (V, Ni, Fe, Ca, Mg, Cu, Ti, Mo, Co, Cr и др.). В составе АСПО содержание асфальтенов и смол меньше, чем парафинов. Однако асфальтены, как и парафины, принимают непосредственное участие в образовании АСПО.

Компонентный состав АСПО изменяется в широких пределах и определяется физико-химическими свойствами добываемой нефти, ее температурой, состоянием поверхности оборудования, динамикой потока нефти, присутствием механических примесей, пузырьков газа [2, 48-50].

1.2.2 Механизм формирования

Под механизмом формирования АСПО принято понимать комплекс процессов, обуславливающих накопление твердой фазы на поверхности промыслового оборудования при добыче и транспорте нефти [51].

Согласно Тронову, первыми исследованиями процесса осадкообразования являются работы Рестли. Он считал, что причиной, инициирующей отложение парафинов, является снижение температуры нефти в результате отдачи тепла в окружающую среду и в меньшей степени в результате разгазирования. Далее начинается фазовый переход (жидкость – твердое) и накопление твердой кристаллической фазы на поверхности. По мнению автора, при ламинарном режиме движения жидкости отложения формируются интенсивнее, тогда как при турбулентном режиме кристаллы парафина остаются, по большей части, во взвешенном состоянии. В своих работах Браун [52] придерживается основных положений теории Рестли.

Одна из первых отечественных работ выполнена А.Д. Амировым [53]. Автор считает, что отложения образуются в результате осаждения на стенки оборудования парафина, выделившегося в твердую фазу. Другие авторы [54] считают, что мелкие кристаллы парафина, выделившиеся в результате

снижения растворяющей способности нефти, объединяются в большие гранулы и выносятся потоком нефти во взвешенном состоянии к местам их скопления. Галонский П.П. [55] впервые поднимает вопрос о роли газовых пузырьков в формировании отложений. На интенсивность отложения парафина влияют процесс выделения газовых пузырьков и их поведение в потоке смеси, т.к. они обладают способностью флотировать взвешенные частицы парафина.

Позже опубликованы работы об «осадочном» происхождении парафиновых отложений. Наиболее значительной является работа Н.Н. Непримерова [56]. Автор формулирует два механизма формирования смолопарафиновых отложений. Один связан с выпадением парафина из нефти, а другой – с осаждением уже выпавшего парафина на поверхности труб. Н.Н. Непримеров считает, что кристаллы парафина, возникшие на поверхности пузырьков газа, которые появились непосредственно на стенках промышленного оборудования, играют решающую роль в образовании отложений. Работа Г.А. Бабаляна [57] впервые ориентировала исследования в направлении раскрытия механизма парафинизации с позиций физико-химических явлений. Автор считал, что процесс образования отложений носит адсорбционный характер.

Таким образом, можно выделить три основных направления механизма образования АСПО:

- в отложениях участвуют кристаллы парафина, которые возникли в нефти и затем закрепились на стенках оборудования;
- особая роль газовых пузырьков;
- отложения возникают за счет кристаллов парафина, выросших непосредственно на контактирующей с нефтью поверхности.

В настоящее время большинство исследователей склоняются к мнению, что путь накопления парафиновых отложений заключается именно в направленном росте кристаллов парафинов на твердой поверхности.

Изучая процесс осадкообразования необходимо принимать во внимание наравне с парафиновыми компонентами смолисто-асфальтовую часть АСПО. Установлено, что в образовании отложений принимают непосредственное участие именно асфальтены [58]. Смолы не способны образовывать отложения и попадают в АСПО в виде ассоциатов с асфальтенами. Авторы указывают [59], что чисто парафиновые отложения характеризуются низкой прочностью и сцепляемостью с поверхностью промышленного оборудования. Тем самым не представляют серьезной проблемы для добычи нефти. В присутствии САВ происходит усиление структурно-механических свойств осадков. Образуются плотные и твердые АСПО, которые прочно сцеплены с металлической поверхностью. Таким образом, присутствие САВ, как ПАВ, играет существенную роль в процессах адсорбции и адгезии твердых компонентов.

1.2.3 Факторы, влияющие на образование АСПО

Количество, состав и свойства АСПО не являются постоянными. Выделяют следующие факторы, влияющие на образование АСПО:

- нарушение гидродинамического равновесия газожидкостной системы в результате снижения давления по стволу скважины ниже давления насыщения нефти газом и последующее разгазирование нефти;
- снижение температуры нефтяного потока до температуры начала кристаллизации парафина и ниже;
- компонентный состав нефти;
- обводненность нефти и объемное соотношение фаз;
- гидродинамический режим течения скважинной продукции;
- шероховатость стенок труб и наличие механических примесей.

По мнению большинства ученых, основной фактор, определяющий процесс осадкообразования промышленного оборудования, является понижение температуры нефтяной системы. [48, 51]. Характер

распределения температуры от забоя до устья скважины зависит от передачи тепла окружающим породам. При снижении температуры нефти до температуры насыщения нефти парафином и ниже начинается процесс формирования микрокристаллов ПУ. При снижении давления в области забоя ниже давления насыщения нефти газом происходит нарушение равновесного состояния системы. Увеличивается объем газовой фазы, жидкая фаза становится нестабильной, что приводит к выделению парафина. Интенсивное газовыделение значительно влияет на температуру насыщения нефти парафином. Поэтому при подъеме нефти в скважинах температура насыщения, с одной стороны, уменьшается из-за снижения давления, с другой – увеличивается по мере выделения растворенного в нефти газа в свободную фазу. Влияние второго фактора обычно является преобладающим [60].

Итак, основными условиями, способствующими образованию АСПО, являются: снижение давления и температуры, а также разгазирование нефти. Поскольку проблема представляется не в выпадении парафина из нефти, а его накопление на элементах оборудования и труб, следует рассмотреть некоторые условия образования и накопления парафиновых отложений.

Физико-химический состав нефти влияет на процесс АСПО. Природные ПАВ контактируют с поверхностью труб и создают первый адсорбционный слой, определяющий в дальнейшем процесс парафинообразования. С увеличением количественного соотношения асфальтены-смолы к парафину температура начала кристаллизации парафина снижается [48, 61]. Смолы действуют как присадки-депрессоры объемного действия, а асфальтены – как присадки поверхностного действия. Депрессорное действие САВ связано с тем, что они, адсорбируясь на кристаллах парафина, снижают его поверхностное натяжение, что приводит к десольватации кристаллов и изменению характера кристаллизации. Между кристаллами значительно ослабляются силы коагуляционного сцепления, что

препятствует образованию объемной структурной сетки, и кристаллы парафина остаются в подвижном состоянии [10].

Частицы песка, глины и другие механические примеси в нефти также способствуют связыванию кристаллов парафина, смол и асфальтенов в агломераты; и осаждению их на стенках оборудования.

Скорость движения газонефтяной смеси тоже влияет на отложения АСПО. Прежде всего, скорость потока влияет на рост кристаллов за счет непрерывного контакта с порциями нефти с повышенной концентрацией твердых углеводородов (процессы массообмена) и на темп охлаждения нефти [62]. Накопления АСПО происходит достаточно медленно в ламинарном течении, то есть при низких скоростях потока. С ростом скорости интенсивность образования отложений вначале возрастает, что объясняется увеличением частоты образования и отрыва пузырьков от поверхности трубы. Однако турбулентный поток смеси ведет к уменьшению интенсивности формирования АСПО, т.к. большая скорость движения смеси позволяет удерживать кристаллы парафина во взвешенном состоянии и выносить их из скважины. Кроме того, движущийся поток срывает часть отложений со стенок труб. При больших скоростях движения поток смеси охлаждается медленнее, чем при малых, что также замедляет процесс образования АСПО.

Скорость формирования АСПО, их толщина, конфигурация, форма, структура и плотность определяется состоянием внутренней поверхности материала труб и оборудования. Первым из отечественных ученых на этот факт обратил внимание П.П. Галонский [55]. Выступы на поверхности труб являются очагами вихреобразования, разрыва слоя, замедлителями скорости движения жидкости у стенки трубы. Шероховатость поверхности является основой для «зацепления» кристаллов парафина.

1.2.4 Осадкообразование в ВНЭ

Вопрос о влиянии обводненности нефти на термобарические условия выпадения АСПО и на интенсивность выпадения отложений является довольно сложным и требует глубокого изучения. В настоящее время в литературе встречаются противоречивые данные об изменениях количества АСПО с увеличением содержания воды. Считается, что при увеличении степени обводненности может происходить обращение фаз. При образовании эмульсии прямого типа, водная фаза будет смачивать поверхность трубопровода, оттесняя нефть внутрь потока. При этом кристаллизация ПУ происходит в объеме нефти. Поэтому прямые эмульсии, как правило, не осложнены образованием АСПО. Если обращение фаз не наблюдается, то механизм формирования осадка остается прежним. Образование и накопление АСПО происходит за счет возникновения и роста кристаллов ПУ при механическом сцеплении с трещинами, неровностями поверхности нефтепромыслового оборудования.

Результаты исследования интенсивности выпадения АСПО показывают, что увеличение содержания САВ в обводненной модели (50 % эмульсии) вызывает интенсивное выпадение осадка [63]. Нефть образует устойчивую эмульсию, при которой эмульгированная вода вовлекается в формирование отложений и как следствие, увеличивается масса осадка. Как видно из рисунка 1.5, с увеличением степени обводненности увеличивается количество образуемых отложений. Монотонное увеличение количества образующихся отложений с ростом доли водной фазы в эмульсии свидетельствует об устойчивости исследуемых ВНЭ. Увеличение количества отложений связано с интенсивным вовлечением эмульгированной воды в состав АСПО. В то же время, в присутствии воды возрастает и масса органических компонентов, вовлекаемых в состав АСПО.

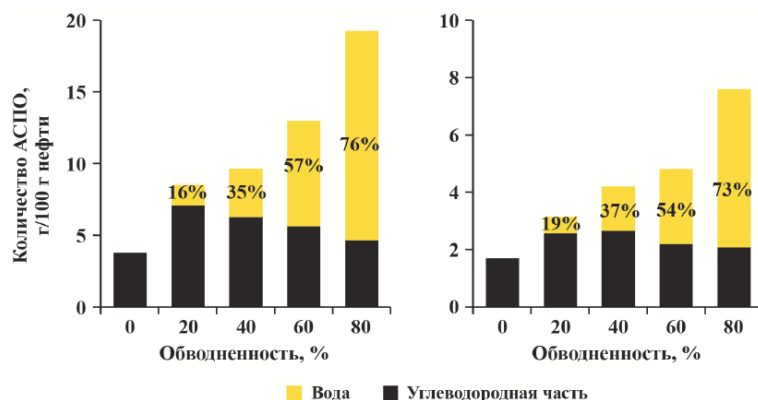


Рисунок 1.5 – Количество АСПО и содержание воды в составе АСПО, образованных нефтью Карсовайского (а) и Чутырского (б) месторождений при различной степени обводненности [64]

Для эффективного решения вопросов борьбы с АСПО необходимо учитывать особенности состава образующихся АСПО в зависимости от влияния тех или иных факторов. Исследования компонентного состава органической части отложений, образованных из ВНЭ, показывают, что увеличение водной фазы в ВНЭ сопровождается значительным перераспределением смолисто-асфальтеновых веществ. При этом в литературе встречаются противоречивые данные на этот счет.

Анализ группового состава АСПО эмульсий на основе высокопарафинистой смолистой нефти (содержание ПУ, смол и асфальтенов составляет 18,2; 9,9 и 2,8 мас.% соответственно) показал, что добавление воды в нефтяную систему приводит к значительному увеличению содержания асфальтеновых компонентов и снижению доли смолистых веществ [65]. В то время как, содержание асфальтенов в составе АСПО, образованных из ВНЭ Карсовайского месторождения (содержание ПУ, смол и асфальтенов составляет 5,7; 17,4 и 5,7 мас.% соответственно), сначала снижается и затем вновь возрастает при обводненности 80 % [64]. При этом содержание смол значительно возрастает при минимальной обводненности 20 % и затем постепенно уменьшается.

Следует отметить, что в составе ПУ также происходят значительные изменения. Были проведены исследования влияния температуры и степени

обводненности нефти на состав ПУ осадков [66, 67]. Экспериментальные данные показывают, что при снижении температуры количество осадка увеличивается. При этом с увеличением температуры отбора пробы увеличивается доля высокомолекулярных н-алканов по сравнению с исходной нефтью. Так как кристаллизация ПУ начинается с наименее растворимых углеводородов, имеющих относительно большую молекулярную массу.

С увеличением содержания воды в нефти происходит значительное увеличение доли высокомолекулярных н-алканов в составе АСПО по сравнению с осадком исходной нефти. Вода, содержащаяся в нефти, понижает растворимость ПУ в нефти (особенно высокомолекулярных ПУ) и таким образом усиливает осадкообразование. Отмечается, что максимум содержания высокомолекулярных н-алканов приходится на осадок 30 % эмульсии. Согласно авторам [67] снижение данного параметра с ростом обводненности выше 30 %, может быть связано со значительным увеличением межфазной поверхности. Происходит перераспределение содержания высокомолекулярных ПУ и их концентрирование в межфазных слоях эмульсии. При этом концентрации ПУ в объеме нефти, а значит и в осадке, снижается.

В зависимости от содержания ПУ, смол, асфальтенов и их соотношения в общей массе осадка $\beta = (\text{Смолы} + \text{Асфальтены}) / \text{н-ПУ}$ нефтяные отложения подразделяются на следующие типы: асфальтеновые $\beta \geq 1,1$; смешанные $\beta \approx 0,9 - 1,1$ и парафиновые $\beta \leq 0,9$ [48]. Следует отметить, что тип осадка является важной характеристикой, от которой во многом зависит выбор наиболее оптимальных условий и метода удаления АСПО.

Таким образом, состав осадкообразования может значительно изменяться в зависимости от условий их формирования. Температура и степень обводненности нефти оказывает большое влияние на количество, состав и тип АСПО.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты исследования

Объектом исследования являются эмульсии, приготовленные искусственно на основе высокопарафинистой смолистой нефти Южно-Табаганского месторождения. Физико-химические свойства и групповой состав нефти представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Физико-химические свойства и групповой состав нефти Южно-Табаганского месторождения

Содержание, % мас.			Температура застывания, °С	Количество АСПО, г/100 г нефти
Масла (ПУ)	Смоли	Асфальтены		
85,8 (7)	13,0	1,2	+8,3	18,3

В качестве дисперсной фазы, содержание которой варьировалось (5, 10, 20, 30 и 40 % об.), использовали дистиллированную воду.

2.2 Методы исследования

Работа выполнена в лаборатории реологии нефти ИХН СО РАН на оборудовании, имеющем свидетельство о поверки. Для всех образцов исследуемых эмульсий был выполнен единый комплекс физико-химических исследований: температура застывания, динамическая вязкость, количество АСПО, а также анализ микрофотографий эмульсий и их осадков. Для всех образцов осадков, выделенных из эмульсий, был проведен анализ содержания в них ПУ нормального строения. Применялись стандартные методики в соответствии с ГОСТ.

2.2.1 Методика приготовления водонефтяных эмульсий

Нефть и дистиллированную воду предварительно термостатировали в течение 1 часа при температуре 10, 20, 40 и 60 °С. Водонефтяные эмульсии готовили на перемешивающем устройстве ПЭ-0118 мощностью 150 Вт со скоростью вращения лопасти 1500 об/мин в течение 10 мин при тех же

температурах. Полученные эмульсии выдерживали в течение суток при 20 °С; эмульсии устойчивы и не расслаиваются в течение двух недель.

2.2.2 Определение температуры застывания и динамической вязкости эмульсий методом экспресс-анализа

Высокоточный измеритель низкотемпературных показателей нефтепродуктов (ИНПН) является аппаратом нового поколения. ИНПН «Кристалл» предназначен для экспресс-анализа дизельных топлив и масел, а также авиационных керосинов в лабораторных и заводских условиях (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – ИНПН «Кристалл»

Общим для всех модификаций прибора является криостат на элементах Пельтье с охлаждением до температуры минус 60 °С. Токсичные хладагенты не используются, расходных материалов нет. Охлаждение радиатора батареи Пельтье – водяное. Прибор оснащен дисплеем, который отображает ход испытания в реальном времени.

Метод *определения температуры застывания* соответствует ГОСТ 20287–91 (метод Б). Пробирка с датчиком застывания, находящимся в исходном состоянии, устанавливается в криостат прибора. Поднятый вверх груз перекрывает световой поток между светодиодами, расположенными в корпусе датчика застывания.

Сущность метода заключается в предварительном охлаждении пробы со скоростью заданной микропроцессором, до температуры ниже

предполагаемой температуры застывания на 5 – 15 °С. Опускание груза на поверхность пробы происходит по команде от процессора прибора при достижении заданной температуры охлаждения. Если проба застыла, то световой поток перекрыт. Криостат переходит в режим нагревания, скорость нагрева также контролируется микропроцессором. По мере нагревания пробы начинается подвижка груза, световой поток открывается. Сигнал от приемного светодиода поступает на входной усилитель электронного блока управления. Температура, при которой сигнал с датчика застывания максимален, считается температурой застывания исследуемого образца. Температура пробы контролируется электронным температурным датчиком, закрепленным в датчике застывания и размещаемом в пробе.

Динамическая вязкость в диапазоне температур от плюс 50 до минус 50 °С определяется ротационным способом. Прибор является ротационным вискозиметром. Принцип действия основан на измерении крутящего момента при постоянной скорости сдвига равной 85 об/мин. Вращающийся с постоянной скоростью ротор вискозиметра при погружении в жидкость встречает сопротивление равномерному вращательному движению. Возникает тормозящий момент, прямопропорциональный вязкости среды, что вызывает соответствующее изменение электрических регистрируемых характеристик прибора. В методике учтены требования международных стандартов ASTM D 5293 и ASTM D 4684.

Погрешность определения температуры застывания 2 °С. Погрешность измерения динамической вязкости 3 %. Максимальное время измерения 25 минут.

2.2.3 Определение количества АСПО методом «холодного стержня»

Определение количества АСПО проводили на установке, основанной на методе «холодного стержня» (рисунок 2.2). Установка моделирует процесс осадкообразования потока нефти в нефтепроводе.

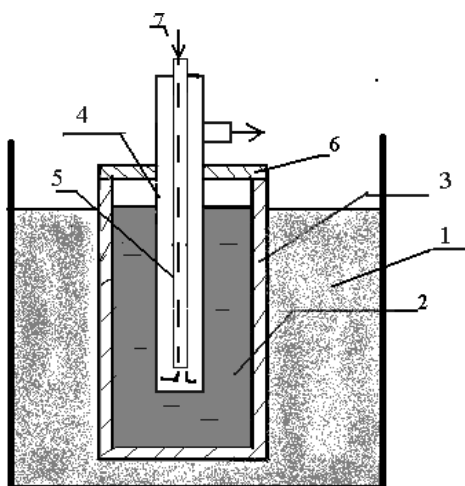


Рисунок 2.2 – Установка, основанная на методе «холодного стержня»:

1 – теплоноситель (H₂O); 2 – нефть; 3 – стакан металлический; 4 – стержень металлический; 5 – трубка металлическая; 6 – пробка корковая; 7 – хладагент

Установка состоит из двух охлаждаемых до заданной температуры (10 °С) металлических стержней, помещенных в анализируемые пробы эмульсий (навеска 40 г). В качестве теплоносителя использовали дистиллированную воду в термостате (20 °С). Время эксперимента 1 час.

Количество АСПО, образовавшихся на стержне, определяли гравиметрически, как среднее двух параллельных опытов. Погрешность метода составляет 5 – 10%.

2.2.4 Определение дисперсности эмульсий и их осадков

Дисперсность водонефтяных эмульсий и их осадков, выделенных методом «холодного стержня», оценивали методом оптической микроскопии. Микрофотографии исследуемых образцов снимали с помощью микроскопа Axio Lab.A1 (Carl Zeiss) в проходящем свете при 400-х кратном увеличении (рисунок 2.3). Микроскоп Axio Lab A1 обеспечивает вывод изображения на цифровую видеокамеру AxioCam ERc 5s.и снабжен программой анализа изображений.



Рисунок 2.3 – Микроскоп Axio Lab.A1 (Carl Zeiss)

На основе анализа полученных микрофотографий определяли диаметры глобул воды и рассчитывали средние (среднеарифметические) диаметры, строили кривые распределения капель по размерам.

2.2.5 Определение содержания воды в АСПО

Определение содержания воды в осадках, выделенных методом «холодного стержня», проводили по методу Дина и Старка (ГОСТ 2477–2014). Метод основан на азеотропной перегонке пробы нефти или нефтепродукта с растворителем и измерении объема сконденсированной воды (рисунок 2.4). В качестве растворителя используют толуол.

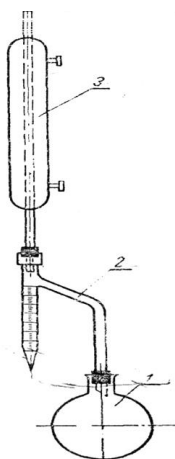


Рисунок 2.4 – Аппаратура для определения содержания воды
(Прибор Дина и Старка):

1 – круглодонная колба; 2 – приемник-ловушка; 3 – холодильник водный.

В дистилляционную колбу вводят пробу и 100 см³ растворителя. Тщательно перемешивают содержимое колбы до полного растворения испытуемого нефтепродукта и прибавляют в колбу несколько кусочков фарфора. Аппаратуру собирают так, чтобы обеспечить герметичность всех соединений и исключить утечку пара и проникание посторонней влаги.

Содержимое колбы доводят до кипения. Скорость конденсации дистиллята в приемник должна быть от 2 до 5 капель в 1 с. Перегонку прекращают, как только объем воды в приемнике-ловушке не будет увеличиваться и верхний слой растворителя станет совершенно прозрачным. Время перегонки должно быть не менее 30 и не более 60 мин.

После того как колба охладится, а растворитель и вода в приемнике-ловушке примут температуру воздуха в комнате, записывают объем воды, собравшейся в приемнике-ловушке, с точностью до одного верхнего деления занимаемой водой части приемника-ловушки.

2.2.6 Определение группового состава АСПО нефти и эмульсий

Определение массовой доли асфальтенов, содержащихся в осадке эмульсий, проводилось при помощи выделения асфальтенов «холодным» способом Гольде, масел и смолистых веществ – с помощью хроматографического (колоночно-адсорбционного) метода.

Определение асфальтенов проводили по ГОСТ 11858. Для выделения асфальтенов берётся навеска 3 грамма. Заливается 40 кратным объемом гексана. Перемешивается и оставляется на 16 часов в темном месте. После выпадения осадка, фильтруется через 2 фильтра синяя лента (диаметр пор 1 – 2,5 нм) в круглодонную колбу. Для удаления соосаждённых с асфальтенами смол и парафинов фильтр промывают гексаном до тех пор, пока последний не будет стекать совершенно прозрачным. Далее экстрагируются непосредственно асфальтены хлороформом. Асфальтены экстрагируются также до тех пор, пока растворитель не станет прозрачным.

Колба с хлороформом и растворенными в ней асфальтенами закрепляется на роторном испарителе, температура водяной бани выставляется около 50 °С. Растворитель отгоняется до остатка в 3 – 5 мл. Остаток сливается в пенициллиновый флакон, который заранее взвесили. Колба промывается хлороформом, который далее так же сливается во флакон. Пенициллиновый флакон оставляется под вытяжкой до полного выветривания растворителя. Остаток взвешивается. И далее высушиваем в сушильном шкафу при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы (расхождение между двумя последующими взвешиваниями не более 0,0004 г).

Определение масел и смол в нефти с помощью метода колоночной хроматографии по ГОСТ 11858–66. В соответствии с этим способом полученный после осаждения, промывки и фильтрования асфальтенов деасфальтизат заливают в подготовленную хроматографическую колонку (высота колонки 75 см и диаметр 1 см), наполненную силикагелем. Одновременно снизу колонки начинается отбор элюента. После того как исходный продукт полностью впитается в силикагель, приступают к десорбции. Для десорбции масляной фракции в резервуар колонки заливают смесь петролейный эфир : толуол в соотношении 19:1. Далее проводится десорбция фракции смол смесью спирт : толуол в соотношении 1:1.

После завершения процесса разделения деасфальтенизата на фракции проводится отгонка растворителя на роторном испарителе. Колбу с фракцией закрепляется на роторном испарителе. Температура бани составляет 50 – 55 °С. Отгоняется растворитель до остатка в 3 – 5 мл, который переливается в заранее взвешенный пенициллиновый флакон. Стенки колбу промываются тем же растворителем, которым выделяли фракцию, он также выливается во флакон. Флаконы помещаются в вытяжной шкаф до тех пор, пока весь растворитель не испариться. Далее они помещаются в сушильный шкаф для стабилизации при температуре 40 °С на 2 часа. После того, как

флаконы остынут, их взвешивают, и так доводят до постоянной массы, пока разница между двумя последующими взвешиваниями не будет 0,0004 г.

Процентное содержание выделенных фракций находят в соответствии с формулой:

$$X = 100 * \frac{a}{A}, \quad (2.1)$$

где a – вес полученного осадка, г; A – навеска испытуемого продукта, г.

2.2.6 Определение состава и содержания парафиновых углеводородов нормального строения

Образцы масляных фракций АСПО, выделенных из нефти и эмульсий при различных условиях формирования были проанализированы хроматомасс-спектрометрическим (ХМС) методом на приборе «Thermo Scientific» с колонкой TR-5MS (30 м; 0,25 мм). Анализ выполнялся в режиме линейного программирования температуры (2 мин 80°C, от 80 до 300 °C скорость нагрева 4 °C/мин). Индивидуальные n -алканы идентифицировали по полным масс-спектрам, для этого использовали спектро-структурные корреляции программы X-Calibur и компьютерную библиотеку масс-спектров NIST. Характеристический ион алканов 57.

Содержание n -алканов в исследуемом образце определяли по формуле:

$$C_i = \frac{S_i * m_{st} * 10^{-3}}{S_{st} * m_n}, \quad (2.1)$$

где C_i – концентрация идентифицированного углеводорода (мг/г); S_i, S_{st} – площадь пика идентифицированного соединения и стандарта (дейтерированный аценафтен); m_{st} – масса добавленного стандарта (5 мкг); m_n – масса навески (г). Погрешность определения составляет $\pm 5\%$.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСО- ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

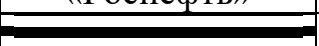
4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования искусственных эмульсий на основе нефти Южно-Табаганского месторождения рассмотрим целевой рынок и проведем его сегментирование. В рамках данной научно-исследовательской работы целевым рынком являются добывающие предприятия нефтяной промышленности, выступающие в качестве заказчиков. Для коммерческих организаций выберем два наиболее значимых критерия сегментирования: географический (месторасположение) и объем добычи нефти. На основании этих критериев строим карту сегментирования рынка (рисунок 4.1)

	Объем добычи нефти, млн. т/г			
	менее 5	5-20	20-50	выше 50
Томская область				
Западная Сибирь				
Сибирский федеральный округ				

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка по добычи нефти

ПАО НК «Роснефть»	ОАО «Сургутнефтегаз»	ОАО «Томскнефть»	ООО «Томская нефть»
			

Учитывая, что Южно-Табаганское месторождение расположено на территории Парабельского района, где суммарные извлекаемые запасы нефти составляют 2,250 млн. т., то на начальном этапе необходимо ориентироваться на добывающие компании Томской области (ООО «Томская нефть» и ОАО «Томскнефть»). Однако образование водонефтяных эмульсий характерно для многих месторождения Западной Сибири (и в частности, Томской области). Поэтому в дальнейшем результаты проекта могут иметь прикладное значение для средних и даже крупных добывающих компаний.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Исследование влияния условий формирования эмульсий Южно-Табаганского месторождения на их структурно-механические свойства позволит спрогнозировать поведение эмульсий при добыче и транспортировке. Однако близки Южно-Табаганского месторождения, на Васюганской нефтегазоносной области располагаются и другие нефтедобывающие месторождения (Смоляное, Кулгинское и Солоновское).

Проведем оценку сравнительной эффективности Южно-Табаганского месторождения с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [68]:

$$K = \sum B_i B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Из таблицы 4.1 можно сделать вывод, что добыча нефти Южно-Табаганского месторождения является конкурентоспособной. Качество получаемой товарной нефти соответствует стандартам, что гарантирует спрос на дальнейшую переработку. Кроме того, нефть Южно-Табаганского месторождения увеличивает объем нефтедобычи, способствует развитию минерально-сырьевой базы.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкуренто-способность			
		Смоляное	Кулгинское	Солоновское	Южно-Табаганское	Смоляное	Кулгинское	Солоновское	Южно-Табаганского
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Запасы нефти	0,13	3	4	3	4	0,39	0,52	0,39	0,52
Нефтедобыча	0,14	2	3	3	4	0,28	0,42	0,42	0,56
Экологичность добычи	0,12	4	4	4	3	0,48	0,48	0,48	0,36
Наличие действующих установок подготовки нефти (УПН)	0,11	3	3	3	3	0,33	0,33	0,33	0,33
Качество товарной нефти	0,12	4	3	3	4	0,48	0,36	0,36	0,48
Экономические критерии оценки эффективности									
Конкурентоспособность продукта	0,11	4	3	3	4	0,44	0,33	0,33	0,44
Финансирование научного исследования	0,15	3	4	3	4	0,45	0,6	0,45	0,6
Перспективность исследования	0,12	3	4	3	4	0,36	0,48	0,36	0,48
Итого	1					3,21	3,52	3,12	3,77

4.1.3 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 4.2.

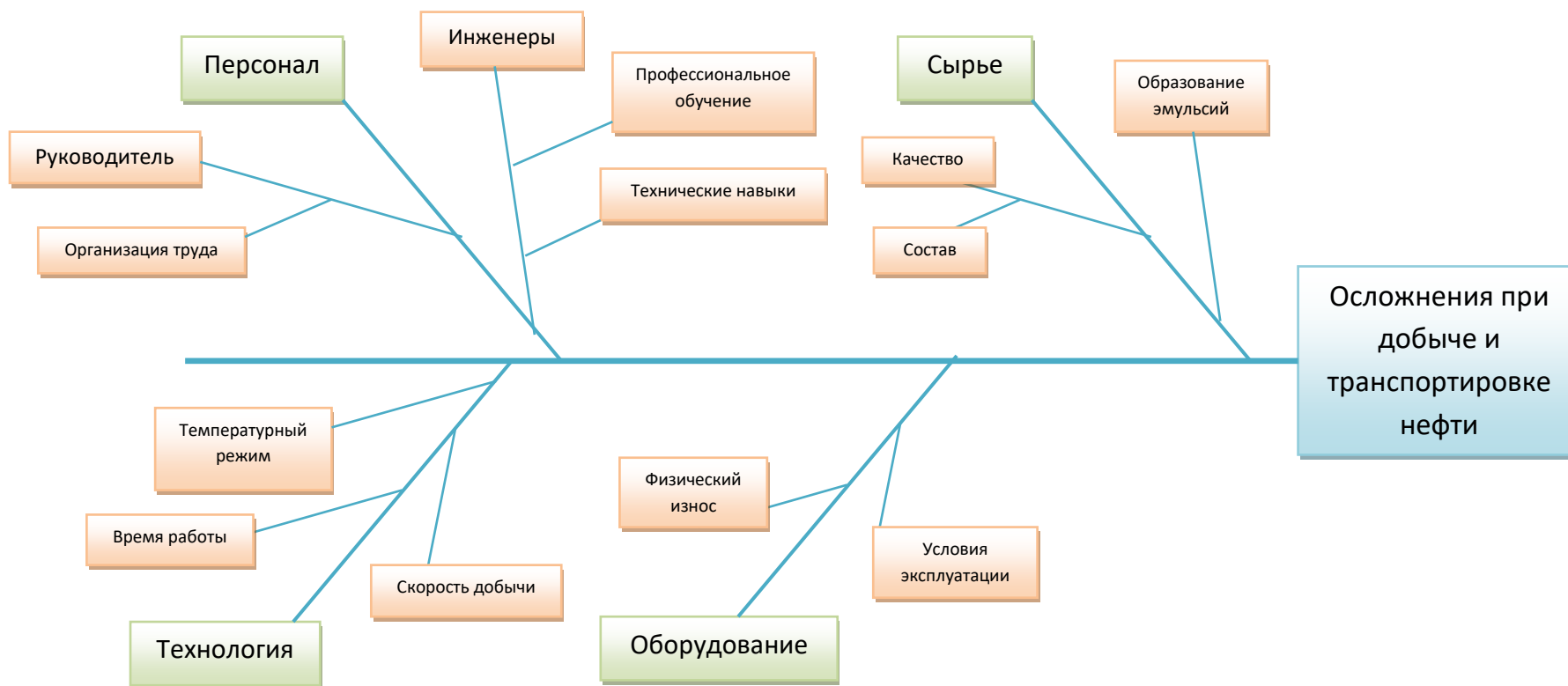


Рисунок 4. 2 – Причинно-следственная диаграмма

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Полезно оценивать степень готовности научной разработки на любой стадии жизненного цикла к коммерциализации и выяснять уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта в таблице 4.2. При проведении анализа по каждому показателю ставим оценку по пятибалльной шкале. Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле [68]:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.2)$$

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

Таблица 4.2 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3

Продолжение таблицы 4.2

Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	5	5
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	3
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
ИТОГО БАЛЛОВ	66	60

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Можно сказать, что разработка считается *перспективной* ($B_{\text{сум}} = 66$), а знания разработчика достаточными ($B_{\text{сум}} = 60$) для успешной ее коммерциализации. Успешное развитие проекта может иметь прикладное значение для предприятий нефтяной промышленности, став основой для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию экономически выгодных технологий добычи, транспорта, хранения и утилизации углеводородного сырья и продуктов его переработки. Однако компаниям необходимо вкладывать значительные ресурсы в научные исследования. Также не обойтись без финансовой поддержки государства.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок владелец объектов интеллектуальной собственности преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Исследования выполнялись на

базе лаборатории реологии нефти ИХН СО РАН. Соответственно владельцем выступает юридическое лицо, а полученные средства используются для продолжения научных исследований.

Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок: торговля патентными лицензиями, передача ноу-хау, инжиниринг, франчайзинг, организация собственного предприятия, передача интеллектуальной собственности, организация совместного предприятия.

Проанализировав перечисленные методы коммерциализации, можно сделать вывод, что *инжиниринг* является наиболее подходящим методом. В нашем случае консультантом выступает ИХН СО РАН, который выполняет комплекс физико-химических исследований нефтей для заказчиков (нефтедобывающие компании). По результатам исследования выявлены оптимальные условия образования эмульсий, что может использоваться заказчиком при добыче нефти.

4.2 Инициация проекта

Инициация проекта необходима для определения целей и содержания, а также первоначальных финансовых ресурсов проекта. Вся информация по проекту закрепляется в уставе проекта. Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать. Устав научного проекта магистерской работы имеет следующую структуру:

- **Цели и результат проекта.** В данном разделе приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчики (нефтедобывающие компании)	Выполненный комплекс физико-химических исследований
Консультант (ИХН СО РАН)	Получение финансирования
Сотрудники лаборатории	Научные открытия

В таблице 4.4 представим информацию об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.4 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование реологических свойств; количество и состав асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) водонефтяных эмульсий,
Ожидаемые результаты проекта:	Выявить оптимальные условия образования эмульсий
Критерии приемки результата проекта	Ресурсоэффективность результатов исследования на промысле
Требования к результату проекта:	Требование:
	Реологические свойства эмульсий
	Количество (АСПО) эмульсий
	Состав АСПО
	Оптимальные условия образования водонефтяных эмульсий должны отражать улучшение реологических свойств, уменьшение количества осадка в трубопроводе.

- **Организационная структура проекта.** На данном этапе работы решаются следующие вопросы, информацию по которым представим в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час
Левашова А.И НИ ТПУ доцент кафедры ХТТ и ХК	руководитель	координирует деятельность магистранта	30
Прозорова И.В. ИХН СО РАН ст.науч.сотр.	руководитель	координирует деятельность магистранта при выполнении экспериментальной части	26

Криницына З.В. НИ ТПУ доцент кафедры МЕН	эксперт проекта	координирует деятельность магистранта при выполнении раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	8
Раденков Т.А. НИ ТПУ ассистент кафедры ЭБЖ	эксперт проекта	координирует деятельность магистранта при выполнении раздела Социальная ответственность	8
Сыскина А.А. НИ ТПУ доцент кафедры ИЯПР	эксперт проекта	координирует деятельность магистранта при выполнении раздела на иностранном языке	8
Мусина А.Д. НИ ТПУ магистрант	исполнитель по проекту	выполняет работы по проекту	480
Итого			560

- Ограничения и допущения проекта

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

Таблица 4.6 – Ограничениями проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта (источник финансирования)	ИХН СО РАН
Срок проекта (дата утверждения плана управления проектом – дата завершения проекта)	20 февраля 2017 – 25 мая 2017

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируем и определяем содержание всего проекта. На рисунке 4.3 представлена иерархическая структура работ по выполняемому исследованию.

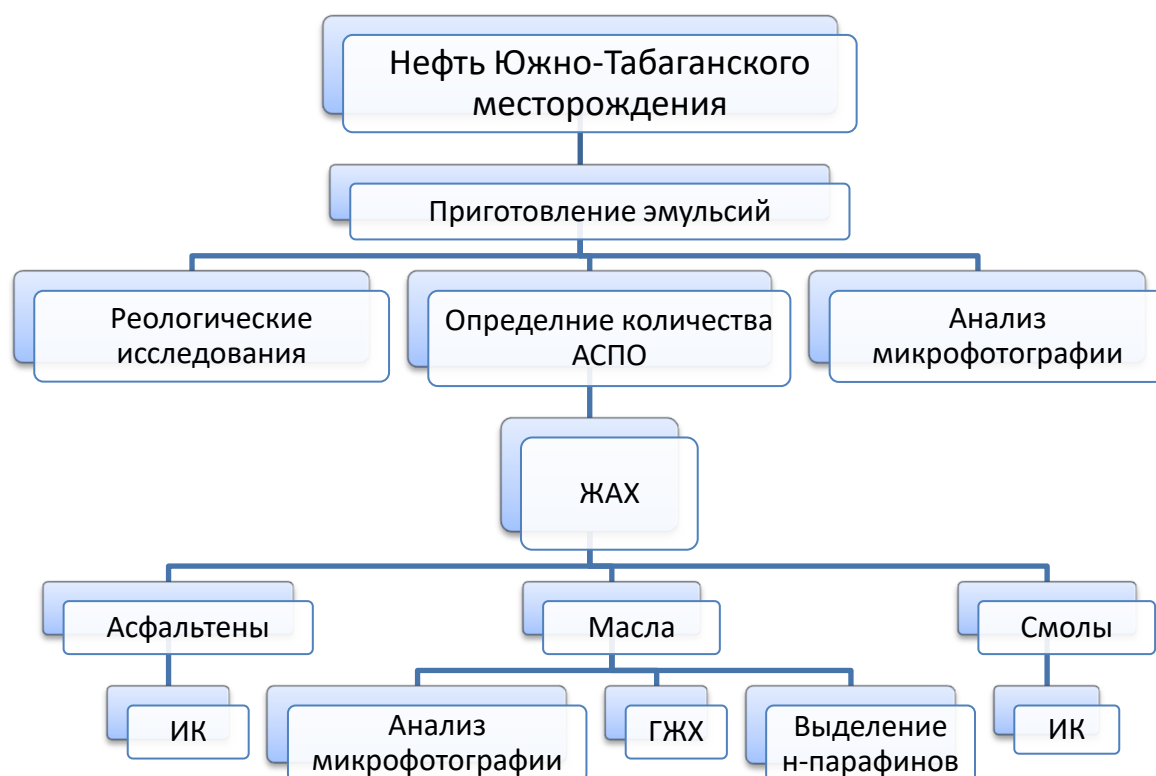


Рисунок 4.3 – Иерархическая структура работ по исследованию:

АСПО – асфальтосмолопарафиновые отложения;

ЖАХ – жидкостно-адсорбционная хроматография;

ИК – инфракрасная спектроскопия; ГЖХ – газо-жидкостная хроматография;

4.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определим ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эту информацию сведем в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Разработка задания ВКР	20.02.17	Утвержденное задание
2	Выбор направления исследования	27.02.17	Выбор условий формирования водонефтяных эмульсий (температура формирования, степень обводненности)
3	Лабораторные исследования	03.04.17	Искусственные эмульсии, их физико-химические свойства
4	Анализ результатов	25.05.17	Определение оптимальных условий формирования эмульсий

4.3.3 План проекта

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входит преподаватель ТПУ, научный сотрудник ИХН СО РАН, магистрант. В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представим в виде таблицы 4.8.

Таблица 4.8 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания	5	13.02.	20.02.	Левашова А.И. Мусина А.Д.
2	Выбор направления исследований	2	21.02.	22.02	Левашова А.И. Прозорова И.В. Мусина А.Д.
	Календарное планирование работ по теме	2	23.02.	24.02	Левашова А.И. Мусина А.Д.
3	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	21	27.02.	17.03	Мусина А.Д.
	Приготовление эмульсий	5	27.02.	10.03	Мусина А.Д.
	Реологические исследования	9	28.02	10.03.	Мусина А.Д.
	Определение количества АСПО	5	13.03	17.03	Мусина А.Д.
	Анализ микрофотографий эмульсий и их осадков	5	20.03	24.03	Мусина А.Д.
	ЖАХ осадков	10	27.03.	07.04	Мусина А.Д.
	ИК-спектроскопия смол и асфальтенов	5	10.04	14.04.	Мусина А.Д. Прозорова И.В.
	ГЖХ и анализ микрофотографий масляной фракции	5	10.04	14.04.	Мусина А.Д. Прозорова И.В.
	Выделение н-парафинов из масел	5	17.04	21.04	Мусина А.Д.
4	Оценка эффективности полученных результатов	5	24.04	28.04.	Левашова А.И. Прозорова И.В. Мусина А.Д.
	Анализ результатов	15	24.04	12.05.	Левашова А.И. Прозорова И.В. Мусина А.Д.
	Оформление ВКР	9	15.05.	25.05.	Мусина А.Д. Левашова А.И.
Итого		108	13.02	25.05	

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

На основе таблицы 4.8 строим календарный план-график (таблица 4.9) с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научно-исследовательской работы

4.3.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при исследовании водонефтяных эмульсий. Исходная нефть предоставляется для исследования бесплатно на договорной основе. Результаты по данной статье занесем в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Вата	кг	1	20	20
Силикагель	кг	2	220	440
Гексан	л	5	320	1600
Этиловый спирт	л	1,5	180	270
Толуол	л	4	210	840
Хлороформ	л	5	165	825
Фильтр синяя лента	шт	45	1	45
Шприц	шт	45	15	675
Перчатки	шт	10	6	60
Бумага	пачка	1	250	250
Ручка	шт	1	50	50
Папка	шт	1	50	50
Всего за материалы				5125
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				205
Итого по статье C_m				5330

Таблица 4.9 – Календарный план-график проведения НИР

Вид работ	Исполнители	Тк, кал, дн	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			Апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление и утверждение задания	Руководитель Инженер	5											
Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	2											
Календарное планирование работ по теме	Руководитель Инженер	2											
Проведение теоретических исследований, изучение литературы	Инженер	21											
Приготовление эмульсий	Инженер	5											
Реологические исследования	Инженер	9											
Определение количества АСПО	Инженер	5											
Анализ микрофотографий эмульсий и их осадков	Инженер	5											
ЖАХ осадков	Инженер	10											
ИК-спектроскопия смол и асфальтенов	Инженер Руководитель	5											
ГЖХ и анализ микрофотографий масляной фракции	Мусина А.Д. Руководитель	5											
Выделение н-парафинов из масел	Инженер	5											
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель Инженер	5											
Анализ результатов	Руководитель Инженер	15											
Оформление ВКР	Руководитель Инженер	9											

– руководитель – инженер

Специальное оборудование для экспериментальных работ. В ходе проведения работ по теме магистерской диссертации исследования проводились на имеющемся оборудовании, стоимость которого учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Все расчеты сведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Срок полезного использования, мес	Время пользования, день	Амортизация оборудования за время пользования, руб.
1	ИНПН «Кристалл»	180000	60	5	500
2	Установка, основанная на методе «холодного стержня»	150000	72	5	347
3	Микроскоп Axio Lab.A1 (Carl Zeiss)	250000	84	10	992
4	Хроматомасс-спектрометр «Thermo Scientific »	285000	84	10	1127
5	Шкаф сушильный электрический	60000	48	15	625
6	Аналитические весы	15000	36	15	208
Итого:					3799

Основная заработная плата. Статья включает основную и дополнительную заработную плату работников, занятых выполнением исследования [68]:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.3)$$

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

Основная заработная плата *руководителя от предприятия* рассчитывается по следующей формуле [68]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб}, \quad (4.4)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [68]:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} * М}{F_{\text{дн}}}, \quad (4.5)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дней $М=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $М=10,4$ месяца, 6-дневная неделя); $F_{\text{дн}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн. (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель от предприятия	Руководитель от кафедры
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
выходные дни	105	52
праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
отпуск	48	62
невыходы по болезни	10	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	188	232

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}}, \quad (4.6)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя *от кафедры* рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы: 1) оклад – определяется предприятием; 2) стимулирующие выплаты; 3) иные выплаты, районный коэффициент.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$	$k_{пр}$	$k_д$	k_p	$Z_м$	$Z_{дн}$	$T_{раб}$	$Z_{осн}$
Руководитель от предприятия	20 000	0,3	0,5	1,3	46 800	2 788	32	89216
Руководитель от кафедры	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2299	38	87362
Инженер (магистр)	1750	0	0	1,3	2275	76	120	9100

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет дополнительной заработной платы проводим по формуле [68]:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн}, \quad (4.7)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.14 приведем расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.14 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель от предприятия	Руководитель от кафедры	Инженер
Основная зарплата	89216	87362	9100
Дополнительная зарплата	10706	10483	0
Зарплата исполнителя	99922	97845	9100
Итого по статье $C_{зп}$	206864		

Отчисления на социальные нужды. Величину отчислений во внебюджетные фонды определим исходя из следующей формулы [68]:

$$C_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.8)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

Расчет отчисления во внебюджетные фонды предоставим в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополни- тельная заработная плата, руб.	Отчислений во внебюджетные фонды (30%)
Руководитель от предприятия	89216	10706	29977
Руководитель от кафедры	87362	10483	29354
Инженер (магистрант)	9100	0	2730
Итого			62061

Накладные расходы. В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений. Накладные расходы составляют 80 – 100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле [68]:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 206864 = 165491 \text{ руб}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составим калькуляцию плановой себестоимости исследования, которую приведем в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

Статьи, руб						
Сырье, материалы, покупные изделия и полу-фабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополни-тельная заработная плата	Отчисле-ния на социаль-ные нужды	Наклад-ные расходы	Итого плано-вая себесто-имость
5330	3799	185678	21189	62061	165491	443548

4.3.5 Организационная структура проекта

В качестве организационной структуры магистерской диссертации выберем *проектную структуру*. Проектные структуры управления

комплексными видами деятельности требуют непрерывной координации квалифицированных сотрудников различных функциональных и линейных подразделений при жестких ограничениях по срокам, качеству работ и затратам на материальные, финансовые и трудовые ресурсы. На рисунке 4.3 отразим организационную структуру проекта.



Рисунок 4.3 – Проектная структура научного исследования

4.3.6 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта сформируем матрицу ответственности (таблица 4.17). Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта;
- Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).
- Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Таблица 4.17 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Роль/должность		
	О / руководитель от кафедры	И / инженер	
1	О / руководитель от кафедры	И / инженер	
2	У / руководитель от предприятия	О / руководитель от кафедры	И / инженер
3	И / руководитель от предприятия	И / инженер	
4	О,С / руководитель от предприятия	У / руководитель от кафедры	И / инженер

4.3.7 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – План управления коммуникациями

Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
Составленное задание	Руководитель от кафедры	Инженеру	20.02.2017
Выбранное направление исследования	Руководитель от предприятия, инженер	Руководителю от кафедры	24.02.2017
Информация по проекту	Инженер	Руководителю от кафедры; Руководителю от предприятия	март-апрель 2017, не позже сроков графиков
Результаты исследования	Инженер	Руководителю от кафедры; Руководителю от предприятия	не позже дня контрольного события по календарному плану

4.3.8 Реестр рисков проекта

Риски проекта представляют собой события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать нежелательные последствия. Информацию по данному разделу сведем в таблицу 4.19.

Таблица 4.19 – Реестр рисков

Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Разбитая стеклянная посуда	5	1	низкий	концентрация внимания	человеческий фактор
Выход из строя оборудования	2	5	высокий	установка источников бесперебойного питания	перебои в сети электропитания и водоснабжения
Работа программного обеспечения	1	3	средний	своевременная проверка компьютерного оборудования	поломка компьютерного оборудования

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

4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Определим интегральный финансовый показатель разработки по формуле [68]:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.10)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель для текущего исследования и аналога:

$$I_{\Phi}^p = \frac{443548}{600000} = 0,74; \quad I_{\Phi}^a = \frac{500000}{600000} = 0,83.$$

Полученные величина интегрального финансового показателя разработки отражают соответствующее численное удешевление стоимости

разработки в 0,74 и 0,83 раза. Исходя из максимально возможного бюджета НТИ, более дешевым будет способ, представленный в данной разработке, так как интегральный финансовый показатель у конкурентной разработке больше.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определим следующим образом [68]:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (4.11)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и нашей разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности, представим в таблице 4.20.

Таблица 4.20 – Сравнительная оценка характеристик текущей разработки и конкурента

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущая разработка	Разработка конкурента
Качество товарной нефти	0,20	5	4
Параметры эксплуатации	0,15	4	4
Сложность подготовки	0,30	5	5
Влияние на экологию	0,20	4	4
Низкая материалоемкость	0,15	5	3
Итого	1	4,65	4,15

$$I_m^p = 0,20 * 5 + 0,15 * 4 + 0,30 * 5 + 0,20 * 4 + 0,15 * 5 = 4,65$$

$$I_m^a = 0,20 * 4 + 0,15 * 4 + 0,30 * 5 + 0,20 * 4 + 0,15 * 3 = 4,15$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определим на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по

формуле [68]:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p} = \frac{4,65}{0,74} = 6,28; \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} = \frac{4,15}{0,83} = 5,00$$

Сравнительная эффективность проекта (таблица 4.21):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{6,28}{5,00} = 1,3$$

Таблица 4.21 – Сравнительная эффективность разработки

Показатель	Разработка	Конкурент
Интегральный финансовый показатель разработки	0,74	0,83
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,15
Интегральный показатель эффективности	6,28	5,0
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,3	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что используемая методика по определению оптимальных условий формирования водонефтяных эмульсий наиболее эффективна по сравнению с методикой конкурента с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Публикации в сборниках материалах международных и всероссийских конференциях, тезисы докладов – 4.

1. **Мусина, А. Д.** Особенности состава и свойств сланцевой нефти баженовской свиты Западной Сибири / А. Д. Мусина, В. В. Самойленко; науч. рук. А. И. Левашова // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва, Томск, 25-29 мая 2015 г.: в 2 т. – 2015. – Т. 2. – С. 65 – 66.

2. **Мусина, А. Д.** Физико-химические свойства и состав нефти баженовской свиты Западной Сибири / А. Д. Мусина, В. В. Самойленко; науч. рук. А. И. Левашова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 4-8 апреля 2016 г.: в 2 т. – 2016. – Т. 2. – С. 531 – 533.

3. **Мусина, А. Д.** Влияние условий формирования водонефтяных эмульсий на их структурно-реологические свойства / А. Д. Мусина, Н. А. Небогина; науч. рук. А. И. Левашова // Проблемы геологии и освоения недр: материалы XXI Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова, Томск, 3-7 апреля 2017 г [в печати].

4. **Мусина, А. Д.** Влияние условий формирования водонефтяных эмульсий на их структурно-реологические свойства / А. Д. Мусина; науч. рук. А. И. Левашова // XXVII Менделеевская конференция молодых ученых: сборник тезисов, 23-28 апреля 2017 г., Уфа. – 2017. – С. 77.