

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)  
Химический факультет  
Кафедра высокомолекулярных соединений и нефтехимии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

канд. хим. наук, доцент

  
В.В. Шелковников

подпись

« 15 » 06 2022 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА СПЕЦИАЛИСТА  
(ДИПЛОМНАЯ РАБОТА)

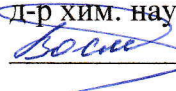
ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
НЕФТИ И ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ РУССКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

по специальности 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия  
специализация «Фундаментальная и прикладная химия»

Лукина Елизавета Алексеевна

Зав. кафедрой ВМС и НХ

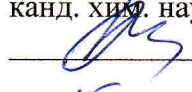
д-р хим. наук, профессор

 А.В. Восмери́ков

« 15 » 06 2022 г.

Руководитель ВКР

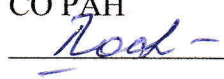
канд. хим. наук, доцент НИ ТГУ

 Е.М. Березина

« 15 » июня 2022 г.

Консультант

канд. хим. наук, ст. научн. сотр. ИХН  
СО РАН

 Ю.В. Лоскутова

« 15 » июня 2022 г.

Автор работы

студент группы № 08605

 Е.А. Лукина

« 15 » июня 2022 г.

Томск – 2022

В соответствии с п 3.2 «*Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке Научной библиотеки ТГУ*» выпускная квалификационная работа студента Лукиной Елизаветы Алексеевны на тему «Влияние физических полей на структурно-реологические свойства нефти и водонефтяных эмульсий Русского месторождения» размещается в репозитории с изъятием некоторых разделов в соответствии с решением правообладателя.

Руководитель ООП



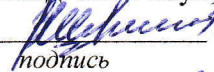
В.В. Шелковников

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

канд. хим. наук, доцент

 В.В. Шелковников

подпись

« 8 » 02 2022 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра / специалиста / магистра обучающегося

Лукина Елизавета Алексеевна

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки Код Наименование направления подготовки, направленность (профиль) «Наименование образовательной программы»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Влияние физических полей на структурно-реологические свойства нефти и водонефтяных эмульсий Русского месторождения

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в учебный офис / деканат – 16.06.22 б) в ГЭК – 17.06.22

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – Нефть и пластовая вода Русского месторождения

Предмет исследования – Влияние ЭМО и НАО на реологические свойства нефти

Цель исследования – Исследовать особенности реологического поведения и устойчивости нефти и водонефтяных эмульсий Русского месторождения после электромагнитной, низкочастотной акустической и комплексной обработки

Задачи:

1. Изучить вязкостно-температурные характеристики нефти Русского месторождения и 30 % мас. эмульсий до и после ЭМО; 2. Методом ИК-спектроскопии охарактеризовать структурно-групповой состав ВМС исследуемых нефтей и эмульсий до и после ЭМО и НАО; 3. Исследовать методом микроскопии устойчивость 30 % мас. водонефтяных эмульсий до и после различных методов обработки.

Методы исследования:

Реовискосиметр Brookfield LVDV-III Ultra; ИНПН «Кристалл»; Микроскоп Axio Lab.A1; спектрометр Nicolet-5700; «Холодный» способ Гольде.

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, – ИХН СО РАН

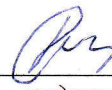
4 Краткое содержание работы

Изучить особенности реологического поведения и устойчивости нефти и водонефтяных эмульсий Русского месторождения после ЭМО, НАО и комплексной обработки

Руководитель выпускной квалификационной работы

доцент каф ВМС и ИХ ХФ ТГУ

должность, место работы



подпись

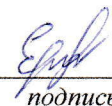
Е.А. Лукина

И.О. Фамилия

Задание принял к исполнению

« 7 » февраля 2022

студент



подпись

Е.А. Лукина

И.О. Фамилия

## АННОТАЦИЯ

В дипломной работе исследовались особенности реологического поведения и устойчивости нефти и водонефтяных эмульсий Русского месторождения после электромагнитной, низкочастотной акустической и комплексной обработки.

Объектами исследования являлись нефть Русского месторождений и водонефтяные эмульсии на ее основе. В качестве водной фазы водонефтяных эмульсий нефти Русского месторождения использовалась деминерализованная или дистиллированная (ДВ) и пластовая (ПВ) воды.

Исследуемая нефть является тяжелой, высоковязкой и малопарафинистой. Пластовая вода характеризуется невысокой минерализацией ( $12 \text{ г/дм}^3$ ) с повышенным содержанием хлористых солей натрия и карбонат-ионов.

Электромагнитная обработка (ЭМО) проводилась при комнатной температуре (ЭМО1 – 2 ч и ЭМО2 – 5 ч обработки) с помощью постоянного электромагнита, используемого в ЯМР-спектрометре марки BS-567 (80 МГц) производства «Tesla», Чехословакия.

Низкочастотную акустическую обработку (НАО) проводили на лабораторной установке ВЛ-1, являющейся аналогом промышленно выпускаемого электромагнитного активационного вибратора ВЭМА-0,3 (г. Томск).

Основные методы, используемые в работе: определение температуры застывания методом экспресс-анализа; исследование реологических параметров с помощью программируемого реометра BROOKFIELD DV-III Ultra; метод оптической микроскопии; метод инфракрасной спектроскопии.

Представленная выпускная квалификационная работа изложена на 92 страницах, состоит из списка основных сокращений, введения, 3 разделов, заключения и списка литературы. Работа содержит 29 таблиц, 48 рисунков и 32 источников литературы.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....                                                                                                                           | 5  |
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                             | 6  |
| 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....                                                                                                                                 | 8  |
| 1.1 Нефть как структурированная дисперсная система .....                                                                                                   | 8  |
| 1.2 Механизм действия электрических полей на углеводородные и<br>нефтяные системы.....                                                                     | 8  |
| 1.3 Водонефтяные эмульсии .....                                                                                                                            | 14 |
| 1.3.1 Причины образования водонефтяных эмульсий .....                                                                                                      | 15 |
| 1.3.2 Физико-химические свойства водонефтяных эмульсий.....                                                                                                | 17 |
| 1.3.3 Реологические свойства водонефтяных эмульсий.....                                                                                                    | 18 |
| 1.4 Использование физических полей для обезвоживания нефтяных<br>эмульсий .....                                                                            | 21 |
| 1.4.1 Использование электрического поля.....                                                                                                               | 22 |
| 1.4.2 Использование магнитного поля .....                                                                                                                  | 23 |
| 1.4.3 Использование низкочастотной акустической обработки .....                                                                                            | 25 |
| 2.2 Приготовление искусственных эмульсий .....                                                                                                             | 28 |
| 2.2 Методы обработки нефти.....                                                                                                                            | 29 |
| 2.2.1 Электромагнитная обработка.....                                                                                                                      | 29 |
| 2.2.2 Низкочастотная акустическая обработка нефти и нефтяных<br>эмульсий .....                                                                             | 30 |
| 2.3 Методы исследования .....                                                                                                                              | 31 |
| 2.3.1 Метод экспресс-анализа для определения температуры застывания<br>и динамической вязкости нефтяных систем в области отрицательных<br>температур ..... | 31 |



|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2 Определение реологических параметров нефти (динамическая вязкость, напряжение сдвига и внутренняя энергия разрушения дисперсных систем).....    | 33 |
| 2.3.3 Определение энергии активации вязкого течения нефти и водонефтяных эмульсий .....                                                               | 34 |
| 2.3.4 Метод оптической микроскопии .....                                                                                                              | 35 |
| 2.3.5 Метод инфракрасной спектроскопии .....                                                                                                          | 36 |
| 2.2.7. Методика определения группового состава нефти.....                                                                                             | 37 |
| 3 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ .....                                                                                                                        | 39 |
| 3.1 Влияние различных видов физического воздействия на реологические свойства и энергетические характеристики нефти Русского месторождения .....      | 39 |
| 3.1.1 Влияние электромагнитной обработки на реологические свойства и энергетические характеристики нефти Русского месторождения.....                  | 39 |
| 3.1.2 Влияние низкочастотной акустической обработки на реологические свойства нефти Русского месторождения .....                                      | 46 |
| 3.1.3 Влияние комплексного воздействия на реологические свойства нефти Русского месторождения .....                                                   | 51 |
| 3.2 Влияние различных видов физического воздействия на реологические свойства эмульсий нефти Русского месторождения .....                             | 54 |
| 3.2.1 Влияние электромагнитной обработки на реологические свойства эмульсии нефти Русского месторождения на основе деминерализованной воды (ДВ) ..... | 55 |
| 3.2.2 Влияние низкочастотной акустической обработки на реологические свойства эмульсии нефти Русского месторождения (ДВ) .....                        | 58 |
| 3.2.3 Влияние комплексного воздействия на реологические свойства эмульсии нефти Русского месторождения (ДВ) .....                                     | 61 |

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 Влияние различных видов физического воздействия на реологические свойства эмульсий нефти Русского месторождения (ПВ) .....                                                            | 64 |
| 3.3.1 Влияние электромагнитной обработки на реологические свойства эмульсии нефти Русского месторождения (ПВ) .....                                                                       | 64 |
| 3.3.2 Влияние низкочастотной акустической обработки на реологические свойства эмульсии нефти Русского месторождения (ПВ) .....                                                            | 67 |
| 3.3.3 Влияние комплексного воздействия на реологические свойства эмульсии нефти Русского месторождения (ПВ) .....                                                                         | 72 |
| 3.7 Влияние различных методов обработки на компонентный состав нефти и нефтяных эмульсий .....                                                                                            | 78 |
| 3.7.1 Изучение влияния электромагнитной и низкочастотной обработки, а также комплексного воздействия на содержание асфальтенов в нефти и эмульсии .....                                   | 78 |
| 3.7.2 Изучение влияния электромагнитной и низкочастотной обработки, а также комплексного воздействия на компонентный состав асфальтенов в нефти и эмульсии методом ИК-спектроскопии ..... | 79 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                                                                          | 87 |
| ЛИТЕРАТУРА .....                                                                                                                                                                          | 88 |

## СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ПВ – Пластовая вода;
- ДВ – Дистиллированная вода;
- ЭМО – Электромагнитная обработка;
- НАО – Низкочастотная акустическая обработка;
- САК – Смолисто-асфальтеновые компоненты;
- МНК – молекулярные нанокластеры;
- НДС – нефтяные дисперсные системы;
- ССЕ – сложная структурная единица;
- ДЭ – деэмульгатор;
- НС – Нефтяные системы;
- ММВ – Межмолекулярные взаимодействия;
- НМС – Надмолекулярные структуры;
- ПАВ – Поверхностно-активные вещества;
- АСПО – Асфальтосмолопарафинистые отложения;
- ПУ – Парафиновые углеводороды;
- $E_a^{BT}$  – Энергия активации вязкого течения;
- $T_{фп}$  – Температура фазового перехода;
- $\tau_0$  – Предельное напряжение сдвига;
- $\eta_{пл}$  – Пластическая вязкость.



## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность** В связи с выработкой запасов легких нефтей в эксплуатацию все чаще вводятся месторождения с повышенным содержанием парафиновых углеводородов и смолисто-асфальтеновых компонентов. Такие нефти характеризуются высокими значениями вязкости, температуры застывания и плотности. В процессе добычи, транспортировки и хранения высокопарафинистых нефтей нередко образуются асфальтосмолопарафиновые отложения на поверхности нефтяного оборудования, для борьбы с которыми необходимы дополнительные капиталовложения. Это приводит к повышенному износу оборудования, дополнительным материальным затратам и ухудшению экологической ситуации на промысле [1, 2]. Для преодоления таких проблем существуют специальные методы: тепловые (термообработка), механические, физические (различные варианты электрических, электромагнитных, магнитных, вибрационных полей) и химические (применение депрессорных присадок) [2, 3]. Внедрение современных энергосберегающих безотходных технологий позволяет не только снизить себестоимость добываемого сырья, но и существенно улучшить экологическую ситуацию в регионах нефтедобычи.

**Целью дипломной работы** являлось изучение влияния постоянного электромагнитного поля и низкочастотного акустического воздействия на структурно-механические и реологические свойства нефти и водонефтяных эмульсий Русского месторождения.

**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:**

1. Изучить вязкостно-температурные характеристики нефти Русского месторождения и 30 % мас. эмульсий до и после ЭМО, рассчитать энергию активации вязкого течения исследуемых образцов.
2. Исследовать влияние различных видов обработки на содержание асфальтенов, выделенных из нефти и 30 % мас. эмульсий на ее основе.

3. С помощью метода ИК-спектроскопии охарактеризовать структурно-групповой состав асфальтенов исследуемой нефти и эмульсий до и после ЭМО и НАО;

4. Исследовать методом микроскопии устойчивость 30 % мас. водонефтяных эмульсий до и после различных методов обработки.

**Научная новизна работы** заключается в получении новых данных о влиянии комплексной обработки низкочастотного акустического и электромагнитного полей на структурно-реологические свойства тяжелой смолистой нефти и эмульсий на ее основе. Показано, что после комплексного воздействия происходит дополнительное улучшение вязкостно-температурных характеристик нефти и понижается устойчивость эмульсий.

**Практическая значимость** работы состоит в том, что результаты исследования можно использовать при разработке новых энергосберегающих технологий добычи и подготовки к транспорту тяжелых малопарафинистых нефтей на месторождениях Западной и Восточной Сибири.

# **1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР**

В настоящий момент в нефтедобыче и транспорте нефти накоплен большой опыт по использованию технологий с применением различных видов физических полей – электрических, электромагнитных, магнитных, ультразвуковых, пульсационных, вибрационных, акустических полей или их различные комбинации [7 - 12].

Обработка нефтяного сырья электрическими полями на практике чаще всего используется как для освоения выходящих из бурения скважин, так и интенсификации работы действующих скважин, а также для улучшения физико-химических свойств и качества товарной нефти и нефтепродуктов за счет углубленной очистки сырья удалением соединений серы и металлов [14 - 16].

## **1.1 Нефть как структурированная дисперсная система**

Нефть представляет собой сложную смесь органических соединений. В ее составе обнаружено большое количество углеводородов различного строения, многочисленные гетероорганические соединения [7]. Полностью разделить такую смесь на отдельные соединения невозможно, но это и не требуется, ни для технической характеристики нефтяного сырья, ни для его промышленного использования. Углеводородный состав нефти разнообразен. В нефтяной системе обнаружены углеводороды почти всех гомологических рядов, за исключением алкенов, которые в нефти, как правило, не содержатся. Вязкие высокозастывающие НС представляют собой раствор твердых парафинов, асфальтенов и смол в жидких углеводородах. Содержание парафинов в таких нефтях может достигать 30 % мас. и более.

## **1.2 Механизм действия электрических полей на углеводородные и нефтяные системы**

Во второй половине XX века появилось несколько исследовательских работ, посвященных взаимодействию электрических полей с углеводородами [9-11]. Эти работы представляют собой разрозненные исследования

отдельных характеристик углеводов, подвергнутых воздействию электрического поля, а изложенные в них обоснования физики взаимодействия недостаточны.

Определенный интерес представляет работа [11], в которой исследовалось воздействие электрических полей высоких напряженностей на мономолекулярные углеводороды. Авторы считают, что результатом воздействия переменных электрических полей является нарушение гомогенности структуры слабопроводящих жидкостей. Исследователи связывают этот эффект с инъекцией электрического заряда в двойной приэлектродный слой и возникновением объемного заряда в слабопроводящей жидкости, в результате чего в ней возникают ионы и иономолекулярные комплексы, которые, по их мнению, могут приводить к изменению структуры жидкой слабопроводящей среды и заметно влиять на наблюдаемую в электрическом поле вязкость. Отмечено, что изменение частоты электрического поля оказывает на вязкость большее влияние, чем изменение амплитуды напряженности поля. При этом наибольшее изменение относительной вязкости происходит при небольших частотах переменного электрического поля. Исследователи предполагают, что минимум на кривых относительного изменения вязкости связан с достижением критической частоты электрического поля в режиме накопления заряда в двойном электрическом слое жидкости. Поэтому, если частота поля больше критической, инъекции заряда нет.

При этом критическая частота определяется выражением (1.1):

$$f_{cr} = \sigma U_{max} / 2\pi d, \quad (1.1)$$

где  $\sigma$  – удельная электропроводность жидкости,

$U_{max}$  – амплитуда напряжения на электродах,

$d$  – величина межэлектродного промежутка.

Можно предложить механизм, объясняющий взаимодействие переменных электрических полей с молекулами углеводов:

1. Под действием внешнего электрического поля электронные орбитали C – C и C – H связей молекул углеводородов, которые можно представить как упругие связи, обладающие различной жесткостью, вытягиваются вдоль вектора напряженности поля (рисунок 1.1).

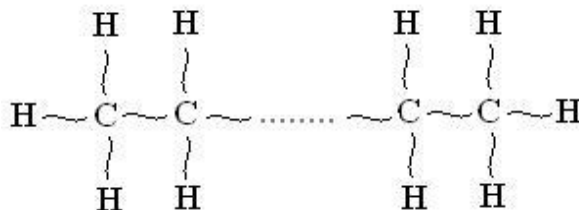


Рисунок 1.1 – Интерпретация химических связей C–C и C–H в виде упругих связей

Таким образом, поляризуются не только молекулы в целом, но и отдельные межатомные связи, которые под действием переменного электрического поля приобретают периодические деформации. В этих деформациях участвуют как отдельные атомные группы C–C и C–H, так и более обширные атомные группировки и молекулы в целом. В результате интерференции всех деформационных колебаний могут возникать низкочастотные моды колебаний. В связи с этим может возникнуть стохастический резонанс между низкочастотным электрическим полем и низкочастотными модами деформационных колебаний молекул или их частей, в результате которого может происходить деструкция углеводородных молекул.

2. Под воздействием переменного электрического поля могут разрываться водородные связи молекулярных комплексов (кластеров), в результате чего высвобождается энергия связи этих комплексов, уменьшается вязкость нефтяных углеводородных систем.

Наиболее вероятно воздействие на углеводороды обоих процессов – разрушение полем как молекулярных комплексов, так и отдельных молекул.

Увеличение концентраций ароматических и насыщенных углеводородов, которое происходит после обработки углеводородного сырья электрическим полем, может объясняться распадом молекул более тяжелых

насыщенных углеводородов, находящихся в возбужденном метастабильном состоянии. Кроме того, после прекращения действия поля возможна рекомбинация некоторой части образовавшихся радикалов.

Все еще плохо изученными остаются электрофизические механизмы воздействия электрических полей на характеристики нефтяных отложений, несмотря на то, что использование физических полей для борьбы с нефтяными отложениями является одним из перспективных методов [10]. Большинство отечественных публикаций посвящено роли электрических эффектов в процессах кристаллизации и отложения только парафинов [9 - 12] и практически отсутствуют исследования влияния электрического поля на процессы отложений и другие характеристики САК, в частности, на характеристики асфальтеновой фракции. В зарубежной литературе первые публикации подобного рода относятся к 40-ым годам прошлого столетия, когда было высказано предположение о том, что влияние электрического поля обусловлено наличием нескомпенсированных электрических зарядов у смол и асфальтенов в жидких нефтяных системах. Так в работах [13,14] отложение отрицательно заряженных асфальтеновых микрочастиц рассматривается как причина возникновения отличных от нуля потенциалов течения при продавливании природных нефтей сквозь плотные песчаники.

В более поздних исследованиях [15 - 16] был сделан вывод о том, что асфальтены, растворенные в нитробензоле, имеют положительный заряд. Аналогичное утверждение о наличии положительного заряда у асфальтенов, осажденных из природных нефтей Венесуэлы, было высказано в работе [17]. В работе [18] изучалось осаждение асфальтенов из природных нефтей и дистиллятов, а также из их растворов в гептане и толуоле. Для объяснения обнаруженных закономерностей была предложена модель, в которой постулируется наличие положительных зарядов у асфальтенов и отрицательных - у смол, а заряд, наблюдающийся в конкретной жидкой среде, определяется ассоциацией молекул САК в достаточно крупные

устойчивые агрегаты, структура которых зависит от состава исследуемой среды.

Согласно работе Евдокимова И.Н. [33], основными структурными единицами асфальтеновых компонентов нефтяных систем являются молекулярные нанокластеры (МНК), состоящие из нескольких молекул асфальтенов и слабо взаимодействующие с твердыми поверхностями. При низких температурах поверхностно-активные молекулы смолистых, ароматических и других веществ связываются в «сольватных оболочках» МНК, что препятствует осаждению этих молекул на электродах. Другим фактором, препятствующим осаждению активных молекул, является частичная блокировка поверхности твердого тела тонким слоем малоактивных МНК и их более крупных коллоидных ассоциатов. Структурные фазовые превращения в асфальтеновых МНК, в результате которых уменьшается их поверхностная энергия, сопровождаются перестройкой сольватных оболочек и снижением эффективности блокировки поверхности. Высвобождающиеся при этом активные молекулы обуславливают увеличение массы отложений при дальнейшем повышении температуры. Причиной осуществления этих механизмов является не наличие электрических зарядов у молекул САК, а значительная асимметрия расположения функциональных групп, определяющих дипольный момент асфальтенов.

Сюняев Р.З. в работе [2] отмечал, что в электрическом поле, вследствие пространственного распределения зарядов в НДС на поверхности ядер ССЕ, формируется двойной электрический слой. При внешних воздействиях возможен разрыв двойного электрического слоя и изменение баланса зарядов в результате изменения геометрических размеров ССЕ. С поляризацией в НДС связаны ориентация и структурообразование, самопроизвольное вращение частиц дисперсной фазы, в основе которого лежит наведение в определенных условиях дипольного момента, ориентированного против поля, и диэлектрофорез – движение поляризованных частиц в неоднородном



электрическом поле. Поэтому при наложении электрического поля кристаллы парафиновых углеводородов в растворе движутся к отрицательному электроду, образуя на нем отложения, после снятия напряжения их движение прекращается.

При рассмотрении влияния как однородного, так и переменного электрического поля на поведение неньютоновской нефти в ряде работ [27,28 30] было показано, что движение нефти по промысловым коммуникациям сопровождается электрокинетическими явлениями. Однако в работе [32] утверждается, что электризация (накопление объемного статического заряда) потока по пути движения нефти существенного влияния на парафинизацию промыслового оборудования не оказывает.

Д.М. Шейх-Али отмечал [31], что воздействие на нефтяной поток электрического поля уменьшает интенсивность запарафинивания поверхности, так как на заряженной частице в потоке вследствие электростатической индукции возникает дополнительный заряд. На нее со стороны электрического поля будет действовать сила, отклоняющая ее в сторону области зарядов и взаимодействия заряженных частиц в потоке.

По мнению авторов [23], сообщаемая электрическими полями энергия идет на разрушение связей пространственной структуры нефти, а асфальтены представляются как полярные электрически чувствительные компоненты данной структуры. Появление возбужденных электрическим полем молекул, а также радикальных структур, представленных смолисто-асфальтеновыми компонентами нефти, и атомарного водорода, образующегося при деструкции углеводородных молекул, уменьшают энергию активации окисления, что приводит к укорачиванию углеродных скелетов и уменьшению разветвленности цепей окисленных молекул и, как следствие, снижению структурно-реологических характеристик нефтяных систем.

### 1.3 Водонефтяные эмульсии

Эмульсии представляют собой дисперсные системы двух жидкостей, не растворимых или малорастворимых друг в друге, находящихся во взвешенном состоянии в виде мелких капель (глобул). Жидкость, в которой распределены глобулы, называются дисперсионной средой, а вторая жидкость, распределенная в дисперсионной среде, – дисперсной фазой.

Нефтяная эмульсия – это механическая мелкодисперсная смесь нерастворимых друг в друге нефти и пластовой воды. Образование водонефтяных эмульсий и их стойкость обусловлены процессами адсорбции на поверхности раздела фаз нефть-вода смолистых веществ, нафтеновых мыл и других коллоидных веществ, а также продуктов взаимодействия нафтеновых кислот и солей в пластовой воде [6].

На рисунке 1.2 схематично показана структура водонефтяной эмульсии.

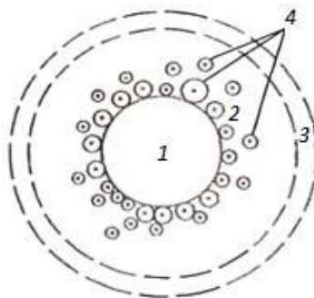


Рисунок 1.2 – Сложная структура водонефтяной эмульсии: 1 – глобула воды, 2 – бронирующий слой, 3 – дисперсионная среда – нефть, 4 – сложные структурные единицы – ассоциаты асфальтенов, твердых парафинов, механические примеси, окруженные сольватными оболочками

Глобулы воды имеют сферическую форму, так как сфера обладает наименьшей поверхностью при данном объеме. Бронирующий слой представляет собой совокупность природных эмульгаторов, которые находятся в ассоциативном состоянии в силу межмолекулярных взаимодействий между высокомолекулярными соединениями и окружены адсорбционными слоями из смол, полициклических гетероароматических соединений.

В образовании адсорбционных оболочек участвуют вещества с высокой поверхностной активностью такие, как асфальтены, смолы, парафин, тонкодисперсные неорганические вещества, состоящие из глины, песка и горных пород, комплексы металлов: ванадий, никель, цинк, литий, железо, титан [7].

По Г.Н. Позднышеву, все нефтяные эмульсии делятся на три группы [3]:

1. Вода в нефти – гидрофобная эмульсия (обратная). Это основной тип эмульсии, с которым сталкиваются в нефтепромысловой практике. Концентрация дисперсной фазы (воды) в дисперсионной среде (нефти) лежит в пределах от 10 % до 95 %;
2. Нефть в воде – гидрофильная эмульсия (прямая). Данный тип эмульсии образуется в основном во время разрушения обратных эмульсий, то есть при деэмульсации нефти. Свойства такого типа эмульсий учитывают при разработке технологии и техники очистки и подготовки нефтепромысловых сточных вод;
3. «Множественная» эмульсия содержит значительное количество механических примесей. Такой тип трудноразрушаемых эмульсий негативно влияет на технологический процесс подготовки нефти

#### *1.3.1 Причины образования водонефтяных эмульсий*

В пластовых условиях нефть и вода залегают в виде отдельных, несмешанных друг с другом фаз. На нефтяных месторождениях, эксплуатация которых происходит на поздней стадии, происходит прорыв пластовой воды в призабойную зону нефтяных скважин [8, 9].

На глубине 2000 м и при давлении 20 МПа одна объемная часть нефти в состоянии растворить до 1000 объемных частей газа. При подъеме нефти и понижении давления газ выделяется с такой энергией, что ее вполне достаточно для диспергирования пластовой воды [9].

Нефтяные эмульсии в основном образуются в местах, где происходит интенсивный контакт, перемешивание нефти и пластовой воды:

- при подъеме от забоя до устья скважины [8, 10], где нефть и пластовая вода из-за непрерывно изменяющихся термобарических условий претерпевают фазовые превращения с выделением из нефти растворенных газов и парафинов [9];

- в стволе скважины, где в результате выделения газа, понижается давление и увеличивается интенсивность перемешивания нефтяной и водной фаз, а также увеличивается скорость движения продукции пласта [10];

- на подвижных частях погружных насосов, штуцерах и запорной арматуре;

- образование нефтяных эмульсий интенсивно происходит при прохождении обводненной нефти через штуцера [10];

- в промышленном оборудовании при перепадах давления, пульсации газа, резкого изменения направления и диаметров технологических трубопроводов происходит турбулизация газожидкостного потока продукции эксплуатационных скважин, усиливающая диспергирование пластовой воды в нефти [8]. Кроме того, отложения парафина на внутренней поверхности технологического оборудования приводит к уменьшению поперечного сечения трубопроводов и, как следствие, к увеличению скорости движения потока продукции добывающих скважин [9].

При компрессорном способе добычи получаются эмульсии крайне высокой стойкости из-за того, что происходит окисление нафтеновых кислот с образованием соединений, которые являются эффективными эмульгаторами. В дальнейшем при движении газированных обводненных нефтей в системе сбора также возможно образование эмульсий. Высокие перепады давления, пульсация газа, наличие в штуцерирующих устройствах различного рода задвижек, поворотов и фитингов способствуют повышению турбулентности потока и интенсивному диспергированию воды в нефти. Применяемая технология разгазирования, в частности сепараторы, имеющие

насадки-диспергаторы, также влияет на образование нефтяных эмульсий [10].

Специалистами [11] было выявлено, что образование устойчивых водонефтяных эмульсий в призабойной зоне пласта происходит в результате фильтрации жидкости при наличии в породе мелкозернистого песка и глинистых фракций.

Таким образом, нефтяные эмульсии могут образовываться только при затратах энергии:

1. энергия расширения газа;
2. механическая энергия;
3. энергия силы тяжести.

### *1.3.2 Физико-химические свойства водонефтяных эмульсий*

Эмульсии представляют собой термодинамически неустойчивые дисперсные системы, образованные двумя и более жидкостями, нерастворимыми или малорастворимыми друг в друге, одна из которых диспергирована в другой в виде мелких капель (глобул). В зависимости от условий образования эмульсии любая из двух жидкостей может оказаться как дисперсной фазой, так и дисперсионной средой. Свойства эмульсий близки к свойствам коллоидных растворов, хотя величина диспергированных частиц у них различна. Характерной особенностью эмульсий является сферическая форма частиц дисперсной фазы, т. к. такая форма имеет наименьшую поверхность и наименьшую свободную энергию [10].

Основной тип эмульсионных систем, с которым приходится сталкиваться в нефтепромысловой практике – это обратные эмульсии (вода в нефти). При этом содержание дисперсной фазы в эмульсии может колебаться от следов до 90%. Прямые эмульсии (нефть в воде) образуются в основном в процессах разрушения обратных эмульсий, а также на обводненных нефтяных месторождениях с низкой минерализацией пластовых вод и повышенным содержанием нафтеновых кислот. Кроме того, существуют

множественные эмульсии – системы, в которых дисперсная фаза сама является эмульсией, и может быть как прямого, так и обратного типа. Такие эмульсии обычно имеют повышенное содержание механических примесей [24].

### *1.3.3 Реологические свойства водонефтяных эмульсий*

Вязкость нефтяных эмульсий – не аддитивное свойство, т. к. реологическое поведение эмульсий определяется большим количеством факторов, эффект от суммарного воздействия которых не равен сумме эффектов от каждого из них. Это зависит от множества физико-химических характеристик эмульсии, таких как состав и вязкость, дисперсионной среды; объемная доля, состав и степень дисперсности водной фазы; межфазное натяжение, химическая природа и концентрация эмульгаторов и пр. Кроме того, вязкость эмульсий зависит от температуры.

По реологическому поведению эмульсии называют аномальными или неньютоновскими жидкостями. Основной причиной аномалии вязкости эмульсий является деформация диспергированных частиц, возникающая в процессе увеличения напряжения сдвига. С возрастанием приложенной силы капли эмульгированной жидкости удлиняются, превращаясь из шариков в эллипсоиды, что затрудняет течение и приводит к повышению кажущейся вязкости эмульсии [13].

В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных теоретическому расчету вязкости дисперсных систем [8 - 14]. Классические формулы Эйнштейна и Тейлора [12] по определению вязкости справедливы лишь для предельно разбавленных эмульсий и суспензий с концентрацией дисперсной фазы менее 0,05 % , когда наличие соседних частиц не влияет на возмущение течения, вызываемое одной частицей. Обычно для описания свойств нефти применяются реологические модели Бингама, Шульмана, Оствальда, Кэссона, Балкли-Гершеля, Эйринга [13]. При

описании разных участков кривой течения часто используют различные модели [11].

Общей теории, связывающей структурную вязкость неньютоновских эмульсий с их составом, не существует. В связи с тем, что подавляющее большинство эмульсионных смесей являются ассоциированными и их вязкость в очень сильной степени зависит от химического состава и ряда других факторов, практическое применение теоретических уравнений для вычисления вязкости таких систем ограничено. Однако ряд эмпирических формул позволяет приближенно качественно и количественно описать эту зависимость для отдельных эмульсий [9].

Обратные водонефтяные эмульсии имеют более высокую вязкость, чем исходная нефть, т. к. вода создает еще одну поверхность раздела фаз, на которой происходит адсорбция природных эмульгаторов. По мере насыщения поверхности раздела фаз адсорбционные слои приобретают упругость и механическую прочность, что приводит к увеличению структурированности водонефтяной системы.

Многими исследователями предпринимались попытки теоретического описания влияния объемного содержания водной фазы на относительное увеличение вязкости обратных эмульсий. Однако количество таких формул весьма ограничено и базируется на эмпирическом материале для отдельных составов [13, 15, 16, 18]. Принято считать, что с увеличением содержания воды в нефти до определенного значения вязкость эмульсии возрастает, и достигает максимального значения. Критическое значение степени обводненности, при которой вязкость эмульсии начинает снижаться, называется точкой инверсии и для нефтей разных месторождений может колебаться в пределах 0,5 - 0,9, но в большинстве случаев оно равно 0,71 [7]. В точке инверсии происходит обращение фаз, в результате чего дисперсная фаза становится дисперсионной средой, а дисперсионная среда – дисперсной фазой. Следует отметить, что в литературе на этот счет имеются разные точки зрения. В своей работе [13] Евдокимов И.Н. и Лосев А.П. указывают на

ошибочность традиционных представлений о поведении вязкости водонефтяных эмульсий вблизи точки инверсии и отсутствие инверсии фаз в промысловых эмульсиях.

Литературные данные ряда авторов [7, 19] свидетельствуют о том, что вязкость дисперсной фазы не влияет на вязкость эмульсий, большее влияние оказывает ее химический состав. Определяющее значение в вязкости эмульсий имеет вязкость непрерывной среды при любом содержании внутренней фазы. Однако, чем выше содержание водной фазы, тем менее существенно влияние вязкости углеводородной среды на вязкость обратных эмульсий, что обусловлено уменьшением их общей поверхности раздела фаз.

Как показывают исследования [7, 9, 14, 15], на вязкость дисперсной системы огромное влияние оказывает не только концентрация дисперсной фазы, но и размер частиц. Уменьшение диаметра водных глобул при одинаковой концентрации дисперсной фазы приводит к увеличению вязкости системы. Связь эта нелинейна и ослабевает по мере увеличения размера частиц: при диаметрах частиц более 100 мкм влияние их размера на вязкость системы пренебрежимо мало, и оно становится весьма ощутимым, когда размер капель достигает 10 и менее мкм.

Особый интерес представляют связь температурной зависимости вязкости с составом и молекулярной структурой системы. Состояние молекул нефтяной дисперсной системы находится в зависимости от соотношения энергий межмолекулярного взаимодействия и теплового движения, что обуславливает взаимосвязь параметров энергии вязкого течения и структурированности системы [16]. Поэтому на основании вязкостно-температурных зависимостей был предложен метод оценки степени ассоциации молекул в НДС, а также энергии межмолекулярного взаимодействия [17]. Однако в настоящее время в литературе имеется крайне мало сведений об энергетических параметрах вязкого течения водонефтяных эмульсий в зависимости от содержания и состава дисперсной фазы.



#### **1.4 Использование физических полей для обезвоживания нефтяных эмульсий**

В настоящее время возрастает интерес к исследованию низкоэнергетических воздействий на нефтяные системы с целью изменения их свойств. Изучается возможность применения физических методов воздействия на водонефтяные эмульсии, на отложение неорганических солей и асфальтосмолопарафинистые отложения (АСПО). Любое физическое воздействие на НДС, дисперсная фаза которой представлена молекулярными кристаллами парафинов и ассоциатами САВ, приводит к их трансформации и изменению структурно-реологических свойств [18].

Под действием внешних воздействий, таких как химические добавки, температура и физические поля, НДС имеет склонность к изменению степени дисперсности. Таким образом, изменяя условия внешних воздействий можно управлять свойствами НДС, так как дисперсные структуры и бронирующие оболочки в нефтяных системах, состоящие из САВ и твердых парафинов, термодинамически нестабильны. В целом управление дисперсным состоянием НДС составляет важную задачу эффективной разработки нефтяных месторождений [19, 20].

В качестве воздействий, управляющих структурой вещества, чаще всего используют методики с применением различных видов физических полей – электрических, магнитных, ультразвуковых, акустических и их различных комбинаций. Малоэнергетические технологии являются перспективными вследствие их эффективности и доступности. Данные методы находят все более широкое применение в нефтяной промышленности [21].

Обработка нефтяного сырья физическими полями на практике чаще всего применяется для освоения скважин, повышения продуктивности добывающих и производительности нагнетательных скважин, вскрывающих неоднородные пласты (глинистые песчаники), очистки скважин от

отложений солей, очистки перфорационных каналов от продуктов вскрытия пластов и АСПО, для улучшения физико-химических свойств и качества товарной нефти и нефтепродуктов – электрообезвоживание, электрообессоливание [22, 24].

#### *1.4.1 Использование электрического поля*

Применение электричества для обезвоживания нефтяных эмульсий началось в 1909 г. Это эффективный метод, который находит широкое применение на нефтепромыслах и НПЗ, однако, он является достаточно энергозатратным [23].

При воздействии электрического поля на нефтяные эмульсии глобулы воды начинают располагаться вдоль его силовых линий, что приводит к резкому увеличению электропроводности эмульсий нефти. Это явление объясняется тем, что вода имеет приблизительно в 40 раз большую диэлектрическую проницаемость, чем нефть. Данное свойство капель воды располагаться вдоль силовых линий электрического поля является основой для использования этого метода в целях обезвоживания водонефтяных эмульсий [25]. Под влиянием электрического переменного поля высокого напряжения глобулы воды образуют диполь с разноименными зарядами в вершинах капель воды. Результирующее дипольное взаимодействие между каплями вызывает их притяжение, пробой бронирующих оболочек и дальнейшую коалесценцию [26, 27].

Так же энергия электрического поля идет на разрушение связей пространственной нефтяной структуры. Асфальтеновые фрагменты в сырой нефти несут остаточный поверхностный электрический заряд и являются полярными электрически чувствительными компонентами НДС. Под действием электрического поля в нефтяных системах появляются возбужденные молекулы, радикалы САК, которые уменьшают энергию активации окисления, что приводит к укорачиванию углеродных скелетов и снижению структурно-реологических характеристик НДС .

В электрическом поле на поверхности ядер ССЕ из-за пространственного распределения зарядов в НДС образуется двойной электрический слой. При воздействии электрического поля на НДС возможен разрыв двойного электрического слоя, в результате чего происходит перераспределение баланса зарядов из-за изменения геометрических размеров ССЕ. С поляризацией в НДС связаны структурообразование и ориентация, вращение частиц дисперсной фазы и диэлектрофорез – движение поляризованных частиц в неоднородном электрическом поле. Так при наложении электрического поля кристаллы парафинов в растворе движутся к отрицательному электроду и образуют на нем отложения [30].

#### *1.4.2 Использование магнитного поля*

Установлено, что дестабилизировать нефтяную эмульсию можно также наложением на НДС постоянного магнитного поля [31]. Реальные объекты могут обладать как положительными, так и отрицательными магнитными восприимчивостями. Диамагнетики – вещества с отрицательной магнитной восприимчивостью, их намагниченность противоположна по направлению приложенному магнитному полю. Примерами диамагнетиков являются углекислый газ, вода и многие органические соединения. Положительной магнитной восприимчивостью обладают парамагнетики (медь, алюминий, жидкий кислород) и, в намного большей степени, ферромагнетики (железо, магнетит, сталь). Опытным путем установлено, что вещества диамагнитной природы в однородном поле ориентируются перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, а из неоднородного магнитного поля они выталкиваются в направлении уменьшения напряженности поля.

Вероятно, что причина разрушения водонефтяных эмульсий в постоянном магнитном поле заключается в различной магнитной восприимчивости воды и компонентов нефти, вследствие чего возникает разность потенциалов, появляется движущая сила и наблюдается расслоение [32].

Было выдвинуто предположение, что в однородном магнитном поле каждая глобула воды растягивается вдоль магнитных линий, испытывая давление окружающей ее нефти, которая подвергается намного более сильному диамагнитному выталкиванию, чем вода. При изменении шарообразной формы капли воды на любую другую, будет увеличиваться площадь ее поверхности, тем самым, толщина бронирующего слоя будет уменьшаться. Это является одной из главных составляющих процесса деэмульсации [28].

При помещении нефтяной эмульсии в переменное однородное магнитное поле будет происходить циклическое растяжение бронирующего слоя молекул дисперсной фазы. При этом в асфальтовых и парафиновых слоях бронирующей оболочки могут появляться трещины, по которым молекулы ДЭ смогут проникнуть к межфазной поверхности границы раздела нефть – вода. Также, трещины в бронирующей оболочке глобул воды могут появиться из-за того, что парафины, смолы и асфальтены имеют разную магнитную восприимчивость, и, следовательно, на каждый слой бронирующей оболочки будет действовать разная пульсационная нагрузка. В ряде источников утверждается о большей эффективности переменного магнитного поля, по сравнению с постоянным [26, 27].

В работе [9] приводятся данные о влиянии магнитного поля в присутствии ПАВ. Было установлено, что эффективность обезвоживания увеличивается в несколько раз при использовании магнитного поля и ДЭ одновременно. Таким образом, можно сказать, что воздействие магнитного поля на систему, в которую добавлен ДЭ, способствует интенсификации процесса, т.к. магнитное поле усиливает процессы дестабилизации сольватных оболочек, образованных природными ПАВ.

Авторы работы [30] описывают интересный подход к разрушению эмульсий нефти, заключающийся во введении магнитной добавки в дисперсную фазу эмульсии и использовании магнитного поля для

коалесценции капель воды и обезвоживания эмульсии. В качестве магнитных добавок применялись нафтенат железа и лигносульфонат.

#### *1.4.3 Использование низкочастотной акустической обработки*

Низкочастотная акустическая обработка (НАО) приводит к ускорению различных процессов в НДС. Она увеличивает массо- и теплообмен, ускоряет химические реакции, снижает механическое сопротивление, позволяет достигать малых значений структурной вязкости. НАО разрушает существующую в нефтяных системах коллоидно-дисперсную нефтяную структуру, что приводит к значительному изменению реологических свойств. Основные процессы, происходящие при НАО – разрушение или образование кристаллической решетки парафиновых углеводородов (ПУ), где большое значение имеет соотношение дисперсионной среды, которая состоит из жидкофазных компонентов – масел, низших углеводородов и высокомолекулярных компонентов дисперсной фазы – ПУ и САВ [2].

В начальный момент времени при НАО происходит разрушение кристаллической структуры ПУ, из-за разрыва слабых дисперсионных связей, что вызывает значительное снижение напряжения сдвига и вязкости. Так же, возможно, частичное растворение парафинов, за счет перемешивания ПУ нефти на границе нефть – парафин и действия импульсов давления, которые как бы «разбрызгивают» частицы парафина. Однако, с увеличением времени НАО вязкость увеличивается, что связано с появлением инерционной (ближней) коагуляции и с «эффектом вибрационного упрочнения структуры» [61, 62].

В настоящее время на практике низкочастотное акустическое воздействие реализуется в методе виброструйной магнитной активации (ВСМА), которое используется для подготовки высоковязких нефтей к транспорту, для приготовления буровых растворов, различных полимерных составов и водонефтяных эмульсий, очистки резервуаров от донных осадков [1, 28].

В процессе виброструйной обработки нефтяные эмульсии прокачиваются через воздушный зазор электромагнита и одновременно подвергаются воздействию электромагнитного поля, вибрации, сдвиговым напряжениям между слоями жидкой системы (ЖС). Воздействие осуществляется на частоте собственных колебаний механической системы, зависящей, в том числе, и от механических свойств среды: вязкости, плотности, статического напряжения сдвига. Комплексное воздействие физических полей на ЖС и резонансный режим работы системы даже при относительно невысоких значениях частоты воздействия ( $f = 50$  Гц) определяет высокую эффективность данной технологии [2].

***Выводы по 1 разделу:***

1. На основании литературных данных можно предположить, что смолисто-асфальтеновые компоненты нефти играют важную роль в процессах структурообразования, протекающих в нефтях при обработке физическими полями.

2. Изучение влияния физических полей на НДС является недостаточно исследованной областью химии нефти как с научной точки зрения (требуется работы по уточнению механизма протекания данного процесса), так и с чисто практической стороны, для прогнозирования особенностей реологического поведения нефти различного состава после воздействия различными видами физических полей при добыче и транспорте нефти.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены особенности реологического поведения и устойчивости нефти и водонефтяных эмульсий Русского месторождения после электромагнитной, низкочастотной акустической и комплексной обработки.

2. Установлено, что после 2 ч ЭМО нефти происходит снижение температуры фазового перехода на 3 °С и энергии активации вязкого течения в 2 раза в низкотемпературной области. Наибольшее влияние на реологические свойства нефти оказывает 20-минутная низкочастотная обработка и комплексное воздействие в комбинации 20 мин НАО и 5 ч ЭМО.

3. Показано, что ЭМО в течение 5 ч улучшает реологические характеристики и энергетические параметры 30 % мас. эмульсии на основе дистиллированной воды. Комплексная обработка приводит к дополнительному снижению энергии активации вязкого течения. После 40 минут НАО происходит снижение более чем на 20 % динамической вязкости и напряжения сдвига для 30 % мас. эмульсии на основе пластовой воды.

4. Установлено, что ЭМО не оказывает существенного влияния на устойчивость исследуемых эмульсий. После комплексной обработки снижается устойчивость 30 % мас. эмульсий только на основе дистиллированной воды.

5. Показано, что обработка различными видами физических полей не приводит к значительным изменениям в компонентном составе асфальтенов нефтяных систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подготовка и транспорт проблемных нефтей (научно-практические аспекты) / Г. И. Волкова [и др.] ; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. - Томск : Изд. Дом Том. гос. ун-та, 2015. - 134 с. - ISBN 978-5-94621-452-0
2. Сюняев, З.И. Нефтяные дисперсные системы / З.И. Сюняев, Р.З. Сафиева, Р.З. Сюняев. – М.: Химия, 1990. – 226 с.
3. Непримеров, Н.Н. Экспериментальное исследование некоторых особенностей добычи парафинистых нефтей / Н.Н. Непримеров. – Казань: Изд-во КГУ, 1958. – 48 с.
4. Маркин, А.Н. Нефтепромысловая химия / А.Н. Маркин, Р.Э. Низамов, С.В. Суховерхов // Практическое руководство. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 288 с.
5. Рябов, В.Д. Химия нефти и газа: учебное пособие / В.Д. Рябов. – М.: ИД «ФОРУМ», 2009. – 336 с.
6. Сахабутдинов, Р.З. Формирование и разрушение водонефтяных устойчивых эмульсий в промежуточных слоях: метод. указания / Р.З. Сахабутдинов, Р.Ф. Хамидуллин. – Казань: Изд-во Казанского гос. техн. ун-та, 2009. – 60 с.
7. Лыу Хоай Фыонг. Регулирование низкотемпературных и реологических свойств высоковязких высокозастывающих нефтей : специальность 05.17.07 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лыу Хоай Фыонг. – Москва, 2013. – 160 с. – EDN SUXSBJ.
8. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. – М.: Недра, 1982 – 221 с.
9. Фатхутдинова, Р. М. Комбинированные способы разрушения устойчивых эмульсионных систем высоковязких нефтей : специальность 02.00.13 "Нефтехимия" : автореферат диссертации на соискание ученой



степени кандидата технических наук / Фатхутдинова Римма Мидехатовна. – Казань, 2013. – 22 с. – EDN ZPBHRT.

10. Ермеев, А. М. О применении магнитного поля в процессах разрушения водонефтяных эмульсий / А. М. Ермеев, А. А. Елпидинский // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 2. – С. 170-173. – EDN PVCOJX.

11. Sheremata J.M., Gray M.R., Dettman H.D., McCaffrey W.C. Quantitative molecular representation and sequential optimization of Athabasca asphaltenes // Energy & Fuels. 2004. Vol. 18, № 5. P. 1377–1384

12. Otto P., Mojelsky T.W., Faraji F., Lown E.M. Additional structural details on Athabasca asphaltene and their ramifications // Energy & Fuels. 1999. Vol. 13. P. 207–227.

13. Mullins O.C., Betancourt S.S., Gribbs M.E., Dubost F.X., Creek J.L., Andrews A.B., Venkataramanan L. The colloidal structure of crude oil and the structure of oil reservoirs // Energy & Fuels. 2007. Vol. 21, № 5. P. 2785–2794

14. Yang X., Kilpatrick P. Asphaltenes and waxes do not interact synergistically and coprecipitate in solid organic deposits // Energy & Fuels. 2005. Vol. 19. P. 1360–1375.

15. Corraera S., Fasano A., Fusi L., Primicerio M. Modelling of wax diffusion in crude oils: the cold finger device // Applied mathematical Modelling. 2007. Vol. 31, № 10. P. 2286–2298.

16. Лоскутова, Ю. В. Влияние магнитного поля на реологические свойства нефтей : специальность 02.00.13 "Нефтехимия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Лоскутова Юлия Владимировна. – Томск, 2003. – 138 с. – EDN NMQАНВ.

17. Лоскутова, Ю. В. Влияние низкочастотного акустического поля и полимерной присадки на структурно-механические параметры нефти / Ю. В. Лоскутова, Н. В. Юдина, В. А. Данекер // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2019. – Т. 62. – № 1. – С. 70-77. – DOI 10.6060/ivkkt.20196201.5766. – EDN YVJDMТ.

18. Сергеев, А. А. Применение магнитного поля в процессах разрушения водонефтяной эмульсии / А. А. Сергеев // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2016. – № 1. – С. 319-323. – EDN XHWGZV.
19. О разрушении углеводородных эмульсий под действием электромагнитных полей / М. Ю. Долوماتов, Р. С. Сабитов, Р. М. Сафуанова, А. Г. Телин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – № 2(108). – С. 39-51. – EDN YRXVQN.(70)
20. Небогина, Н. А. Влияние состава нефти и степени ее обводненности на структурно-механические свойства эмульсий : специальность 02.00.13 "Нефтехимия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук / Небогина Надежда Александровна. – Томск, 2009. – 22 с. – EDN NKUJNT.
21. Сахраи Эгбаль. Разработка составов и сравнительная оценка тампонирующих свойств обратных эмульсий для повышения нефтеотдачи : специальность 25.00.17 "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений", 02.00.11 "Коллоидная химия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сахраи Эгбаль. – Москва, 2005. – 24 с. – EDN NIKHCT.
22. Шибаева, О. Н. Разработка способов разрушения водных эмульсий высоковязких нефтей : специальность 02.00.13 "Нефтехимия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шибаева Ольга Николаевна. – Казань, 2004. – 21 с. – EDN NHMYBH.
23. Ануфриев, Р. В. Влияние ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства и состав нефтяных дисперсных систем : специальность 02.00.13 "Нефтехимия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук / Ануфриев Роман Викторович. – Томск, 2017. – 22 с. – EDN ZQDBSL.

24. Жумаев, К. К. Причины образования водонефтяных эмульсий / К. К. Жумаев, Х. Хабибов // Молодой ученый. – 2016. – № 2(106). – С. 153-155. – EDN VIBVET.
25. Лоскутова Ю.В. Применение технологии виброструйной магнитной активации для вовлечения в процесс переработки нефтяных остатков /Сербиненко М.В., Юдина Н.В. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2008. – № 11. – С.46–49.
26. Изменение реологических свойств нефтяных дисперсных систем при вибрационной обработке / Ю. В. Лоскутова, И. В. Прозорова, Н. В. Юдина, С. В. Рикконен // Коллоидный журнал. – 2005. – Т. 67. – № 5. – С. 663-667. – EDN HSHJJT.
27. Баранова, М. П. Технологии получения и использования топливных водоугольных суспензий из углей различной степени метаморфизма : специальность 05.14.01 "Энергетические системы и комплексы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Баранова Марина Петровна. – Москва, 2014. – 38 с. – EDN ZPFZJZ.
28. Пыхов, Д. С. Исследование и разработка волнового метода разрушения водонефтяной эмульсии в пластовых условиях и в призабойной зоне пласта : специальность 25.00.17 "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пыхов Данила Сергеевич. – Уфа, 2013. – 139 с. – EDN SUUNSP.
29. Мурамович, В. Г. Теоретико-методические основы молекулярной модификации углеводородного топлива для транспортных средств электрическими полями : специальность 05.22.01 "Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мурамович Виктор Григорьевич. – Санкт-Петербург, 2013. – 230 с. – EDN SUNLYN.

30. Мухамадеев Р. У. Интенсификация процесса расслоения водонефтяных эмульсий высоковязких нефтей : автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.17.07 / Мухамадеев Ришат Уралович. - Уфа, 2020. - 24 с.
31. Литвинец, И. В. Влияние ингибирующих присадок на процесс образования асфальтосмолопарафиновых отложений нефтяных дисперсных систем : специальность 02.00.13 "Нефтехимия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук / Литвинец Ирина Валерьевна. – Томск, 2015. – 22 с. – EDN ZPXQQJ.
32. Небогина, Н. А. Изучение изменения реологических параметров водонефтяных эмульсий высокопарафинистых нефтей в зависимости от содержания воды / Н. А. Небогина, И. В. Прозорова, Н. В. Юдина // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 1. – С. 48-50. – EDN YGGMJH.

# Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Лукина Елизавета Алексеевна

Проверяющий:

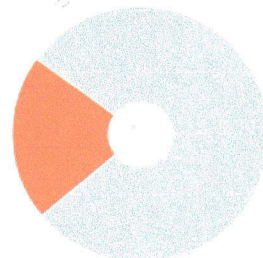
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://users.antiplagiat.ru>

## ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 13  
Начало загрузки: 05.06.2022 14:51:37  
Длительность загрузки: 00:00:02  
Имя исходного файла: черновик диплом (1).pdf  
Название документа: ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФТИ И ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ РУССКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
Размер текста: 112 кБ  
Тип документа: Выпускная квалификационная работа  
Символов в тексте: 114847  
Слов в тексте: 13229  
Число предложений: 479

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 05.06.2022 14:51:39  
Длительность проверки: 00:00:05  
Корректировка от 15.06.2022 13:59:51  
Комментарии: не указано  
Модули поиска: Интернет Free



ЗАИМСТВОВАНИЯ  
20,89%

САМОЦИТИРОВАНИЯ  
0%

ЦИТИРОВАНИЯ  
0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ  
79,11%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.

Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.

Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.

Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

| №    | Доля в отчете | Источник                                                                                                                                                                                                                                   | Актуален на | Модуль поиска |
|------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|
| [01] | 6,87%         | <a href="http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls:000508019/SOURCE1">http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls:000508019/SOURCE1</a><br><a href="http://vital.lib.tsu.ru">http://vital.lib.tsu.ru</a> | 18 Ноя 2019 | Интернет Free |
| [02] | 1,95%         | <a href="https://esu.citis.ru/dissertation/EBQ2CEDFCLD2FUEIWWQO3ALC">https://esu.citis.ru/dissertation/EBQ2CEDFCLD2FUEIWWQO3ALC</a><br><a href="https://esu.citis.ru">https://esu.citis.ru</a>                                             | 20 Мар 2018 | Интернет Free |
| [03] | 0%            | Влияние ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства и состав нефтяных дисперсных систем<br><a href="http://ipc.tsc.ru">http://ipc.tsc.ru</a>                                                                              | 01 Дек 2020 | Интернет Free |

Еще источников: 7

Еще заимствований: 12,07%

16.06.2022

