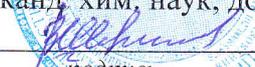


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)  
Химический факультет  
Кафедра высокомолекулярных соединений и нефтехимии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

канд. хим. наук, доцент

  
В. В. Шелковников

подпись

« 15 » \_\_\_\_\_ 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА СПЕЦИАЛИСТА  
(ДИПЛОМНАЯ РАБОТА)

УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЭМУЛЬГАТОРОВ И УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ

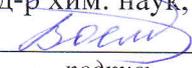
по специальности 04.05.01

специализация «Фундаментальная и прикладная химия»

Зверев Кирилл Сергеевич

Зав. каф. высокомолекулярных  
соединений и нефтехимии,

д-р хим. наук, профессор

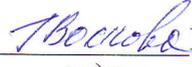
  
А. В. Восмериков

подпись

« 15 » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Руководитель ВКР

канд. хим. наук, доцент

  
Г. И. Волкова

подпись

« 15 » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Автор работы

студент группы № 08605

  
К. С. Зверев

подпись

« 15 » \_\_\_\_\_ 2021 г.

В соответствии с п 3.2 «Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке Научной библиотеке ТГУ» выпускная квалификационная работа студента Зверева Кирилла Сергеевича на тему «Устойчивость водонефтяных эмульсий в условиях комплексного воздействия деэмульгаторов и ультразвукового поля» 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 »

2021 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы специалиста обучающегося  
Звереву Кириллу Сергеевичу

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия,  
направленность (профиль) «Фундаментальная и прикладная химия»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Устойчивость водонефтяных эмульсий в условиях комплексного воздействия  
деэмульгаторов и ультразвукового поля

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в деканат – 17.06.2021

б) в ГЭК – 18.06.2021

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – Нефти Русского, Столбового и Восточно-Каменного  
месторождений и эмульсий на их основе.

Предмет исследования – Влияние ультразвукового поля и ввода деэмульгаторов на  
свойства водонефтяных эмульсий

Цель исследования – Выявить оптимальные условия обработки водонефтяных  
эмульсий для подготовки нефтяного флюида к трубопроводному  
транспорту.

Задачи:

1. исследовать влияние интенсивности ультразвука на свойства водонефтяных  
эмульсий;

2. определить ряд промышленных химических реагентов – деэмульгаторов  
водонефтяных эмульсий;

3. разработать деэмульгирующую композицию на основе индивидуальных реагентов;

4. изучить влияние комплексного воздействия деэмульгатора и ультразвука на  
реологические свойства и стойкость водонефтяных эмульсий.

Методы исследования:

ультразвуковая обработка; ИК-спектроскопия; ротационная вискозиметрия; оптическая  
микроскопия в проходящем свете; «Bottle-test».

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

4 Краткое содержание работы

Изучено влияние ультразвукового поля, химических реагентов на структурно-реологические характеристики нефтей различного состава и устойчивость водонефтяных эмульсий.

Руководитель выпускной квалификационной работы

доцент НИ ТГУ

*должность, место работы*



*подпись*

Волкова Г.И.

*И.О. Фамилия*

Задание принял к исполнению

« 8 » февраля 2021

*студент*



*подпись*

Зверев К.С.

*И.О. Фамилия*

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа специалиста 59 с., 3 гл., 30 рис., 16 табл., 31 источник.

**ВОДОНЕФТЯНАЯ ЭМУЛЬСИЯ, УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА, РАЗРУШЕНИЕ ЭМУЛЬСИЙ, СТАБИЛЬНОСТЬ ЭМУЛЬСИЙ, ДЕЭМУЛЬГАТОРЫ.**

Объекты исследования: водонефтяные эмульсии нефтей Русского, Столбового и Восточно-Каменного месторождений.

Нефти, добываемые в настоящее время, содержат значительное количество пластовой воды, что приводит к образованию стойких водонефтяных эмульсий. Обводненные нефти имеют высокую вязкость и температуру застывания, в них активно протекает образование асфальтосмолопарафиновых отложений. Целью данной работы является выявление оптимальных условий обработки водонефтяных эмульсий для подготовки нефтяного флюида к трубопроводному транспорту.

В работе экспериментально определены условия приготовления устойчивых эмульсий с дистиллированной водой. Для исследований выбраны эмульсии, содержащие 10, 30 и 50 % мас. воды для нефтей Русского, Восточно-Каменного и Столбового месторождений соответственно. Методом микроскопии определена дисперсность частиц воды в эмульсиях. Исследована устойчивость эмульсий после воздействия ультразвуком интенсивностью 2-6 и 18 Вт/см<sup>2</sup>. Эмульсии, обработанные при интенсивности поля 2-6 Вт/см<sup>2</sup>, расслаиваются интенсивнее, чем исходные. Увеличение интенсивности поля до 18 Вт/см<sup>2</sup> приводит к диспергированию глобул воды, увеличению седиментационной устойчивости и вязкости эмульсий.

На основе промышленных реагентов предложена деэмульгирующая композиция. Установлено, что комплексное воздействие, включающее использование деэмульгирующей композиции и последующую ультразвуковую обработку, снижает седиментационную устойчивость и вязкость исследуемых эмульсий.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	6
1 Литературный обзор .....	8
1.1 Водонефтяные эмульсии и их виды .....	8
1.2 Физико-химические свойства нефтяных эмульсий .....	10
1.3 Причины образования водонефтяных эмульсий и пути их разрушения .....	12
1.3.1 Стабильность водонефтяных эмульсий .....	13
1.3.2 Поверхностно-активные вещества и механизм действия деэмульгаторов на эмульсии.....	14
1.3.3 Физические методы разрушения водонефтяных эмульсий .....	16
1.3.3.1 Магнитная обработка водонефтяных эмульсий.....	16
1.3.3.2 Воздействие ультразвуковой обработки на водонефтяные эмульсии.....	17
2 Экспериментальная часть .....	21
2.1 Объекты и методы исследования .....	21
2.1.1 ИК-спектроскопия нефтей .....	22
2.1.2 Формирование водонефтяных эмульсий.....	23
2.1.3 Методика проведения ультразвуковой обработки .....	23
2.1.4 Определение реологических параметров нефти.....	25
2.1.4.1 Расчёт удельной энергии разрушения дисперсной системы .....	26
2.1.5 Использование промышленного деэмульгатора и его композиций для расслоения водонефтяных эмульсий .....	28
2.1.6 Использование комплексного воздействия для расслоения водонефтяных эмульсий .....	29
2.1.7 Использование метода оптической микроскопии для исследования микроструктуры водонефтяных эмульсий.....	30
3 Результаты исследований .....	31
3.1 Влияние условий формирования на свойства водонефтяных эмульсий .	31

3.1.1 Микроструктура 30 % мас. эмульсий нефти Восточно-Каменного месторождения .....	31
3.1.2 Реологические параметры исходных нефтей Восточно-Каменного месторождения .....	32
3.1.3 Микроструктура 50 % мас. эмульсий нефти Столбового месторождения .....	33
3.1.4 Реологические параметры 50 % мас. эмульсий нефти Столбового месторождения .....	34
3.1.5 Влияние температуры и интенсивности ультразвука на вязкость эмульсий нефти Русского месторождения.....	35
3.2 Влияние ультразвуковой обработки на седиментационную устойчивость водонефтяных эмульсий .....	36
3.2.1 Седиментационная устойчивость эмульсий нефти Восточно-Каменного месторождения .....	37
3.2.2 Седиментационная устойчивость эмульсий нефти Столбового месторождения .....	41
3.2.3 Седиментационная устойчивость эмульсий нефти Русского месторождения .....	44
3.3 Воздействие деэмульгатора на свойства водонефтяных эмульсий .....	46
3.3.1 Реологические параметры водонефтяных эмульсий Восточно-Каменного месторождения .....	46
3.3.2 Реологические параметры водонефтяных эмульсий Столбового месторождения .....	47
3.4 Влияние комплексного воздействия УЗО и деэмульгатора на устойчивость водонефтяных эмульсий.....	48
3.4.1 Седиментационная устойчивость эмульсий Восточно-Каменного месторождения .....	48
3.4.2 Седиментационная устойчивость эмульсий Столбового месторождения .....	49

3.4.3 Седиментационная устойчивость эмульсий Русского месторождения .....	50
3.4.4 Вязкость эмульсий Восточно-Каменного месторождения.....	52
3.4.5 Вязкость эмульсий Столбового месторождения .....	52
3.4.6 Вязкость эмульсий Русского месторождения .....	53
Заключение .....	54
Список использованных источников и литературы.....	56

## ВВЕДЕНИЕ

Процесс промышленной добычи нефти в СССР рос до 1980-х годов, после чего стал замедляться, и только в середине 90-х годов в России промышленное получение нефти снова стало набирать обороты. Такое изменение связано не только с экономическими изменениями в стране, но также и с тем, что вырабатывались запасы нефтей, содержащих в большем объеме легкие фракции. Таким образом, необходимость использования месторождений с высоким содержанием парафиновых углеводородов (УВ) и смолисто-асфальтеновых компонентов возросла. Использование таких резервов – задача, решение которой требует научно-технических исследований и материальных вложений.

Нефти, добываемые в настоящее время, содержат значительное количество пластовой воды (в результате длительной эксплуатации нефтяных месторождений, заводнения нефтеносных пластов), что приводит к образованию стойких водонефтяных эмульсий с высокой вязкостью. Обводненность нефти вызывает активное образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), повышает температуру застывания нефти, увеличивает вязкость, что создает дополнительные проблемы при её транспорте и хранении.

Применяются следующие методы, с помощью которых изменяются устойчивость и физико-химические характеристики водонефтяных эмульсий: использование деэмульгаторов, модифицированных поверхностно-активными веществами (ПАВ); физические методы, в частности, ультразвуковая обработка (УЗО); комплексные методы воздействия. Метод ультразвуковой обработки имеет ряд достоинств: низкая энергозатратность, высокий коэффициент полезного действия, техническая и экологическая безопасность. Однако использование УЗО для разрушения эмульсий требует индивидуального подхода, а результат зависит от компонентного состава нефти. В связи с этим научный и практический интерес представляет

сравнительное исследование нефтяных эмульсий до и после ультразвуковой обработки, а также комплексное воздействие УЗО и деэмульгирующего агента.

**Цель настоящего исследования:** выявить оптимальные условия обработки водонефтяных эмульсий для подготовки нефтяного флюида к трубопроводному транспорту.

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

1. исследовать влияние интенсивности ультразвука на свойства водонефтяных эмульсий;
2. определить ряд промышленных химических реагентов – деэмульгаторов водонефтяных эмульсий;
3. разработать деэмульгирующую композицию на основе индивидуальных реагентов;
4. изучить влияние комплексного воздействия деэмульгатора и ультразвука на реологические свойства и стойкость водонефтяных эмульсий.

**Научная новизна** работы заключается в получении новых данных о поведении водонефтяных эмульсий в ультразвуковом поле.

**Практическая значимость:** выявлены оптимальные режимы ультразвуковой обработки эмульсий для снижения их седиментационной устойчивости. Разработано деэмульгирующая композиция на основе промышленных реагентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выпускной квалификационной работы был проведен литературный анализ отечественных и зарубежных работ на тему влияния ультразвуковой обработки, деэмульгаторов на свойства водонефтяных эмульсий различного состава.

Проведены исследования влияния УЗО различной интенсивности (2-6, 18 Вт/см<sup>2</sup>), деэмульгаторов (полипропиленгликоль, Тексапон N70 и Kemelix) на устойчивость и вязкость водонефтяных эмульсий, в которых дисперсная фаза представлена нефтями Русского и Столбового и Восточно-Каменного месторождений. Определили компонентный состав нефтей. Нефти Русского, Восточно-Каменного и Столбового месторождений малопарафинистые. Нефти Столбового и Русского месторождений отличаются от Русской нефти большим количеством асфальтенов, нефть Восточно-Каменного месторождения отличается от остальных меньшим количеством смол.

Определены концентрации и условия приготовления устойчивых водонефтяных эмульсий на основе 3 образцов нефтей. Выявлено, что эмульсии, обработанные ультразвуком интенсивностью 2-6 Вт/см<sup>2</sup>, менее устойчивы по сравнению с исходными. Увеличение интенсивности до 18 Вт/см<sup>2</sup> приводит к диспергированию глобул воды, увеличению седиментационной устойчивости и вязкости эмульсий. Разработана деэмульгирующая композиция на основе полипропиленгликоля и Тексапона.

Установлено, что комплексное воздействие, включающее использование деэмульгирующей композиции и последующую ультразвуковую обработку, снижает седиментационную устойчивость и вязкость исследуемых эмульсий.

Результаты, приведенные в выпускной квалификационной работе специалиста, были представлены на XXIV Международном симпозиуме имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне [31].

#### Основные выводы по работе:

1. выявлены оптимальные условия приготовления устойчивых эмульсий нефтей Восточно-Каменного, Столбового и Русского месторождений с дистиллированной водой с использованием данных дисперсионного анализа и «Bottle-test»;
2. выявлено, что устойчивые эмульсии, обработанные ультразвуком с интенсивностью поля 2 и 3 Вт/см<sup>2</sup>, выделяют до 70 % мас. воды в течение 24 час. Увеличение интенсивности поля до 18 Вт/см<sup>2</sup> приводит к диспергированию глобул воды, увеличению седиментационной устойчивости и вязкости эмульсий;
3. предложен состав деэмульгирующей композиции на основе, позволивший увеличить деэмульгирующую активность исходных реагентов в 2-5 раз;
4. установлено, что комплексное воздействие, включающее использование деэмульгирующей композиции и последующую ультразвуковую обработку, снижает седиментационную устойчивость и вязкость исследуемых эмульсий.

# Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Зверев Кирилл

Проверяющий: Зверев Кирилл ([zverevkirill1998@gmail.com](mailto:zverevkirill1998@gmail.com) / ID: 9262436)

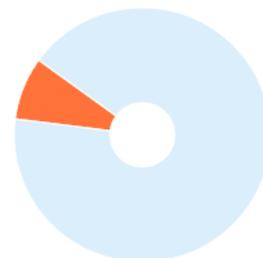
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - [users.antiplagiat.ru](https://users.antiplagiat.ru)

## ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 7  
Начало загрузки: 18.06.2021 05:15:24  
Длительность загрузки: 00:00:02  
Имя исходного файла: Diplom\_Zverev.pdf  
Название документа: Diplom\_Zverev  
Размер текста: 77 кБ  
Символов в тексте: 78581  
Слов в тексте: 8968  
Число предложений: 689

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 18.06.2021 05:15:26  
Длительность проверки: 00:00:13  
Комментарии: не указано  
Модули поиска: Интернет



### ЗАИМСТВОВАНИЯ

8,42%

### САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

### ЦИТИРОВАНИЯ

0%

### ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

91,58%

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; общепотребительные 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]	4,12%	Сбор и подготовка скважинной продукции <a href="http://geokniga.org">http://geokniga.org</a>	13 Ноя 2016	Интернет
[02]	2,23%	Влияние низкочастотной акустической обработки и присадок комплексного действия на реологические и энергетические параметры нефтей <a href="https://core.ac.uk">https://core.ac.uk</a>	02 Ноя 2020	Интернет
[03]	2,07%	<a href="https://esu.citis.ru/dissertation/EBQ2CEDFCLD2FUEIWWQO3ALC">https://esu.citis.ru/dissertation/EBQ2CEDFCLD2FUEIWWQO3ALC</a> <a href="https://esu.citis.ru">https://esu.citis.ru</a>	20 Мар 2018	Интернет