Иван Викторович Грехов

директор программ
технологического развития

ООО «Газпромнефть НТЦ»
(блок разведки и добычи
ПАО «Газпром нефть»)

ПАО «Газпром нефть» представляет следующие статьи по изучению влияния физических полей на процесс деэмульсации водонефтяных эмульсий и созданию новых технологий фазоразделения:

1. Сергеева Н.А., Телин А.Г., Долوماتов М.Ю., Ахметгалиев А.Р., Грехов И.В., Тарасевич С.А., Богданов А.В. Интенсификация реагентного фазоразделения водонефтяных эмульсий посредством воздействия на них низкочастотными электромагнитными полями;

2. Валеев М.Д., Ахметгалиев Р.З., Ахметгалиев А.Р., Грехов И.В., Тарасевич С.А., Богданов А.В. Экспериментальные исследования воздействия электрогидравлических ударов на водонефтяные эмульсии;

3. Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р., Султангужин Р.Ф., Габдрафиков А.Ф., Гайнетдинов Э.Ф., Грехов И.В., Тарасевич С.А., Богданов А.В. Лабораторные исследования фазоразделения водонефтяных эмульсий в высокочастотных и сверхвысокочастотных электромагнитных полях.

Опыт использования в Компании блочно-модульного оборудования показал экономическую привлекательность развития технологий в модульном исполнении.

Анализ мирового опыта и запатентованных технических решений свидетельствует о перспективности разработки малогабаритного фазоразделителя, работающего на альтернативных физических принципах. Немаловажно отметить рост научных разработок и патентования технологий в данной области в мировом масштабе за последние 20 лет с десятков до сотен.

Реализация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по данной тематике позволила на созданных лабораторных стендах изучить влияния акустических, электромагнитных и электрогидравлических силовых полей на водонефтяные эмульсии, отобранные на девяти нефтяных месторождениях, а впоследствии — получить технологические и энергетические параметры разделения эмульсий с последующей оценкой экономической целесообразности внедрения технологий в промысловых условиях.

Исполнителями данных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выбраны научные центры и группы специалистов, имеющих опыт в разработке подобных технологий: ООО «Уфимский Научно-Технический Центр», ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» и ООО Научно-производственное предприятие «ВМ система».

С результатами, полученными в ходе выполнения упомянутых исследований, мы и хотим ознакомить научно-инженерное сообщество.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РЕАГЕНТНОГО ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПОСРЕДСТВОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ НИЗКОЧАСТОТНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

INTENSIFICATION OF REAGENT PHASE SEPARATION OF WATER OIL EMULSIONS BY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS EXPOSING

Н. А. Сергеева
Natalia A. Sergeeva

ООО «Уфимский
Научно-Технический Центр»,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa Scientific
and Technical Center LLC,
Ufa, Russian Federation

А. Р. Ахметгалиев
Albert R. Akhmetgaliev

ООО НПП «ВМ система»,
г. Уфа, Российская Федерация

NPP «VM system» LLC,
Ufa, Russian Federation

А. В. Богданов
Aleksandr V. Bogdanov

ПАО «Газпром нефть»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazprom Neft PJSC,
Saint-Petersburg, Russian Federation

А. Г. Телин
Aleksey G. Telin

ООО «Уфимский
Научно-Технический Центр»,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa Scientific
and Technical Center LLC,
Ufa, Russian Federation

И. В. Грехов
Ivan V. Grekhov

ООО «Газпромнефть НТЦ»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft STC LLC,
Saint-Petersburg, Russian Federation

М. Ю. Доломатов
Mikhail Yu. Dolomatov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
Башкирский государственный
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Bashkir State University,
Ufa, Russian Federation

С. А. Тарасевич
Sergey A. Tarasevich

ООО «Газпромнефть НТЦ»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft STC LLC,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Проблема сокращения расходов деэмульгаторов за счет воздействия силовых полей на водонефтяные эмульсии является важной задачей по увеличению рентабельности процесса подготовки нефти. Незначительные затраты на деэмульсацию физическими полями, высокая технологичность проводимых операций, а также экологическая приемлемость дают возможность рекомендовать для практических целей комбинированные методы обработки, позволяющие заметно снижать потребность в дорогостоящих реагентах. Ранее проведенные исследования показали возможность снижения расхода дорогостоящих деэмульгаторов при комбинированном воздействии реагента и низкочастотного электромагнитного поля на процесс фазоразделения водонефтяной эмульсии.

Приведены результаты исследований по выявлению влияния воздействия низкочастотным электромагнитным полем на процесс фазоразделения водонефтяных эмульсий. Показано, что совместное воздействие низкочастотного электромагнитного поля и деэмульгатора на водонефтяную эмульсию в ряде случаев приводит к синер-

Ключевые слова

водонефтяные эмульсии;
низкочастотное электромагнитное
поле; фазоразделение;
деэмульгатор

гетическому эффекту, вместе с тем зафиксированы случаи отрицательного влияния данного воздействия на фазоразделение эмульсий. Предложен вероятный механизм влияния низкочастотного электромагнитного поля на реагентное разделение эмульсий.

The problem of demulsifier consumption reducing due to the influence of force fields on oil-water emulsions is an urgent task to increase the profitability of the oil treatment process. The insignificant costs for demulsification by physical fields, technical innovations of the operations carried out, as well as the environmental acceptability make it possible to recommend combined processing methods for practical purposes, which can significantly reduce the need for expensive reagents. Previous studies have shown the possibility of reducing the cost of expensive demulsifiers due to combined effects of a reagent and a low-frequency electromagnetic field on the water-oil emulsion phase separation.

The article presents the results of studies to identify the effect of low-frequency electromagnetic field on the phase separation process of water-oil emulsions. It is shown that the combined effect of a low-frequency electromagnetic field and a demulsifier on a water-oil emulsion in some cases leads to a synergistic effect, however, cases of a negative effect of this impact on the emulsion phase separation have been recorded. The probable mechanism of the influence of a low-frequency electromagnetic field on the reagent separation of emulsions is proposed.

Key words

water-oil emulsions;
low frequency electromagnetic field;
phase separation; demulsifier

Проблема сокращения расходов деэмульгаторов (ДЭ) за счет воздействия силовых полей на водонефтяные эмульсии (ВНЭ) является важной задачей по увеличению рентабельности процесса подготовки нефти. Незначительные затраты на деэмульсацию физическими полями, высокая технологичность проводимых операций, а также экологическая приемлемость дают возможность рекомендовать для практических целей комбинированные методы обработки, позволяющие заметно снижать потребность в дорогостоящих реагентах. Ранее проведенные исследования [1, 2] показали возможность снижения расхода дорогостоящих ДЭ при комбинированном воздействии реагента и низкочастотного электромагнитного поля (НЭМП) на процесс фазоразделения ВНЭ.

В настоящей работе изучено совместное воздействие НЭМП и ДЭ на процесс разделения ВНЭ ряда нефтяных месторождений ПАО «Газпром нефть».

Для исследования влияния воздействия НЭМП на кинетику деэмульсации ВНЭ были проведены испытания на установке «Стенд для исследования воздействия переменного электромагнитного поля НЧ и СЧ на водонефтяную эмульсию» производства ООО НПП «ВМ система» (рисунок 1). В конструктивных особенностях данного лабораторного стенда нашли отражение сообщения о большей эффективности воздействия на эмульсии вращающегося электромагнитного поля [3, 4].

В наших экспериментах облучение ВНЭ проводили при частотах 50, 100 и 200 Гц в течение 60 с. Кинетику деэмульсации определяли методом стандартного статического отстоя — «бутылочная проба». Эксперименты проводили в статическом режиме на естественных либо искусственных ВНЭ. Эмульсии готовились при комнатной температуре с помощью механической мешалки при скорости вращения 3000 об/мин. В емкость помещали нефть, затем по каплям и при перемешивании вводили водную фазу в течение 1–1,5 ч, после чего состав перемешивали ещё 30 мин. Объем приготавливаемой эмульсии за один прием составлял 1 л. Готовили ВНЭ с содержанием воды 30 % или 50 %.

После приготовления эмульсия выдерживалась 2 ч при комнатной температуре для формирования бронирующих оболочек. Если за это время не происходило отделения капель воды, то эмульсия считалась устойчивой.

В качестве объектов исследований использовались ВНЭ 5 месторождений, условно обозначенных А, В, С, D и Е.

В ходе выполнения экспериментов было установлено, что воздействие НЭМП частотами до 200 Гц без использования ДЭ эффекта не оказывает, однако при комбинированном действии с реагентом в ряде случаев достигается положительный результат. Фазоразделение эмульсий происходит более эффективно при совместном воздействии на них НЭМП частотой 50 Гц и ДЭ. Это было уста-

1 — емкость для подачи скважинной жидкости; 2 — емкость для приема исследуемой жидкости;
3 — насос подачи исследуемой жидкости (нефть, вода, газ); 4 — корпус емкости для исследования;
5 — перегородка магнитной системы из немагнитного материала; 6 — вал магнитной системы;
7 — ротор магнитной системы с расчетным количеством полюсов; 8 — привод магнитной системы
(до 1500 об/мин); 9 — датчик температуры; 10 — первичный прибор для определения параметров
переменного электромагнитного поля; 11 — исследуемая жидкость (нефть, вода, газ); 12 — уровнемер
или определитель уровня жидкости; 13 — манометр или датчик давления; 14–17 — запорная арматура
для обвязки стенда; 18 — силовые линии магнитного поля; 19 — датчик оборотов

Рисунок 1. Стенд для исследования воздействия переменного электромагнитного поля НЧ и СЧ на ВЭЭ производства ООО НПП «ВМ система»

новлено на объектах месторождений А, В и Е. Так, использование базового реагента ЭМАЛСОТРОН в дозировке 40 г/т приводит к отделению 78,6 % воды из эмульсии (обводненность 56 %) месторождения Е при проведении отстоя при температуре 38 °С в течение 120 мин. При комбинированном воздействии на данную эмульсию реагента в той же самой дозировке и ЭМП частотой 50 Гц происходит более эффективное отделение воды, и уже за первые 30 мин проведения отстоя отделяется 96,8 % воды (рисунок 2). Аналогичная ситуация сохраняется и при снижении концентрации ДЭ.

Однако при проведении деэмульсации ВНЭ других месторождений было выявлено, что эффект от воздействия НЭМП проявляется не во всех случаях. Например, эффективность воздействия НЭМП на деэмульсацию ВНЭ месторождений А и В проявляется только при снижении температуры отстоя.

Так, при проведении деэмульсации ВНЭ месторождения А с содержанием воды 30 % при дозировке деэмульгатора Денмастер 3020 (марка 26) 30 г/т при температуре 38 °С происходит отделение 98,3 % воды, в то время как при комбинированном воздействии НЭМП и ДЭ процесс отделения воды протекает с меньшей эффективностью (рисунок 3), и в данном случае отделяется не более 90 % воды. Эффективность от данного воздействия не проявляется также и при дальнейшем снижении дозировки реагента.

Однако при снижении температуры отстоя более эффективное отделение воды наблюдается при совместном действии ЭМП частотой 50 Гц и реагента. На рисунке 4 представлена динамика отстоя эмульсии месторождения А с содержанием воды 30 % при дозировке реагента Денмастер 3020 (марка 26) 30 г/т при температуре 25 °С. В то время как за время проведения контрольного эксперимента (без

Рисунок 2. Динамика отстоя ВНЭ месторождения Е с содержанием воды 56 % при дозировке реагента ЭМАЛСОТРОН 40 г/т (температура отстоя 38 °С)

Рисунок 3. Динамика отстоя ВНЭ месторождения А с содержанием воды 30 % при дозировке реагента Денмастер 3020 (марка 26) 30 г/т (температура отстоя 38 °С)

воздействия НЭМП) отделяется только 46,7 % воды, воздействие на данную систему НЭМП частотой 50 Гц позволяет повысить количество отделившейся воды до 93,3 %. Воздействие НЭМП других рассматриваемых частот на ВНЭ менее эффективно.

Как было показано, на объектах месторождений А, В и Е наибольшую эффективность на фазоразделение ВНЭ оказывает действие поля частотой 50 Гц при комбинировании данного воздействия с химическим. Однако не всегда поле частотой 50 Гц влияет положительно. Так, на эмульсиях месторождения Д выявлено, что при воздействии на ВНЭ НЭМП частотой 50 Гц при базовой дозировке деэмульгатора ДМО (152 г/т) наблюдается менее интенсивное отделение воды, чем в контроль-

ном эксперименте. С другой стороны, положительный эффект проявляется при воздействии полем частотой 100 Гц: тогда как в контрольном эксперименте отделяется 71,6 % воды, воздействие НЭМП частотой 100 Гц позволяет повысить это количество до 89,6 % (рисунок 5).

НЭМП частотой 100 Гц оказывает аналогичное влияние и на ВНЭ месторождения С. Так, на рисунке 6 представлена динамика отстоя эмульсии месторождения С с содержанием воды 30 % при дозировке реагента ЭМАЛСОТРОН 200 г/т при температуре 40 °С. В эксперименте с применением термохимического воздействия за 120 мин отстоя отделяется незначительное количество воды (3,3 %), тогда как комбинирование данного

Рисунок 4. Динамика отстаивания ВНЭ месторождения А с содержанием воды 30 % при дозировке реагента Денмастер 3020 (марка 26) 30 г/т (температура отстаивания 25 °С)

воздействия с влиянием НЭМП частотой 100 Гц позволяет отделить 73,3 % воды за тот же промежуток времени.

Для объяснения результатов, полученных в ходе наших экспериментов, за основу выдвигаемой концепции возьмём предполагаемый механизм разрушения эмульсии под действием НЭМП и ДЭ, заключающийся в резонансной деструкции водородных связей в частицах воды с гетероатомными стабилизаторами их бронирующих оболочек [2], а именно:

1. При действии на коллоидную систему эмульсии электрического вектора плоской электромагнитной волны НЭМП имеет место адиабатический, ангармонический резонанс

слабых водородных связей на границах раздела частиц воды, стабилизированных гетероатомными молекулами бронирующего слоя и ПАВ-деэмульгатора;

2. Процесс резонанса протекает за время, сравнимое со временем релаксации водородных связей, то есть является быстрым;

3. Резонансное воздействие создает вторичное случайное электромагнитное поле. Процесс взаимодействия вторичного НЭМП с эмульсией — адиабатический и резонансный.

Электрическая составляющая электромагнитного поля вызывает периодические колебания системы диполей водородных связей на границах ПАВ — гидрофобная среда и ПАВ — вода. Существование таких связей

Рисунок 5. Динамика отстаивания ВНЭ месторождения D с содержанием воды 67 % при дозировке реагента ДМО 152 г/т (температура отстаивания 41 °С)

Рисунок 6. Динамика отстоя ВНЭ месторождения С с содержанием воды 30 % при дозировке деэмульгатора ЭМАЛСОТРОН 200 г/т (температура 40 °С)

подтверждается данными [5] по ультразвуковой и диэлектрической спектроскопии жидкостей, согласно которым в жидкостях существуют водородные связи с энергией от 6 до 150 кДж/моль [6].

Динамика НЭМП описывается уравнениями Максвелла (1), которые имеют следующий вид [7]:

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{div} \vec{D} = \rho \\ \text{div} \vec{B} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где H — напряженность поля;

B — вектор магнитной индукции;

j — плотность токов проводимости;

ρ — поверхностная плотность заряда;

D — вектор электрической индукции, в свою очередь, определяющийся уравнением:

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (2)$$

где ε — диэлектрическая постоянная;

ε_0 — электрическая постоянная вакуума;

$\vec{E}$ — напряженность электрического поля.

Из уравнений Максвелла следует, что колебания вектора магнитного поля создают в среде такое же по частоте колебание вектора индукции:

$$D = D_0 e^{-i(\omega t - \vec{k} \vec{r})}, \quad (3)$$

где D_0 — амплитуда вектора электрической индукции;

ω — циклическая частота;

k — волновой вектор поля;

r — вектор смещения водородных связей.

В условиях резонанса энергия внешнего поля равна колебательной энергии водород-

ных связей в поле электронов ω . Очевидно, что в сложных молекулярных системах имеет место ангармонический резонанс за счет взаимодействия колебательных уровней молекул с вторичным стохастическим электромагнитным полем.

Для ангармонического квантового осциллятора известно выражение для его колебательной энергии [6]:

$$E_w = \left(v + \frac{1}{2}\right) h \nu_0 - \frac{(h^2 \nu_0^2) \left(v + \frac{1}{2}\right)^2}{4U}, \quad (4)$$

где E_w — колебательная энергия;

$v = 0, 1, 2, \dots$ — колебательные квантовые числа;

U — энергия диссоциации химических связей.

Таким образом, как было показано выше, при действии на коллоидную систему ВНЭ электрического вектора плоской электромагнитной волны НЭМП имеет место адиабатический, ангармонический резонанс слабых водородных связей на границах раздела частиц воды. Этот резонанс снижает энергетический барьер процесса и ускоряет разрушение эмульсии. Действительно, электрическая составляющая электромагнитного поля вызывает периодические колебания системы диполей водородных связей на границах ПАВ — гидрофобная среда и ПАВ — вода. В результате процесс взаимодействия ДЭ с молекулами бронирующего слоя резко усиливается [8].

С ростом концентрации ДЭ резонансный эффект НЭМП после порогового значения снижается. По-видимому, это объясняется тем, что происходит экранирование внешнего поля магнитным полем диамагнитных,

диэлектрических глобул и сеток полимерных ДЭ. Это поле создают замкнутые амперовские круговые токи, возникающие при движении электронов в пределах молекулярных орбиталей. Поэтому в среде происходит ослабление внешнего магнитного поля за счет его компенсации противоположным вектором наведенного внутреннего поля.

Улучшение эффекта дестабилизации эмульсий при вращении магнита, по-видимому, достигается за счет возникновения эффекта дестабилизации эмульсий за счет силы Лоренца, которая воздействует на ионы солей и полярные молекулы ДЭ, присутствующие в водной фазе и бронирующей оболочке.

Увеличение температуры согласно закону Больцмана способствует разрыву водородных связей с определенным значением резонансной энергии.

$$N = N_0 \exp(-E/kT),$$

где N — число водородных связей, которые разрываются;

N_0 — общее число частиц;

E — энергия разрыва;

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Телин А.Г., Крестелева И.В., Борисов Г.К., Алимбекова С.Р., Докичев В.А., Свирский В.Э., Шайдудллин Ф.Д., Бурханова З.И. О влиянии низкочастотного магнитного поля на деэмульсацию стойких водонефтяных эмульсий // Нефть. Газ. Новации. 2013. № 8 (175). С. 68–72.
2. Долomatov М.Ю., Телин А.Г., Сафуанова Р.М., Борисов Г.К. Резонансная колебательная деструкция водородных связей как причина метастабильности эмульсий под действием магнитного поля // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. Т. 10. № 3. С. 113–123.
3. Быков И.Ю., Оскорбин И.А. Эффективность разрушения стойких нефтяных эмульсий под действием вращающего электромагнитного поля и механического дробления на лабораторно-экспериментальном стенде // Нефтяное хозяйство. 2016. № 10. С. 118–121.
4. Кашаев Р.С., Фасхиев Н.Р. Обезвоживание нефтей во вращающемся магнитном поле и контроль процесса методом ЯМР-релаксометрии // Нефтепромысловое дело. 2011. № 6. С. 49–55.
5. Шахпаронов М.И. Механизмы быстрых процессов в жидкостях. М.: Высшая школа, 1980. 352 с.
6. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федудлина Т.Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 54 с.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 2005. 632 с.
8. Хохлов Р.П. Введение в нелинейную физику. М.: Наука, 1990.

T — температура.

Поэтому с ростом температуры резонансный эффект электромагнитного поля ослабляется.

Выводы

Продемонстрированные в наших экспериментальных исследованиях примеры влияния воздействия НЭМП на фазоразделение эмульсий позволяют сделать следующие выводы.

Воздействие НЭМП частотами до 200 Гц без использования ДЭ не приводит к фазоразделению эмульсий.

Установлен положительный эффект комбинированного воздействия НЭМП частотой 50 Гц и деэмульгатора при фазоразделении эмульсий месторождений А, В и Е; причем во многих случаях данный эффект проявляется при снижении температуры отстоя.

Фазоразделение эмульсий месторождений D и C протекает эффективнее в случае совместного действия реагента и НЭМП частотой 100 Гц.

Исследование выполнено за счет средств ООО «Газпромнефть НТЦ».

REFERENCES

1. Telin A.G., Kreteleva I.V., Borisov G.K., Alimbekova S.R., Dokichev V.A., Svirskii V.E., Shaidullin F.D., Burkhanova Z.I. O vliyaniy nizkochastotnogo magnitnogo polya na deemul'satsiyu stoikikh vodoneftnyanykh emul'sii [On the Influence of Low Frequency Magnetic Field upon the Stable Water/Oil Emulsion Break Down]. *Neft'. Gaz. Novatsii — Oil. Gaz. Novation*, 2013, No. 8 (175), pp. 68–72. [in Russian].
2. Dolomatov M.Yu., Telin A.G., Safuanova R.M., Borisov G.K. Rezonansnaya kolebatel'naya destrukttsiya vodorodnykh svyazei kak prichina metastabil'nosti emul'sii pod deistviem magnitnogo polya [Resonant Vibrational Destruction of Hydrogen Bonds as a Cause Meta-Stable Emulsion under Low Frequency Electromagnetic Field]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy — Electrical and Data Processing Facilities and Systems*, 2014, Vol. 10, No. 3, pp. 113–123. [in Russian].
3. Bykov I.Yu., Oskorbin I.A. Effektivnost' razrusheniya stoikikh neftnyanykh emul'sii pod deistviem vrashchayushchego elektromagnitnogo polya i mekhanicheskogo drobleniya na laboratorno-eksperimental'nom stende [The Effectiveness of the Destruction of Persistent Oil Emulsions under the Influence of Rotating Electromagnetic Field and Mechanical Crushing in the Laboratory Experimental Stand]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2016, No. 10, pp. 118–121. [in Russian].
4. Kashaev R.S., Faskhiev N.R. Obvezvozhivanie neftei vo vrashchayushchemsya magnitnom pole i kontrol' protsessа metodom YaMR-relaksometrii [Dehydration of Oils in Rotating Magnetic Field with Control Over the Process by NMR-Relaxometry Method]. *Neftepromyslovoye*

delo — *Oilfield Engineering*, 2011, No. 6, pp. 49–55. [in Russian].

5. Shakhparonov M.I. *Mekhanizmy bystrykh protsessov v zhidkostyakh* [Mechanisms of Fast Processes in Liquids]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980. 352 p. [in Russian].

6. Vasilev A.V., Grinenko E.V., Shchukin A.O., Fedulina T.G. *Infrakrasnaya spektroskopiya organicheskikh i prirodnikh soedinenii* [Infrared Spectroscopy of Organic

and Natural Compounds]. Saint-Petersburg, SPbGLTA Publ., 2007. 54 p. [in Russian].

7. Landau L.D., Lifshits E.M. *Teoreticheskaya fizika. Elektrodinamika sploshnykh sred* [Theoretical Physics. Continuum Electrodynamics]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 632 p. [in Russian].

8. Khokhlov R.P. *Vvedenie v nelineinuyu fiziku* [Introduction to Nonlinear Physics]. Moscow, Nauka Publ., 1990. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Сергеева Наталья Анатольевна, канд. хим. наук, заведующая лабораторией химических исследований, ООО «Уфимский Научно-Технический Центр», г. Уфа, Российская Федерация

Natalia A. Sergeeva, Candidate of Chemical Sciences, Head of the Chemical Research Laboratory, Ufa Scientific and Technical Center LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: SergeevaNA@ufntc.ru

Телин Алексей Герольдович, канд. хим. наук, доцент, заместитель директора по научной работе, ООО «Уфимский Научно-Технический Центр», г. Уфа, Российская Федерация

Aleksey G. Telin, Candidate of Chemical Sciences, Associated Professor, Deputy Director for Scientific Work, Ufa Scientific and Technical Center LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: telinag@ufntc.ru

Доломатов Михаил Юрьевич, д-р хим. наук, профессор кафедры технологии нефти и газа, УГНТУ, профессор кафедры физической электроники и нанофизики, БашГУ, г. Уфа, Российская Федерация

Mikhail Yu. Dolomatov, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Professor of Physical Electronics and Nanophysics Department, BashSU, Ufa, Russian Federation

e-mail: dolomatov@gmail.com

Ахметгалиев Альберт Ринатович, эксперт ООО НПП «ВМ система», г. Уфа, Российская Федерация

Albert R. Akhmetgaliev, Expert of LLC SPE «VM system», Ufa, Russian Federation

e-mail: albertar@mail.ru

Грехов Иван Викторович, директор программ технологического развития, ООО «Газпромнефть НТЦ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ivan V. Grekhov, Director of Technological Development Programs, Gazpromneft STC LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: GREKHOV.IV@gazprom-neft.ru

Тарасевич Сергей Алексеевич, начальник управления инфраструктуры и экспертизы проектов, ООО «Газпромнефть НТЦ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Sergey A. Tarasevich, Head of Infrastructure and Projects Evaluation Section, Gazpromneft STC LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: Tarasevich.SA@gazprom-neft.ru

Богданов Александр Владимирович, руководитель программ подготовки и сдачи нефти и системы поддержания пластового давления, ПАО «Газпром нефть», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Aleksandr V. Bogdanov, Head of Oil Preparation and Delivery Programs and Reservoir Pressure Maintenance Systems, Gazprom нефть PJSC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: Bogdanov.AV@gazprom-neft.ru