**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ
ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
И СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ****LABORATORY STUDIES OF WATER-OIL EMULSION PHASE
SEPARATION IN RADIO-FREQUENCY AND MICROWAVE FIELDS****Л. А. Ковалева****Liana A. Kovaleva**

Башкирский государственный
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Bashkir State University,
Ufa, Russian Federation

Р. Р. Зиннатуллин**Rasul R. Zinnatullin**

Башкирский государственный
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Bashkir State University,
Ufa, Russian Federation

Р. Ф. Султангузин**Ruslan F. Sultanguzhin**

Башкирский государственный
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Bashkir State University,
Ufa, Russian Federation

А. Ф. Габдрафиков**Aidar F. Gabdrarifkov**

Башкирский государственный
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Bashkir State University,
Ufa, Russian Federation

Э. Ф. Гайнетдинов**Emil F. Gainetdinov**

Башкирский государственный
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Bashkir State University,
Ufa, Russian Federation

И. В. Грехов**Ivan V. Grekhov**

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

Gazpromneft STC LLC,
Saint-Petersburg, Russian Federation

С. А. Тарасевич**Sergey A. Tarasevich**

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

Gazpromneft STC LLC,
Saint-Petersburg, Russian Federation

А. В. Богданов**Aleksandr V. Bogdanov**

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

Gazprom neft PJSC,
Saint-Petersburg, Russian Federation

В статье приведены результаты лабораторных исследований процесса фазоразделения водонефтяных эмульсий (ВНЭ) на основе реальных нефтей и пластовых вод при воздействии электромагнитных полей высокочастотного (ВЧ) и сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазонов в динамических условиях. В результате исследований установлено, что при электромагнитном воздействии степень фазоразделения эмульсии зависит от начального содержания воды в эмульсии, а также от общего содержания асфальтенов, смол и парафинов в нефти. Обнаружено, что для всех типов эмульсий ВЧ воздействие более эффективно, чем СВЧ при низком содержании воды. С увеличением содержания воды усиливается эффективность СВЧ воздействия. При интегрированном «ВЧ + СВЧ» воздействии выбор наиболее эффективной последовательности (т.е., ВЧ → СВЧ или СВЧ → ВЧ) зависит от содержания воды в эмульсии, а также от соотношения содержания асфальтенов, смол и парафинов в нефти.

The article presents the results of laboratory studies of water-oil emulsions phase separation on the basis of real oil and reservoir water samples under the influence of electromagnetic fields of radio-frequency (RF) and microwave (MW) ranges in dynamic conditions. As a result of researches, it is established that at electromagnetic influence the degree of phase separation of emulsion depends on initial content of water in emulsion, and also on the total content of asphaltenes, resins and paraffins in oil. It was found that for all types of emulsions RF exposure is more effective

Ключевые слова

водонефтяная эмульсия;
электромагнитное поле;
высокочастотный диапазон;
сверхвысокочастотный диапазон;
фазоразделение эмульсии

Key words

water-in-oil emulsion;
electromagnetic field;
radio-frequency; microwave;
emulsion phase separation

than MW at low water content. With increasing water content the effectiveness of MW exposure increases as well. With integrated «RF + MW» exposure, the choice of the most effective sequence (i.e., RF → MW or MW → RF) depends on the water content in the emulsion, as well as on the ratio of the content of asphaltenes, resins and paraffins in the oil.

Введение

При разработке месторождений нефтей, богатых природными стабилизаторами (асфальтенами, смолами, парафинами), возникают сложности, связанные с промышленной подготовкой нефти, в частности с повышенным расходом деэмульгаторов. Проблема связана с образованием устойчивых водонефтяных эмульсий (ВНЭ), стабилизированных асфальтосмолопарафиновыми веществами. На сегодняшний день наиболее эффективным технологическим приёмом подготовки нефти является термохимическое обезвоживание. Однако применение деэмульгаторов и поддержание повышенных температур в аппаратах разделения эмульсий являются одними из самых затратных операций во всей технологической цепочке добычи нефти. Поэтому возникает необходимость разработки новых методов, основанных на применении физических полей для частичного или полного исключения химических реагентов при промышленной подготовке нефти.

Из литературы известно, что для фазоразделения ВНЭ могут быть использованы электромагнитные поля. Так, многими исследователями была показана их эффективность для разделения эмульсий в соответствующих диапазонах частот. В частности, в низкочастотном диапазоне (10–100 кГц) визуализированы процессы коагуляции и коалесценции эмульсионных капель за счет электрофоретических сил и определены критические напряженности поля [1, 2]. В [3–5] сообщается, что эффективность воздействия электромагнитного поля ВЧ диапазона (1–100 МГц) обусловлена поляризационными процессами в полярных компонентах нефти (асфальтенах и смолах) и связана, следовательно, с их диэлектрическими свойствами. Разработаны технические решения по промышленному использованию высокочастотного (ВЧ) электромагнитного поля для обезвоживания нефтяных эмульсий [6–8]. Показано, что сверхвысокочастотное (СВЧ) электромагнитное поле способствует не только нагреву и снижению вязкости системы, но и усиливает процесс коалесценции [9, 10]. Добавление деэмульгатора при СВЧ электромагнитном воздействии усиливает эффектив-

ность фазоразделения эмульсии в 1,5–2 раза [11–13]. Кроме этого, в работах [14, 15] представлены результаты исследования интегрированного воздействия СВЧ электромагнитного излучения и поля центробежных сил на ВНЭ повышенной устойчивости. Интегрированное воздействие СВЧ электромагнитного излучения и поля центробежных сил осуществляется двумя способами: последовательно и комплексно (одновременно). В ходе экспериментальных исследований установлена эффективность комплексной обработки водонефтяных эмульсий СВЧ электромагнитным излучением в поле центробежных сил.

Однако до сих пор отсутствует четкая матрица применения электромагнитных полей в зависимости от состава и свойств эмульсий. Отсутствуют универсальные установки подготовки нефти на основе электромагнитных полей, учитывающие меняющиеся свойства эмульсий и технических условий.

Для более эффективного и широкого использования электромагнитных полей в данной работе были проведены стендовые лабораторные исследования воздействия электромагнитных полей ВЧ и СВЧ диапазона, как в отдельности, так и в комплексе, на реальные ВНЭ с различными составами и физико-химическими свойствами.

Объекты и методика исследований

В качестве объектов исследования использованы модельные ВНЭ, приготовленные на основе реальных нефтей и пластовых вод.

В таблице 1 приведены данные о содержании высокомолекулярных соединений в используемых нефтях, а также рассчитанный по ним показатель их соотношения B .

Были приготовлены ВНЭ с содержанием водной фазы 30 %, 50 %, 80 % на верхнеприводной мешалке при скорости вращения 3000 об/мин в течение 45 мин при комнатной температуре. Так, в наших экспериментах к 70, 50, 20 мл нефти, помещенной в цилиндрический сосуд, при перемешивании медленно добавляют 30, 50, 80 мл пластовой воды соответственно. Время дозирования воды составляет 10–15 мин и входит в общее время перемешивания эмульсии. Объем эмульсии, приготавливаемой за один приём, может состав-

Таблица 1. Состав нефтей

№ пробы нефти	Асфальтены, %	Смолы, %	Парафины, %	Показатель $B = \frac{A+C}{D}$
1	2,60	15,20	3,60	4,9
2	0,67	6,20	5,10	1,4
3	2,30	18,40	5,30	3,9
4	1,19	16,10	6,80	2,5
5	3,20	11,40	3,75	3,9
6	0,92	10,60	3,80	3,0
7	0,21	8,79	2,82	3,2

лять до 400 мл. После перемешивания эмульсия остается в покое при комнатной температуре на 2 ч. Эмульсия считается устойчивой, если за это время не произошло отслоение водной или нефтяной фазы более чем на 5 %.

Далее полученный объем ВНЭ разделяется на порции для обработки ВЧ (13,56 МГц) и СВЧ (2,45 ГГц) электромагнитными полями в динамическом режиме, как в отдельности, так и в комплексе (последовательно), при расходе 30 л/ч.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема лабораторного стенда для исследования ВЧ и СВЧ электромагнитного воздействия на ВНЭ в динамическом режиме.

Лабораторный стенд предусматривает обработку потока эмульсии ВЧ или СВЧ электромагнитным полем, а также интегрированным ВЧ и СВЧ воздействием в последовательностях ВЧ → СВЧ и СВЧ → ВЧ.

Результаты исследований

На рисунках 2 и 3 представлены сопоставительные результаты фазоразделения 30 %-ой и 50 %-ой эмульсий на основе пробы

нефти № 1 при гравитационном термохимическом воздействии и различных вариантах ВЧ и СВЧ воздействия.

Из рисунка 2 видно, что для 30 %-ой эмульсии максимальный эффект — 90 % отслоившейся воды от начального — достигается при обработке ВЧ полем с добавлением деэмульгаторов базовой дозировке. При электромагнитном воздействии без добавления деэмульгатора максимальный эффект для ВЧ и СВЧ полей составил около 70 % и 30 % отделившейся воды соответственно; в то время как в базовом эксперименте с деэмульгатором отделилось порядка 10 % воды.

Для 50 %-ой эмульсии (рисунок 3) эффект от ВЧ воздействия незначительно снижается. Однако при этом более чем в 2 раза увеличивается эффект от СВЧ поля: до 65 % и 71 % отслоившейся воды без деэмульгатора и с его базовой дозировкой соответственно. Это, очевидно, связано с увеличением объема водной фазы, которая преимущественно подвержена СВЧ воздействию.

Рисунок 1. Принципиальная схема лабораторного стенда для ВЧ или СВЧ и интегрированного «ВЧ + СВЧ» электромагнитного воздействия на ВНЭ в динамическом режиме

Рисунок 2. Динамика отстаивания 30 %-ой эмульсии пробы нефти № 1

Рисунок 3. Динамика отстаивания 50 %-ой эмульсии пробы нефти № 1

Сравнение кривых динамики отслоения эмульсий после ВЧ и СВЧ воздействия с базовым (т.е. с гравитационным термохимическим способом) показывает, что количество отслоившейся воды в сравнении с базовым увеличивается до 6 раз, а процесс фазоразделения ускоряется в 3 раза.

Аналогичные результаты получены для эмульсий с другими нефтями. Получено, что для всех типов эмульсий ВЧ поле срабатывает эффективнее, чем СВЧ поле, при низких содержаниях воды. С ростом содержания воды возрастает эффективность СВЧ поля. В ряде случаев фазоразделение эмульсии при ВЧ воздействии происходит уже в процессе обработки в ВЧ реакторе, что проявляется визуально в виде большой доли отслоившейся воды сразу на выходе из ВЧ реактора. При СВЧ воздействии для 30 %-ой и 50 %-ой эмульсий динамика отстаивания происходит медленнее. Это объясняется разными механизмами

разрушения эмульсий в ВЧ и СВЧ полях. Так, в ВЧ поле поляризуются не только полярные молекулы нефти, но и сами капли воды, покрытые бронирующей оболочкой, что приводит к их коагуляции, и как следствие, к коалесценции. При СВЧ воздействии бронирующая оболочка разрушается, в основном, за счет нагрева и теплового расширения воды с последующим теплопроводным нагревом и разрушением бронирующей оболочки, поэтому для оседания освободившихся капель необходимо определенное время.

Далее было исследовано влияние интегрированного электромагнитного воздействия на исследуемые эмульсии. Так, например, на рисунке 4 представлены кривые динамики отстаивания для 30 %-ой эмульсии на основе пробы нефти № 1, а также для 50 %-ой эмульсии на основе пробы нефти № 2.

Как видно из рисунка 4, для эмульсии № 1 наиболее эффективной является обработка

Рисунок 4. Динамика отстоя 30 %-ой и 50 %-ой эмульсий при интегрированной электромагнитной обработке

электромагнитными полями с последовательностью ВЧ → СВЧ, а для эмульсии № 2 — с последовательностью СВЧ → ВЧ.

По результатам обработки эмульсий интегрированными «ВЧ + СВЧ» электромагнитными полями установлено, что если показатель $B > 2,5$, то фазоразделение происходит эффективнее при обработке в последователь-

ности ВЧ → СВЧ. Если же $B \leq 2,5$, при содержании воды в эмульсии $< 50\%$ эффективность фазоразделения повышается при обработке в последовательности ВЧ → СВЧ. При $B \leq 2,5$ и при содержании воды $> 50\%$ обработку необходимо проводить в последовательности СВЧ → ВЧ (таблица 2).

Таблица 2. Алгоритм применения переменных электромагнитных полей

B	$> 2,5$	$\leq 2,5$	$\leq 2,5$
Содержание воды в эмульсии	в исследуемом диапазоне	$< 50\%$	$> 50\%$
Интегрированное ВЧ и СВЧ воздействие	ВЧ → СВЧ	ВЧ → СВЧ	СВЧ → ВЧ

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что при воздействии ВЧ и/или СВЧ электромагнитными полями на ВНЭ эффективность фазоразделения эмульсии зависит от содержания асфальтенов, смол и парафина, содержания воды в эмульсии.

При низких содержаниях воды для всех типов эмульсий ВЧ воздействие эффективнее, чем СВЧ. С ростом содержания воды возрастает эффективность СВЧ воздействия.

Выбор эффективной последовательности при интегрированном «ВЧ + СВЧ» воздей-

ствии зависит от показателя $B = (A + C)/\Pi$ и содержания воды в эмульсии.

Полученные результаты будут полезны при выработке рекомендаций для промышленного использования электромагнитных полей ВЧ и СВЧ диапазонов при промышленной подготовке нефти.

Исследование выполнено за счет средств ООО «Газпромнефть НТЦ» и гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00298).

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р., Муллаянов А.И., Мавлетов М.В., Благочиннов В.Н. Эволюция микроструктуры водонефтяных эмульсий в высокочастотных и сверхвысокочастотных электромагнитных полях // Теплофизика высоких температур. 2013. Т. 51. № 6. С. 952–955. DOI: 10.7868/S0040364413060173.
- Зиннатуллин Р.Р., Муллаянов А.И., Амекачев Р.М. Исследование особенностей коагуляции и коалесценции эмульсионных капель в электромагнитном

поле // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20. № 3. С. 822–825.

- Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R.R. Destruction of Water-in-Oil Emulsions in Radio-Frequency and Microwave Electromagnetic Fields // Energy and Fuels. 2011. Vol. 25. No. 8. P. 3731–3738. DOI: 10.1021/ef200249a.

- Kaatze U. The Dielectric Properties of Water in Its Different States of Interaction // Journal of Solution Chemistry. 1997. Vol. 26. P. 1049–1112. DOI: 10.1007/BF02768829.

5. Ковалева Л.А., Миннигалимов Р.З., Зиннатуллин Р.Р. Исследование устойчивости водонефтяной эмульсии в электромагнитном поле в зависимости от её диэлектрических свойств // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2010. № 2. С. 59–62.

6. Пат. 2400523 РФ, МПК С 10 G 33/02. Способ обезвоживания водонефтяных эмульсий воздействием электромагнитного поля / Л.А. Ковалева, Р.З. Миннигалимов, Р.Р. Зиннатуллин. 2008113926/15, Заявлено 09.04.2008; Оpubл. 27.09.2010. Бюл. 27.

7. Пат. 700163 СССР, МПК В 01 D 17/06. Установка для разрушения водонефтяной эмульсии / Ф.Л. Саяхов, В.С. Хакимов, А.И. Арутюнов, А.А. Демьянов, В.П. Дыбленко. 2472806, Заявлено 07.04.1977; Оpubл. 30.11.1979. Бюл. 44.

8. Patent 14434333 USA. Electricfield in Ducedseparation of Components in an Emulsion / A.T. Findikoglu. 2015.

9. Binner E.R., Robinson J.P., Silvester S.A., Kingman S.W., Lester E.H. Investigation into the Mechanisms by which Microwave Heating Enhances Separation of Water-in-Oil Emulsions // Fuel. 2014. Vol. 116. P. 516–521. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.08.042.

10. Ferreira B.M.S., Ramalho J.B.V.S., Lucas E.F. Demulsification of Water-in-Crude Oil Emulsions by Microwave Radiation: Effect of Aging, Demulsifier Addition, and Selective Heating // Energy and Fuels. 2013. Vol. 27. No. 2. P. 615–621. DOI: 10.1021/ef301110m.

11. Tan W., Yang X.G., Tan X.F. Study on Demulsification of Crude Oil Emulsions by Microwave Chemical Method // Separation Science and Technology. 2007. Vol. 42. Issue 6. P. 1367–1377. DOI: 10.1080/01496390701193736.

12. Martinez-Palou R. Demulsification of Heavy Crude Oil-in-Water Emulsions: A Comparative Study between Microwave and Thermal Heating // Fuel. 2013. Vol. 113. P. 407–414. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.05.094.

13. Mohammed S.A.M., Mohammed M.S. The Application of Microwave Technology in Demulsification of Water-in-Oil Emulsion for Missan Oil Fields // Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 14. No. 2. P. 21–27.

14. Ковалева Л.А. Исследование интегрированного воздействия сверхвысокочастотного электромагнитного излучения в поле центробежных сил на водонефтяные эмульсии // Нефтяное хозяйство. 2017. № 2. С. 100–103.

15. Пат. 134988 РФ, МПК Е21В 43/34. Устройство для интегрированного обезвоживания водонефтяных эмульсий / Л.А. Ковалева, Р.Р. Зиннатуллин, И.Ш. Ахатов, В.Н. Благочиннов, Ш.М. Валиев, Ю.И. Фатхуллина. 2012128713/03, Заявлено 09.07.2012; Оpubл. 27.11.2013. Бюл. 33.

REFERENCES

1. Kovaleva L.A., Zinnatullin R.R., Mullayanov A.I., Mavletov M.V., Blagochinnov V.N. Evolyutsiya mikrostruktury vodoneftnykh emul'sii v vysokochastotnykh i sverkhvysokochastotnykh elektromagnitnykh polyakh [Microstructure Evolution of Water-Oil Emulsions in High-Frequency and Microwave Electromagnetic Fields]. *Teplofizika vysokikh temperatur — High Temperature*, 2013, Vol. 51, No. 6, pp. 952–955. DOI: 10.7868/S0040364413060173. [in Russian].

2. Zinnatullin R.R., Mullayanov A.I., Amekachev R.M. Issledovanie osobennostei koagulyatsii i koalest-

sentsii emul'sionnykh kapel' v elektromagnitnom pole [Study of the Features of Coagulation and Coalescence of Emulsion Droplets in an Electromagnetic Field]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta — Bulletin of Bashkir University*, 2015, Vol. 20, No. 3, pp. 822–825. [in Russian].

3. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R.R. Destruction of Water-in-Oil Emulsions in Radio-Frequency and Microwave Electromagnetic Fields. *Energy and Fuels*, 2011, Vol. 25, No. 8, pp. 3731–3738. DOI: 10.1021/ef200249a.

4. Kaatz U. The Dielectric Properties of Water in its Different States of Interaction. *Journal of Solution Chemistry*, 1997, Vol. 26, pp. 1049–1112. DOI: 10.1007/BF02768829.

5. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R.R. Issledovanie ustoichivosti vodoneftyanoi emul'sii v elektromagnitnom pole v zavisimosti ot ee dielektricheskikh svoystv [Study of Water-Oil Emulsion Stability in the Electromagnetic Field Depending on its Dielectric Properties]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz — The Journal «Oil and Gas Studies»*, 2010, No. 2, pp. 59–62. [in Russian].

6. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R.R. Sposob obezvozhvaniya vodoneftnykh emul'sii vozdeistviem elektromagnitnogo polya [Method for Dehydration of Oil-Water Emulsions by Exposure to an Electromagnetic Field]. Patent RF, No. 2400523, 2010. [in Russian].

7. Sayakhov F.L., Khakimov B.C., Arutyunov A.I., Demyanov A.A., Dyblenko V.P. Ustanovka dlya razrusheniya vodoneftyanoi emul'sii [Installation for the Destruction of Water-Oil Emulsion]. Patent USSR, No. 700163, 1979. [in Russian].

8. Findikoglu A.T. Electricfield in Ducedseparation of Components in an Emulsion. Patent USA, No. 14434333, 2015.

9. Binner E.R., Robinson J.P., Silvester S.A., Kingman S.W., Lester E.H. Investigation into the Mechanisms by which Microwave Heating Enhances Separation of Water-in-Oil Emulsions. *Fuel*, 2014, Vol. 116, pp. 516–521. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.08.042.

10. Ferreira B.M.S., Ramalho J.B.V.S., Lucas E.F. Demulsification of Water-in-Crude Oil Emulsions by Microwave Radiation: Effect of Aging, Demulsifier Addition, and Selective Heating. *Energy and Fuels*, 2013, Vol. 27, No. 2, pp. 615–621. DOI: 10.1021/ef301110m.

11. Tan W., Yang X.G., Tan X.F. Study on Demulsification of Crude Oil Emulsions by Microwave Chemical Method. *Separation Science and Technology*, 2007, Vol. 42, Issue 6, pp. 1367–1377. DOI: 10.1080/01496390701193736.

12. Martinez-Palou R. Demulsification of Heavy Crude Oil-in-Water Emulsions: A Comparative Study between Microwave and Thermal Heating. *Fuel*, 2013, Vol. 113, pp. 407–414. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.05.094.

13. Mohammed S.A.M., Mohammed M.S. The Application of Microwave Technology in Demulsification of Water-in-Oil Emulsion for Missan Oil Fields. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 2013, Vol. 14, No. 2, pp. 21–27.

14. Kovaleva L.A. Issledovanie integrirovannogo vozdeistviya sverkhvysokochastotnogo elektromagnitnogo izlucheniya v pole tsentrobezhnykh sil na vodoneftnyane emul'sii [Study of Integrated Effects Microwave

Electromagnetic Radiation in the Field of Centrifugal Forces on the Water-Oil Emulsion]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2017, No. 2, pp. 100–103. [in Russian].

15. Kovaleva L.A., Zinnatullin R.R., Akhatov I.Sh., Blagochinnov V.N., Valiev Sh.M., Fatkhullina Yu.I.

Ustroistvo dlya integrirrovannogo obezvozhivaniya vodonemyanykh emul'sii [Device for Integrated Dewatering of Oil-Water Emulsions]. Patent RF, No. 134988, 2013. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Ковалева Лиана Ароновна, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой прикладной физики, Физико-технический институт, БашГУ, г. Уфа, Российская Федерация

Liana A. Kovaleva, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Applied Physics Department, Institute of Physics and Technology, BashSU, Ufa, Russian Federation

e-mail: liana@ic.bashedu.ru

Зиннатуллин Расул Рашитович, канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной физики, Физико-технический институт, БашГУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rasul R. Zinnatullin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Applied Physics Department, Institute of Physics and Technology, BashSU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rasulz@yandex.ru

Султангузин Руслан Фуатович, инженер-исследователь, Физико-технический институт, БашГУ, г. Уфа, Российская Федерация

Ruslan F. Sultanguzhin, Research Engineer, Institute of Physics and Technology, BashSU, Ufa, Russian Federation

e-mail: kemperfromrb@gmail.com

Габдрафиков Айдар Фирдавиевич, инженер-исследователь, Физико-технический институт, БашГУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aidar F. Gabdrifkov, Research Engineer, Institute of Physics and Technology, BashSU, Ufa, Russian Federation

e-mail: aidargabdrifkov@bk.ru

Гайнетдинов Эмиль Фанзилевич, аспирант, Физико-технический институт, БашГУ, г. Уфа, Российская Федерация

Emil F. Gainetdinov, Postgraduate Student, Institute of Physics and Technology, BashSU, Ufa, Russian Federation

e-mail: emil.sp@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 neft PJSC, Saint-Petersburg, Russian Federation

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