

Получение устойчивых эмульсий из разнополярных не смешивающихся жидкостей для вытеснения нефти из пласта

Ю.А. Беляев

ст.н.с., канд. техн. наук¹
belyaev-y@yandex.ru

В.Н. Фомин

вед.н.с., докт. техн. наук¹
fomin@mail.ru

А.Г. Чукаев

вед.н.с., докт. техн. наук¹
chukaev@gmail.com

¹ Научный центр
нелинейной волновой механики
и технологии РАН, Москва, Россия

Экспериментально исследовалась возможность выбора оптимального эмульгатора-стабилизатора из восьми претендентов для получения в его присутствии устойчивой эмульсии. Применение оптимального эмульгатора-стабилизатора в сочетании с волновой технологией перемешивания позволило получить тонкодисперсные устойчивые эмульсии масло-вода и вода-масло, которые затем использовались в качестве вытесняющего агента на трубчатой модели нефтяного пласта Соснинской и Мангышлакской нефти. Применением эмульсий в этих условиях позволило дополнительно вытеснить от 13 до 19% нефти в зависимости от её состава.

Материалы и методы

Эмульгаторы-стабилизаторы различного строения, волновая технология смешения, трубчатая модель нефтяного пласта

Ключевые слова

нефть, эмульсия, эмульгатор-стабилизатор, волновая технология, трубчатая модель нефтяного пласта

Основные месторождения России переходят на позднюю стадию разработки, характеризующуюся пассивным ростом обводнённости и снижением темпов отбора нефти. Резкое понижение коэффициента нефтеизвлечения вызывается рядом причин, основными из которых являются:

- изменение состава и структуры нефти под воздействием закачиваемой воды;
- интенсификация выделения асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), вследствие снижения пластовой температуры;
- кольматация призабойной зоны пласта, как результат взаимодействия породы с водой и примесями в ней.

Остаточная нефть в пластах удерживается главным образом в виде капель, а также нефтяных микро- и макроцеликов. К настоящему моменту выяснено, что остаточная нефть в поровой части оказывается более вязкой, более насыщенной тяжелыми компонентами АСПО и для ее вытеснения требуется большая удельная работа. Превалирующее число существующих и вновь разрабатываемых методов увеличения нефтеотдачи (МУН) связано с многообразием физических процессов, происходящих в нефтяном пласте при его разработке, но в конечном итоге направлено на вовлечение остаточной нефти в фильтрационный поток от нагнетательных к добывающим скважинам [1, 2].

Самым распространенным МУН является искусственное заводнение, с помощью которого восполняется энергия пластов и появляется возможность регулирования охвата пластов различными гидродинамическими методами. Наличие зон с различной проницаемостью приводит к кратковременному положительному эффекту заводнения. Прорыв пластовых и закачиваемых вод по отдельным высокопроницаемым пластам и пропласткам ведёт к быстрому обводнению

добываемой продукции. В этих условиях ограничение движения вод в высокопроницаемой части коллектора становится необходимым фактором улучшения метода заводнения. С этой целью еще в середине прошлого века начали осуществлять полимерное и щелочное заводнение. Добавки полимеров приводят к повышению вязкости воды, уменьшению соотношения подвижности воды и нефти, снижению возможности прорыва воды, обусловленной неоднородностью пласта. Растворы щелочи при взаимодействии с компонентами пластовых вод приводят к образованию водоизолирующих осадков, закупоривающих водопроточные зоны пласта.

Однако, экономическая эффективность такого ограничения водопитока оказалась невысокой, вследствие необходимости закачки больших объемов реагентов. Поэтому в настоящее время предпочтение отдается технологиям с применением малообъемных закачек (оторочек), приводящим к созданию водоизолирующей блокады в призабойной зоне добывающих скважин. Для закачек же в нагнетательные скважины используют более дешевые и доступные реагенты [3].

Эффективным способом ограничения водопитока в скважины подошвенных и пластовых вод является применение обратных эмульсий в виде пенных систем [3]. Они способствуют очистке призабойной зоны пласта (ПЗП) за счёт диспергирования кольматирующих пласт глинистых веществ, парафина, АСПО и дальнейшего их удаления в процессе освоения скважин за счёт солюбилизирующего действия образовавшихся мицелл. Основным результатом этого процесса является вовлечение в разработку малопроницаемых пропластков, за счёт блокирования продвижения воды в промытых зонах в результате образования на поверхности водопроводящих каналов

№ п/п	Название	Характеристика	Физ. хим. состояние
1	оксизетилованный амин + CaCO_3	ХЧ	смесь реагентов 50:50
2	CaCO_3	ХЧ	тв. порошок
3	оксизетилованный амин	ХЧ	жидкость
4	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	ХЧ	взвесь
5	SiO_2	ХЧ	тв. порошок
6	TiO_2	ХЧ	тв. порошок
7	олеиновая кислота	ХЧ	жидкость
8	мыло хозяйственное	-	раствор в воде

Таб. 1 — Характеристика эмульгаторов-стабилизаторов

Вид эмульсии	Плотность, кг/м³	Вязкость, Па · сек	Дисперсность (средняя), мкм
прямая	973	0,001	2
обратная	951	0,5	1

Таб. 2 — Физико-химическая характеристика эмульсий

пузырьков газа и плёнок из коллоидно-дисперсных соединений, что способствует изоляции высокопроницаемых зон продуктивного пласта.

В присутствии катионов многовалентных металлов (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3}), например, хлористого кальция или гидроксида кальция, в пласте происходит гидролиз силиката натрия с образованием вторичной плёнки из коллоидно-дисперсных частиц, которая благодаря дополнительным компонентам, препятствует утончению слоя плёнки из ПАВ нефти. Другим эффективным способом вовлечения в разработку низко проницаемых пропластков является применение обратной эмульсии, когда имеют место: низкое и среднее пластовое давление, неограниченная обводнённость скважины, чётко выраженная неоднородность пропластков, наличие глинистой корки на стенках скважины, наличие в терригенных породах глинистого цемента [4, 5].

Эффективность применения пенной системы зависит от её дисперсности, вязкости, устойчивости и состава. Для обработки нефтяных пластов с целью увеличения нефтеотдачи наиболее экономичными и эффективными будут водонефтяные (вода — нефть) или водомасляные (вода — масло) системы. Для получения тонкодисперсной высокоустойчивой эмульсии необходимо применение эмульгатора — стабилизатора (ЭС).

В Научном Центре «Нелинейной волновой механики и технологии» РАН разработаны научные основы волновой технологии. На этой базе проводятся теоретические и экспериментальные исследования, направленные на разработку процессов диспергирования, эмульгирования, гомогенизации, которые могут найти широкое применение в нефтяной, нефтехимической и др. областях промышленности.

В качестве объектов исследования взяты две разнородные, несмешивающиеся жидкости разной полярности и значительной разности по плотности. В качестве среды принята вода дистиллированная полярная жидкость, плотностью 1000 кг/м^3 .

В качестве фазы принято масло индустриальное марки И 50 А, ГОСТ 20799-88, не полярная жидкость, плотностью $0,882 \text{ кг/м}^3$.

В качестве эмульгаторов-стабилизаторов взяты соединения, характеристика которых представлена в таблице 1.

Соотношение компонентов, % масс, вода : масло : эмульгатор-стабилизатор составляет 94,8 : 5 : 0,2.

В эксперименте поставлена задача — на лабораторной мешалке вихревого типа со скоростью вращения шпинделя 3000 об/мин. исследовать эффективность эмульгаторов-стабилизаторов для получения тонкодисперсных высокостабильных эмульсий из разнородных не смешивающихся жидкостей и выбрать наиболее эффективный реагент для дальнейшего исследования.

Работу проводили по следующей методике. Расчётное количество компонентов в суммарном объёме 100 мл помещали в стакан, опускали в него турбулизатор (перфорированную лопатку) и проводили вращение в течении 5 мин. Полученную эмульсию анализировали с применением микроскопа ЛОМО — Микомед с увеличением 1500, что позволяло рассмотреть форму и размер капель эмульсии.

Динамика расслоения прямой эмульсии масло — вода представлена на рисунках 1.

На рисунке 2 представлен характер расслоения (разложения) обратной эмульсии в зависимости от состава эмульгатора — стабилизатора. Характер расположения кривых идентичен расположению на рис. 1.

По устойчивости (времени расслоения эмульсии) эмульгаторы-стабилизаторы для обеих эмульсий расположились в следующей последовательности: 1 — смесь оксизтилированного амина (ОЭА) + карбоната кальция 50 : 50%, 2 — карбонат кальция, 3 — оксизтилированный амин, 4 — кальций гидроксид, 5 — кремний диоксид, 6 — титан диоксид, 7 — олеиновая кислота, 8 — мыло хозяйственное, 9 — отсутствие ЭС. Из анализа графиков видно, что наименьшей устойчивостью обладала прямая эмульсия без применения эмульгатора, она разложилась через сутки. Дисперсность её составляла 5–15 мкм.

Характер расслоения прямой эмульсии для первых 4-х ЭС имеет систематическую закономерность. Кривые имеют «выпуклый» характер, т.е. на первой стадии эмульсии расслаиваются медленнее.

Реагенты под номерами 5, 6, 7 и 8 не показали высокой активности в стабилизации эмульсии. Наиболее вероятно, что эти реагенты являются не эффективными стабилизаторами эмульсии. Дисперсность эмульсий составляла 4–10 мкм. Более заметной устойчивостью обладали эмульсии, полученные с применением кальция гидроксида (4), оксизтилированного амина (3) и кальция карбоната (2). Время расслоения эмульсий составляло соответственно 12, 16 и 18 суток. Наибольшей устойчивостью обладала эмульсия, полученная с применением смеси кальция карбоната и оксизтилированного амина (ОЭА), которая составляла в данном случае 30 суток. По-видимому, в данном случае эмульгирующим компонентом являлся оксизтилированный амин, а стабилизатором — карбонат кальция. Данная эмульсия имела дисперсность 3–4 мкм.

Устойчивость разложения обратной эмульсии имела ту же закономерность, что и для прямой. Как и в предыдущем случае, наиболее эффективным реагентом оказалась смесь ОЭА и карбоната кальция. Эмульсия разложилась на 38-е сутки. Дисперсность эмульсии составляла 2–3 мкм.

Данный эмульгирующий состав был выбран для получения эмульсии на волновом стенде С-100 производительностью до $1,5 \text{ м}^3/\text{час}$ при ранее полученных соотношениях компонентов. Основным звеном стенда являлся генератор волновых колебаний, разработанный на основе, созданной в НЦ НВМТ РАН под руководством академика Ганиева Р.Ф., теории нелинейных волновых колебаний многофазных систем [6]. Физико-химические характеристики полученной на стенде эмульсии представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы, вязкость обратной эмульсии много выше, чем у прямой. Эта эмульсия была применена с целью увеличения вытеснения нефти из модели пласта (трубчатая модель диаметром 0,03 и длиной 0,5 м.).

Установку загружали песком по стандартной методике и заполняли нефтью Со-синского или Узеньского месторождения, после чего продавливали десятикратным объёмом воды при температуре 20°C и определяли объём вытесненной нефти, ко-

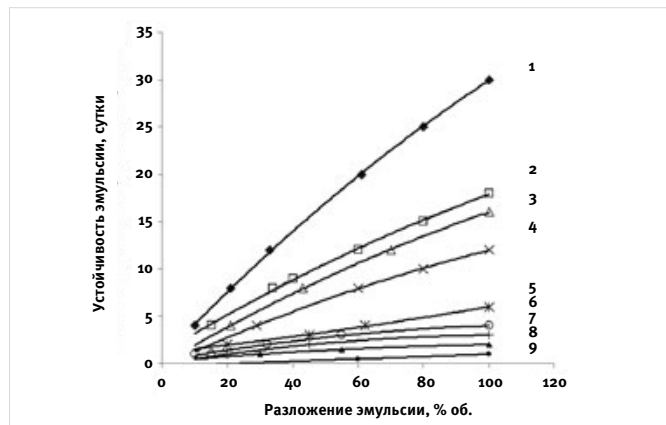


Рис. 1 — Динамика расслоения прямой эмульсии масл-вода в зависимости от состава эмульгатора-стабилизатора.
1 — оксизтилированный амин + кальций карбонат 50 : 50%;
2 — кальций карбонат; 3 — оксизтилированный амин; 4 — кальций гидроксид; 5 — кремний диоксид, 6 — титан диоксид;
7 — олеиновая кислота; 8 — мыло хозяйственное;
9 — отсутствие эмульгатора-стабилизатора

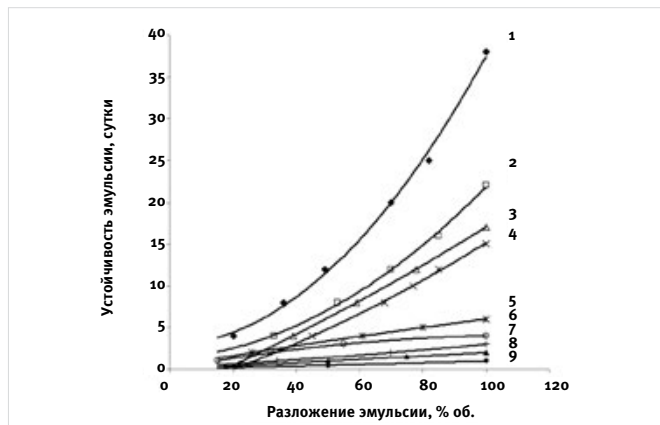


Рис. 2 — Динамика расслоения обратной эмульсии вода — масло. 1 — оксизтилированный амин + кальций карбонат 50 : 50%; 2 — кальций карбонат; 3 — оксизтилированный амин; 4 — кальций гидроксид; 5 — кремний диоксид, 6 — титан диоксид; 7 — олеиновая кислота; 8 — мыло хозяйственное, 9 — отсутствие эмульгатора-стабилизатора

торый составил 28,1% об. для Узеньской и 31,3% об. для Соснинской нефти. Далее в модель задавливали обратную эмульсию и вновь продавливали водой, было дополнительно вытеснено 15,6 и 18,1% об. для Узеньской и Соснинской нефти соответственно. При повторении эксперимента и задавливании в нагруженную модель прямой эмульсии и дальнейшем вытеснении нефти водой, увеличение количества вытесненной нефти составило 13,3 и 19,1% об. для Узеньской и Соснинской нефти соответственно. Таким образом, эксперименты показали, что применение как прямой, так и обратной эмульсии позитивно влияет на вытеснение нефти из пласта, причём для более лёгких нефтей эффективность вытеснения выше.

Итоги

Экспериментально исследовалась возможность выбора оптимального эмульгатора-стабилизатора из восьми претендентов для получения в его присутствии устойчивой эмульсии.

Выводы

1. На лабораторной установке проведены испытания восьми эмульгаторов-стабилизаторов и найден оптимальный

- с точки зрения получения высокоустойчивой эмульсии.
2. На пилотном стенде С-100 с применением оптимально эффективного эмульгатора-стабилизатора получена высоко устойчивая эмульсия прямого и обратного типа.
3. На лабораторной модели пласта трубчатого типа проведено испытание применения обратной и прямой эмульсии с целью более полного вытеснения нефти из модели пласта насыщенной парафинистой (Соснинской) и тяжёлой смолистой (Узеньской) нефтью.
4. В результате эксперимента дополнительное увеличение вытесненной нефти составило от 13 до 19% об.

Список использованной литературы

1. Муслимов Р.Х., Сулейманов Э.О., Землянский В.В., Юлгушев Э.Т. Результаты применения новейших методов увеличения нефтеотдачи пластов на девонских залежах Ромашкинского месторождения // Интервал. 2002. № 3. С. 21–25.

2. Бриллиант Л.С., Козлов А.И., Ручкин А.А., Осипов М.Л., Шарифуллин Ф.А., Цыкин И.В. Совершенствование технологии ограничения водопритока в скважинах Самотлорского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2000. № 9. С. 72–75.
3. Демахин С.А., Демахин А.Г., Селективные методы изоляции в одопритока. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2003. 250 с.
4. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложнённых условиях. М.: Недра, 2000. 230 с.
5. Беляев Ю.А., Фомин В.Н., Чукаев А.Г. Исследование процесса применения обратной и прямой эмульсии для увеличения охвата пласта и количества вытесненной нефти // Экспозиция Нефть Газ. 2011. №2/Н. С. 22–23.
6. Ганиев Р.Ф. Волновые машины и технологии. М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. 192 с.

ENGLISH

OIL PRODUCTION

Obtaining stable emulsions of different ways — polar immiscible liquids to displace oil from the reservoir

UDC 622.276.344:577

Authors:

Yuriy A. Belyaev — ph.D.; belyaev-y@yandex.ru

Viktor N. Fomin — ph.D.; fomin@mail.ru

Aleksey G. Chukaev — ph.D.; chukaev@gmail.com

¹Scientific Center of Nonlinear Wave Mechanics and Technology RAS, Moscow, Russian Federation

Abstract

Experimentally investigated the possibility of selecting the optimal emulsifier-stabilizer of the eight contenders for his presence in a stable emulsion. The use of optimal emulsifier-stabilizer in combination with wave mixing technology yielded fine stable oil-water and water-in-oil, which is then used as the displacement agent on the tubular model oil reservoir Sosninskaya's and Mangyshlak's oil. The use of emulsions in these conditions has additionally displace 13 to 19% of oil, depending on its composition.

Materials and methods

Emulsifiers-stabilizers of different structures, the wave mixing technology, tube model of oil reservoir.

Results

Experimentally investigated the possibility of selecting the optimal emulsifier-stabilizer of the eight contenders for his presence in a stable emulsion.

Conclusions

The use of optimal emulsifier-stabilizer in combination with wave mixing

technology yielded fine stable oil-water and water-in-oil, which is then used as the displacement agent on the tubular model oil reservoir Sosninskaya and Mangyshlak oil. The use of emulsions in these conditions has additionally displace 13 to 19% of oil, depending on its composition.

Keywords

oil emulsion, the emulsifier, stabilizer, wave technology, tube model oil reservoir

References

1. Muslimov A.D., Suleimanov E.O., Zemlyansky V.V., Yulgushev E.T. *Rezultaty primeneniya noveyshikh metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov na devonskikh zalezakh Romashkinskogo mestorozhdeniya* [The results of the latest methods of enhanced oil recovery in the devonian deposits Romashkinsky's field]. *Interval*, 2002, issue 3, pp. 21–25.
2. Brilliant L.S., Kozlov A.I., Ruchkin A.A., Osipov M.L., Sharifullin F.A., Tsykin I.V. *Sovershenstvovanie tekhnologii ograniicheniya vodopritoka v skvazhinakh Samotlorskogo mestorozhdeniya* [Improving the technology to reduce water in Samotlor's wells]. *Oil Industry*, 2000, issue 9, pp. 72–75.
3. Demahin S.A., Demahin A.G. *Selektivnye metody izolyatsii vodopritoka* [Selective methods of water shut]. *Saratov: GosUNTS College*, 2003, 250 p.
4. Persiyantsev M.N. *Dobycha nefi v oslozhnennykh usloviyakh* [Oil extraction in the difficult conditions]. *Moscow: Nedra*, 2000, 230 p.
5. Belyaev Ya.A., Fomin V.N., Chukaev A.G. *Issledovanie protessa primeneniya obratnoy i pryamoy emul'sii dlya uvelicheniya okhvata plasta i kolichestva vytesnennoy nefi* [Study of the application of the inverse and direct emulsion to increase sweep efficiency and the amount of displacement of oil]. *Exposition Oil Gas*, 2011, issue 2/H, pp. 22–23.
6. Ganiev R.F. *Volnovye mashiny i tekhnologii* [Wave machines and technology]. *Moscow: Dynamika*, 2008, 192 p.