



РАЗРАБОТКА РЕАГЕНТОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЛАСТОВ

**Р.Р.Шарипов*, А.А.Койеджо, Ж.М.Куагу,
Ф.И.Газизова, Р.Р.Мингазов, Н.Ю.Башкирцева**

*Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Казань, Россия*

Development of Reagents for Enhanced Oil Recovery of High-Temperature Formations

R.R.Sharipov, A.A.Coyedjo, J.M.Quagu, F.I.Gazizova, R.R.Mingazov, N.Yu.Bashkirtseva

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Abstract

The study was conducted to ascertain the possibility of applying aqueous solutions of zwitter-ionic surfactants as oil displacing reagents. Tests on oil-displacing capability using bulk models, dynamic viscosity, surface-active properties of the aqueous solution were carried out and the results showed ZPAV-3 as the most versatile and effective for reservoirs with low and high temperatures.

Keywords:

Oil recovery factor;
Zwitterionic surfactants;
Oil displacement;
Dynamic viscosity;
Surface activity;
Adsorption.

© 2017 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Большинство нефтяных месторождений России находятся на поздних стадиях разработки, нефтеотдача которых не превышает 40% [1,2]. Рост добычи нефти в долгосрочной перспективе будет связан с увеличением темпов отбора из разрабатываемых месторождений и повышением нефтеотдачи на старых месторождениях. Роль таких запасов в общей структуре будет ежегодно возрастать. Потому уже сегодня необходимо интенсивно внедрять новые передовые технологии, направленные на вовлечение в разработку всех типов остаточных нефтей на месторождениях, вступивших в завершающую стадию эксплуатации [3-5].

При выборе метода воздействия на пласт из множества технологий помимо особенностей геолого-физических условий, состояния разработки затрат по применению того или иного реагента, необходимо учитывать максимальную сохранность коллекторских свойств пласта, а также влияние выбранного метода на процессы внутрипромыслового транспорта и подготовки нефти. Эту задачу можно решить за счет применения технологий повышения нефтеотдачи пластов на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), позволяющие эконо-

мически оправданно повысить коэффициент извлечения нефти (КИН) на 10-15% [6-8].

Существенными ограничивающими факторами эффективного применения технологий повышения нефтеотдачи пластов на основе ПАВ являются высокая минерализация пластовой воды, используемой при приготовлении растворов ПАВ, и высокая температура пласта (90 °С и выше) [9,11].

В связи с этим, актуальной задачей является разработка новых универсальных составов для увеличения КИН на основе ПАВ, которые способны показывать высокую эффективность при вышеперечисленных осложненных условиях.

Анализ научно-технической литературы показал [12-14], что наиболее подходящими для решения поставленной задачи могут оказаться ПАВ из группы цвиттер-ионных, которые совместимы с высокоминерализованными пластовыми водами. В качестве объектов исследования были выбраны различные виды цвиттер-ионных ПАВ с различными углеводородными радикалами от C12 до C22, с условными названиями: ЦПАВ-1, ЦПАВ-2 и ЦПАВ-3. Все исследуемые ПАВ относятся к группе бетаиновых ПАВ. Исследования проводились на водных растворах ПАВ с концентрацией 1 масс.%. Растворы готовились на минерализованной воде с плотностью 1180 кг/м³ на основе хлористого натрия.

*E-mail: sharipovrustem@yandex.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20170200316>

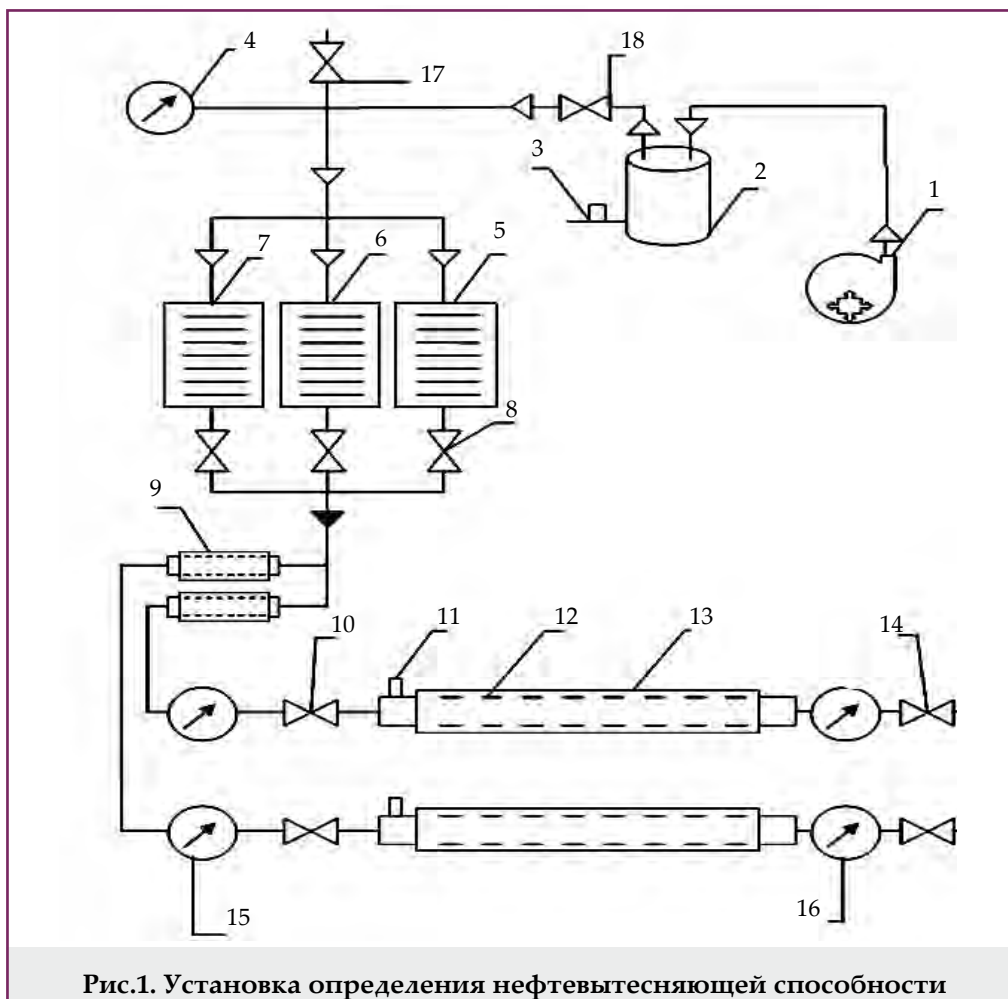


Рис.1. Установка определения нефтевытесняющей способности

Для оценки нефтевытесняющей способности исследуемых цвиттер-ионных ПАВ были проведены испытания по определению эффективности вытеснения нефти на моделях пласта на кварцевом песчанике при разных температурах. В качестве реагентов сравнения были выбраны наиболее распространенные реагенты, применяемые на нефтепромыслах в технологиях увеличения нефтеотдачи: Реагент КС-6 (ООО «СурфаХим») и Неонол АФ9-12 (ПАО «Нижекамскнефтехим»).

На сегодняшний день широко применяются технологии на основе низкоконцентрированных растворов полимеров, которые направлены на повышение охвата пласта. Поэтому одним из реагентов сравнения также был выбран полимер на основе полиакриламида торговой маркой Aspigo P 6621 (BASF), который несколько лет успешно применяется на нефтепромыслах в технологиях полимерного заводнения.

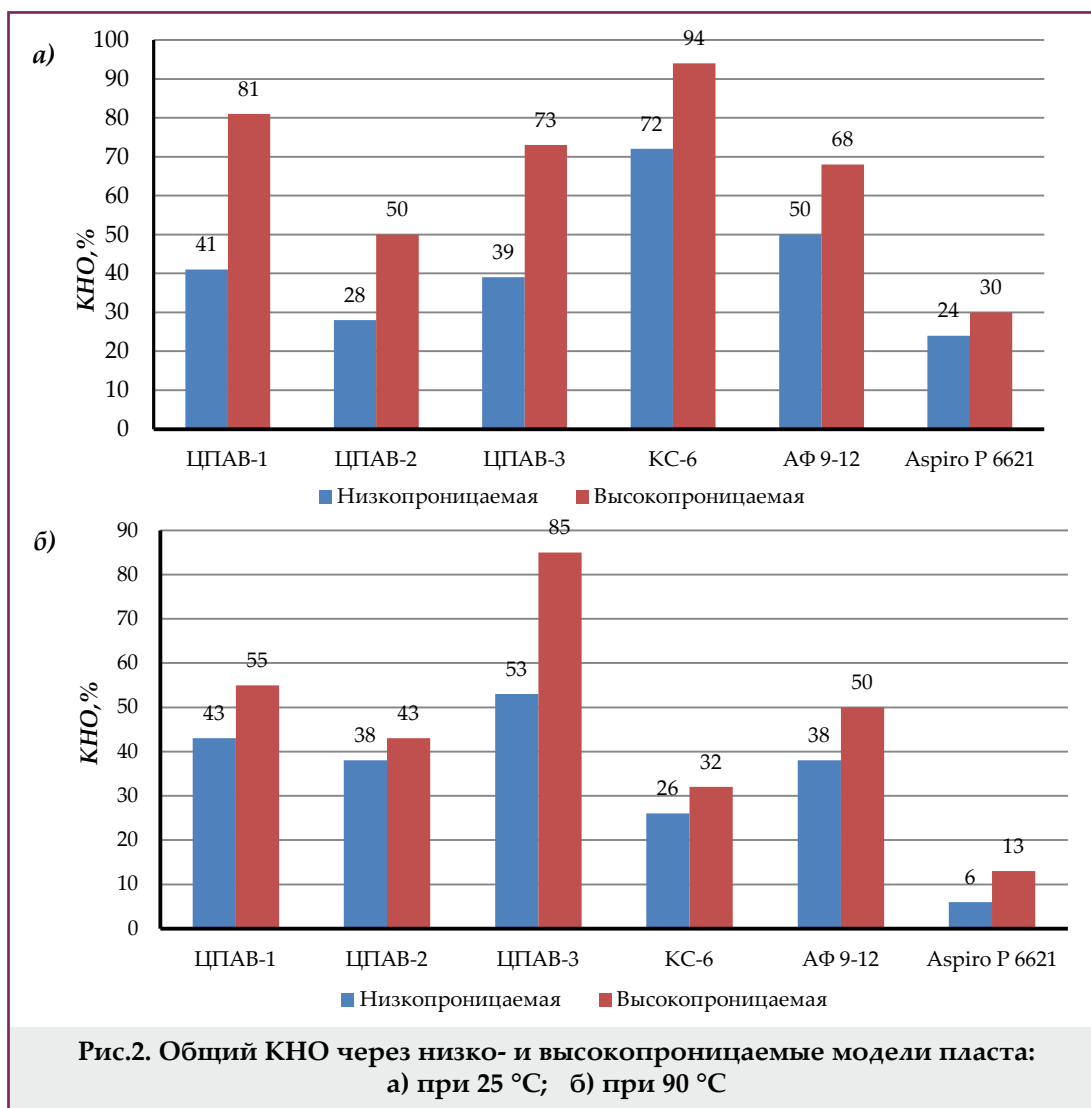
Для проведения лабораторных исследований процессов вытеснения нефти была разработана фильтрационная установка с возможностью поддержания избыточного давления 7 атм. и температуры до 100 °С, которая позволяет проводить эксперименты на насыщенных моделях пласта с возможностью создания противодействия на выходе из пласта с целью исключения выделения лёгких фракций углеводородов нефти при повышенных температурах.

Установка определения нефтевытесняющей способности (рис.1) состоит из: компрессора 1 с ресивером 2 и регулятора давления 3; образцового манометра 4; емкости для реагента 5; емкости для воды 6; емкости для нефти 7; кранов 8, 10, 14, 17, 18; рубашек предварительного термостатирования 9; микродозатора 11; моделей пласта 12; рубашек термостатирования модели пласта 13; манометров 15, 16.

В настоящей работе процесс нефтевытеснения осуществлялся на двух параллельных моделях, одна из которых моделирует высокопроницаемый пласт (из кварцевого песка фракции 0.315-0.63) с проницаемостью 5-10 Дарси, а вторая – низкопроницаемый (из кварцевого песка фракции 0.14-0.315) с проницаемостью 1-3 Дарси. Одновременное применение двух параллельных моделей с разными проницаемостями позволяет оценить охват пласта вытесняющими агентами.

Анализ результатов проведенных исследований показал (рис.2), что для всех исследуемых ПАВ, кроме ЦПАВ-3, повышение температуры с 25 до 90 °С приводит к снижению коэффициента нефтеотдачи (КНО). Для ЦПАВ-3 наблюдается увеличение КНО как для высокопроницаемой модели, так и для низкопроницаемой, что можно объяснить устойчивой вязкостью раствора ПАВ и снижением вязкости вытесняемой нефти при увеличении температуры.

Водный раствор на основе КС-6 обладает хоро-



шими нефтewытесняющими свойствами, причем суммарный КНО составляет 72% и 94% при 25 °С через низко- и высокопроницаемые пласты соответственно. Однако эффективность реагента существенно снижается при высоких температурных режимах за счет снижения вязкости раствора.

Снижение КНО с увеличением температуры для оксиэтилированного алкилфенола АФ9-12 не столь существенно, потому как водные растворы на основе данного ПАВ изначально не обладают высокой вязкостью. Широкое применение Неонола АФ9-12 связано с его хорошими нефтewотмывающими свойствами, однако технологии с его применением не влияют на увеличение охвата пласта.

Результаты исследования нефтewытесняющей способности водного раствора полимера Aspiro показали его низкую эффективность при вытеснении нефти. Что можно связать с отсутствием нефтewотмывающих свойств и чувствительностью вязкости системы к высокой температуре.

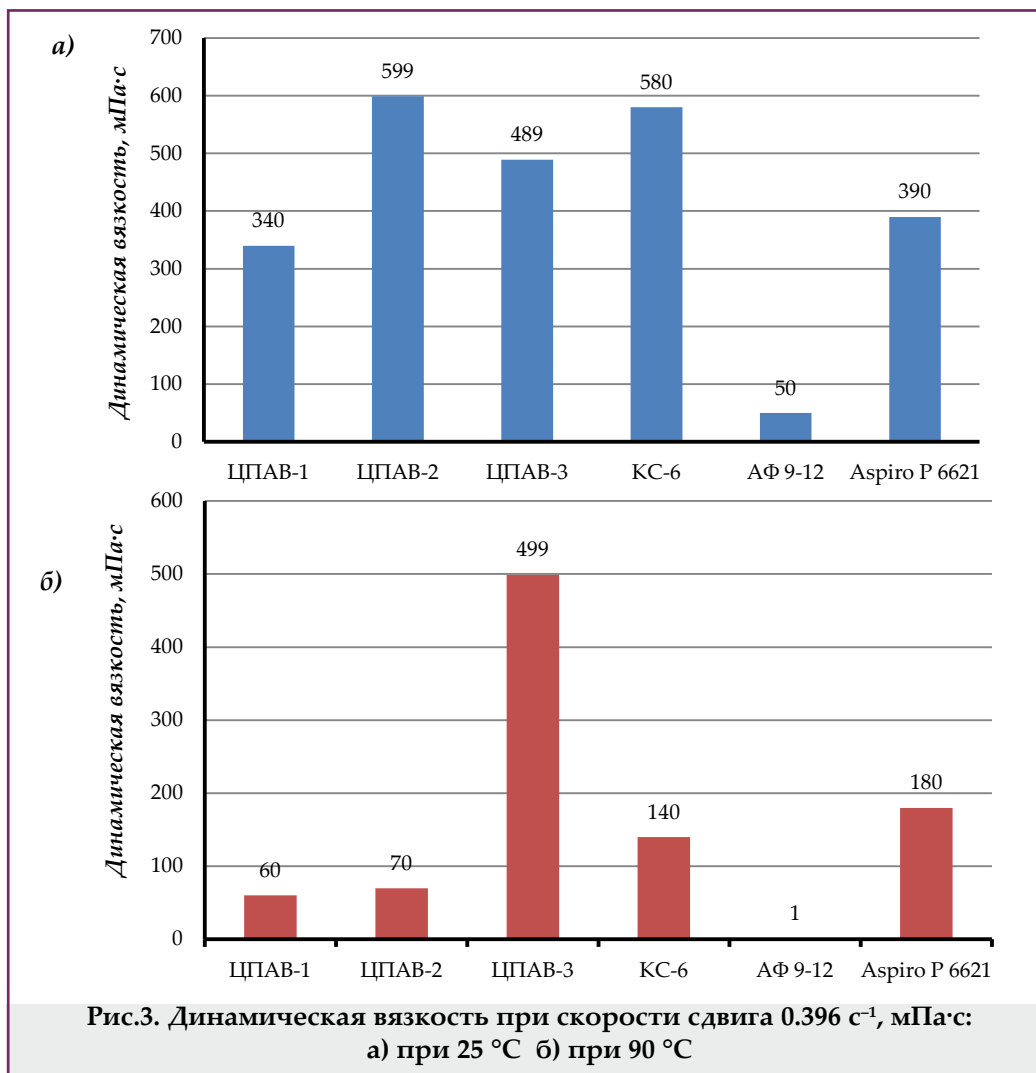
Несмотря на низкие нефтewотмывающие свойства растворов полимеров полимерное загущение нагнетаемой воды в промышленной практике является достаточно распространенным эффективным методом, воздействующим на остаточную нефть. Повышение нефтewотдачи происходит

за счет увеличения коэффициента охвата пласта вследствие изменения скорости фильтрации пластовых флюидов. Вязкость должна обеспечивать равномерное продвижение фронта вытеснения закачиваемого агента.

Исследуемые цвиттер-ионные ПАВ помимо нефтewотмывающих свойств, также как и полимеры обладают загущающими свойствами пластовой воды. Сравнительный анализ динамической вязкости 1%-ных водных растворов цвиттер-ионных ПАВ проводился также при температурах 25 и 90 °С (рис.3а,3б) на ротационном вискозиметре Brookfield DV-II+ Pro, который предназначен для измерения динамической вязкости жидкостей при заданных скоростях сдвига.

Установлено, что при температуре 25 °С водные растворы исследуемых цвиттер-ионных ПАВ обладают довольно высокими значениями динамической вязкости от 340 до 600 мПа·с (при скорости сдвига 0.396 с⁻¹), что сопоставимо с динамической вязкостью полиакриламида Aspiro при концентрации 0.05 масс.% (рис.3а).

С увеличением температуры происходит существенное снижение вязкости водных растворов ЦПАВ-1 и ЦПАВ-2 (рис.3б). Подобное снижение вязкости характерно и для растворов реагента



сравнения КС-6. Иная зависимость наблюдается для растворов ЦПАВ-3, увеличение температуры с 25 до 90 °С приводит лишь к незначительному снижению вязкости с 489 до 409 мПа·с.

Полученные результаты вязкости водных растворов исследуемых ПАВ коррелируют с ранее полученными результатами нефтевытеснения на моделях пласта. Таким образом, закономерности изменения КНО с изменением температуры модели можно объяснить изменением вязкости растворов ПАВ, чем выше вязкость вытесняющего агента, тем выше КНО.

Эффективным методом воздействия на плёночную и капиллярно-удерживаемую нефть является солюбилизация остаточной нефти и отмывание ее с поверхности пород коллектора.

Проведенные испытания поверхностно-активных свойств методом кольца Дью Нуи на тензиометре К9 (KRUSS) показали, что все исследуемые ПАВ позволяют снижать поверхностное натяжение водных растворов на границе с воздухом в среднем до значений 35÷45 мН/м (рис.4). Наименьшими значениями поверхностного натяжения при критической концентрации мицеллообразования (ККМ), а значит высокими поверх-

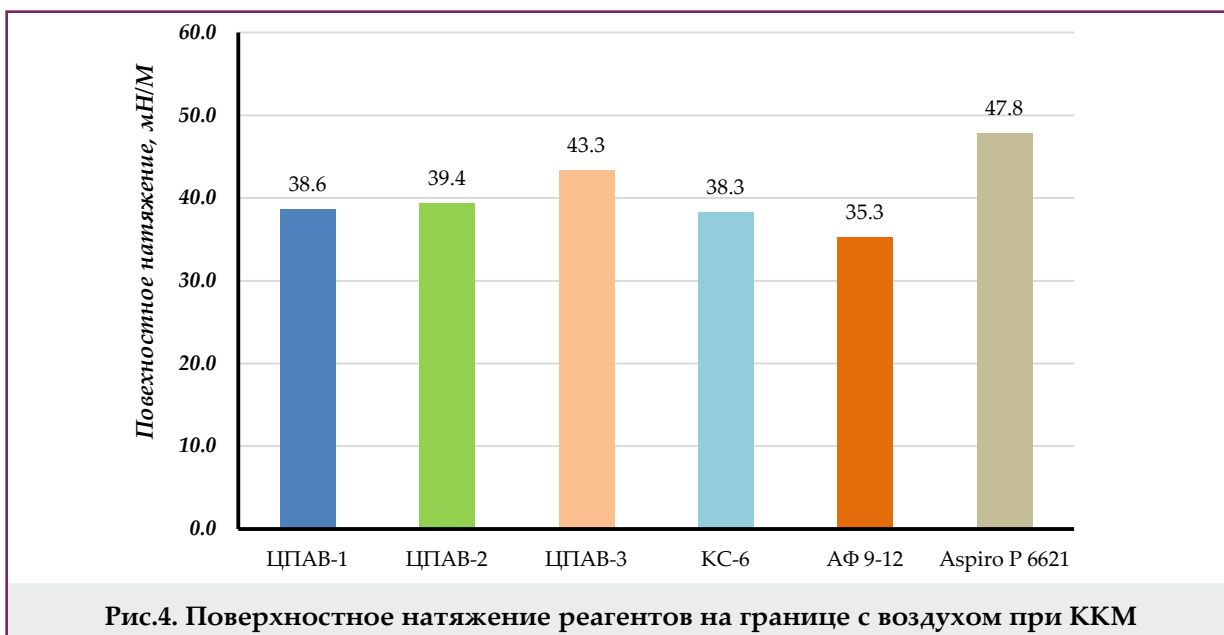
ностно-активными свойствами обладают ЦПАВ-1 и Неонол АФ9-12. Из исследуемых ПАВ наименьшими поверхностно-активными свойствами и как следствие худшим нефтеотмывающим свойством обладает ЦПАВ-3.

В результате проведенных исследований установлено, что изучаемые цвитер-ионные ПАВ устойчивы к минерализованным пластовым водам, обладают загущающими способностями, снижают поверхностное натяжение водного раствора и обладают способностью увеличения КНО до 70-80%. Однако, наиболее универсальным и эффективным как для пластов с низкими значениями температур, так и с высокими является ЦПАВ-3.

Единственным недостатком реагента для вытеснения нефти на основе ЦПАВ-3 будет низкая нефтеотмывающая способность. Однако данную проблему можно решить применением композиций на основе ЦПАВ-3 и ПАВ с высокой поверхностной активностью.

Таким образом, реагенты на основе ЦПАВ-3 будут обладать уникальными свойствами, что позволит применять их для увеличения КИН пластов осложненных высокими пластовыми температурами.

Благодарим федеральное государственное бюджетное учреждение «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» за оказанную финансовую помощь в исследованиях, победителем программы УМНИК 16-12 договор № 0032786, которого является Р.Р.Шарипов.



Литература

1. С.С.Александров. О проблемах и опыте разработки трудноизвлекаемых запасов //Нефть. Газ. Промышленность. -2012. -№3. -С.26-27.
2. В.М.Хусаинов, О.В.Магдеева, М.Ш.Магдеев. Геолого-геофизический контроль за разработкой многопластовых нефтяных месторождений на разных стадиях эксплуатации //Нефть. Газ. Новации. -2011. -№4. -С.74-75.
3. Л.М.Петрова, Н.А.Аббакумова, Т.Р.Фосс, Г.В.Романов. Механизм действия потокоотклоняющих технологий // Нефтяное хозяйство. -2007 -№12. -С.64-67.
4. Ю.А.Поддубный. Повышение нефтеотдачи: несбыточные надежды. Территория действий //Нефть. Газ. Новации. -2011. -№7. -С.24-35.
5. Ш.К.Гиматудинов. Справочная книга по добыче нефти. М.: Недра, 1974.
6. Z.Wu, Z.Yang, L.Cao, G.Wang. Study on performance of surfactant-polymer system in deep reservoir //SOCAR Proceedings. -2016. -№1. -P.34-41
7. Е.Н.Сафонов, И.А.Исхаков, К.Х.Гайнуллин и др. Применение новых методов увеличения нефтеотдачи на месторождениях Башкортостана //Нефтяное хозяйство. -2002. -№ 4. -С. 38-40.
8. В.Дж.Абдуллаев, Х.М.Ибрагимов, Ф.К.Кязимов, Т.Х.Шафиев. Экспериментальные исследования вытеснения нефти газом и водогазовыми смесями //SOCAR Proceedings. -2016. -№1. -С. 51-57.
9. А.Ж.Абитова Опыт применения потокоотклоняющей технологии на месторождении «Узень» //SOCAR Proceedings. -2014. -№3. -С. 43-51.
10. А.М.Гаджиев. Контроль и регулирование разработки залежей, характеризующихся различными природными условиями //SOCAR Proceedings. -2014. -№2. - С. 38-45.
11. А.М.Гасымлы, Ш.Ф.Мусаева, С.Д.Рзаева, М.Г.Абдуллаев. Повышение эффективности нефтевытеснения из слоисто-неоднородного пласта //SOCAR Proceedings. -2013. -№2. - С.53-55.

References

1. S.S.Aleksandrov. O problemah i opyte razrabotki trudnoizvlekaemyh zapasov //Neft. Gaz. Promyshlennost. -2012. -No.3. -S.26-27.
2. V.M.Khusainov, O.V.Magdeeva, M.Sh.Magdeev. Perspectives to build-up the hydrocarbon raw materials at the currently operated oil and gas fields //Neft. Gaz. Novatcii. -2011. -No.4. -P.74-75.
3. L.M.Petrova, N.A. Abbakumova, T.R.Foss, G.V.Romanov. The mechanism of oil recovery flow-redizing technologies //Oil industry. -2007 -No.12. -P.64-67.
4. Yu.A.Poddubny. EOR - frustrated hopes. Area for further actions //Neft. Gaz. Novatcii. -2011. -No. 7. -C.24-35
5. Sh.K.Gimatudinov. Oil production handbook. M.: Nedra, 1974.
6. Z.Wu, Z.Yang, L.Cao, G.Wang. Study on performance of surfactant-polymer system in deep reservoir //SOCAR Proceedings. -2016. -No.1. -P.34-41
7. E.N.Safonov, I.A.Iskhakov, K.Kh.Gaynullin, et al. Application of new techniques for increasing oil recovery at oilfields in Bashkortostan //Oil industry. -2002. -No. 4. -C. 38-40.
8. V.D.Abdullaev, Kh.M.Ibrahimov, F.K.Kyazimov, T.Kh.Shafiyev. Experimental studies on gas drive and gas-and-water oil displacement //SOCAR Proceedings. -2016. -No. 1. -P. 51-57
9. A.J.Abitova. Application of flow diverting technology on «Uzen» field //SOCAR Proceedings. -2014. -No.3. -P. 43-51.
10. A.M.Hajiyev. Control and regulation of reservoir development, characterized by different environmental conditions //SOCAR Proceedings. -2014. -No.2. -P. 38-45
11. A.M.Gasimli, Sh.F.Musayeva, S.D.Rzayeva, M.G.Abdullayev. Enhanced oil displacement from a layered heterogeneous stratum //SOCAR Proceedings. -2013. -No.2. -P. 53-55.

12. Н.Ю.Башкирцева, О.Ю.Сладовская, Р.Р.Рахматуллин, Л.Р.Фаткылбаянова. Поверхностно-активные вещества и методы исследования их свойств: учебно-методическое пособие. Казань: КГТУ, 2009.

13. D.W.Green, G.P.Willhite. Enhanced oil recovery. Richardson, Texas: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers, 2013.

14. М.Р.Сисенбаева. Изменение вязкости пластовой нефти в зоне фазового превращения и определение влияния ПАВ «Карпатол-УМ2К-Нурол» на давление насыщения нефти газом //SOCAR Proceedings. -2015. -№3. – С.21-26.

12. N.YU.Bashkirceva, O.YU.Sladovskaya, R.R.Rahmatullin, L.R.Fatkylbayanova. Poverhnostno-aktivnyye veshchestva i metody issledovaniya ih svojstv: uchebno-metodicheskoe posobie. Kazan: KGTU, 2009.

13. D.W.Green, G.P.Willhite. Enhanced oil recovery. Richardson, Texas: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers, 2013.

14. M.R.Sisenbayeva. Changes in formation oil viscosity in phase change area and effect of SAA «Karpatol-UM2K-NuroI» on bubble-point pressure //SOCAR Proceedings. -2015. -No.3. -P. 21-26.

Разработка реагентов для увеличения нефтеотдачи высокотемпературных пластов

**Р.Р.Шарипов, А.А.Койеджо, Ж.М.Куагу, Ф.И.Газизова,
Р.Р.Мингазов, Н.Ю.Башкирцева**

Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Казань, Россия

Реферат

Проведены исследования с целью выяснения возможности применения водных растворов цвиттер-ионных ПАВ в качестве реагентов для вытеснения нефти. Для водных растворов цвиттер-ионных ПАВ были проведены исследования нефтewытесняющей способности на насыпных моделях, динамической вязкости, поверхностно-активных свойств. В результате проведенных испытаний установлено, что наиболее универсальным и эффективным как для пластов с низкими значениями температур, так и с высокими является ЦПАВ-3.

Ключевые слова: коэффициент нефтеотдачи; цвиттер-ионное ПАВ; нефтewытеснение, динамическая вязкость; поверхностная активность; адсорбция.

Yüksək temperaturlu layların neftveriminin artırılması üçün reagentlərin işlənməsi

**R.R.Şaripov, A.A.Koyedjo, J.M.Kuaqu, F.İ.Qazizova,
R.R.Minqazov, N.Y.Başkırtseva**

Kazan Milli Tədqiqat Texnologiya Universiteti, Kazan, Rusiya

Xülasə

Svitter-ion SAM sulu məhlullarının neftin sıxışdırılması üçün reagent kimi tətbiq edilməsinin mümkünlüyünün müəyyənəşdirilməsi məqsədi ilə tədqiqatlar aparılmışdır. Svitter-ion SAM sulu məhlulları üçün torpaqla doldurulmuş modellərdə neftsıxışdırma qabiliyyətinin, dinamik özlülüyün, səthi-aktiv xassələrin tədqiqatları aparılmışdır. Keçirilmiş sınaqlar nəticəsində təyin edilmişdir ki, ЦПАВ-3 həm aşağı temperaturlu, həm də yüksək temperaturlu laylar üçün ən universal və effektiv reagentdir.

Açar sözlər: neftverim əmsalı; svitter-ion SAM; neftin sıxışdırılması; dinamik özlülük; səthi aktivlik; adsorbsiya.