SOCAR Proceedings

Reservoir and petroleum engineering

journal home page: http://proceedings.socar.az

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТИ

В. М. Шамилов*[1], Э. Р. Бабаев[2], П. Ш. Маммадова[2], И. Г. Аюбов[3], Э. Г. Гаджиев[2]

[1]SOCAR, Баку, Азербайджан; [2]Институт химии присадок им. А. М. Кулиева Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан; [3]Институт нефтехимических процессов им. Ю. Г. Мамедалиева Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан

Some aspects of the use of carbon nanotubes for enhanced oil recovery

V. M. Shamilov*[1], E. R. Babayev[2], P. Sh. Mammadova[2], I. G. Ayyubov[3], E. G. Hajiyev[1]

[1]SOCAR, Baku, Azerbaijan;

[2]Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan;

[3]Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,

Institute of Petrochemical Processes named after Academician Yusif Mammadaliyev, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

In the presented work, the effect of modified carbon nanotubes on various reagents used to increase the oil recovery factor (ORF) was studied. It was found that nanotubes contribute to the stabilization of the foam in the studied reagents, which had a positive effect on the increase in the recovery factor.

Keywords: nanotechnologies; enhanced oil displacement, carbon nanotubes.

© 2023 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

В реагентах, используемых для увеличения нефтедобычи и извлечению трудноизвлекаемых запасов углеводородов, находят широкое применение различного рода наночастицы [1-19]. В процессах, при переходе к наночастицам, происходит качественное изменение ряда физико-химических свойств вещества. Изменения характеристик обусловлены не только уменьшением размеров структурных элементов, но и проявлением квантовомеханических эффектов, волновой природой процессов переноса и доминирующей ролью поверхности раздела. В качестве наночастиц рассматриваются частицы размерностью 1-100 нм, которые можно разделить на органические и неорганические [20]. К неорганическим можно отнести металлические и керамические. В работе [21] провели эксперименты по увеличению нефтеотдачи с использованием различных наночастиц, таких как оксиды магния, алюминия, цинка, циркония, олова, железа, никеля, кремния. Полученные результаты свидетельствовали увеличение добычи углеводородов. Наряду с металлическими наночастицами, в последнее время активно применяются и реагенты на основе углеродных нанотрубок (УНТ) [22, 23]. Исследование влияние гидрофильных УНТ на добычу тяжелой нефти показали, что они снижают межфазное натяжение, вызывают изменение смачиваемости, а также способствуют образованию эмульсии вода-в-нефти, тем самым улучшая нефтеотдачу [24]. Если обобщить изученные литературные данные, то можно утверждать, что эффекты, возникающие в результате использования наночастиц и углеродных нанотрубок, связаны с изменением смачиваемости породы, снижением вязкости нефти, уменьшением межфазного натяжения, снижением коэффициента подвижности и изменением проницаемости.

В представленной работе, было изучено влияние модифицированных многостенных углеродных нанотрубок (ММУНТ) на стабилизацию пены и воздействие этого явления на эффективность действия различных составов реагента для увеличения нефтевытеснения.

Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) представляют собой молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных модификаций углерода, а материалы на их основе обладают уникальными физико-химическими свойствами. На практике получение МУНТ со строго заданными свойствами затруднительно, поэтому часто необходимо модифицировать боковые и концевые участки, а также проводить дополнительные стадий обработки исходного и конечного продукта.

Объекты и методы исследования

Получение МУНТ осуществлялся методом химического осаждения из газовой фазы (CVD), путем термического разложения этилена в присутствии катализатора – ферроцена и подложки из оксида магния. Процесс

***E-mail:** Valeh.Shamilov@socar.az

http://dx.doi.org/10.5510/OGP2023SI100863

Таблица 1
Характеристика получаемых многослойных углеродных нанотрубок

Показатель	Физико-химические характеристики МУНТ
Внешний вид	Порошок черного цвета
Количество стенок	8-9
Длина	> 100 мкм
Удельная поверхность	190 м^2/г
Средний диаметр	12-13 нм
Насыпная плотность	0.056 кг/дм^3
Чистота, не менее	85 %

осуществляется в трубчатом кварцевом реакторе, в котором установлен катализатор с носителем. Подача реакционных газов этилен/аргон осуществляется в эквимолярном соотношении при температуре 750 °C в течение 2 часов 40 мин.

Для получения МУНТ, способных равномерно распределяться в водных и органических средах используют, главным образом, окислительную модификацию, которая позволяет сформировать кислородсодержащие группы на поверхности нанотрубок. Наиболее распространенной окислительной модификацией поверхности является обработка кислородсодержащими кислотами или смесями на их основе. Окисление протекает, преимущественно, по местам дефектов, находящихся на внешней поверхности, так как химическая активность дефектных и концевых фрагментов выше, чем графеновой поверхности. Функционализация способствует дезагломерации МУНТ при сохранении уникальных свойств нанотрубок.

Модификация поверхности углеродного массива, полученного при синтезе МУНТ с использованием ферроцена, в качестве катализатора и нанопорошка оксида магния, в качестве подложки, проводилась окислением в концентрированной азотной кислоте в течении 4 часов. В результате происходит окисление поверхности углеродных нанотрубок, что подтверждается данными физико-химических методов исследования (рис. 1).

Несмотря на то, что по данным Просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) изломов и дефектов

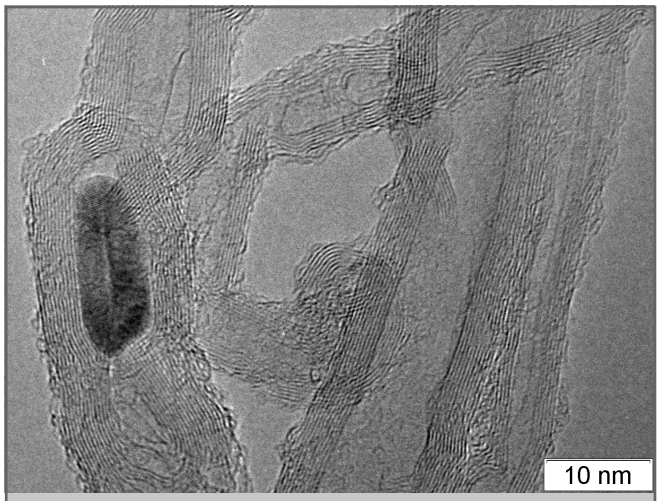

Рис. 1. Микроснимки ПЭМ окисленного в течение 4 часов образца ММУНТ

на отдельных нанотрубках становится больше, их диаметр и длина практически не изменяются, что говорит о том, что окислению подвергается преимущественно поверхностные слои, а глубинные остаются нетронутыми. Кроме того, данный факт подтверждается незначительной потерей удельной поверхности, показатель которой сохраняется на уровне 190 м^2/г.

Синтезированные и модифицированные МУНТ добавлялись в различные составы реагентов, которые используются для повышения коэффициента нефтеотдачи (табл. 2-4). Эффективность реагента определяли в лабораторных условиях по ГОСТу 39-195-86 (Метод определения коэффициента вытеснения нефти водой в лабораторных условиях).

В экспериментах были использованы 3 типа воды: водопроводная, грунтовая и морская (обессоленная). Полученные нами экспериментальные данные подтверждают, что снижение минерализации воды, позитивно сказывается на ее нефтевытесняющих свойствах [25]. Для приготовления обессоленной морской воды к 500 мл воды медленно добавляли 150 мл керосино-щелочные отходы (КЩО). Выделявшуюся на поверхности морской воды пастообразную массу отделяли, а нижний слой обессоленной морской воды использовали для эксперимента.

Обсуждение результатов

В таблицах 2-4 приведены результаты проведенных экспериментов.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что применение МУНТ улучшает нефтевытесняющие свойства реагентов на основе ДЩО, КМЦ и сульфанола. Из экспериментальных данных следует, что при использовании обессоленной морской воды наблюдается повышение КИН. Следует отметить, что использование МУНТ, модифицированных карбоксильными и гидроксильными группами также способствует увеличению КИН.

На рисунке 2 представлена динамика изменения коэффициента нефтеотдачи в зависимости от составов реагентов и применяемой воды. Как видно, реагенты

Таблица 2
Составы на основе водопроводной воды

№	Составы	КИН, %
1	Нефть (10 мл) + H_2O (100 мл)	25
2	Нефть (10 мл) + H_2O (99 мл) + ММУНТ (1 мл)	27
3	Нефть (10 мл) + ПАВ (100 мл)	32
4	Нефть (10 мл) + ПАВ (99 мл) + ММУНТ (1 мл)	34
5	Нефть (10 мл) + 1.2 г ПАА + H_2O (98.8 мл)	33
6	Нефть (10 мл) + 1.2 г ПАА + H_2O (97.8 мл) + ММУНТ (1 мл)	35
7	Нефть (10 мл) + КЩО(47.3 мл) + H_2O (52.7 мл)	45
8	Нефть (10 мл) + КЩО(47.3 мл) + H_2O (51.7 мл) + ММУНТ (1 мл)	52

Таблица 3
Составы на основе грунтовой воды

№	Составы	КИН, %
1	Нефть (10 мл) + H_2O (100 мл)	25
2	Нефть (10 мл) + H_2O (99 мл) + ММУНТ (1 мл)	27
3	Нефть (10 мл) + ПАВ (100 мл)	32
4	Нефть (10 мл) + ПАВ (99 мл) + ММУНТ (1 мл)	34
5	Нефть (10 мл) + 1.2 г ПАА + H_2O (98.8 мл)	33
6	Нефть (10 мл) + 1.2 г ПАА + H_2O (97.8 мл) + ММУНТ (1 мл)	35
7	Нефть (10 мл) + КЩО (47.3 мл) + H_2O (52.7 мл)	45
8	Нефть (10 мл) + КЩО(47.3 мл) + H_2O (51.7 мл) + ММУНТ (1 мл)	52

Рис. 2. Изменение коэффициента извлечения нефти

Таблица 4
Составы на основе морской обессоленной воды

№	Составы	КИН, %
1	Нефть (10 мл) + H_2O (100 мл)	28
2	Нефть (10 мл) + H_2O (99 мл) + ММУНТ (1 мл)	30
3	Нефть (10 мл) + КЩО(47.3 мл) + H_2O (52.7 мл)	36
4	Нефть (10 мл) + КЩО(47.3 мл) + H_2O (51.7 мл) +ММУНТ (1 мл)	38
5	Нефть (10 мл) + 1.2 г ПАА + H_2O (98.3 мл)	36
6	Нефть (10 мл) + 1.2 г ПАА + H_2O (97.3 мл) + ММУНТ (1 мл)	39
7	Нефть (10 мл) + ПАВ (100 мл)	48
8	Нефть (10 мл) + ПАВ (99 мл) + ММУНТ (1 мл)	56

на основе обессоленной морской воды во всех композициях отличались своей эффективностью (тёмно-синий цвет). Тоже самое можно сказать и про составы с МУНТ (реагенты 2, 4, 6, 8) эффективнее их аналогов (1, 3, 5, 7 соответственно) где не было МУНТ.

Тот факт, что углеродные нанотрубки способствуют стабилизации пены [16, 26, 27], позволяет в разы увеличить поверхность соприкосновения реагента с нефтью и песком. Полученные нами результаты экспериментов позволяют сделать вывод, что комбинация МУНТ и поверхностно-активного вещества может считаться эффективной стратегией повышения стабильности пены в пористой среде, тем самым значительно ускоряет процесс нефтевытеснения.

Выводы

1. Предложен способ разработки нефтяной залежи, основанный на низкотемпературном окислении нефти в результате инициации экзотермической реакции и последующей закачке кислородсодержащего газа в пласт.

2. Установлено, что в результате экзотермической реакции температура в пористой среде поднимается выше 200 °C, а прирост коэффициента вытеснения достигает 19.7 %.

3. Анализ компонентного состава газа показал на наличие углекислого газа и отсутствие сернистого газа и кислорода в отобранных пробах, что обеспечивает безопасность предложенной технологии.

Литература

1. Suleimanov, B. A., Ismailov, F. S., Veliyev, E. F. (2011). Nanofluid for enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering, 78(2), 431-437.

2. Шамилов, В. М., Бабаев, Э. Р. (2019). Биоцидная композиция на основе наночастиц меди для нефтяной промышленности. *SOCAR Proceedings*, 1, 46-50.

3. Исмагилова, В. С. (2020). Использование нанотехнологий при разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти. Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых, 2, 150-156.

4. Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F., Vishnyakov, V. V. (2022). Nanocolloids for petroleum engineering: Fundamentals and practices. *John Wiley & Sons.*

5. Сулейманов, Б. А. (2006). Особенности фильтрации гетерогенных систем. Москва-Ижевск: Институт Компьютерных Исследований.

6. Suleimanov, B. A. (2012). The mechanism of slip in the flow of gassed non-Newtonian liquids. *Colloid Journal*, 74(6), 726–730.

7. Suleimanov, B. A. (2011). Mechanism of slip effect in gassed liquid flow. *Colloid Journal*, 73(6), 846–855.

8. Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F. (2017). Novel polymeric nanogel as diversion agent for enhanced oil recovery. *Petroleum Science and Technology*, 35(4), 319-326

9. Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F., Aliyev, A. A. (2020). Colloidal dispersion nanogels for in-situ fluid diversion. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 193(10), 107411.

10. Suleimanov, B. A, Veliyev, E. F., Dyshin, O. A. (2015). Effect of nanoparticles on the compressive strength of polymer gels used for enhanced oil recovery (EOR). *Petroleum Science and Technology*, 33(10), 1133 – 1140

11. Suleimanov, B. A., Ismayilov, R. H., Abbasov, H. F., et al. (2017). Thermophysical properties of nano- and microfluids with $[Ni_5(\mu_5\text{-pppmda})_4Cl_2]$ metal string complex particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 513, 41-50.

12. Suleimanov, B. A., Suleymanov, A. A., Abbasov, E. M., Baspayev, E. T. (2018) A mechanism for generating the gas slippage effect near the dewpoint pressure in a porous media gas condensate flow. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 53, 237-248.

13. Suleimanov, B. A., Abbasov, E. M., Sisenbayeva, M. R. (2017). Mechanism of gas saturated oil viscosity anomaly near to phase transition point. *Physics of Fluids*, 29, 012106.

14. Suleimanov, B. A., Abbasov, H. F., Ismayilov, R. H. (2023) Enhanced oil recovery with nanofluid injection. *Petroleum Science and Technology*, 41(18), 1734-1751.

15. Suleimanov, B. A., Abbasov, H. F. (2016). Effect of copper nanoparticle aggregation on the thermal conductivity of nanofluids. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 90(2), 420–428.

16. Сулейманов, Б. А., Аббасов, Х. Ф. (2022). Механизм повышения нефтеотдачи пласта нанофлюидами. *SOCAR Proceedings*, 3, 28-37.

17. Vəliyev, F. F. (2022). Qazma məhlullarının spesifik xassələrinin yeni sintez olunmuş polimer əlavələrlə tənzimlənməsi. *Scientific Petroleum*, 1, 42-45.

18. Гаибова, А. Г., Аббасов, М. М. (2022). Исследования инновационного водо-изоляционного состава на основе карбамид-формальдегидной смолы. *Scientific Petroleum*, 2, 23-27.

19. Лятифов, Я. А. (2021). Нестационарное воздействие термоактивной полимерной композицией для глубинного выравнивания профиля фильтрации. *Scientific Petroleum*, 1, 25-30.

20. Sircar, A., Rayavarapu, K., Bist, N., et al. (2022). Applications of nanoparticles in enhanced oil recovery. *Petroleum Research*, 7(1), 77-90.

21. Ogolo, N. A., Olafuyi, O. A., Onyekonwu, M. O. (2012). *Enhanced oil recovery using nanoparticles.* SPE-160847-MS. In: *SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.*

22. Razavinezhad, J., Jafari, A., Elyaderani, S. (2022). Experimental investigation of multi-walled carbon nanotubes assisted surfactant/polymer flooding for enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 214, 110370.

23. Шамилов, В. М. (2022). Получение модифицированных многостенных углеродных нанотрубок и их применение для интенсификации нефтедобычи. *SOCAR Proceedings*, 1, 84-88.

24. Ghalamizade, S., Jafari, A., Razavi, J. (2019). Experimental investigation of mechanisms in functionalized multiwalled carbon nanotube flooding for enhancing the recovery from heavy-oil reservoirs. *SPE Journal*, 24(06), 2681-2694.

25. Башкирцева, Н. Ю., Куряшов, Д. А., Мингазов, Р. Р. И др. (2020). Состав для повышения извлечения нефти из пластов на основе цвиттер-ионных ПАВ. *Патент РФ № 2716070*.

26. Krämer, C., Kowald, T. L., Butters, V., Trettin, R. H. F. (2016). Carbon nanotube-stabilized three-phase-foams. *Journal of Materials Science*, 51, 3715–3723.

27. Li, X., Pua, Ch., Bai, Y., Huang, F. (2022). Effect of surfactant types on the foam stability of multiwalled carbon nanotube stabilized foam. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 648, 129389.

References

1. Suleimanov, B. A., Ismailov, F. S., Veliyev, E. F. (2011). Nanofluid for enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 78(2), 431-437.

2. Shamilov, V. M., Babayev, E. R. (2019). Biocidal composition with copper nanoparticles for the oil industry. *SOCAR Proceedings*, 1, 46-50.

3. Ismagilova, V. S. (2020). Use of nanotechnologies in development of fields with hard-to-remove oil reserves. *Problems of Development of Hydrocarbon and Ore Mineral Deposits*, 2, 150-156.

4. Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F., Vishnyakov, V. V. (2022). Nanocolloids for petroleum engineering: Fundamentals and practices. *John Wiley & Sons.*

5. Suleimanov, B. A. (2006). Specific features of heterogenous systems flow. Moscow-Izhevsk: ICS.

6. Suleimanov, B. A. (2012). The mechanism of slip in the flow of gassed non-Newtonian liquids. *Colloid Journal,* 74(6), 726–730.

7. Suleimanov, B. A. (2011). Mechanism of slip effect in gassed liquid flow. *Colloid Journal,* 73(6), 846–855.

8. Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F. (2017). Novel polymeric nanogel as diversion agent for enhanced oil recovery. *Petroleum Science and Technology,* 35(4), 319-326

9. Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F., Aliyev, A. A. (2020). Colloidal dispersion nanogels for in-situ fluid diversion. *Journal of Petroleum Science and Engineering,* 193(10), 107411.

10. Suleimanov, B. A, Veliyev, E. F., Dyshin, O. A. (2015). Effect of nanoparticles on the compressive strength of polymer gels used for enhanced oil recovery (EOR). *Petroleum Science and Technology,* 33(10), 1133 - 1140

11. Suleimanov, B. A., Ismayilov, R. H., Abbasov, H. F., et al. (2017). Thermophysical properties of nano- and microfluids with $[Ni_5(\mu_5\text{-pppmda})_4Cl_2]$ metal string complex particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 513, 41-50.

12. Suleimanov, B. A., Suleymanov, A. A., Abbasov, E. M., Baspayev, E. T. (2018) A mechanism for generating the gas slippage effect near the dewpoint pressure in a porous media gas condensate flow. *Journal of Natural Gas Science and Engineering,* 53, 237-248.

13. Suleimanov, B. A., Abbasov, E. M., Sisenbayeva, M. R. (2017). Mechanism of gas saturated oil viscosity anomaly near to phase transition point. *Physics of Fluids*, 29, 012106.

14. Suleimanov, B. A., Abbasov, H. F., Ismayilov, R. H. (2023) Enhanced oil recovery with nanofluid injection. *Petroleum Science and Technology,* 41(18), 1734-1751.

15. Suleimanov, B. A., Abbasov, H. F. (2016). Effect of copper nanoparticle aggregation on the thermal conductivity of nanofluids. *Russian Journal of Physical Chemistry A,* 90(2), 420–428.

16. Suleimanov, B. A., Abbasov, H. F. (2022). Enhanced oil recovery mechanism with nanofluid injection. *SOCAR Proceedings,* 3, 28-37.

17. Veliyev, F. F. (2022). Regulation of specific properties of drilling fluids with newly synthesized polymer additives. *Scientific Petroleum,* 1, 42-45.

18. Qayibova, A. Q., Abbasov, M. M. (2022). Study of innovative water-insulating composition based on urea-formaldehyde resin. *Scientific Petroleum,* 2, 23-27.

19. Latifov Y.A. (2021) Non-stationary effect of thermoactive polymer composition for deep leveling of filtration profile. *Scientific Petroleum,* 1, 25-30.

20. Sircar, A., Rayavarapu, K., Bist, N., et al. (2022). Applications of nanoparticles in enhanced oil recovery. Petroleum Research, 7(1), 77-90.

21. Ogolo, N. A., Olafuyi, O. A., Onyekonwu, M. O. (2012). *Enhanced oil recovery using nanoparticles.* SPE-160847-MS. In: *SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.*

22. Razavinezhad, J., Jafari, A., Elyaderani, S. (2022). Experimental investigation of multi-walled carbon nanotubes assisted surfactant/polymer flooding for enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering,* 214, 110370.

23. Shamilov, V. M. (2022). Production of modified multi-walled carbon nanotubes and their application for stimulation from oil recovery. *SOCAR Proceedings*, 1, 84-88.

24. Ghalamizade, S., Jafari, A., Razavi, J. (2019). Experimental investigation of mechanisms in functionalized multiwalled carbon nanotube flooding for enhancing the recovery from heavy-oil reservoirs. *SPE Journal*, 24(06), 2681-2694.

25. Bashkirtseva, N. Y., Kuryashov, D. A., Mingazov, R. R., et al. (2020). Composition for increasing oil extraction from zwitterionic-based surfactants. *RU Patent 2716070.*

26. Krämer, C., Kowald, T. L., Butters, V., Trettin, R. H. F. (2016). Carbon nanotube-stabilized three-phase-foams. *Journal of Materials Science*, 51, 3715–3723.

27. Li, X., Pua, Ch., Bai, Y., Huang, F. (2022). Effect of surfactant types on the foam stability of multiwalled carbon nanotube stabilized foam. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects,* 648, 129389.

Некоторые аспекты применения углеродных нанотрубок для увеличения коэффициента извлечения нефти

В. М. Шамилов[1], Э. Р. Бабаев[2], П. Ш. Маммадова[2], И. Г. Аюбов[3], Э. Г. Гаджиев[1]
[1]SOCAR, Баку, Азербайджан; [2]Институт химии присадок им. А. М. Кулиева Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан; [3]Институт нефтехимических процессов им. Ю. Г. Мамедалиева Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан

Реферат

В представленной работе было изучено влияние модифицированных углеродных нанотрубок на различные реагенты, применяемые для увеличения коэффициента извлечения нефти (КИН). Было установлено, что нанотрубки способствуют стабилизации пены в исследуемых реагентах, что позитивно сказывалось на увеличении КИН.

Ключевые слова: нанотехнологии; увеличение коэффициента извлечения нефти; углеродные нанотрубки.

Neftçıxarma əmsalının artırılması üçün karbon nanoborucuqlarlarının tətbiqinin bəzi aspektləri

V. M. Şamilov[1], E. R. Babayev[2], P. Ş. Məmmədova[2], İ. Q. Əyyubov[3], E. Q. Hacıyev[1]
[1]SOCAR, Bakı, Azərbaycan; [2]Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Akademik Ə. M. Quliyev adına Aşqarlar Kimyası İnstitutu, Bakı, Azərbaycan; [3]Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Akademik Yusif Məmmədəliyev adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Təqdim olunan məqalədə dəyişdirilmiş karbon nanoborucuqlarının neftçıxarma əmsalını (NÇƏ) artırmaq üçün istifadə olunan müxtəlif reaqentlərə təsiri öyrənilmişdir. Nanoborucuqların tədqiq olunan reagentlərdə köpükün sabitləşməsinə kömək etməsi müəyyən edilmişdir, bu da NÇƏ artmasına müsbət təsir göstərmişdir.

Açar sözlər: nanotexnoloqiyalar; neftçıxarma əmsalının artırılması; karbon nanoburucuqları.