

КОНВЕРГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК НОВЕЙШЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ В РАЗВИТИИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н. А. Тюков, А. А. Тюков, С. Э. Гейдаров, В. С. Кудряшов, А. Л. Немчинова

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Добыча углеводородов как основного источника энергии в мире требует тщательного контроля. Контроль достигается за счет применения передовых технологий, обеспечивающих более рациональное и эффективное использование ресурсов. Большую перспективу на развитие любой промышленности в целом имеют технологии, которые получили заключительное развитие в смежных областях промышленности. Выявлено влияние конвергентных технологий на новейшие технологии в нефтяной промышленности. Рассмотрено воздействие развития конвергентных технологий на нефтегазовый комплекс в мире, отмечены основные проблемы, которые стоят перед областью добычи углеводородов. Представлены направления конвергентных технологий в контексте нефтегазового промысла: нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии. Рассматриваются основные примеры реализованных проектов конвергентных технологий непосредственно на месторождениях нефти. Выявлены различные пути внедрения нано-, био- и информационных технологий в сферу углеводородной промышленности, определены типовые случаи их применения, а также дальнейшая перспектива внедрения данных технологий не только в пластах, скважинах, но и на последующих этапах использования углеводородного сырья.

Ключевые слова: конвергентные технологии, нефтеотдача, нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии.

Для цитирования: Тюков Н. А., Тюков А. А., Гейдаров С. Э., Кудряшов В. С., Немчинова А. Л. Конвергентные технологии как новейшее направление в развитии нефтегазовой промышленности // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2020. № 2 (70). С. 14–20. DOI: 10.24143/1812-9498-2020-2-14-20.

Введение

В настоящее время наука находится на постнеклассической стадии развития и способна решать сложные задачи, которые возникают в глобализирующемся мире [1]. Вместе с тем перед наукой встают все более сложные проблемы, при решении которых необходимо применять современные многофункциональные технологии, что в свою очередь приводит к высоким темпам развития конвергентных технологий – группы инновационных высокотехнологических разработок современной науки. В состав группы входят нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии, зачастую исследователи используют аббревиатуру NBIC (Nano-Bio-Info-Cogtio).

Развитие конвергентных наук способствовало развитию целого ряда новых ответвлений от стандартных наук. Так, появились биомедицина, генная инженерия, нейронаука, информационные науки и т. д.

В нефтяной отрасли конвергентные науки тоже получили свое развитие. В первую очередь это связано с тем, что основная масса мировых запасов нефти ранее приходилась на легкоизвлекаемую часть. Однако в настоящий момент времени большинство легкоизвлекаемых запасов уже разработано, что вызывает необходимость смещения мировой разработки в сторону трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) углеводородов.

Под ТРИЗ понимают запасы месторождений, залежей или отдельных их частей, отличающиеся сравнительно неблагоприятными для извлечения геологическими условиями залегания нефти и/или физическими ее свойствами (сосредоточены в залежах с низкопроницаемыми коллекторами и вязкой нефтью).

Разработка ТРИЗ без применения современных технологий является нерентабельной, поскольку коэффициент нефтеотдачи будет небольшим, а значит, и количество добытой продукции не сможет окупить обустройство и разработку месторождения. В связи с этим появилась

необходимость исследования более совершенных технологий разработки нефтяных месторождений, которые позволят вести рентабельную добычу нефти. Решить данную проблему смогли при внедрении целого ряда современных конвергентных технологий, позволяющих увеличить коэффициент нефтеотдачи в месторождениях с ТриЗ.

Биотехнологии для повышения нефтеотдачи

Перспективным альтернативным подходом к добыче нефти является микробиологический способ повышения нефтеотдачи. Подобный метод был предложен еще в 1926 г. Дж. В. Бекманом и предполагает использование микроорганизмов для увеличения добычи нефти. Микробиологический метод представляет собой введение в нефть микроорганизмов с необходимыми питательными веществами, что при благоприятных условиях приведет к росту количества микроорганизмов в геометрической прогрессии, а продукты их метаболизма позволят мобилизовать остаточную нефть.

В настоящее время существует две стратегии, направленные на увеличение нефтеотдачи с применением биотехнологий: стимуляции пластовых или добавленных в пласт микроорганизмов для уменьшения вязкости нефти с дополнительным сокращением количества сырой вязкой нефти и вероятности образования парафинов и асфальтенов; увеличение стабильности водонефтяной эмульсии за счет продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.

Для реализации первого варианта можно использовать бактерии вида *Bacilli subtilis*. В результате проведенных исследований на четырех бразильских скважинах с температурой пласта около 40 °С выяснилось, что три штамма *Bacillus subtilis* разлагали высшие n-алканы (> C27) в анаэробных условиях, а процент n-алканов с цепями, содержащими менее 25 атомов углерода, увеличился по сравнению с контрольным образцом. Аналогичные исследования были проведены на китайских и японских месторождениях, где также была подтверждена эффективность такого рода воздействия [2].

Во втором случае наибольшее применение получили биосурфактанты – поверхностно-активные, разлагаемые органические соединения, вырабатываемые микроорганизмами при выращивании на несмешивающихся с водой субстратах. Они помогают уменьшить поверхностные межфазные натяжения, образуя стабильные водонефтяные эмульсии, что важно для максимальной добычи нефти. Микробные клетки играют важную роль на поверхности взаимодействия нефти и воды. Ученые выявили, что образовавшаяся водонефтяная эмульсия пропорциональна общей производимой биомассе и качество эмульсии увеличивается с увеличением количества биомассы. Микроорганизмы, как правило, находятся на границе раздела между нефтью и водой со смешанной смачиваемостью поверхности.

Нанотехнологии для повышения нефтеотдачи

Недавние стремительные достижения в разработке функциональных наночастиц и их новое использование в широком спектре медицинских, биологических, электронных и инженерных приложений открывают поистине захватывающие и уникальные возможности для нефтедобывающей промышленности. Последнее объясняется тем, что ключевые процессы разведки и добычи нефти в основном происходят в пористых породах глубоко под землей, а наноразмерные частицы, разработанные для выполнения определенных задач в удаленных нефтяных коллекторах, теперь могут перемещаться на большие расстояния через поры пород, достигая целевого местоположения и выполняя требуемую функцию.

Одним из способов применения наночастиц для увеличения нефтеотдачи является применение пен CO₂, стабилизированных наночастицами диоксида кремния при различной солености, твердости и температурных режимах [3]. Чтобы проверить эффективность такого рода пен при их течении в породах коллектора, несколько исследователей измеряли вязкость пены в зависимости от соотношения CO₂ / вода, солености, давления и концентрации наночастиц в стеклянных шариках, песчаных отложениях, керны песчаника и керны карбонатных пород. Рисунок 1 иллюстрирует зависимость вязкости пены от концентрации наночастиц, соотношение CO₂ / соляного раствора в песчаной набивке при эффективной скорости сдвига 1 300 с⁻¹, $p = 103,4$ бар и $T = 22$ °С. Границей получения стабильной пены является концентрация наночастиц всего 0,05 % масс. [4, 5].

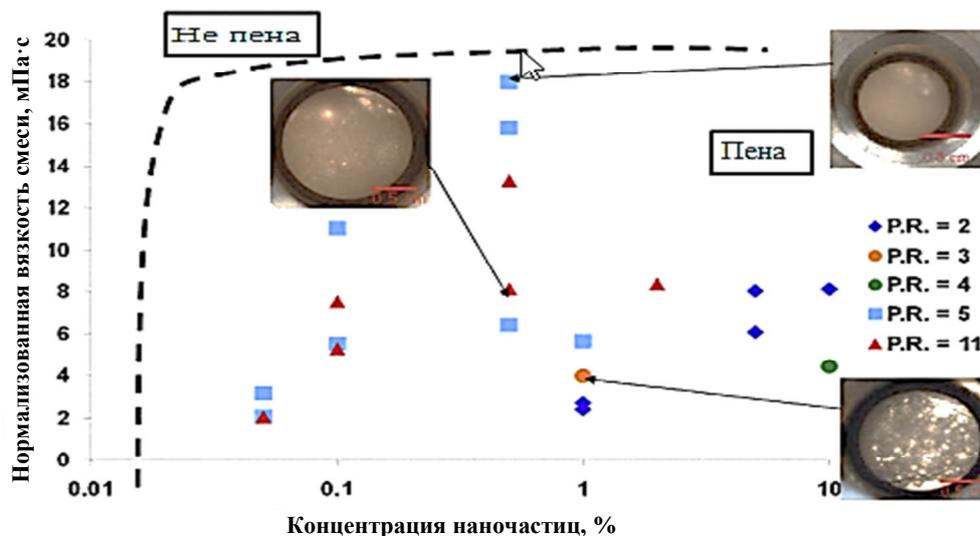


Рис. 1. Зависимость вязкости смеси от концентрации наночастиц диоксида кремния

Еще один инновационный способ получения пен CO_2 , стабилизированного наночастицами, для увеличения нефтеотдачи заключается в использовании nanoизмельченной летучей золы в качестве стабилизатора. Летучая зола представляет собой отходы от сжигания растений в виде угля с небольшой или отрицательной стоимостью. Этот метод имеет двойное преимущество – изолирует не только CO_2 , но и летучую золу. Кроме того, недавно были сгенерированы наноразмерные частицы летучей золы с помощью мощной обработки ультразвуком, а не наномолота, как это делали ранее [6].

Как и вышеописанные виды пен, стабилизированные наночастицами эмульсии имеют аналогичные преимущества перед стабилизированными поверхностно-активными веществами и могут улучшить контроль мобильности для процесса извлечения тяжелой нефти (рис. 2) [7].

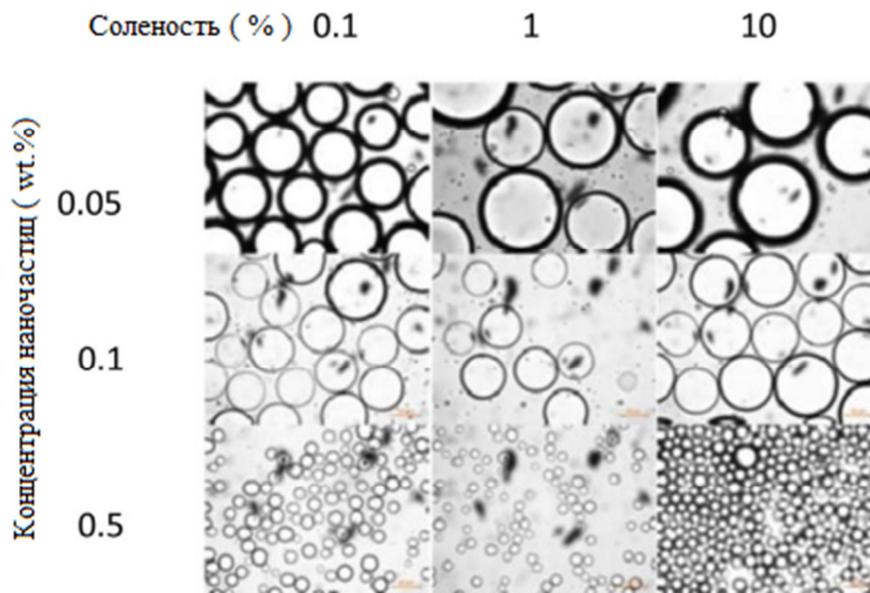


Рис. 2. Микроскопические изображения капель эмульсии декана в воде, стабилизированной наночастицами, с различной концентрацией наночастиц при различной солености

Стабильная эмульсия типа «нефть в воде» была получена за счет синергии между поверхностно-активными веществами (катионными, анионными, неионогенными и цвиттер-ионными поверхностно-активными веществами) и гидрофильными наночастицами диоксида кремния, о чем свидетельствует получение наиболее стабильной эмульсии с катионными поверхностно-активными веществами и наночастицами. Следует отметить, что недавние исследования применения нанолитов на основе графена для стабилизации эмульсий, которые могут быть использованы для контроля подвижности, заслуживают внимания, поскольку эмульсия может быть стабилизирована с чрезвычайно малой массы [8].

Проводятся исследования в области увеличения нефтеотдачи за счет изменения смачиваемости пород. Разработка в области изменения смачиваемости заключается в изменении топологии поверхности. Происходит резкое отклонение от традиционного подхода к изменению смачиваемости путем химической модификации твердой поверхности.

Исследователи из Национальной лаборатории Ок-Ридж и многие другие сформировали эффективно организованные наноразмерные поверхностные структуры (выступы), которые используют капиллярную силу для предотвращения смачивания твердой поверхности не только гидрофильными жидкостями (например, вода), но также липофильными (например, углеводороды). Вследствие значительного поверхностного натяжения между жидкостью и воздухом структурированные наноразмерные выступы могут удерживать воздух в промежутках между выступами и препятствовать смачиванию твердой поверхности любыми жидкостями.

Информационные технологии для повышения нефтеотдачи

Данный вид когерентных технологий не воздействует на нефтяной пласт напрямую, а позволяет за счет полного сбора, хранения и обработки информации оптимизировать непосредственно процесс разработки месторождения. Применение информационных технологий в современных условиях имеет большие перспективы, поскольку большинство легкоизвлекаемых запасов углеводородов уже добыто, а ТРИЗ требуют более совершенных систем разработки, к которым и относятся информационные технологии.

Первым примером может послужить технология интеллектуального заканчивания. Интеллектуальные системы заканчивания скважин представляют собой единый комплекс со сложным дизайном, состоящий из инструментов управления, выравнивания притока или приемистости при одновременно-раздельной эксплуатации/закачке (ОРЭ/ОРЗ), а также систем внутрискважинного мониторинга (в различных зонах и боковых стволах) и систем контроля или аварийного закрытия. Подобный универсальный комплекс позволяет локально автоматизировать и оптимизировать процесс выработки/заводнения пласта или объекта в целом, а также может автономно работать и дистанционно управляться.

Сегодня в России наблюдается медленно-положительная динамика внедрения обозначенной технологии как отечественными, так и иностранными нефтегазодобывающими компаниями, работающими на территории России. Динамика обусловлена началом освоения новых месторождений, таких как морские, автономные, со сложными геологическими условиями добычи углеводородов, относящихся к ТРИЗ, а также активов, где реализованы инновационные подходы и существуют возможности проводки и строительства подобных скважин. Внедрением сложных по исполнению и конструкционным особенностям «умных скважин» занимаются преимущественно компании, осуществляющие разработку углеводородов на континентальном шельфе России (в Охотском, Каспийском и Баренцевом морях).

Другим примером информационных технологий служит интеллектуальное заводнение. В работе [9] было рассмотрено интеллектуальное заканчивание нагнетательных скважин с целью увеличения добычи и использования трещин для поочередной помощи нагнетательной и добывающей скважинам. Нагнетательная скважина разбивалась на индивидуально управляемые сегменты, действующие как независимые инжекторы. Управляющие течением клапаны ISV инсталлировались на насосно-компрессорных трубах вдоль скважины в обсаженном или открытом забое вместе с изолирующими пакерами. По мере увеличения обводненности в добывающей скважине определялся интервал для закрытия в нагнетательной скважине, для чего последовательно тестировались все ее сегменты. В результате был выявлен интервал, ответственный за «короткое замыкание» по воде. Действующие как продолжение нагнетательной скважи-

ны трещины с высоким давлением не переставали питать добывающую скважину, допуская приток не только воды, но и нефти из ранее находившейся под давлением матрицы. Смоделированный цикл поддержания давления продемонстрировал значительное увеличение полноты охвата вытеснением.

Заключение

В настоящее время человечество находится на этапе развития науки, в котором прогресс имеет ощутимое влияние на жизнь каждого человека. Способности освоить направление конвергентных технологий приводят к возможности использования мира микроорганизмов, а также наночастиц и информации наиболее эффективно, чем когда-либо было возможно за все время существования человека. Особое влияние на развитие энергетики в мире оказывают нанотехнологии, которые буквально пронизывают все области энергетического цикла. В перспективе развитие нанотехнологий позволит вывести человечество на новый уровень использования энергии и природы вещества. В идеале нанотехнологии также должны решить проблему индустриального производства любых необходимых веществ, а также создать совершенно новые возможности энергоснабжения общества, особенно в области извлечения энергоресурсов. Все это может привести к нанотехнологической революции, свидетелями которой мы могли бы стать уже в ближайшее время [10]. Очень важно, что NBIC-технологии применяются и развиваются в направлении нефтегазового комплекса, основного энергетического источника общества в современных условиях. Таким образом, конвергентные технологии в будущем позволят наиболее рационально использовать все имеющиеся углеводородные ресурсы планеты, что благоприятно скажется на развитии общества в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стенун В. С.* История и философия науки. М.: Академический проект, 2011. 423 с.
2. *Gudiña E. J., Pereira J. F. B., Rodrigues L. R., Coutinho J. A. P., Teixeira J. A.* Isolation and study of microorganisms from oil samples for application in microbial enhanced oil recovery // *International Biodeterioration Biodegradation*. 2012. N. 68. P. 56–64.
3. *Dickson J. L., Binks B. P., Johnston K. P.* Stabilization of carbon dioxide in water emulsion with silica nanoparticles // *Langmuir*. 2004. N. 20 (19). P. 7976–7983.
4. *Espinoza D. A., Caldelas F. M., Johnston K. P., Bryant S. L., Huh C.* Nanoparticle-stabilized supercritical CO₂ foams for potential mobility control applications (SPE 129925) // *SPE Improved Oil Recovery Symposium*. Tulsa, OK, USA, 2010, 24–28 April. URL: <https://doi.org/10.2118/129925-MS> (дата обращения: 07.10.2020).
5. *Aroonsri A., Worthen A. J., Hariz T., Johnston K. P., Huh C., Bryant S. L.* Conditions for generating nanoparticle-stabilized CO₂ foams in fracture and matrix flow (SPE 166319) // *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, New Orleans, LA, USA, 2013, 30 September - 02 October. URL: <https://doi.org/10.2118/166319-MS> (дата обращения: 07.10.2020).
6. *Lee D., Cho H., Lee J., Huh C.* Fly ash nanoparticles as a CO₂ foam stabilizer // *Powder Technology*. 2015. N. 283. P. 77–84.
7. *Zhang T., Roberts M., Bryant S. L., Huh C.* Foams and emulsions stabilized with nanoparticles for potential conformance control applications (SPE 121744) // *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*, the Woodlands, TX, USA, 2009, 20–22 April. URL: <https://doi.org/10.2118/121744-MS> (дата обращения: 07.10.2020).
8. *Luo D., Wang F., Zhu J., Cao F., Liu Y., Li X., Willson R. C., Yang Z., Chu C.-W., Ren Z.* Nanofluid of graphene-based amphiphilic Janus nanosheets for tertiary or enhanced oil recovery: high performance at low concentration // *Proceedings National Academy of Sciences*. USA. 2016. P. 113 (28). P. 7711–7716.
9. *Arenas E., Dolle N.* Smart waterflooding tight fractured reservoirs using inflow control valves // Paper SPE 84193 prepared for presentation at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition (Denver, Colorado, 05–08 October 2003). 16 p.
10. *Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom*. Washington D. C.: National Science and Technology Council, 1999. URL: <https://ru.scribd.com/document/167561961/Nanotechnology-Shaping-the-world-atom-by-atom> (дата обращения: 09.10.2020).

Статья поступила в редакцию 15.10.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тюков Николай Алексеевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефти и газа; Lokeyas555@mail.ru.

Тюков Андрей Алексеевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефти и газа; Lokeyas13@mail.ru.

Гейдаров Салам Эльшан-оглы – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефти и газа; salam.heydarov@gmail.com.

Кудряшов Владимир Сергеевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефти и газа; Kudryashov98.98@mail.ru.

Немчинова Анна Леонидовна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. филос. наук, доцент; доцент кафедры гуманитарных и естественных наук; dnem@yandex.ru.



CONVERGENT TECHNOLOGIES AS TREND IN OIL AND GAS INDUSTRY DEVELOPMENT

N. A. Tyukov, A. A. Tyukov, S. E. Geidarov, V. S. Kudryashov, A. L. Nemchinova

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The article describes the extraction of hydrocarbons as the main source of energy in the world that requires careful control. The control is achieved by means of the advanced technologies that ensure a more rational and efficient use of resources. Technologies that have received great development in related areas of industry have a great perspective for the development of any industry as a whole. The influence of convergent technologies on the advanced technologies in the oil industry has been stated. The impact of the convergent technologies development on the oil and gas complex in the world, as well as the main problems facing the field of hydrocarbon production have been considered. The trends in convergent technologies in oil and gas production are presented: nanotechnology, biotechnology, information technology. The main examples of implemented projects of convergent technologies directly in oil fields are considered. The main ways of introducing nano-, bio- and information technologies in the hydrocarbon industry have been identified, the typical cases of their application were defined, as well as the further prospect of introducing these technologies not only in formations, wells, but also at subsequent stages of the use of hydrocarbons.

Key words: convergent technologies, oil recovery, nanotechnology, biotechnology, information technology.

For citation: Tyukov N. A., Tyukov A. A., Geidarov S. E., Kudryashov V. S., Nemchinova A. L. Convergent technologies as trend in oil and gas industry development. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2020;2 (70):14-20. (In Russ.) DOI: 10.24143/1812-9498-2020-2-14-20.

REFERENCES

1. Stepin V. S. *Istoriia i filosofii nauki* [History and philosophy of science]. Moscow, Akademicheskii proekt Publ., 2011. 423 p.
2. Gudiña E. J., Pereira J. F. B., Rodrigues L. R., Coutinho J. A. P., Teixeira J. A. Isolation and study of microorganisms from oil samples for application in microbial enhanced oil recovery. *International Biodeterioration Biodegradation*, 2012, no. 68, pp. 56-64.

3. Dickson J. L., Binks B. P., Johnston K. P. Stabilization of carbon dioxide in water emulsion with silica nanoparticles. *Langmuir*, 2004, no. 20 (19), pp. 7976-7983.
4. Espinoza D. A., Caldelas F. M., Johnston K. P., Bryant S. L., Huh C. Nanoparticle-stabilized supercritical CO₂ foams for potential mobility control applications (SPE 129925). *SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, OK, USA, 2010, 24-28 April*. Available at: <https://doi.org/10.2118/129925-MS> (accessed: 07.10.2020).
5. Aroonsri A., Worthen A. J., Hariz T., Johnston K. P., Huh C., Bryant S. L. Conditions for generating nanoparticle-stabilized CO₂ foams in fracture and matrix flow (SPE 166319). *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, LA, USA, 2013, 30 September - 02 October*. Available at: <https://doi.org/10.2118/166319-MS> (accessed: 07.10.2020).
6. Lee D., Cho H., Lee J., Huh C. Fly ash nanoparticles as a CO₂ foam stabilizer. *Powder Technology*, 2015, no. 283, pp. 77-84.
7. Zhang T., Roberts M., Bryant S. L., Huh C. Foams and emulsions stabilized with nanoparticles for potential conformance control applications (SPE 121744). *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, the Woodlands, TX, USA, 2009, 20-22 April*. Available at: <https://doi.org/10.2118/121744-MS> (accessed: 07.10.2020).
8. Luo D., Wang F., Zhu J., Cao F., Liu Y., Li X., Willson R. C., Yang Z., Chu C.-W., Ren Z. Nanofluid of graphene-based amphiphilic Janus nanosheets for tertiary or enhanced oil recovery: high performance at low concentration. *Proceedings National Academy of Sciences, USA, 2016, no. 113 (28)*, pp. 7711-7716.
9. Arenas E., Dolle N. Smart waterflooding tight fractured reservoirs using inflow control valves. *Paper SPE 84193 prepared for presentation at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition (Denver, Colorado, 05-08 October 2003)*. 16 p.
10. *Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom*. Washington D. C.: National Science and Technology Council, 1999. Available at: <https://ru.scribd.com/document/167561961/Nanotechnology-Shaping-the-world-atom-by-atom> (accessed: 09.10.2020).

The article submitted to the editors 15.10.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tyukov Nikolay Alekseevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Master's Course Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Lokeyas555@mail.ru.

Tyukov Andrey Alekseevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Master's Course Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Lokeyas13@mail.ru.

Geydarov Salam El'shan-ogly – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Master's Course Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas fields; salam.heydarov@gmail.com.

Kudryashov Vladimir Sergeevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Master's Course Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas fields; Kudryashov98.98@mail.ru.

Nemchinova Anna Leonidovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Philosophical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Humanities and Psychology; dnem@yandex.ru.

