

Научная статья
УДК 574.2
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-70-74>
EDN GXRDIM

Методы повышения нефтеотдачи: исследование новых технологий для увеличения извлечения углеводородов из зрелых месторождений

**Жанна Ибрагимовна Нурмакова[✉],
Рената Серикқызы Мерамгалиева, Олег Павлович Митрофанов**

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, nurmak@yandex.ru[✉]*

Аннотация. Нанотехнологии в добыче нефти существенно повышают эффективность процесса, уменьшают энергозатраты и способствуют более экологически безопасной работе отрасли. В статье рассмотрены основные направления применения наноматериалов и нанотехнологий на этапах разведки, бурения, добычи и переработки углеводородов. Ключевые аспекты включают: наноматериалы для повышения проницаемости пород и снижения вязкости нефти за счет наноэмульсий и наногелей; модификацию свойств нефти и увеличение нефтеотдачи за счет взаимодействия наночастиц с углеводородами; системы мониторинга и анализа на основе наносенсоров для контроля давления, температуры и состава флюидов в реальном времени; улучшение условий гидравлического разрыва пласта за счет наноматериалов, снижающих трение и предотвращающих образование отложений; нанокатализаторы для повышения эффективности переработки и снижения энергозатрат; использование наномоделей и компьютерного моделирования для более точного понимания взаимодействий нефти и пород; экологические преимущества, включая снижение отходов, углеродного следа и улучшение устойчивости процессов. Особое внимание уделено износостойкости бурового оборудования, сделан вывод, что нанопокртия и смазочные добавки снижают износ и продлевают срок службы. Рассмотрены перспективы интеграции нанотехнологий с биотехнологиями и цифровыми методами, а также сравнительный анализ технологий по экономической эффективности и экологическим эффектам для устойчивого развития нефтяной отрасли.

Ключевые слова: нанотехнологии в нефтеотдаче, зрелые месторождения, нефтегазовый сектор, энергетика, газовые инъекции

Для цитирования: Нурмакова Ж. И., Мерамгалиева Р. С., Митрофанов О. П. Методы повышения нефтеотдачи: исследование новых технологий для увеличения извлечения углеводородов из зрелых месторождений // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2025. № 4. С. 70–74 <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-70-74>. EDN GXRDIM.

Original article

Methods of enhanced oil recovery: the study of new technologies to increase the extraction of hydrocarbons from mature deposits

Zhanna I. Nurmalova[✉], Renata S. Meramgaliyeva, Oleg P. Mitrofanov

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, nurmak@yandex.ru[✉]*

Abstract. Nanotechnology in oil production significantly increases the efficiency of the process, reduces energy consumption and contributes to a more environmentally friendly industry. The article considers the main directions of application of nanomaterials and nanotechnologies at the stages of exploration, drilling, production and processing of hydrocarbons. Key aspects include: nanomaterials for increasing rock permeability and reducing oil viscosity due to nanoemulsions and nanogels; modification of oil properties and increased oil recovery due to the interaction of nanoparticles with hydrocarbons; Nanosensor-based monitoring and analysis systems for monitoring pressure, temperature, and fluid composition in real time; improved hydraulic fracturing conditions through nanomaterials that reduce fric-

tion and prevent sediment formation; nano-catalysts to increase processing efficiency and reduce energy consumption; the use of nanomodels and computer modeling to better understand the interactions of oil and gas, rocks; environmental benefits, including reduced waste, carbon footprint, and improved process sustainability. Special attention is paid to the wear resistance of drilling equipment, and it is concluded that nanocoats and lubricants reduce wear and prolong service life. The prospects for the integration of nanotechnology with biotechnology and digital methods are discussed, as well as a comparative analysis of technologies for economic efficiency and environmental effects for the sustainable development of the oil industry.

Keywords: nanotechnology in oil recovery, mature fields, oil and gas sector, energy, gas injections

For citation: Nurmaloova Zh. I., Meramgaliyeva R. S., Mitrofanov O. P. Methods of enhanced oil recovery: the study of new technologies to increase the extraction of hydrocarbons from mature deposits. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2025;4:70-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-70-74>. EDN GXRDIM.

Введение

Секторы энергетики и нефтедобычи играют ключевую роль в мировой экономике. С учетом постоянного роста потребности в энергоносителях и истощения легкоизвлекаемых запасов углеводородов, задачей нефтяных компаний становится стремление к повышению нефтеотдачи из зрелых месторождений. Зрелые месторождения, как правило, характеризуются высокой степенью выработки и сложностью процессов извлечения нефти, что ставит перед научным сообществом и промышленностью ряд сложных вопросов, как максимально эффективно увеличить количество добываемых ресурсов.

В последние десятилетия наблюдается значительный прогресс в области технологий, связанных с повышением нефтеотдачи. Научные исследования и практические разработки направлены на внедрение новых методов и технологий, таких как термические, извлекающие и химические методы, а также на сочетание традиционных и инновационных подходов. Эти усилия помогают исследовать возможности не только для повышения извлечения углеводородов, но и для минимизации воздействия на окружающую среду.

В статье рассмотрены ключевые современные технологии и методы, используемые для повышения нефтеотдачи, а также актуальные научные исследования в этой области. Особое внимание уделено инновационным решениям, которые позволяют оптимизировать процессы добычи в зрелых месторождениях, понимание того, как новые подходы могут изменить существующие практики в нефтедобыче, способствуя более эффективному использованию углеводородных ресурсов в условиях растущего мирового спроса [1].

Современные технологии и методы, используемые для повышения нефтеотдачи (Enhanced Oil Recovery, EOR), играют ключевую роль в увеличении объемов извлечения нефти из месторождений.

Основные подходы можно разделить на три категории.

1. Термические методы.

– паровый подъем – нагрев воды до парового состояния и закачка в пласт для снижения вязкости нефти – особенно эффективный для вязких нефтей;

– in-situ сжигание – сжигание части нефти в пласте для увеличения температуры и снижения вязкос-

ти оставшейся нефти.

2. Газовые методы:

– закачка CO₂ – закачка диоксида углерода в пласты для увеличения давления CO₂ и растворения газа в нефти, что способствует ее вытеснению;

– газовые инъекции – введение других газов, таких как метан или азот, для повышения давления и улучшения вытеснения нефти.

3. Химические методы:

– промывка с поверхностно-активными веществами (ПАВ) – использование химикатов, которые снижают поверхностное натяжение и увеличивают смачиваемость водной фазы, чтобы улучшить извлечение нефти;

– использование полимерных растворов для увеличения вязкости воды, что помогает улучшить пленкообразование и распределение флюидов в пласте.

Научные исследования в области повышения нефтеотдачи продолжают развиваться. Основные направления включают:

1) использование нанотехнологий: разрабатываются новые материалы, которые могут эффективно взаимодействовать с нефтью и улучшать вытеснение;

2) моделирование и симуляция: использование вычислительных технологий для создания более точных моделей процессов в пласте;

3) биотехнологии: изучаются возможности использования биосистем (например, микроорганизмов) для улучшения нефтеотдачи;

4) новые химические композиции: проводятся исследования по созданию новых химических составов для применения в процессе EOR (Enhanced oil recovery), которые могут быть более эффективными и менее вредными для окружающей среды [2].

Нанотехнологии при добыче нефти

Нанотехнологии при добыче нефти повышают эффективность и экологичность процесса, улучшая извлечение углеводородов и снижая негативное воздействие на окружающую среду.

Использование нанотехнологий для повышения нефтеотдачи является одной из наиболее перспективных областей в добыче углеводородов, что связано с возможностью улучшения извлечения нефти и газа из сложных и труднодоступных месторождений. Нанотехнологии предоставляют новые инструменты и методы, которые могут значительно повы-

ситель эффективность процессов извлечения углеводородов. К некоторым ключевым аспектам применения нанотехнологий в этой области относятся:

1) наноматериалы для улучшения проникновения. Наночастицы могут быть использованы для создания новых химических реагентов, которые увеличивают проницаемость пород. Например, наноэмульсии и наногелии могут способствовать снижению вязкости нефти, что облегчает ее перемещение через поры в геологических слоях;

2) модификация свойств нефти. Наночастицы могут взаимодействовать с углеводородами, изменяя их физико-химические свойства, что приводит к снижению вязкости, улучшению потока нефти и в итоге способствует увеличению добычи;

3) системы мониторинга и анализа. Нанотехнологии позволяют создавать сенсоры, которые могут быть использованы для мониторинга состояния скважин и изучения геологических слоев, способные обнаруживать изменения в составе жидкости или давления, что оптимизирует процесс добычи;

4) улучшение кондиционирования воды. Наноматериалы могут быть использованы для улучшения свойств воды при проведении гидравлического разрыва пласта (ГРП). Например, применяются более эффективные добавки, снижающие трение и предотвращающие образование отложений;

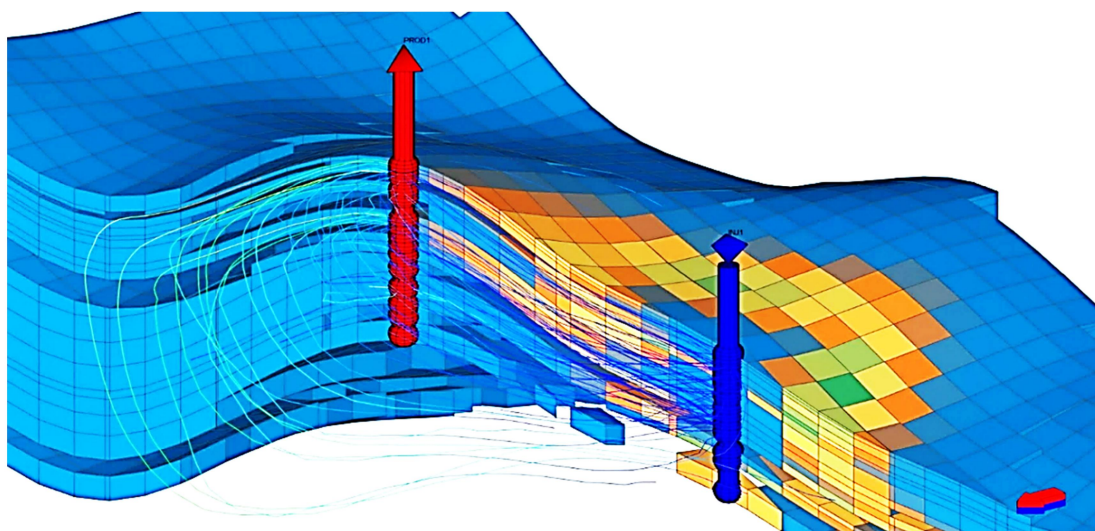
5) наноспецифические катализаторы. Нанокатализаторы могут применяться для более эффективной переработки углеводородов и увеличения выхода ценных продуктов, способные ускорять химические реакции при более низких температурах

и давлениях, что снижает затраты и повышает экологическую безопасность процессов;

6) оценка резервуаров и моделирование. Использование наномodelей и компьютерного моделирования на наноуровне способствует лучшему пониманию сложных взаимодействий между углеводородами и горными породами, что дает более точное определение месторождений и потенциальной нефтеотдачи;

7) устойчивость и экология. Снижение негативного воздействия на окружающую среду – еще одно важное направление. Нанотехнологии могут способствовать более чистым процессам, которые минимизируют отходы и уменьшают углеродный след при добыче нефти.

Наноматериалы играют ключевую роль в повышении износостойкости буровых инструментов благодаря своей уникальной структуре и свойствам. Они позволяют создавать покрытия и компоненты с повышенной твердостью, устойчивостью к коррозии и химическим воздействиям, что значительно увеличивает срок службы оборудования. Например, наночастицы карбида вольфрама или нитрида титана могут быть использованы для нанесения износостойких покрытий на режущие поверхности буровых долот, что позволяет им выдерживать экстремальные нагрузки и температуры, характерные для процесса бурения (рис.). Кроме того, нанотехнологии помогают улучшить смазочные свойства буровых растворов, снижая трение и износ оборудования, что в свою очередь способствует увеличению его срока эксплуатации.



Нанотехнологии при добыче нефти

Nanotechnology in oil production

Нанодобавки играют ключевую роль в увеличении нефтеотдачи пластов и улучшении процесса добычи нефти. Эти микроскопические частицы обладают уникальными свойствами, такими как высокой адсорбцией и способностью проникать

в труднодоступные участки породы. Применение нанодобавок позволяет увеличить площадь контакта между нефтью и породой, что приводит к более эффективному извлечению углеводородов. Кроме того, наночастицы могут стимулировать процессы,

такие как каталитическое разложение остаточной нефти, что дополнительно увеличивает объем извлекаемых ресурсов [3].

Наносенсоры для мониторинга состояния скважин играют ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности добычи нефти. Благодаря своим малым размерам и высокой чувствительности они способны обнаруживать мельчайшие изменения в условиях эксплуатации скважин, например, давления, температуры и химического состава среды, передавать данные в реальном времени, позволяя операторам своевременно реагировать на потенциальные проблемы: утечки, коррозию или образование пробок. Использование наносенсоров значительно снижает затраты на обслуживание и ремонт, повышает производительность и продлевает срок службы оборудования.

Нанофильтрация – современный эффективный и инновационный метод очистки воды и нефти, который применяют для удаления загрязнений на молекулярном уровне, повышая селективность и производительность. Например, используются мембраны с наноразмерными порами.

Нанотехнологии применяются в различных отраслях промышленности, включая нефтедобычу, повышают ее экологичность и энергоэффективность, причем без использования химических реагентов. Подходит для повторного использования в производственных процессах, например очищенной воды. Нанотехнологии повышают эффективность и снижают затраты при добыче нефти, экономически выгодны, просты в эксплуатации.

Нанотехнологии позволяют значительно увеличить нефтеотдачу, повышая эффективность бурения и улучшая процессы добычи. Снижение затрат на бурение происходит путем повышения эффективности бурительных растворов и продления срока службы оборудования. Эффективность очистки оборудования в нефтедобыче повышается, используя специальные покрытия и фильтры, что снижает

затраты и увеличивает срок службы техники. Позволяют значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду, улучшая процессы переработки и экологические показатели и уменьшая выбросы углекислого газа.

Перспективы будущих исследований

В дальнейших исследованиях необходимо сосредоточиться на усовершенствовании существующих методов и разработке новых, интегрирующих в себя биотехнологии, нанотехнологии и цифровизацию. Сравнительный анализ различных технологий, их экономическая эффективность и влияние на экологию должны быть ключевыми аспектами будущих исследований в области повышения нефтеотдачи.

Эффективное использование технологий и методов повышения нефтеотдачи должно оставаться в центре внимания как исследователей, так и нефтяных компаний, стремящихся к обеспечению энергетической безопасности и устойчивому развитию.

Заключение

Повышение нефтеотдачи из зрелых месторождений – это сложная и многогранная задача, требующая интеграции различных технологий и мультидисциплинарного подхода. Исследования в этой области продолжают открывать новые возможности, что позволяет повысить эффективность извлечения углеводородов и оптимизировать процессы в нефтяной промышленности.

Применение нанотехнологий для повышения нефтеотдачи представляет собой многообещающее направление, которое может значительно изменить подходы к добыче углеводородов. Исследования и разработки в этой области продолжаются, возможны дальнейшие прорывы, которые будут способствовать и повышению экономической эффективности добычи, и обеспечению экологической устойчивости.

Список источников

1. Guo Y. et al. Review of Current Enhanced Oil Recovery Techniques: A Focus on Chemical and Biological Methods // *Energy*. 2020. N. 214. P. 118889.
2. Mishra S., Ghosh P. Recent Advances in Enhanced Oil Recovery Techniques: A Review // *Journal of Petroleum*

Science and Engineering. 2021. N. 194. P. 107695.

3. Алиханов Б. и др. Нанотехнологии в повышении нефтеотдачи пластов: проблемы и перспективы // *Нефть и газ*. 2020. № 118 (10). С. 40–47.

References

1. Guo Y. et al. Review of Current Enhanced Oil Recovery Techniques: A Focus on Chemical and Biological Methods. *Energy*, 2020, no. 214, p. 118889.
2. Mishra S., Ghosh P. Recent Advances in Enhanced Oil Recovery Techniques: A Review. *Journal of Petroleum*

Science and Engineering, 2021, no. 194, p. 107695.

3. Alihanov B. i dr. Nanotekhnologii v povyshenii nefteotdachi plastov: problemy i perspektivy [Nanotechnology in enhancing oil recovery: problems and prospects]. *Neft' i gaz*, 2020, no. 118 (10), pp. 40-47.

Статья поступила в редакцию 25.09.2025; одобрена после рецензирования 07.11.2025; принята к публикации 05.12.2025
The article was submitted 25.09.2025; approved after reviewing 07.11.2025; accepted for publication 05.12.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Жанна Ибрагимовна Нурмакова – кандидат биологических наук; доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; nurmak@yandex.ru

Рената Серикқызы Мерамгалиева – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; ms.renaissance@mail.ru

Олег Павлович Митрофанов – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; Visxo2015@yandex.ru

Janna I. Nurmakova – Candidate of Biological Sciences; Assistant Professor of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; nurmak@yandex.ru

Renata S. Meramgaliyeva – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; ms.renaissance@mail.ru

Oleg P. Mitrofanov – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; Visxo2015@yandex.ru

