

## Состояние и перспективы применения нанотехнологий в нефтегазодобыче

R.M. Sattarov, d.t.n.,  
I.R. Sattarzada, t.e.n.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Fluor Enterprises Inc

**Ключевые слова:** нанотехнология, нефтегазодобыча, наноструктура, нефтеотдача, гидрофобизация, наночастица, наножидкость, наносенсор, магнитно-резонансная томография, сканирующий туннельный микроскоп.

e-mail: r.sattarov@yahoo.com

### Neftqazıxırmada nanotexnologiyaların tətbiqinin vəziyyəti və perspektivləri

R.M. Sattarov, t.e.d.,  
I.R. Sattarzada, t.e.n.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Fluor Enterprises Inc

**Açar sözlər:** nanotexnologiya, neftqazıxırma, nanostruktur, neftverimi, hidrofobizasiya, nanozərrəcik, nanomayə, nanosensor, maqnit-rezonans tomoqrafiyası, skanli tunel mikroskopu.

Məqalədə neft və qaz hasilatında nanotexnologiyaların tətbiqinin perspektivləri və tətbiqatının müasir vəziyyəti nəzərdən keçirilmiş və qiymətləndirilmişdir. Nanozərrəciklərin və müxtəlif kimyəvi və polimer komponentlərin istifadəsinə əsaslanan bəzi nanotexnologiyalar neft və qazın müxtəlif texnoloji proseslərində tahlil edilmişdir.

Neft və qaz hasilatı proseslərinin idarə edilməsinin səmərəliliyini artırmaq üçün müasir eksperimental avadanlıq və alətlərlə, həmçinin nanomateriallarla təmin edilməsi, eləcə də nanosənviyada prosesləri təsvir edən yeni riyazi modellərin inkişafı ilə bağlıdır.

Müəyyən edilmişdir ki, nanosensornun yaranması neft və qaz yataqlarının işlənməsində və istismarında çox perspektivli ola bilər.

### State and employment prospects of nanotechnologies in oil-gas production

R.M. Sattarov, Dr. in Tech. Sc.,  
I.R. Sattarzada, Cand. in Tech. Sc.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Fluor Enterprises Inc.

**Keywords:** nanotechnology, oil-gas production, nanostructure, oil recovery, hydrophobization, nanoparticle, nanofluid, nanosensor, magnetic resonance imaging, scanning tunnel microscope.

The paper reviews and estimates the studies of current state and employment prospects of nanotechnologies in oil and gas production.

The analysis of some nanotechnologies based on the application of nanoparticles and various chemical and polymeric components in different technological processes of oil and gas production as well have been carried out.

It is shown that further efficiency increase of process management of oil and gas production is inextricably connected with supply of up-to-date experimental equipment and devices, nanomaterials, as well as with the development of state-of-the-art mathematic models describing the processes on nanolevel.

It was revealed that the buildup of nanosensors can be enormously prospective in the development of oil and gas fields.

Разработка, мониторинг и управление различными технологическими процессами нефтегазодобычи, изначально, так или иначе, были связаны с элементами нанотехнологий, вследствие того что скважинная продукция представляет собой смесь нефти, газа и воды, при определенных условиях проявляющихся как дисперсные системы на наноуровне. Несмотря на то, что многие давно исследуемые технологические процессы нефтегазодобычи на макроуровне учитывали явления, происходящие на наноуровне, термин нанотехнология возник относительно недавно. При этом следует разделять термины наноинженерия и нанотехнология. Нанонаука, как правило, описывает исследование явления и принципы поведения материалов и процессов на уровне наноструктур, в то время как нанотехнология имеет дело с разработкой, созданием и использованием материалов и объектов, а также с исследованием конкретных технологических процессов на основе наноразмерного масштаба [1, 2].

Технологические процессы нефтегазодобычи, в основном, сводятся к процессам течения неомогенных жидкостей в пористых средах и трубах, которые во многом определяются капиллярными и молекулярно-поверхностными явлениями, протекающими на границах раздела фаз как между флюидами, так и между флюидами и твердой поверхностью (А.Х. Мирзаджанзаде и др., 1985, 1999, Р.М. Саттаров, 1999). Регулирование технологических процессов нефтегазодобычи и

нефтегазоотдачи связано с регулированием смачиваемости, ионообменом, дисперсностью углеводородных фаз, физико-химическим составом реагентов в нефтевогазовых системах, а также технологиями применения различных добавок химических реагентов и воздействия физических полей.

На протяжении последних двух-трех десятилетий для решения множества проблем нефтегазовой промышленности широко используются теоретические и прикладные нанотехнологические разработки. В этой связи определенный интерес представляет анализ результатов использования и перспективы применения нанотехнологий в различных процессах разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

1. Первые попытки применения поверхностно-активных веществ (ПАВ) в нефтепромысловой практике, первоначально использовавшихся индивидуально, можно отнести к середине прошлого столетия. Начиная с 1970-х гг. наибольшее применение получили композиции, основанные на совместной закачке полимеров, ПАВ, кислот, щелочей и растворителей, обладающих синергическим эффектом совместного действия, а также совместное использование физических методов (электромагнитное воздействие, акустическое воздействие, вибровоздействие) и нефтewытесняющих агентов. В соответствии с результатами исследований по нефтеотдаче, применение уже освоенных современных технологий позволяет увеличивать средний проектный коэффициент извлечения нефти (КИН) в ближайшие годы до 50 %, что подразумевает повышение доказанных мировых извлекаемых запасов нефти предположительно в 1.4 раза [3].

Естественно, значение КИН существенно зависит от возможности проникновения закачиваемой системы во все доступные места нефтяного пласта. При этом коэффициент вытеснения очень сильно может отличаться от расчетного в силу неоднородности порового пространства и действия капиллярных сил, которые характеризуются взаимодействием частиц на наноуровне. Все эти причины в основном определяются разницей подвижностей воды и нефти, количеством слоев в пласте с разной проницаемостью,

плотностью и сопротивлением, а также количеством разнообразных неоднородностей, что в свою очередь влияет на площадь охвата нефтяного пласта в процессе заводнения.

Исследованиями установлено, что значительное повышение эффективности нефтеотдачи пласта может быть достигнуто путем снижения сопротивления капиллярных сил на границах раздела различных фаз. Существующие в настоящее время методы повышения нефтеотдачи при использовании физического и химического методов воздействия несколько ограничены из-за относительно высоких затрат или неэффективности нефтеотдачи. Неэффективность традиционных методов заводнения путем закачки воды и газа, а также вторичных и третичных методов увеличения нефтеотдачи с применением физических и химических методов воздействия связана с множеством факторов, основными из которых являются потеря устойчивости фронта вытеснения, прорывы и потери нагнетаемых жидкостей, а также возможное разрушение пласта и коррозия нефтепромыслового оборудования [4].

В последние годы делается попытка интенсифицировать применение нанотехнологий, которые могут коренным образом изменить характеристики и поведение различных добавок, с целью повышения эффективности технологических процессов нефтегазодобычи. Одной из основных целей, стимулирующих процесс притока нефти к скважине, при различных воздействиях на пласт, является эффект гидрофобизации поверхности порового пространства, повышающий сопротивление вытесняющих жидкостей и снижающий гидравлическое сопротивление нефти при фильтрации их в пластовых условиях.

2. Исследование микро и наноструктур гетерогенных систем позволяет считать, что наночастицы представляют собой вещества, размеры которых меняются, как правило, в пределах 1–100 нм.

Наночастицы проявляют более высокую межмолекулярную организацию и взаимосвязь всей системы в целом, обусловленную их уникальными свойствами – небольшими размерами и большей площадью поверхности на единицу объема.

Сравнение отношения площади поверх-

Наноматериалы/ нанотехнологии	Область применения	Объекты потенциальных приложений
Наносенсор	Усовершенствование исследований	Создание точных 3D/4D сейсмических методов Обеспечение более подробной и точной информации о глубоких скважинах и пластах Совершенствование мониторинга и поглощения газа
Нанофлюиды	Бурение/заканчивание скважин/добыча	Устойчивость стенок скважины Уменьшение водоотдачи Улучшение реологических параметров; повышение термической стабильности Изменение смачиваемости пористой поверхности песчаника Улучшение приемистости пластов с низкой проницаемостью Уменьшение вязкости тяжелых нефтей при добыче и транспорте
Нанокompозиты	Разведочное бурение/заканчивание скважин/подготовка нефти и газа	Разработка облегченного, надежного и долговременного нефтепромыслового оборудования Повышение качественной проводки скважин; минимизация поглощения жидкости в пласт
Нанопокpытие	Разведочное бурение/заканчивание скважин/подготовка нефти и газа	Увеличение срока службы оборудования путем повышения устойчивости к коррозии Повышение качества бурильных труб и долот; облегчение и износостойкость долот Повышение приемистости пород нагнетательных скважин
Наномембраны	Бурение/заканчивание скважин/подготовка нефти и газа	Совершенствование сепарации и методов очистки нефтяных и газовых потоков от примесей Очистка мелких взвешенных частиц нефти и растворенных элементов
Нанокатализатор	Подготовка нефти и газа/очистка	Повышение производительности и эффективности очистки Модернизация методов добычи и транспорта тяжелых нефтей

ности к объему сферических частиц того же материала с радиусом 1 мм (мм), 1 мкм и 1 нм показывает, что увеличение площади поверхности на единицу объема более чем на миллион будет реализовано, если частица в миллиметровом масштабе будет преобразована в наноразмерные частицы [1, 5].

При добавлении наночастиц в жидкость, среда становится наножидкостью, представляющей собой разбавленные жидкие суспензии наночастиц с размерами не более 100 нм [6]. Многие реальные многофазные среды, содержащие различные наноразмерные включения, также могут быть отнесены к наножидкостям. В принципе, нанофлюиды состоят из основной жидкости и дисперсии мелких нановключений. Основной жидкостью (дисперсионной фазой) может быть вода, жидкости на основе ПАВ, полимерных

включений, смеси двух или более жидкостей, в то время как сами нановключения (дисперсная фаза) могут состоять из химических, полимерных и других, включая газовые, составляющих.

Большинство реальных и технологических жидкостей нефтегазодобычи, в основном, являются дисперсными, содержащими различные, включая наноразмерные, частицы, приводящие, как правило, к определенным сложностям при различных технологических операциях. Поэтому одной из важнейших проблем нанотехнологий в нефтегазодобыче является выявление типа наночастиц для их эффективного использования, а также наномоделирования различных процессов для повышения эффективности технологических процессов добычи нефти и газа. При этом выбор необходимого типа

наночастиц с определенными геометрическими и физико-химическими свойствами, может наряду с улучшением физико-химических и фильтрующих свойств самих жидкостей, обеспечивать также существенное воздействие на контактирующие с ними среды.

Потенциальное использование наноматериалов и нанотехнологий в нефтегазодобыче охватывает достаточно широкий спектр областей отрасли (таблица) [7].

Исследования последних лет по нанотехнологиям в нефтегазодобыче посвящены, в основном, выявлению эффекта воздействия химических, полимерных и металлических наноразмерных веществ на физико-химические и физико-механические свойства технологических и реальных жидкостей. Поскольку эти исследования проводились, в основном, на традиционных экспериментальных установках и на реальных объектах нефтегазодобычи, то результаты носят несколько неоднозначный и не всегда адекватный характер. Наряду с этим, некоторые исследования и анализ результатов использования наночастиц с различными поверхностно-активными и полимерными покрытиями, показали высокую эффективность их воздействия на процессы и механизмы повышения нефтегазоотдачи пластов [8–10].

Дальнейшее повышение эффективности технологических процессов добычи нефти и газа требует большего понимания физических явлений и процессов на наноуровне, для чего возникает необходимость современных подходов в теоретических и экспериментальных nanoисследованиях. Отмеченное требует разработки и использования новейших экспериментальных установок и создания новых математических наномоделей технологических процессов нефтегазодобычи. Перспективы разработки новых эффективных нанотехнологий и элементов нефтяного оборудования в нефтегазодобыче непосредственно зависят, прежде всего, от инвестирования в развитие фундаментальных исследований свойств нефтегазовых пластов и пластовых флюидов, а также технологических жидкостей.

Ведущие мировые нефтяные и газовые компании в последнее десятилетие стали больше инвестировать в сотрудничество с

научно-исследовательскими институтами и университетами для интенсификации научных исследований и разработок в области нанотехнологий [11, 12]. В целях углубленного понимания физических явлений и технологических процессов нефтегазодобычи на наноуровне необходима разработка и создание современных экспериментальных установок, которые позволяют получать надежную и качественную информацию в наномасштабах. Выявление экспериментальных особенностей в скейлинговом пространстве является существенной проблемой, поскольку наноэлементы слишком малы для визуального наблюдения и манипуляций. Для чего весьма важно использовать высокоточное оборудование и технику визуализации, такие как магнитно-резонансный томограф (МРТ) и сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). СТМ обладает способностью отображать отдельные атомы и молекулы, в результате чего возникает возможность контроля, манипулирования и интеграции атомов и молекул для регулирования свойствами материалов, структур, компонентов, устройств и систем, а также исследовать процессы на наноуровне. МРТ, используя свойство ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для изображения ядер атомов внутри объектов, позволяет выполнить детальную визуализацию протекающих физических процессов и внутренних структур изучаемых систем при экспериментальных исследованиях.

Весьма важной при этом становится необходимость разработки теоретических и вычислительных принципов моделирования структурных особенностей и характеристик технологических и реальных жидкостей в наноскейлинговом пространстве на основе экспериментальных и реальных промышленных исследований.

Моделирование технологических процессов на наноуровне становится чрезвычайно важным, поскольку регулирование технологическими процессами требует построения современных моделей с учетом наноскейлинговых взаимодействий.

3. Решение важнейших современных задач нефтегазодобычи, наряду с экспериментальными исследованиями, неразрывно связано с математическим моделированием

в области нанотехнологий, являющимся актуальным синергетическим направлением в современной как фундаментальной, так и прикладной науке.

Существующие теории исследований различных многокомпонентных нефтей и технологических жидкостей, при наличии в системах поверхностно-активных и полимерных веществ и их различных композиций, не всегда позволяют однозначно предсказывать значения физико-химических свойств и параметров. Можно считать, что в основном, пластовые углеводородные флюиды и технологические жидкости являются негомогенными дисперсными системами, состоящими из двух или более различных компонент или фаз. Несмотря на то, что вышеприведенные негомогенные дисперсные жидкости, как правило, многокомпонентны и многофазны, в модельном приближении эти жидкости можно принять как системы с распределенной дисперсной фазой (компонентов и фаз) в дисперсионной (сплошной) среде. Для наногомогенных жидкостей размеры наночастиц в пределах 10–100 нм могут образовываться вследствие турбулентности в приповерхностных слоях наночастиц основной фазы жидкости. Слои наночастиц наногомогенных жидкостей являются структурно-механическим барьером, замедляющим коагуляцию основной фазы жидкости (Ю.Г. Фролов, 1982).

Стабилизация наногетерогенных жидкостей неразрывно связана с самопроизвольным образованием и распределением наночастиц в системе. Структура нанодисперсных систем в основном характеризуется статистическим распределением нанодисперсных включений в сплошной среде. Это имеет важное значение во многих отношениях, поскольку знания о распределении наноразмерных включений несут информацию об эффективности происходящих внутренних процессов и позволяют контролировать любые изменения о распределении наноразмеров, с учетом предыстории состояния дисперсной системы.

Распределение нановключений по размерам происходит соответственно статистически распределенной дисперсной фазе, наноразмеры которых характеризуют как

физико-химические свойства, так и стабильность негомогенных жидкостей, причем конкретное распределение нановключений является характерным признаком, присутствующим именно той исследуемой дисперсной системе, где имеет место это распределение. Принимая во внимание, что совокупность наноразмеров в негомогенных жидкостях дискретна, а количество нановключений обычно достаточно велико, то для описания распределения нановключений в дисперсной системе, можно использовать статистическую функцию распределения вероятности. Максимальные значения функций распределения определяют наиболее вероятный диаметр наночастиц в полидисперсных негомогенных жидкостях, причем по форме кривой распределения можно считать, что чем меньше интервал и выше максимум кривой распределения, тем ближе негомогенная нанодисперсная система к монодисперсной. По функциям распределения рассчитываются средние диаметры наночастиц в полидисперсных негомогенных жидкостях.

Естественно, при этом представляется возможным регулировать, в достаточно широких диапазонах, средние размеры и физико-химические свойства наночастиц в полидисперсных негомогенных жидкостях, путем воздействия различных физических полей и поверхностно-активных и полимерных составляющих. По всей вероятности, двухпараметрическая функция логарифмически нормального распределения может также весьма эффективно применяться при описании распределения дисперсных нановключений в жидкой сплошной среде для различных пластовых флюидов и технологических жидкостей нефтегазодобычи.

Моделирование структуры распределения дисперсных нановключений в жидкой дисперсионной среде, содержащих, при определенных условиях, систему наноразмерных кластеров, может быть произведено на основе модели хаотично расположенных сфер, центры которых распределены в пространстве хаотично.

Наногомогенные жидкости являются, как правило, метастабильными и в принципе термодинамически и реологически неустойчивыми системами. В связи с этим разработ-

ка моделей течения и фильтрации различных природных и технологических жидкостей нефтегазодобычи, с учетом химических, физических, тепловых и различных других методов воздействия, должна основываться на моделировании систем на наноуровне. Надежность моделирования в наноскейлинговом пространстве позволяет в значительной мере выявлять новые явления и увеличивать эффективность контроля, а также управления свойствами и процессами, протекающими в рассматриваемых жидкостях и системах. Скейлинговые идеи для описания физико-химических характеристик гетерогенных концентрированных систем достаточно широко разработаны (П. де Жен, 1982) и эффективно применены при моделировании процессов течения некоторых природных и технологических жидкостей нефтегазодобычи [13–15].

Одним из важнейших показателей течения негомогенных дисперсных жидкостей является эффективная вязкость, зависящая от многих термодинамических факторов, таких как температура, давление, вязкость дисперсионной среды, концентрация дисперсной фазы и других физико-химических параметров. Наиболее широко распространенной зависимостью вязкости от концентрации является известное выражение Эйнштейна.

Проведены многочисленные исследования по моделированию процессов течения и фильтрации различных реальных и технологических жидкостей нефтегазодобычи, на основе обобщения зависимости эффективной вязкости от концентрации различного рода частиц, включая наноразмерные составляющие. Вместе с тем выявление общих закономерностей образования и течения негомогенных жидкостей, с определенными, априори исследованными, наноструктурами, требует дальнейшего изыскания и развития эффективных методов управления физико-химическими свойствами (наноструктурами) конкретных реальных систем. Для этого возникает необходимость использования основных положений моделирования систем на различных иерархических уровнях строения вещества по схеме начиная с атомной структуры, молекулы, супрамолекулярной системы и до нанокластеров, с учетом взаимодействий наночастиц как между собой,

так и с основной несущей дисперсионной фазой, при взаимодействии с которой на поверхностях нановключений непрерывно происходят различные физико-химические явления флуктуационного характера, что в свою очередь создает условия для возникновения локальных кластерообразующих молекул.

Такого рода явления могут быть описаны аналогично кинетическому уравнению Фокера–Планка, соответствующего функции распределения локальных кластеров нановключений по импульсам в основной несущей дисперсионной фазе (Е.М. Лифшиц, 1979). В этом направлении, вероятно, для описания взаимодействий наночастиц между собой и с основной несущей дисперсионной фазой на молекулярном уровне может быть использовано также уравнение Шредингера, на основе которого может быть решена задача определения потенциальной энергии взаимодействий всей системы наночастиц.

Для построения математических моделей нанотехнологических процессов могут быть использованы также различные вычислительные алгоритмы и компьютерные программы, которые позволяли бы воспроизводить с достаточной точностью наблюдаемые в экспериментах явления [16].

4. Дальнейшее развитие нанотехнологий в нефтегазодобыче связано с преодолением важных технических проблем путем усовершенствования технологических процессов как проводки скважин, так и разработки и добычи нефти и газа.

Разработка нового поколения наножидкостей для бурения, добычи и воздействия на пласт, основывается на высоких значениях отношений поверхностей нанодобавок к их объемам, которые взаимодействуя с окружающей средой, даже при очень низких концентрациях, могут значительно изменять смачиваемость, а также уменьшать гидравлическое сопротивление. Усовершенствованная буровая жидкость, смешанная с наноразмерными частицами и особенно тонким порошком, может значительно улучшать скорость бурения, а также устранять образование повреждений на стенках скважин и в призабойной зоне [17].

Первые попытки приложений для улуч-

шения гидроразрыва пластов можно считать создание наноструктурированных металлических композитов в сочетании с магнием, алюминием и другими нанодобавками. Механизм фиксации мелких частиц расклинивающего наполнителя зависит от высоких значений поверхностных и электростатических сил наночастиц, которые придают поверхности наполнителя повышенную способность трещинообразования. Одной из самых важнейших и сложнейших проблем с которыми приходится сталкиваться при разработке и добыче нефти и газа является мониторинг и управление технологическими процессами нефтегазодобычи.

Перспективным в этом направлении является разработка качественно новых сенсорных наночастиц, способных предоставлять непосредственно прямую (in-situ) и достоверную информацию о происходящих процессах в пластовых системах. Использование наносенсоров в нагнетаемых в пласт жидкостях позволит достаточно надежно определять направление вытесняющих жидкостей и выявлять перемещения границы водонефтяного контакта. Непосредственное исследование и мониторинг пластов с использованием наносенсоров остаются долгосрочной задачей, причем будет рациональным рассматривать проблему разработки системы сенсорных наночастиц покомпонентно: блок питания, блок связи, чувствительные элементы, хранение данных и управление ими, контроль движения и положения, а также восстановление наносистем [18].

Следует отметить, что для получения информации о происходящих в пласте процессах могут быть использованы магнитная (через магнитный сердечник) или электрическая (как в случае с углеродной нанотрубкой) проводимости наночастиц в нагнетаемую в пласты жидкости.

Использование нанодатчиков в скважинах и периодически наносенсоров в пластах позволяют регулярно отслеживать изменения параметров разработки, включая значения давления и температуры, границы водонефтяного контакта и другие параметры скважин и месторождения. В долгосрочной перспективе обсуждается идея создания наносенсоров, способных контролировать от-

дельные поры и каналы, потоки углеводородов и границы водонефтяного контакта, а также возможность обмениваться информацией, определять зоны, в которых целесообразно интенсифицировать добычу или закачку жидкости, или других веществ, стабилизирующих добычу нефти [19].

Поступающая информация позволит определять застойные зоны углеводородов и перераспределять потоки вытеснения одним из следующих способов: путем корректировки давлений нагнетательных скважин; регулированием физико-химических характеристик нагнетаемых вытесняющих жидкостей; бурением дополнительных, более целевых, нагнетательных или эксплуатационных скважин. Кроме того, получаемая наносенсорная информация может быть использована при построении математических моделей различных нанотехнологических процессов нефтедобычи с использованием механических, термических и электромагнитных нановоздействий.

Некоторые исследования могут быть направлены на разработку наноразмерных капсул в качестве созданных систем доставки химических и полимерных реагентов на большие расстояния в необходимые зоны пласта, при этом наноструктурные покрытия капсул должны обеспечивать стабильность и надежность их перемещения при условиях высоких давлений и температур.

5. Обобщая вышеизложенное следует отметить, что исследования различных технологических процессов на наноуровне, разработка и создание наноматериалов обладают большими потенциалами приложений в нефтегазодобыче, с многообещающими перспективами развития исследований нанотехнологий в нефтегазовой отрасли.

Несмотря на достаточно широкое приложение некоторых результатов исследований по нанотехнологиям, весьма перспективным остается дальнейшее совершенствование уже имеющихся и нахождения новых наноразработок, а также использования передовых достижений нанотехнологий других областей науки в технологических процессах нефтегазодобычи. Однако есть несколько факторов, которые ограничивают широкое применение нанотехнологий в нефтегазовой

отрасли. Недостаточное обеспечение современных высокоточных экспериментальных установок, включая МРТ и СТМ, которые позволили бы проводить надежные экспериментальные исследования и получать высококачественные результаты.

Фундаментальные исследования для наблюдения и манипулирования атомами, малыми молекулами и наноразмерными частицами должны проводиться на основе использования СТМ, который также может быть применен и в промышленных условиях.

Обеспечение современных экспериментальных оборудования и приборов, самих исследований и наноматериалов, а также промысловых испытаний неразрывно связано с финансированием, поэтому изыскание способов широкого применения наномате-

риалов и нанотехнологий в нефтегазовую отрасль по более низкой цене имеет решающее значение. Широкое использование нанотехнологий, с применением новейших химических, полимерных и других нанодобавок к технологическим жидкостям при проводке скважин, заводнении месторождений и других процессах нефтегазодобычи, требует тщательных исследований их воздействия на окружающую среду.

Дальнейшая перспектива, способствующая эффективному применению наноматериалов и нанотехнологий в нефтегазодобыче неразрывно связана с прорывом в фундаментальных исследованиях, включая объяснения уникальных свойств наноматериалов, расширение сферы применения существующих наноматериалов и открытия новых методов синтеза наноматериалов.

#### Список литературы

1. *Kamyshny A., Magdassi S.* Aqueous dispersions of metallic nanoparticles. *Colloidal Interfacial Aspects* (2010), pp. 747-778.
2. *Evdokimov I., Eliseev N., Losev A., Novikov M.* Emerging petroleum-oriented nanotechnologies for reservoir engineering, SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, 2006.
3. *Хавкин А.Я.* Нанотехнологии в добыче нефти // Нефтяное хозяйство, № 6, 2007, с. 58-60.
4. *Fakoya M.F., Shah S.N.* Emergence of nanotechnology in the oil and gas industry: Emphasis on the application of silicananoparticles. *Petroleum* 3, 2017, pp. 391-405.
5. *Amanullah Md., Al-Tahini A.M.* Nano-Technology – its significance in smart fluid development for oil and gas field application, SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium, 2009.
6. *Wong K.V., De Leon O.* Applications of nanofluids: current and future. *Advances in Mechanical Engineering*, 2 (0) 2010, pp. 519-659.
7. *Baoliang Peng, Juntao Tang, Jianhui Luo, Pingmei Wang, Bin Ding, Kam Chiu Tam.* Applications of Nanotechnology in Oil and Gas Industry: Progress and Perspectiv. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 96, January 2018, pp. 91-100.
8. *Fletcher A., Davis J.* "How EOR Can be Transformed by Nanotechnology", SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, April 2010, pp. 24-28.
9. *Ayatollahi S., Zerafat M.M.* "Nanotechnology-Assisted EOR Techniques: New Solutions to Old Challenges", PE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition, Noordwijk, June 2012, pp. 12-14.
10. *Shamsi Jazeyi H., Miller C.A., Wong M.S., Tour J.M., Verduzco R. J.* *Appl. Polym. Sci.* 2014, 131, 4401.
11. *Wachter W.A., McCarthy S.J., Beck J.S., Stern D.L.* Invs.: Exxonmobil Research and Engineering Company, US 7504021, 2009.
12. *Salinas B.J., Xu Z.Y., Agrawal G., Richard B.* "Controlled Electrolytic Metallics An Interventionless Nanostructured Platform", SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition, Noordwijk, 12-14 June, 2012.
13. *Самтаров Р.М., Самтарзаде И.Р., Гусманова А.Г.* Наномоделирование технологических процессов разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений // Вестник ЦКР Роснедра, 2010, № 2, с. 59-68.
14. *Гусманова А.Г., Самтаров Р.М., Айткулов А.У.* Эффективность использования интенсивных методов разработки многопластовых месторождений. – Алматы: Гылым, 2009, 264 с.
15. *Самтаров Р.М.* Скейлинговые свойства реологически сложных жидкостей нефтедобычи // Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1993, № 9, с. 13-18.
16. *Еленин Г.Г.* Нанотехнологии, наноматериалы, наностройства // Информационные технологии и вычислительные системы, 2002, № 2, с. 32-56.
17. *Esmaeli A.* Applications of nanotechnology in oil and gas industry. *Proceedings of the 2nd International Conference on Methods and Models in Science and Technology*, November 2009, 19-20, AIP, Jaipur, India pp. 133-136. DOI: 10.1063/1.3669944.
18. *Cocuzza Matteo, Pirri Candido, Rocca Vera, Verga Francesca.* Current and Future Nanotech Applications in the Oil Industry. *American Journal of Applied Sciences* 9 (6), 2012, pp. 784-793.
19. *Bhat S., Singh P.* Nanologging: Use of Nanorobots for Logging. *SPE Eastern Regional Meeting*, Canton, Ohio, USA, 2006, Oct 11-13. DOI: 10.2118/104280-MS.