

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

А.Я.Хавкин

Россия, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва,
Ижевский государственный технический университет, Ижевск

Коэффициент извлечения нефти (КИН) для технологий разработки нефтяного месторождения это то же самое, что коэффициент полезного действия для машин. Чем КИН ближе к 1, тем процесс эффективнее. КИН зависит от геолого-физических условий залегания нефти и определяется технико-технологическими и экономическими возможностями ее добычи.

В России КИН составляет 0,3-0,35. В США и Канаде – 0,4. В перспективе, согласно материалам Лондонского форума по нефтеотдаче, применение уже освоенных современных технологий позволит увеличить к 2020г. величину среднего проектного КИН в мире до 0,5 [1]. Однако и эта величина значительно меньше теоретически возможных значений КИН.

Потенциал методов извлечения нефти примерно таков: на естественном режиме истощения пластовой энергии достигается КИН при недонасыщенной газом нефти менее 0,1, при разгазировании нефти 0,05-0,25, в залежах с газовой шапкой 0,1-0,4 (в среднем на естественном режиме – 0,25), на вторичном режиме поддержания пластового давления водой (заводнение) – достигается КИН 0,25-0,40, а применение МУН (газовых, химических тепловых) позволяет достигать КИН 0,3-0,7 [2].

Увеличение КИН необходимо в связи с малым значением обеспеченности мира запасами нефти – обеспеченность равна всего 50 годам [3]. Но нефть нужна не только как топливо, а как основа нефтехимии, и поэтому полной ее замены найти невозможно.

Чтобы обеспечить с помощью геологоразведки новые запасы нефти требуется 8-10 лет. А чтобы перевести перспективные российские ресурсы нефти на открытых месторождениях со сложными геолого-физическими условиями ее залегания в доказанные запасы за счет совершенствования НТМУН потребуется 2-3 года.

Зависимости на рис. 1 (построенные на основе [4]) показывают не линейную зависимость между КИН и затратами, а возможные диапазоны изменения КИН и стоимости добычи, которые реализуются в зависимости от геолого-физических условий объектов. Так на ряде объектов, при любых затратах, достичь КИН при заводнении более 0,25 не удастся [3].

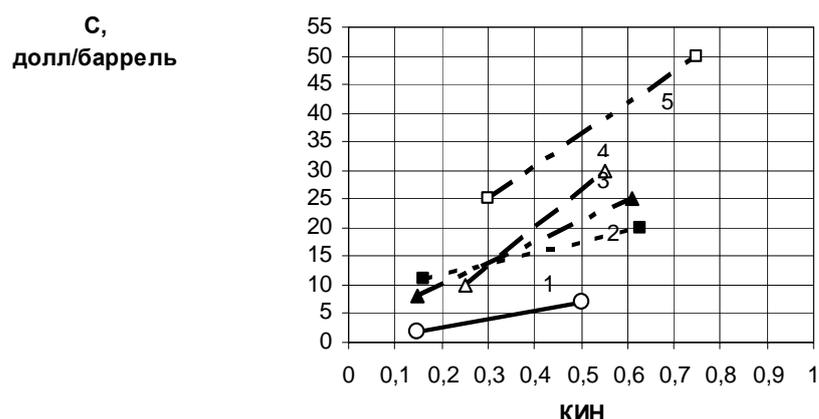


Рис. 1. Себестоимость добычи нефти (С) в зависимости от достигаемого КИН при различных технологиях: заводнение (1), закачка полимерных растворов (2), тепловые методы (3), закачка CO₂ (4), применение поверхностно-активных веществ (5).

Проблемы с извлечением нефти из низкопроницаемых коллекторов связаны с тем, что размеры пор в таких коллекторах малы и в них начинают играть значимую роль пограничные явления, которыми в хорошо проницаемых коллекторах пренебрегают [5].

Значение КИН при традиционном заводнении, рассчитанные без учета наноявлений на

основе представлений о разработке хорошо проницаемых коллекторов, дадут в низкопроницаемых коллекторах величины КИН на 0,15-0,20 меньше. Применение технологий регулирования этими наноявлениями позволит обеспечить значительно большее значение КИН [3].

Тенденции на рис. 1 убеждают, что при цене нефти более 60 долл/баррель (себестоимость более 15 долл/баррель) уже существует огромное поле НТМУН, обеспечивающих КИН более 0,4. Реально достигаемый КИН западными странами (0,5-0,65) – ориентир для аналогичных месторождений в России.

В низкопроницаемых коллекторах КИН в значительной степени зависит от чистоты закачиваемой воды [6]. Дисперсные агрегаты размером до 200 нм в закачиваемой воде при проницаемости 0,1 мкм² позволяют обеспечить КИН на уровне 0,4, уменьшив КИН только на 10% относительно потенциально возможного его значения (без каких-либо частиц в закачиваемой воде). Однако при проницаемости 0,05 мкм² и при том же размере дисперсных агрегатов значение КИН близко к нулю, что означает невозможность в этом случае извлечь нефть заводнением из низкопроницаемого коллектора. Достичь приемлемых КИН из низкопроницаемого коллектора можно только при очистке закачиваемой воды от содержащихся в ней частиц вплоть до 100 нм. Наночистки сейчас используются в медицине и биологии, но пропускная их способность невелика. Для нефтегазовой промышленности требуются наночистки большой пропускной способности. Создание таких фильтров обеспечит извлечение десятков миллиардов тонн нефти.

Не отрицая необходимости активизации геолого-разведочных работ (ГРП), анализ экономической эффективности применения НТМУН [3] показывает, что их применение в освоенных районах может быть значительно дешевле (диапазон себестоимости 4-9 долл. США/баррель), чем применение традиционных технологий в новых районах. Но новые месторождения еще надо найти и обустроить (8-10 лет), а применить НТМУН в освоенных районах можно за счет инновационного подхода, не требующего капитальных вложений уровня ГРП и бурения новых эксплуатационных скважин.

Большую роль в добыче нефти в скором времени станут играть нанокolleкторы (т.е. коллекторы с размерами пор менее 100 нм [6]), и для их разработки потребуются технологии, учитывающие наноразмер порового пространства. Так, залежи нефти баженовской свиты Западной Сибири, в которых еще не завершены процессы преобразования органического вещества (керогена) в подвижные углеводороды, имеют геологические ресурсы углеводородов более 100 млрд. тонн. Основная часть углеводородов сосредоточена в коллекторе со средним радиусом пор 8-25 нм. КИН при традиционных способах – 0,03-0,05, что нерентабельно. КИН при НТМУН может составить более 0,3. В этом случае потенциал прироста извлекаемых запасов нефти превысит 30 млрд. тонн [2].

Другой пример нанокolleктора – уголь. В недрах угольных бассейнов сосредоточены значительные ресурсы спутника угля – метана, соизмеримые с ресурсами газа традиционных месторождений мира. Поэтому угольные бассейны следует рассматривать как метаноугольные, подлежащие комплексному поэтапному освоению, с опережающей широкомасштабной добычей метана (в том числе для безопасной добычи угля). В угле мало пор диаметром 10-100 нм, а много пор диаметром менее 10 нм. Поэтому уголь является нанокolleктором природного газа, и борьба с выбросами природного газа и его добыча должны ориентироваться на работу с наноразмерными порами: закачка реагентов для смачивания угля, если не учитывать наноразмер пор при выборе хемреагентов, пройдет только по трещинам и открытым порам. Возможно поэтому и происходят катастрофы на угольных шахтах [7].

Внедрение уже запатентованных НТМУН может обеспечить увеличение КИН до 0,45-0,50 (в 1,5-1,7 раза больше, чем ныне достигаемые 0,30-0,35), а их развитие – до 0,60-0,65. При этом КИН для традиционных запасов увеличится на 0,20-0,25 до 0,60-0,70, для трудноизвлекаемых запасов – увеличение КИН в России составит 0,25-0,35 до 0,45-0,55 [3, 6].

Запасы газа в месторождениях газогидратов, превышающие ранее найденные запасы углеводородов, также невозможно освоить без регулирования свойств газогидратов на ионном уровне. Более того, применение нанотехнологий позволит торговать природным газом в газо-

гидратном состоянии при экспорте газа и возможности обеспечить газом отдаленные поселения. Фактически речь идет о создании газогидратной отрасли ТЭК [7]. Кроме того, применение нанотехнологий позволит утилизировать попутный нефтяной газ и низконапорный природный.

Использование наноразмерных частиц для стабилизации гидрофобной эмульсии позволило создать гидрофобную технологическую жидкость с низким содержанием углеводородного компонента – эффективное и экономичное средство снижения потерь производительности нефтяных и газовых скважин при технологических операциях в скважинах. Стабилизация гидрофобных эмульсий, обеспечивающих требуемую плотность и одновременно предотвращающих уменьшение проницаемости призабойной зоны, достигается за счет добавления дисперсной твердой фазы с размерами частиц не более 100 нм [6], что говорит о принадлежности этой технологии к нанотехнологиям.

Из изложенного видны следующие направления развития нефтегазовой nanoиндустрии:

1. Увеличение коэффициента извлечения нефти до 0,5-0,6.
2. Снижение обводненности нефти с 85% до 60-70%.
3. Воздействие на глинистую составляющую пород.
4. Регулирование смачиваемости пород.
5. Воздействие на наноколлектора.
6. Снижение энергозатрат на закачку, подъем и подготовку нефти.
7. Разработка месторождений газогидратов.
8. Утилизация и торговля газом в газогидратном состоянии.
9. Утилизация низконапорного и попутного нефтяного газа.
10. Стабилизация неустойчивых коллекторов.
11. Большерасходные наночастицы.
12. Применение наноконструкционных материалов.
13. Гидрофобные наножидкости и нанореагенты.
14. Регулирование состояния нанокластеров тяжелых углеводородов.
15. Упрочнение за колонного цемента при строительстве скважин.
16. Увеличение глубины переработки нефти.
17. Извлечение метана угольных пластов.
18. Экологическое улучшение работы всего нефтегазового комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Favennec J.-P.* The Economics of EOR // Conference of Enhanced Oil Recovery (EOR), 6 December 2004, London, UK, <http://www.thecwcgroup.com/>.
2. Проблемы технологического увеличения извлекаемых запасов нефти в России / *А.А.Босерман, В.И.Грайфер, И.С.Джафаров, А.Я.Хавкин и др.* // Наноявления при разработке месторождений углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям // Материалы Конференции в г. Москва 18-19 ноября 2008г., ГД РФ, М., Нефть и газ, 2008, с.236-237.
3. *Хавкин А.Я.* Перспективы нефтедобывающей отрасли России // Естественные и технические науки, 2009, № 3, с. 229-237.
4. Обзор применения МУН в мире // *Oil & Gas Journal*, Apr. 12, 2004; Apr. 17, 2006.
5. *Хавкин А.Я.* Нанотехнологии нефтедобычи // Международный форум по нанотехнологиям 3-5.12.2008г., Сборник тезисов докладов научно-технологических секций, т.2, М., РОС-НАНО, 2008, с.508-510.
6. *Хавкин А.Я.* Нанотехнологии в добыче нефти газа / под ред. член-корр. РАН Г.К.Сафаралиева // М., Нефть и газ, 2008, 171с.
7. *Хавкин А.Я.* Нанотехнологические инновации в газовой промышленности // Газовый бизнес, 2009, март-апрель, с.62-64.