

# ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

И.Н. Евдокимов, Н.Ю. Елисеев (Москва)

Одной из основ успешного функционирования и развития нефтегазодобывающих компаний является использование современных технологий долговременного мониторинга и управления процессами разработки нефтяных и газовых месторождений. В зарубежной практике комплекс подобных технологий часто обозначают термином «*reservoir management*».

Значительная часть современных технологий повышения эффективности разработки основана на результатах научных исследований фундаментальных молекулярных процессов в природных углеводородных средах. Так, технологии заводнения с применением поверхностно-активных веществ основаны на повышении нефтевытесняющих свойств воды путем активации капиллярных и диффузионных процессов молекулярного вытеснения нефти со сниженным межфазным натяжением. В основе применения алкилированной серной кислоты для повышения нефтеотдачи пластов лежит комплексное воздействие молекул этого реагента на молекулы минералов скелета пласта с образованием анионоактивных ПАВ. Управление молекулярной структурой подземных флюидов лежит в основе ряда микробиологических технологий увеличения нефтеотдачи. Так, аэробные углеводородоокисляющие бактерии переводят в подвижное состояние молекулы парафиновых углеводородов нефти. Молекулярными продуктами жизнедеятельности микроорганизмов являются новые вытесняющие агенты, такие как  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ . Нефтяные компании проявляют все возрастающий интерес к модификации молекулярных систем в нефтяных пластах с помощью волновых технологий с использованием излучений различной природы, частоты и интенсивности.

В последнее время большое внимание в разнообразных областях науки и техники начинают привлекать так называемые «молекулярные нанотехнологии», связанные с управлением структурными свойствами микродисперсных систем, базовые частицы которых образованы из сравнительно небольшого числа макромолекул, обладающих способностью к самоассоциации. Отличительной особенностью ряда молекулярных нанотехнологий является отсутствие необходимости «сильных» воздействий на дисперсную систему (например, связанных с введением высоко активных химических реагентов, биологических субстанций, использованием физических полей высокой интенсивности).

В нефтегазовых средах естественным объектом воздействия молекулярных нанотехнологий являются их дисперсные фазы, образованные

наноагрегатами асфальтено-смолистых веществ и микрокристаллами парафинов.

Наши лабораторные и теоретические исследования, проведенные в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, показали, что макроскопические эксплуатационные характеристики нефтегазовых сред (вязкость, плотность) могут претерпевать значительные скачкообразные изменения в результате микроструктурных фазовых переходов в нанодисперсных фазах. В свою очередь, подобные фазовые переходы могут быть индуцированы весьма слабыми (но специфическими) внешними воздействиями. Так, жидкие углеводородные среды, находящиеся при нормальных пластовых условиях, могут практически полностью терять текучесть после кратковременного повышения окружающей температуры на 7-10 °С. Молекулярный механизм потери текучести состоит в селективной термоактивации защитных оболочек, образуемых молекулами смол вокруг молекулярных нанокластеров асфальтенов. Лишенные защитных оболочек, нанокластеры асфальтенов приобретают существенную поверхностную активность и начинают играть роль цементирующих агентов в образовании протяженного пространственного каркаса микрокристаллов парафинов, иммобилизирующих молекулы более легких компонентов нефти. В результате подобных процессов жидкие углеводородные среды приобретают гелеподобные свойства. В ряде случаев может наблюдаться практическое отвердевание таких жидких сред.

В практике разработки нефтегазовых месторождений подобные эффекты снижения текучести могут иметь место при вытеснении нефтегазовых флюидов к продуктивным скважинам сквозь термически неоднородные коллекторы. Предварительный анализ имеющихся геофизических данных показывает, что термические неоднородности, способные оказать влияние на стабильность нанодисперсных фаз нефтей и привести к иммобилизации пластовых флюидов, могут достаточно часто встречаться, например, на разрабатываемых месторождениях Татарстана.

В практическом плане, «молекулярная нанотехнология» предотвращения вышеупомянутых нежелательных эффектов снижения эффективности вытеснения может состоять в оптимизации взаимного расположения нагнетательных и продуктивных скважин. Оптимизация для каждого конкретного месторождения должна включать элементы обратной связи и проводиться с учетом изменений как текущих градиентов температурных полей продуктивного пласта, так и изменений состава добываемой нефти (в частности, ее водонасыщенности). На давно эксплуатируемых месторождениях имеется достаточно разветвленная сеть нагнетательных и продуктивных скважин. В этих условиях проведение оптимизации процессов разработки не потребует дополнительных затрат и может свестись лишь к изменению графиков работы компрессорного оборудования.