

НАНОМОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ

А. Г. Гусманова

(Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан)

Ключевые слова: залежь, модель, скважина, жидкость, добыча, наночастица

Key words: deposit, model, well, liquid, production, nanoparticle

Большой класс природных и технологических жидкостей нефтегазодобычи – сложные гетерогенные системы, сложность и многообразие которых предопределяется наличием различных смолистых, асфальтеновых и парафиновых составляющих в нефтях, а также широким использованием в добыче и транспорте полимерных и поверхностно-активных добавок к различным жидкостям.

Отмеченные неоднородные смеси относятся к реологически сложным жидкостям, описываемые множеством различных реологических моделей, которые, как правило, имеют определенную ограниченность и требуют введения новых дополнительных параметров и соотношений.

Разработка новых и совершенствование существующих моделей требуют установления взаимосвязи между свойствами сложной системы и ее составными частями.

Исследования микро- и наноструктур гетерогенных систем позволяет считать, что их надмолекулярная организация обусловлена свойствами длинных гибких цепей, наноразмеры которых меняются, как правило, в пределах 20–100 нм [1].

Широкий спектр состояний и течения гетерогенных смесей связан с многообразием межфазных и внутрифазных взаимодействий, которые требуют новых способов описания, основанных на связи статистической теории молекул длинных цепей с теорией фазовых переходов второго рода и использования свойств многофазных систем.

Гетерогенные системы нефтегазодобычи при различных термодинамических условиях, чаще всего, разделяются на жидкообразные золи (эмульсии, суспензии) и твердообразные гели, гелеобразование которых могут быть сильным и слабым в зависимости от конкретных условий.

В состоянии покоя дисперсные частицы могут формировать пространственную сетку (гелеобразование), которая будет случайным образом разрываться при достаточно высоком уровне сдвиговых напряжений, в результате чего поведение гетерогенной системы становится аналогичным поведению жидкости.

В связи с этим, для описания реологических характеристик гетерогенных концентрированных систем используются скейлинговые идеи, теория которых разработана [1].

Характерным свойством гетерогенных систем является неустойчивость, поскольку при определенных условиях агрегативная устойчивость коллоидных систем уменьшается, что приводит к образованию коагуляционных структур, обладающих небольшой прочностью по сравнению с кристаллизационными структурами.

В нефтях с достаточно высоким содержанием твердых парафиновых и асфальтеново-смолистых составляющих, а также в глиноцементных растворах, возможно развитие кристаллизационных структур с образованием сплошной кристаллической сетки, то есть происходит гелеобразование.

В начале процесса гелеобразования частицы, образующие пространственную сетку, еще не имеют непосредственного контакта (между ними находятся прослойки жидкой дисперсионной среды, содержащие, как правило, нитеобразные углеводородные включения в нефтях и гибкие полимерные цепи в глиноцементных растворах при полимерных добавках), поэтому структура обладает сравнительно малой прочностью, являясь эластичной и пластичной.

Для сдвигового течения концентрированных гетерогенных систем зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига может быть представлена универсальным скейлинговым соотношением [1, 2]:

$$\mu_h(\dot{\epsilon}) = \mu_m f_\mu(\dot{\epsilon} \cdot \theta_m), \quad (1)$$

где μ_h – вязкость гетерогенной системы; $\dot{\epsilon}$ – скорость сдвига при течении гетерогенной системы; μ_m – наибольшая ньютоновская вязкость гетерогенной системы; θ_m – максимальное время релаксации гетерогенной системы.

Безразмерная функция имеет следующие асимптотики:

$$\left. \begin{aligned} f_\mu(0) &= 1, \\ f_\mu(\dot{\epsilon} \cdot \theta_m) \Big|_{\dot{\epsilon} \cdot \theta_m \gg 1} &\cong (\dot{\epsilon} \cdot \theta_m)^{-m_\mu}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где m_μ – имеет значение порядка 0,8.

Аналогичное скейлинговое соотношение имеет место и для времени релаксации гетерогенной системы.

При движении концентрированных гетерогенных систем, в случае выполнения условий нахождения молекул, в течение определенного конечного промежутка времени, на расстоянии, не превышающем некоторой определенной величины размеров наноструктурных кластеров до 100 нм, реологическое уравнение может быть записано следующим образом:

$$\tau_{12} = \mu_m \frac{\dot{\epsilon}}{1 + (\dot{\epsilon} \cdot \theta_m)^{\frac{4}{5}}}, \quad (3)$$

а первая разность нормальных напряжений:

$$\tau_{11} - \tau_{22} = F(M, T, C_m, \mu_m) \dot{\epsilon}^2. \quad (4)$$

Здесь индекс 1 обозначает направление течения, индекс 2 направление, перпендикулярное течению, τ – напряжение, $F(M, T, C_m, \mu_m)$ – функция молекулярной массы M , температуры T , концентрации линейных макромолекул C_m и наибольшей ньютоновской вязкости μ_m , содержащая некоторые неизвестные параметры модели, такие как коэффициент трения, связанный с образованием узла зацепления при нулевой скорости сдвига и радиус сферы, в которой возможно возникновение зацеплений.

Реологическое уравнение (3) в асимптотах можно записать

$$\tau_{12} = \begin{cases} \mu_m \dot{\epsilon} & \text{при } \mu_m \dot{\epsilon} \ll 1, \\ \mu_m \theta^{-0,8} \dot{\epsilon}^{0,2} & \text{при } \mu_m \dot{\epsilon} \gg 1. \end{cases} \quad (5)$$

Из вышеприведенных соотношений видно, что рассматриваемая система при малых скоростях сдвига проявляет себя как вязкая жидкость, а при больших скоростях сдвига как псевдопластичная концентрированная гетерогенная система с характерной кривой (рисунк).

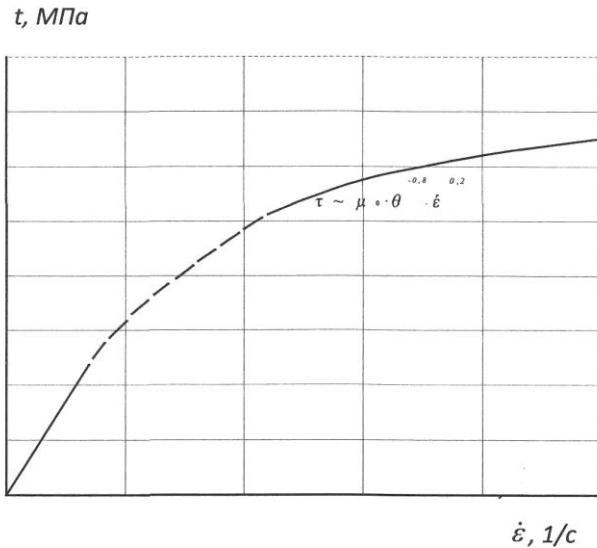


Рисунок. Характерная реологическая кривая концентрированной гетерогенной системы

Согласно [3] функция $F(M, T, C_m, \mu_m)$ для разбавленных гетерогенных систем с линейными макромолекулами может быть записано как

$$F(M, T, C_m, \mu_m) = \frac{2C_m k^* T}{M} \sum_{p=0}^N \theta_p^2, \quad (6)$$

$$\theta_p = \frac{6(\mu_m - \mu_s)}{\pi^2 p^2 C_m k^* T} M \quad (p = 1, 2, 3, \dots, N), \quad (7)$$

где θ_p – время релаксации p -й линейной макромолекулы; μ_s – вязкость дисперсионной среды (растворителя).

Для характерного среднестатистического времени релаксации макромолекулы θ_m зависимость (7) может быть представлена в виде

$$\theta_m = \frac{12(\mu_m - \mu_s)}{\pi^2 C_m k^* T} M, \quad (8)$$

а выражение (6), для функции $F(M, T, C_m, \mu_m)$:

$$F(M, T, C_m, \mu_m) = \frac{2C_m k^* T}{M} \theta_m^2 = \frac{288(\mu_m - \mu_s)^2}{\pi^4 C_m k^* T} M \quad (9)$$

Тогда уравнение (4), для первой разности нормальных напряжений, с учетом зависимости (9), может быть записано в виде

$$\tau_{11} - \tau_{22} = \frac{288(\mu_m - \mu_s)^2}{\pi^4 C_m k^* T} M \dot{\epsilon}^2. \quad (10)$$

Полученные реологические уравнения для сдвиговых и первой разности нормальных напряжений (3) и (10), устанавливающих на основе молекулярной теории наноструктур корреляционные связи реологических свойств с молекулярной массой, молекулярно-массовым распределением и степенью разветвленности линейных макромолекул, могут быть использованы для описания конкретных реологически сложных вязкоупругих нефтей и технологических жидкостей нефтегазодобычи.

Вместе с тем, выявление общих закономерностей образования и течения реологически сложных жидкостей, с определенными априори исследованными наноструктурами, позволяют изыскивать эффективные методы управления реологическими свойствами (наноструктурами) конкретных реальных систем.

Список литературы

1. Де Жен П. Идеи скейлинга в физике полимеров. – М.: Мир, 1982. - 368 с.
2. Саттаров Р. М. Скейлинговые свойства реологически сложных жидкостей нефтегазодобычи. АНХ, 1993, № 9.- С. 13 -18.
3. Гусманова А. Г. Особенности фильтрационной фрактальной модели нефтеводогазовых систем. //Вестник КазАТК, Алматы, 2010, № 1. - С. 144-149.

Сведения об авторе

Гусманова Айгул Гайнуллаевна, к. т. н., доцент, кафедры «Нефтегазовое дело», Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга имени Ш. Есенова, Казахстан, Мангистауская область, г. Актау, тел.: 8(7292) 417686

Gusmanova A.G., Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department «Oil and Gas Business», Caspiisk State University, of Technology and Engineering named after Sh.Yesenov, Kazakhstan, town of Aktau, phone: 8(7292) 417686