ОБ ОДНОЙ СХЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

М. И. Швидлер

(Уфа)

Как известно [1], эмпирическая зависимость капиллярное давление — насыщенность определяется из опытов, реализующих статическое сосуществование флюидов в пористой среде. Вместе с тем эта зависимость применяется для оценки тех или иных динамических состояний. Вследствие этого имеет смысл постановка опытов по выявлению вышеупомянутой зависимости в динамических условиях. Ниже приводится одна из возможных примерных схем такого опыта.

Очевидно, что опыт, из обработки которого будет вытекать искомая зависимость, должен удовлетворять следующим условиям: а) в опыте должно реализоваться течение, т. е. процесс должен быть динамическим; б) характер процесса в первую очередь должны определять капиллярные эффекты, т. е. самой постановкой опыта следует исключить другие факторы, влияющие на характер течения, или уменьшить их влияние; в) реализация опыта и его обработка должны быть просты.

Можно полагать, что перечисленным требованиям удовлетворяет процесс капиллярного впитывания в образец жидкости, которая лучше смачивает породу, чем жидкость, насыщающая его первоначально.

Пусть образец, у которого боковая поверхность и один из торцов непроницаемы для жидкости, открытым торцом в момент времени $t = 0$ приводится в соприкосновение с жидкостью *1*, лучше смачивающей поверхность породы, чем первоначальная жидкость *2*. Процесс впитывания жидкости *1* в образец и вытекания жидкости *2* из образца описывается уравнениями [1]

$$q_1 = -\frac{kk_1(\sigma)}{\mu_1}\frac{\partial p_1}{\partial x}S, \quad q_2 = -\frac{kk_2(\sigma)}{\mu_2}\frac{\partial p_2}{\partial x}S, \quad q_1 + q_2 = 0, \quad p_1 = p_2 + p_к(\sigma) \tag{1}$$

где q_1, q_2 — расходы первой и второй фаз, p_1, p_2 — давление в первой и второй фазах, σ — насыщенность первой фазой, $p_к(\sigma)$ — капиллярное давление, $k_1(\sigma)$ и $k_2(\sigma)$ — относительные фазовые проницаемости, k — проницаемость образца, μ_1, μ_2 — вязкости первой и второй фаз, S — площадь поперечного сечения образца.

Исключив p_1 и p_2 из уравнений (1) и положив $x = 0$, получим

$$q_2(0, t) = kS\frac{k_1(\sigma_0)\,k_2(\sigma_0)}{k_2(\sigma_0)\,\mu_1 + k_1(\sigma_0)\,\mu_2}\frac{dp_к}{d\sigma}\frac{\partial\sigma(0, t)}{\partial x} \tag{2}$$

где $\sigma_0 = \sigma(0, t)$. Замеряя на входе в образец

$$q_2 = q_2(0, t), \qquad \sigma_0 = \sigma(0, t), \qquad \frac{\partial\sigma(0, t)}{\partial x} \tag{3}$$

из зависимости (2) получим

$$\frac{dp_к}{d\sigma} = \lambda_1(t), \qquad \lambda_1(t) = \frac{q_2(0, t)\,[k_2(\sigma_0)\,\mu_1 + k_1(\sigma_0)\,\mu_2]}{kk_1(\sigma_0)\,k_2(\sigma_0)\,\partial\sigma(0, t)\,/\,\partial x}S \tag{4}$$

Исключив из (4) при помощи равенства $\sigma_0 = \lambda_2(t)$ время t, получим

$$\frac{dp_к}{d\sigma} = \lambda_3(\sigma) \tag{5}$$

В соответствии с уравнением (2) к моменту практического прекращения впитывания ($q_2 \approx 0$) в образце установится постоянное распределение насыщенности $\sigma(x, \infty) = \sigma^* = \text{const}$. При этом под $t = \infty$ следует понимать достаточно большое время T, соответствующее с определенной степенью точности прекращению впитывания. После прекращения впитывания следует замерить $p_к = p_к(\sigma^*)$ по обычной статической схеме [1]. Для этого целесообразно до начала опыта перед закрытым торцом образца поместить полупроницаемую перегородку.

Проинтегрировав уравнение (5) при условии $p_к^* = p_к(\sigma^*)$, получим

$$p_к = p_к^* - \lambda(\sigma), \qquad \lambda(\sigma) = \int_\sigma^{\sigma^*}\lambda_3(\sigma)\,d\sigma \tag{6}$$

Экспериментальная установка, соответствующая описанной схеме, позволяет измерять капиллярное давление по обычной статической схеме, измеряя количество втекающей в образец первой фазы или вытекающей второй фазы, насыщенность первой фазой и градиент насыщенности на входе в образец, как функции времени. Последнее требование, вероятно, лучше всего удовлетворить, используя радиометрические методы измерения.

Поступила 20 XI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1 Шейдеггер А. Э. Физика течения жидкостей в пористой среде. Гостоптехиздат. 1960.