

**ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАКРЫТОМ ПЛАСТЕ
И УПРУГОМ ОТЖАТИИ ЖИДКОСТИ ПРИ ЕГО ВСКРЫТИИ**

Ю. А. Афиногенов, В. И. Пеньковский

(Новосибирск)

Как показали исследования Б. А. Тхостова [1], пластовые давления жидкости в закрытых пластах отличаются от гидростатического. Это служило поводом к определению давления в таких пластах и решению задачи об упругом отжатии жидкости при их вскрытии.

1. Пусть закрытый пласт находится под действием горного давления q . Уравнение равновесия (без учета инерционных сил) запишется в виде

$$\sigma + p = g \int_0^{x_1} [(1-m)(\rho_2 - \rho_1) + m\rho_1] dx_1 + q \quad (1.1)$$

$$\sigma = (1-m)\sigma^v - (1-m)p \quad (1.2)$$

Здесь σ — фиктивное давление в скелете, σ^v — истинное напряжение [2] в породе, p — давление в жидкости, g — ускорение силы тяжести, m — пористость, ρ_2 и ρ_1 — плотности частиц породы и пластовой жидкости, x_1 — глубина залегания элемента пласта, отсчитываемая от его кровли.

Предполагается, что $\rho_2 = \text{const}$ (частицы не сжимаются) и под действием внешней нагрузки происходит лишь переупаковка частиц (уплотнение), подчиняющаяся закону Гука

$$\varepsilon_2 E_2 = \sigma \quad (1.3)$$

где ε_2 — относительное объемное сжатие скелета, E_2 — объемный модуль упругости скелета. Упругое сжатие жидкости

$$\varepsilon_1 E_1 = p \quad (1.4)$$

В частности, если нагружается образец породы, не содержащий в себе жидкость, то $p = 0$ и из (1.2) получим $\sigma = (1-m)\sigma^v$, т. е. в этом случае фиктивное напряжение представляет собой среднее нормальное напряжение, распределенное по всему сечению образца.

С другой стороны, если насыщенный жидкостью образец целиком находится в жидкости с давлением p , то скелет нагружен не будет, $\sigma = 0$, и из (1.2) получим $\sigma^v = p$, т. е. частицы породы будут находиться под действием всестороннего гидравлического сжатия интенсивностью p .

В случае горизонтально расположенного пласта, когда толщиной его можно пренебречь, формула (1.1) примет вид $\sigma + p = q$.

Найдем распределение нагрузок в горизонтальном пласте в статическом состоянии ($\sigma = \text{const}$, $p = \text{const}$). Для этого используем уравнение совместности деформаций скелета и поровой жидкости.

Закрытый пласт можно моделировать цилиндром с абсолютно жесткими стенками, заполненным пористой средой и жидкостью. Сверху на двухфазную среду давит непроницаемый поршень с интенсивностью q .

В ненагруженном состоянии объем элемента пласта с пористостью m_0 занимает в цилиндре объем v_0 . Частицы занимают объем $(1-m_0)v_0$. После нагружения объем элемента становится равным

$$v_1 = (1 - \varepsilon_2) v_0$$

По предположению частицы породы не деформируются, поэтому объем пор, занятых жидкостью, будет

$$v_3 = (1 - \varepsilon_2) v_0 - (1 - m_0) v_0 = (m_0 - \varepsilon_2) v_0$$

Пористость элемента в условиях нагружения будет равна

$$m = \frac{m_0 - \varepsilon_2}{1 - \varepsilon_2} \quad (1.5)$$

Тогда

$$\varepsilon_1 = \frac{m_0 - m}{m_0} = \frac{(1-m_0)\varepsilon_2}{m_0(1-\varepsilon_2)}$$

или, пренебрегая величиной $\varepsilon_1\varepsilon_2$, перепишем

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 (1 - m_0) / m_0$$

Таким образом, используя (1.3) и (1.4), имеем

$$\frac{p}{E_1} = \frac{1 - m_0}{m_0} \frac{\sigma}{E_2} \quad (1.6)$$

Отсюда, используя $\sigma = q - p$, получаем

$$p = q [1 + m_0 E_2 E_1^{-1} (1 - m_0)^{-1}]^{-1} \quad (1.7)$$

Произведем расчет напряжений в воде и скелете породы на уровне кровли при следующих параметрах: $E_1 = 0.2 \cdot 10^6 \text{ ам}$, $E_2 = 0.5 \cdot 10^6 \text{ ам}$, $q = 500 \text{ ам}$, удельный вес породы $\rho_2 = 2.3 \text{ г/см}^3$, расстояние кровли от дневной поверхности $H = 2174 \text{ м}$, $m_0 = 0.2$. При этих параметрах имеем

$$p = 307 \text{ ам}, \sigma = 193 \text{ ам}$$

Давление жидкости внутри пор в закрытом пласте на глубине 2174 м при выбранных E_1 и E_2 отличается от гидростатического в 1.4 раза. Чем выше модуль E_2 , тем меньше давление внутри пор при постоянном q .

В настоящее время в газо-нефтяных месторождениях величину пластового давления принято считать равной величине гидростатического давления столба жидкости на взятой глубине, хотя это не всегда выполняется при наличии закрытого пласта, сжимаемого тектоническими силами.

Как отмечено в работе [1], давление жидкости внутри пластов в сравнении с гидростатическим колеблется от 0.7 до 2.

Колебания пластового давления внутри закрытых пластов зависят от отношения E_2 / E_1 . Аномально высокие давления внутри пластов могут появляться в результате действия тектонических сил, трудно учитываемых на дневной поверхности.

Найдем распределение нагрузок в закрытом пласте, обладающем некоторой мощностью. Зависимость $\rho_1(p)$, учитывая (1.4), получим в виде

$$\rho_1 = \rho_0 (1 + p / E_1) \quad (1.8)$$

Считая $q = \text{const}$, запишем (1.1) в виде

$$\frac{d\sigma}{dx_1} + \frac{dp}{dx_1} = g \rho_2 [1 - m(x_1)] - g \rho_1 [1 - 2m(x_1)]$$

или, принимая во внимание (1.3), (1.5), (1.6) и (1.8) и вводя безразмерные давление и координату

$$\frac{a - p_1}{\alpha - \beta p_1} dp_1 = dx$$

где

$$p_1 = p / E_1, \quad x = m_0 \rho_0 a (E_2 / a + E_1)^{-1} \int_0^{x_1} g(x_1) dx_1 \\ a = (1 - m_0) / m_0, \quad \alpha = a (\rho_2 / \rho_0 - 1) + 1 \\ \beta = a - 1 + (am_0)^{-1}$$

Проинтегрируем написанное выше дифференциальное уравнение

$$x = p_1 / \beta + \beta^{-2} (\alpha - a\beta) \ln |\alpha - \beta p_1| + c$$

Из условия

$$x = 0, \quad p_1 = p_0 = aq (a + E_2 / E_1)^{-1} E_1^{-1}$$

определяем

$$c = -p_0 / \beta - \beta^{-2} (\alpha - a\beta) \ln |\alpha - \beta p_0|$$

Следовательно

$$x = (p_1 - p_0) \beta^{-1} + \beta^{-2} (\alpha - a\beta) \ln [(\alpha - \beta p_1) / (\alpha - \beta p_0)] \quad (1.9)$$

Зависимость $p_1(x)$ можно построить графически.

Сравним величину пластового давления, рассчитываемую по формуле (1.9), с величиной гидростатического давления, удовлетворяющей следующему дифференциальному уравнению:

$$dp / dx_1 = g \rho_1$$

Учитывая (1.8), это уравнение представим в виде

$$dp / dx_1 = g(x_1) \rho_0 (1 + p / E_1)$$

Решая уравнение в базразмерных величинах, получим

$$x = \ln(1 + p_1) + c, \quad p_1 = p / E_1, \quad x = \rho_0 E_1^{-1} \int_0^{x_1} g(x_1) dx_1$$

Так как $p_1 = 0$ при $x = 0$, то константа интегрирования $c = 0$. Окончательно

$$p_1 = e^x - 1 \quad (1.10)$$

Сравнение давлений на одинаковой глубине от дневной поверхности производится, исходя из формул (1.9) и (1.10).

На фигуре представлены зависимости пластовых давлений от глубины для закрытого пласта и пласта с гидростатическим давлением; 1 — распределение давления в закрытом пласте, 2 — в открытом.

2. При появлении трещины в непроницаемой стенке закрытого пласта равновесное состояние двухфазной системы нарушается до тех пор, пока вытекающая из пласта жидкость не снижает давление в нем до гидростатического.

Уравнение движения жидкости принимаем в виде

$$v = -K \left(\frac{1}{g\rho_1} \frac{\partial p}{\partial x_1} - 1 \right), \quad K = g\rho_1 k / \mu \quad (2.1)$$

По формуле Слихтера — Козени проницаемость k выражается через пористость m

$$k = A m^3 / (1 - m)^2$$

Здесь A — константа, зависящая от размеров зерен.

Поскольку зерна, по предположению, не деформируются, то A — абсолютная константа. Поэтому

$$k \approx k_0 [1 - (3 - m_0) \sigma m_0^{-1} E_2^{-1}] \quad (2.2)$$

С повышением давления вязкость жидкостей (особенно жидкостей сложного молекулярного строения) сильно возрастает

$$\mu = \mu_0 (1 + \alpha_1 p) \quad (2.3)$$

Тогда

$$\mu^{-1} \approx \mu_0^{-1} (1 - \alpha_1 p) \quad (2.4)$$

Следовательно

$$K \approx K_0 (1 + p / E_1) (1 - \alpha_2 \sigma) (1 - \alpha_1 p), \quad K_0 = \rho_0 g k_0 / \mu_0 \quad \alpha_2 = (3 - m_0) / (m_0 E_2)$$

Используя (1.1) и полагая $\alpha_3 = 1 / E_1$, перепишем

$$K \approx K_0 \left[1 - \alpha_2 q + p (\alpha_3 + \alpha_2 - \alpha_1) - \alpha_2 \rho_2 g \int_0^{x_1} (1 - m) dx_1 - \alpha_2 g \int_0^{x_1} m \rho_1 dx_1 + \alpha_2 g \int_0^{x_1} (1 - m) \rho_1 dx_1 \right]$$

Если в этой формуле ограничиться малыми величинами первого порядка, то надо положить

$$\int_0^{x_1} (1 - m) dx_1 = (1 - m_0) x_1, \quad \int_0^{x_1} m \rho_1 dx_1 = m_0 \rho_0 x_1, \quad \int_0^{x_1} (1 - m) \rho_1 dx_1 = (1 - m_0) \rho_0 x_1$$

Тогда, полагая

$$\epsilon_3 = \alpha_3 + \alpha_2 - \alpha_1, \quad \epsilon_4 = \alpha_2 g \rho_0 [(1 - m_0) \rho_2 / \rho_0 + 2m_0 - 1]$$

получим

$$K \approx K_0 (1 - \alpha_2 q + \epsilon_3 p - \epsilon_4 x_1)$$

Таким образом

$$v = -K_0 (1 - \alpha_2 q + \epsilon_3 p - \epsilon_4 x_1) \left(\frac{1}{\rho_1 g} \frac{\partial p}{\partial x_1} - 1 \right)$$

Уравнение неразрывности жидкости, вытекающей из породы, имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} (m\rho_1) = - \frac{\partial}{\partial x_1} (\rho_1 v)$$

Выполняя подстановки

$$\begin{aligned} m\rho_1 &= (m_0 - \varepsilon_2) (1 - \varepsilon_2)^{-1} \rho_0 (1 + \alpha_3 p) \approx \rho_0 m_0 (1 + \alpha_3 p - a_3 E_2^{-1}) = \\ &= \rho_0 m_0 [1 + \alpha_3 p - aE_2^{-1} (q - p + g \int_0^{x_1} [(1 - m) (\rho_2 - \rho_1) + m\rho_1] dx_1)] \\ &- \rho_1 v = K_0 (1 - \alpha_2 q + \varepsilon_3 p - \varepsilon_4 x_1) \left(\frac{1}{g} \frac{\partial p}{\partial x_1} - \rho_1 \right) \end{aligned}$$

и обозначая

$$\tau = K_0 t [g m_0 \rho_0 (a_3 + a/E_2)]^{-1}$$

уравнение неразрывности представим в виде

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left\{ (1 - \alpha_2 q + \varepsilon_3 p - \varepsilon_4 x_1) \left[\frac{\partial p}{\partial x_1} - g \rho_0 (1 + \alpha_3 p) \right] \right\}$$

После дифференцирования в правой части получим

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = (1 - \alpha_2 q + \varepsilon_3 p - \varepsilon_4 x_1) \frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} - \{g \rho_0 [\varepsilon_3 + \alpha_3 (1 - \alpha_2 q)] + \varepsilon_4\} \frac{\partial p}{\partial x_1} + \varepsilon_3 (\partial p / \partial x_1)^2 + g \rho_0 \varepsilon_4$$

Переходя в этом уравнении к безразмерным величинам, имеем

$$\frac{\partial p_1}{\partial \tau_1} = (\alpha_4 + \varepsilon_5 p_1 - \varepsilon_6 x) \frac{\partial^2 p_1}{\partial x^2} - \alpha_5 \frac{\partial p_1}{\partial x} + \varepsilon_5 \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \right)^2 + \alpha_6 \quad (2.5)$$

$$p_1 = p/q, \quad \tau_1 = \tau/L^2, \quad \alpha_4 = 1 - \alpha_2 q, \quad \varepsilon_5 = q \varepsilon_3, \quad \varepsilon_6 = \varepsilon_4 L$$

$$x = x_1/L, \quad \alpha_0 = \alpha_2 q, \quad (g \rho_0)_1 = g \rho_0 L/q$$

$$\alpha_5 = (g \rho_0)_1 (\varepsilon_5 + \alpha_0 \alpha_4) + \varepsilon_6, \quad \alpha_6 = (g \rho_0)_1 \varepsilon_6$$

Здесь L — длина породы, из которой происходит отжатие жидкости.

Используя приближенный метод в теории одномерной неустановившейся фильтрации жидкости при упругом режиме, изложенный в работе [3], будем искать решение уравнения (2.5) в виде

$$p = c_0 + c_1 \frac{x_1}{l(\tau)} + c_2 \frac{x_1^2}{l^2(\tau)} \quad (2.6)$$

В качестве граничных условий имеем: давление жидкости на границе отбора в момент начала отжатия

$$x_1 = 0, \quad p = p_0 \quad (2.7)$$

давление вне зоны возмущения

$$x_1 = l, \quad p = p^\circ \quad (2.8)$$

Начальное условие

$$\tau = 0, \quad l = 0 \quad (2.9)$$

До тех пор пока граница зоны возмущения не дойдет до непроницаемой стенки ограниченного пласта, должно выполняться еще одно условие

$$\partial p / \partial x_1 = 0, \quad \text{при } x_1 = l \quad (2.10)$$

Имея в виду (2.6) — (2.10), получаем

$$c_0 = p_0, \quad c_1 = 2(p^\circ - p_0), \quad c_2 = -(p^\circ - p_0)$$

Тогда (2.6) запишется в виде

$$p = p_0 + 2(p^\circ - p_0) \frac{x_1}{l(\tau)} - (p^\circ - p_0) \frac{x_1^2}{l^2(\tau)} \quad (2.11)$$

Приведем (2.11) к безразмерным величинам

$$p_{11} = p_0 + 2c \frac{x}{l_1} - c \frac{x^2}{l_1^2}$$

$$p_{11} = p/q, \quad p_0 = p_0/q, \quad c = (p^\circ - p_0)/q, \quad x = x_1/L, \quad l_1 = l/L$$

Интегрируя (2.5) по x в пределах от 0 до l_1 , используя при этом (2.6), получаем дифференциальное уравнение

$$\begin{aligned} d\tau_1 &= (al_1^2 + bl_1 + i)^{-1} l_1 dl_1 \\ a &= -3a_6/c, \quad b = -3(\varepsilon_6 - a_5), \quad i = 6(a_4 + \varepsilon_5 p_{01}) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Интегрируя с учетом $b^2 - 4ai > 0$ и используя при этом (2.9), получаем

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{i}{2a} \ln \left| \frac{a}{i} l_1^2 + \frac{b}{i} l_1 + 1 \right| + \frac{b}{2a \sqrt{b^2 - 4ai}} \ln \left| \frac{2al_1/\kappa_2 + 1}{2al_1/\kappa_1 + 1} \right| \\ \kappa_1 &= b - \sqrt{b^2 - 4ai}, \quad \kappa_2 = b + \sqrt{b^2 - 4ai} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Отсюда зависимость $l_1(\tau_1)$ можно получить графически.

На второй стадии отжатия жидкости из породы, после того как граница зоны возмущения коснется непроницаемой стенки пласта в момент времени τ_{10} , функцию давления ищем в виде

$$p_{12} = P_1(\tau_1) + P_2(\tau_1)x + P_3(\tau_1)x^2, \quad p_{12} = p/q, \quad x = x_1/L$$

Здесь P_1, P_2, P_3, p_{12} и x — безразмерные переменные; при этом

$$p_{12}|_{x=0} = p_{01}, \quad \frac{\partial p_{12}}{\partial x}|_{x=0} = 0 \quad (2.14)$$

Из условий (2.14) имеем

$$P_1(\tau_1) = p_{01}, \quad P_2(\tau_1) = -2P_3(\tau_1), \quad p_{12} = p_{01} - 2P_3x + P_3x^2 \quad (2.15)$$

Интегрируя (2.5) по x от 0 до $L_1 = 1$, используя при этом (2.15), получаем

$$dP_3/d\tau_1 = a_1 P_3 + a_0 \quad (2.16)$$

$$a_1 = 1.5(\varepsilon_6 - a_5 - 2a_4 - 2\varepsilon_5 p_{10}), \quad a_0 = -1.5a_6 \quad (a_0 < 0)$$

Решая (2.16), получаем

$$P_3 = (G_1 a_1)^{-1} \exp(a_1 \tau_1) - a_0/a_1$$

где G_1 — константа интегрирования, определяемая из условия непрерывного перехода давления p_{11} в p_{12} в момент τ_{10} при $x = 1$.

Из условия $p_{11}(\tau_{10}) = p_{12}(\tau_{10})$ в точке $x = 1$ с учетом $l_1(\tau_{10}) = 1$ имеем

$$P_3(\tau_{10}) = -c, \quad G_1^{-1} = (a_0 - a_1 c) \exp(-a_1 \tau_{10})$$

поэтому

$$P_3(\tau_1) = (a_0/a_1 - c) \exp[a_1(\tau_1 - \tau_{10})] - a_0/a_1$$

Таким образом, функция давления на второй стадии

$$\begin{aligned} p_{12} &= p_{01} - 2[(a_0/a_1 - c) \exp[a_1(\tau_1 - \tau_{10})] - a_0/a_1]x + \\ &+ [(a_0/a_1 - c) \exp[a_1(\tau_1 - \tau_{10})] - a_0/a_1]x^2 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Полагаем, что упругое отжатие жидкости из породы происходит по закону Дарси

$$Q = \frac{k(\sigma)}{\mu(p)} F(\sigma) \left(\frac{\partial p}{\partial x_1} \right)_{x_1=0} \quad (2.18)$$

Здесь Q — расход, F — площадь сечения пласта, σ — эффективное горное давление.

Записываем (2.18) в безразмерных величинах

$$Q_1 = k_1 \mu_1^{-1} F_1 \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \right)_{x=0} \quad (2.19)$$

$$Q_1 = \mu_0 L Q / (k_0 F_0 q), \quad k_1 = k(\sigma)/k_0, \quad \mu_1 = \mu(p)/\mu_0, \quad F_1 = F(\sigma)/F_0$$

Величины k_0, μ_0, F_0 измеряются в атмосферных условиях.

Используя (1.3) и (1.5), выражаем F_1 через σ

$$F_1 = 1 - \sigma/E_2 \quad (2.20)$$

Объем жидкости v_{11} , вышедшей из пласта через сечение $x = 0$, после первой стадии отжатия с учетом (2.2), (2.3), (2.20) и p_{11} выразится интегралом

$$\begin{aligned} v_{11} &= \int_0^{\tau_{10}} Q_1 d\tau_1 = 2c(1 - \beta_1 \sigma_1)(1 - \sigma_1)(1 + \alpha_{11})^{-1} \int_0^{\tau_{10}} l_1^{-1}(\tau_1) d\tau_1 \\ \beta_1 &= (3 - m_0)/m_0, \quad \sigma_1 = \sigma/E_2, \quad \alpha_{11} = a_1 p_0 \end{aligned}$$

Найдем время окончания второй стадии отжатия τ_1^* из условия $p_{12} = p_{01} \rightarrow a_0/a_1$ при $x = 1$; тогда $\tau_1^* \rightarrow \infty$.

Объем жидкости v_{12} , вышедший из пласта после второй стадии с учетом (2.2), (2.3), (2.20) и (2.17)

$$v_{12} = \int_{\tau_{10}}^{\infty} Q_1 d\tau_1 = -2(1 - \beta_1 \sigma_1)(1 - \sigma_1)(1 + \alpha_{11})^{-1} \int_{\tau_{10}}^{\infty} P_3(\tau_1) d\tau_1$$

Общий объем жидкости v , отжатый из пласта при упругом режиме

$$v = v_{11} + v_{12}$$

В частности, произведем расчет количества отжимаемой воды из образца породы длиной $L = 5 \text{ см}$, диаметром 3 см (глубина отбора образца $H = 2174 \text{ м}$) при следующих значениях параметров:

$$p_0 = 220 \text{ ат}, a_3 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ ат}^{-1}, a_2 = 2.8 \cdot 10^{-4} \text{ ат}^{-1}$$

$$a_1 = 10 \cdot 10^{-5} \text{ ат}^{-1}, \rho_2 = 2.3 \text{ г/см}^3, \rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$$

$$E_2^{-1} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ ат}^{-1}, m_0 = 0.2, g = 9.8 \text{ м/сек}^2, q = 500 \text{ ат}$$

$$\epsilon_5 = 0.0983, \epsilon_6 = 0.153 \cdot 10^{-5}, a_4 = 0.8767, a_5 = 0.2732 \cdot 10^{-5}, a_6 = 0.153 \cdot 10^{-10},$$

$$a_0 = 0.025, (g\rho_0) = 10^{-5}$$

$$p_{01} = 0.44, k_0 = 100 \text{ мдарси}, \mu_0 = 0.3 \text{ спз}$$

Давление жидкости p° , возникающее в образце в результате приложения мгновенной нагрузки q , подсчитывается по формуле (1.7)

$$p^\circ = 307 \text{ ат}$$

Время, необходимое для создания нагрузки q , пренебрежимо мало по сравнению с временем, в течение которого длится процесс отжатия воды из образца.

В уравнении (2.12) сделаем оценку знаменателя

$$a = -2.638 \cdot 10^{-10}, b = 0.3606 \cdot 10^{-5}, i = 5.52, |al_1^2 + bl_1| \ll i$$

Поэтому из (2.12) имеем

$$id\tau_1 = l_1 dl_1, \text{ или } l_1 = \sqrt{2i\tau_1}$$

Здесь учитывалось начальное условие.

Функция давления жидкости внутри образца на первой стадии имеет вид

$$p_{11} = 0.44 + 0.105 x\tau_1^{-1/2} - 0.016 x^2\tau_1^{-1}$$

$$\tau_{10} = 0.09, \beta_1 = 14, \sigma = 313 \text{ ат}, \sigma_1 = 62.6 \cdot 10^{-4}, \alpha_{11} = 22 \cdot 10^{-3}, v_{11} = 0.014$$

Переходя к размерным величинам, найдем

$$v_1 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3$$

Найдем объем v_{12}

$$a_0 = -1.5 \cdot 0.153 \cdot 10^{-10} \sim 0, a_1 = -2.76, c = 0.174, v_{12} = 0.112$$

Переходя к размерным величинам, найдем

$$v_2 \approx 0.066 \text{ см}^3, v = v_1 + v_2 \approx 0.0663 \text{ см}^3$$

На экспериментальной установке [4] был испытан образец породы (взятый на Соболиной площади из скважины 172-Р с глубиной 2172–2176 м, с удельным весом 2.3 г/см³, открытой пористостью 0.2, алеворолит) с указанными выше свойствами в условиях, аналогичных расчетным. Объем отжатой из образца воды оказался равным 0.08 см³, т. е. несколько больше расчетного, что объясняется неупругими деформациями в образце в процессе опыта.

Поступила 11 VII 1969

ЛИТЕРАТУРА

- Т х о с т о в Б. А. Начальные пластовые давления и геогидродинамические системы. М., «Недра», 1966.
- Б а р е н б л а т Г. И., К р и л о в А. П. Об упруго-пластическом режиме фильтрации. Изв. АН СССР, ОТН, 1955, № 2.
- Б а р е н б л а т Г. И. О некоторых приближенных методах в теории одномерной неустановившейся фильтрации жидкости при упругом режиме. Изв. АН СССР, ОТН, 1954, № 9.
- А ф и н о г е н о в Ю. А., Б у л а т о в В. В. Экспериментальная установка, предназначенная для определения фильтрационных характеристик горных пород в условиях, моделирующих пластовые. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1968, № 6.