УДК 5196: 539.3

ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА ЖИВЛЕННЯ РОБОЧОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Ярослав П'янило

Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, м. Львів

В [1–3] побудовано математичні моделі роботи підземних сховищ газу. Радіус живлення свердловин визначали експериментальним шляхом. Область живлення розбивали на дві підобласті: вибійну зону та область пласту. При відбиранні газу область живлення свердловин залежить від її дебіту. Оскільки параметри області живлення свердловин входять в математичну модель роботи свердловини, то доцільно мати критерії їх визначення. Метою роботи є визначення параметрів області живлення свердловини в залежності від депресії тиску та дебіту свердловини.

Розглянемо циліндричну область, у центрі якої знаходиться свердловина зовнішній радіус якої рівний a, а внутрішній − b. Граничні умови на зовнішній границі $\partial P/\partial r = 0$, а на внутрішній границі − $P = P_2 \equiv \mathrm{const}$. Початковий розподіл тиску є сталим і рівним P_0. За таких умов розв'язок поставленої задачі має вигляд [4]

$$P = P_2 - 2(P_0 - P_2)\sum_{m=1}^{\infty} H_m Z_0(r\lambda_m) .$$

Тут $P = p^2$, $P_2 = p_2^2$, $P_0 = p_0^2$, $\tau = \dfrac{p_2}{p_0}t + \left(1 - \dfrac{p_2}{p_0}\right)\dfrac{1-\mathrm{e}^{-\beta t}}{\beta}$,

$$H_m Z_0(r\lambda_m) = -\frac{\pi N_0(\lambda_m b) N_1^2(\lambda_m a)\exp\left(-\dfrac{p_0\tau\lambda_m^2}{D}\right)}{\left(N_0^2(\lambda_m b) - N_1^2(\lambda_m a)\right)\left(\pi\lambda_m r N_1(\lambda_m r)\right)},$$

$$Z_0(\lambda_m r) = J_0(\lambda_m r) + A_m N_0(\lambda_m r),\ Z_1(\lambda_m r) = J_1(\lambda_m r) + A_m N_1(\lambda_m r),$$

$$A_m = -\frac{J_0(\lambda_m b)}{N_0(\lambda_m b)} = -\frac{J_1(\lambda_m a)}{N_1(\lambda_m a)},\quad D = \frac{m\mu}{k},\quad \beta = \frac{p_0 k\lambda_m^2}{2m\mu},$$

p_0, p_2 − початкове значення тиску та значення тиску на границі області, $J_i(\lambda_m r)$ − функція Бесселя дійсного аргументу порядку i, $N_i(\lambda_m r)$ − функція Неймана порядку i, λ_m − корені рівняння

$$J_0(\mu x)N_1(x) - J_1(x)N_1(\mu x) = 0,\ \mu = b/a,\ a\lambda_m = x,\ b\lambda_m = \mu x .$$

Якщо розглядати процес руху газу в системі пласт-гирло свердловини, то він описується рівнянням

$$p^2(r,t) = (p_g^2 e^b + a_r e^b q_0^2) + A_{12} q_0 + B_{12} q_0^2 -$$
$$-2\left(p_0^2 - \left((p_g^2 e^b + a_r e^b q_0^2) + A_{12} q_0 + B_{12} q_0^2\right)\right) \sum_{m=1}^{\infty} H_m Z_0(r\lambda_m) .$$

Тут

$$a_r = \lambda\, zL_r \frac{RT}{D}\left(\frac{\rho_0}{S}\right)^2 \frac{1-e^{-b}}{b} \quad A_{12} = \frac{A_1}{k_{пл}} + \frac{A_2}{k_b}, \quad B_{12} = \frac{B_1}{k_{пл}^{3/2}} + \frac{B_2}{k_b^{3/2}} .$$

$$A_1 = \frac{1}{h\pi}\mu p_0 \ln\frac{R_k}{R_c}, \quad A_2 = \frac{\mu p_0}{\pi h_x} \ln\frac{2R_c h}{2r_k l_k n_0 h_x + \Theta(n_0)(r_1^2 - r_2^2)} ,$$

$$B_1 = 12\times 10^{-5} \frac{\rho_0 p_0 d^2}{2\pi^2 h^2 m}\left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_k}\right),$$

$$B_2 = \frac{\rho_0 p_0 d^2}{\pi^2 h_x m}\left(\frac{1}{2r_k l_k n_0 h_x + \Theta(n_0)(r_1^2 - r_2^2)} - \frac{1}{2R_c h}\right).$$

Остання рівність залежить від параметрів свердловини та пласту [1–3] і дозволяє за заданим гирловим тиском та дебітом свердловини визначити розподіл тиску в її області. Зі зростанням радіуса r розраховане значення тиску прямує до середнього пластового тиску газу. Область живлення буде визначатися таким значенням радіуса, при збільшенні якого значення тиску залишається незмінним із заданою точністю. Як і слід очікувати, область живлення буде залежати від часу.

1. *П’янило Я.Д.* Дослідження неусталеного руху газу в пористих середовищах // Прикл. проблеми мех. і мат. – 2004. – Вип. 2. – С. 178–184.
2. *Притула Н.М., Пянило Я.Д., Притула М.Г.* Підземне зберігання газу (математичні моделі та методи). – Львів: Растр-7, 2015. – 266 с.
3. *П’янило Я.Д.* Проекційно-ітераційні методи розв’язування прямих та обернених задач переносу. – Львів: Сплайн, 2011. – 248 с.
4. *Чарный И.А.* Подземная гидрогазодинамика. – Москва: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. – 397 с.

DETERMINATION OF THE FEEDING RADIUS OF AN OPERATING WELL

A mathematical model of the process of gas transition trough the well is onstructed to determine the radius of its supply depending on the flow rate of the well and the time of extraction.