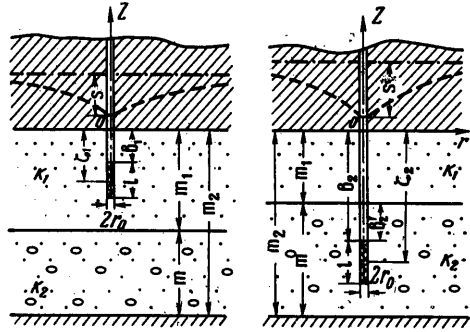


## ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ К НЕСОВЕРШЕННЫМ СКВАЖИНАМ В ДВУХСЛОЙНОМ НАПОРНОМ ПЛАСТЕ

А. Я. ОЛЕЙНИК (Киев)

Фильтрация воды к несовершенным скважинам в однородном напорном пласте в последнее время достаточно широко исследована. Значительно менее подробно изучена фильтрация к несовершенным скважинам в слоистых пластах, которые зачастую встречаются на практике. Некоторые частные случаи этой задачи рассмотрены в работах [1-4], причем наиболее полно ее решение дано в работе [4]. Однако это решение представлено в общем виде, трудно применимом для практического использования.

Ниже приводится решение задачи фильтрации воды к несовершенной скважине в двухслойном напорном пласте для случаев расположения рабочей части скважины как в верхнем, так и в нижнем слоях пласта. Задача решается методом, развитым в работах [5, 6], причем сначала находится потенциал  $\varphi$  точечного стока, а затем потенциал  $\Phi$  линейного стока постоянной интенсивности  $q$ , который впоследствии принимается за рабочую часть скважины.



Фиг. 1

Применяя к полученным решениям известный метод фильтрационных сопротивлений, для окончательных расчетов предложены приближенные зависимости.

**1. Потенциал стока в двухслойном пласте.** При расположении стока в верхнем слое пласта в точке с координатами  $(0, 0, -\eta_1)$  выражения для потенциалов в верхнем  $\varphi_1$  и в нижнем  $\varphi_2$  слоях запишутся так:

$$\varphi_1^* = -\frac{q_0}{4\pi} \left[ \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + (\omega + \eta_1)^2}} + \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + (\omega - \eta_1)^2}} \right] + \frac{q_0}{4\pi} \int_0^\infty J_0(\rho\alpha) [A_1(\alpha)e^{-\omega\alpha} + B_1(\alpha)e^{(\omega+1/2)\alpha}] d\alpha \quad (1.1)$$

$$\varphi_2^* = -\frac{q_0}{4\pi} \int_0^\infty J_0(\rho\alpha) [D_1(\alpha)e^{(\omega+\tau)\alpha} + C_1(\alpha)e^{-(\omega+1/2)\alpha}] d\alpha \quad (1.2)$$

При расположении стока в нижнем слое пласта в точке с координатами  $(0, 0, +\eta_2)$  получим

$$\varphi_1^{**} = \frac{q_0}{4\pi} \int_0^\infty J_0(\rho\alpha) [A_2(\alpha)e^{-\omega\alpha} + B_2(\alpha)e^{-(\omega+1/2)\alpha}] d\alpha \quad (1.3)$$

$$\varphi_2^{**} = -\frac{q_0}{4\pi} \left[ \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + (\omega - 2\tau + \eta_2)^2}} + \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + (\omega - \eta_2)^2}} \right] + \frac{q_0}{4\pi} \int_0^\infty J_0(\rho\alpha) [D_2(\alpha)e^{(\omega+\tau)\alpha} + C_2(\alpha)e^{-(\omega+1/2)\alpha}] d\alpha \quad (1.4)$$

Здесь

$$q_0 = \frac{q}{2m_1}, \quad \omega = \frac{z}{2m_1}, \quad \eta = \frac{\zeta}{2m_1}, \quad \tau = \frac{m_2}{2m_1}, \quad \rho = \frac{r}{2m_1}, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1.5)$$

Остальные обозначения ясны из фиг. 1.

Вид функций  $A(\alpha)$ ,  $B(\alpha)$ ,  $D(\alpha)$  и  $C(\alpha)$  выбираем таким образом, чтобы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  удовлетворяли следующим граничным условиям задачи:

$$\left. \frac{\partial \varphi_1}{\partial \omega} \right|_{\omega=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \varphi_2}{\partial \omega} \right|_{\omega=-\tau} = 0, \quad \left. \frac{\varphi_1}{k_1} \right|_{\omega=-1/2} = \left. \frac{\varphi_2}{k_2} \right|_{\omega=-1/2}, \quad \left. \frac{\partial \varphi_2}{\partial \omega} \right|_{\omega=-1/2} = \left. \frac{\partial \varphi_1}{\partial \omega} \right|_{\omega=-1/2},$$

Опуская в дальнейшем промежуточные выкладки по нахождению коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $D$  и  $C$  и выполняя некоторые преобразования, получим с учетом соотношений (1.5)

$$\varphi_1^* = -\frac{q}{4\pi} \left\{ g_0(+\zeta_1, 0) + g_0(-\zeta_1, 0) + \sum_{n=1} c_n [g_n(+\zeta_1, +n) + g_n(-\zeta_1, +n) + g_n(+\zeta_1, -n) + g_n(-\zeta_1, -n)] \right\} + c_1^* \quad (1.6)$$

$$\varphi_2^* = -\frac{q(1-\lambda)}{4\pi} \sum_{n=0} b_n [g_n(+\zeta_1, +n) + g_n(-\zeta_1, +n) + g_n(+\zeta_1, -2m_2, -n) + g_n(-\zeta_1, -2m_2, -n)] + c_2^* \quad (1.7)$$

$$\varphi_1^{**} = -\frac{q(1-\lambda_0)}{4\pi} \sum_{n=0} a_n [g_n(+\zeta_2, +n) + g_n(-\zeta_2, -n) + g_n(-\zeta_2, +2m_2, +n) + g_n(+\zeta_1, -2m_2, -n)] + c_1^{**} \quad (1.8)$$

$$\varphi_2^{**} = -\frac{q}{4\pi} \left\{ g_0(+\zeta_2, -2m_2, 0) + g_0(-\zeta_2, 0) + \sum_{n=0} d_n [g_n(+\zeta_2, -4m_2, -n) + g_n(-\zeta_2, -2m_2, -n) + g_n(-\zeta_2, +2m_2, +n) + g_n(+\zeta_2, +n)] \right\} + c_2^{**} \quad (1.9)$$

$$g_0(\pm\zeta_v, 0) = [r^2 + (z + \zeta_v)^2]^{-1/2}, \quad g_n(\pm\zeta_v, \pm n) = [r^2 + (z \pm 2nm_0 \pm \zeta_v)^2]^{-1/2}$$

$$g_n(\pm\zeta_v, \pm 2m_2, \pm n) = [r^2 + (z \pm 2m_2 \pm 2nm_0 \pm \zeta_v)^2]^{-1/2}$$

$c_1^*$ ,  $c_1^{**}$ ,  $c_2^*$  и  $c_2^{**}$  — некоторые аддитивные постоянные; коэффициенты  $c_n$ ,  $b_n$ ,  $a_n$  и  $d_n$  находятся из выражений

$$N_1'(\alpha) = \frac{\lambda e^{-2\alpha m_1} + e^{-2\alpha m_2}}{1 - e^{-2\alpha m_2} + \lambda e^{-2\alpha(m_2 - m_1)} - \lambda e^{-2\alpha m_1}} \equiv \sum_{n=1} c_n e^{-2\alpha n m_0}$$

$$N_1''(\alpha) = \frac{1 - \lambda}{1 - e^{-2\alpha m_2} + \lambda e^{-2\alpha(m_2 - m_1)} - \lambda e^{-2\alpha m_1}} \equiv (1 - \lambda) \sum_{n=0} b_n e^{-2\alpha n m_0}$$

$$N_2'(\alpha) = \frac{1 - \lambda_0}{1 - e^{-2\alpha m_2} - \lambda_0 e^{-2\alpha(m_2 - m_1)} + \lambda_0 e^{-2\alpha m_1}} \equiv (1 - \lambda_0) \sum_{n=0} a_n e^{-2\alpha n m_0}$$

$$N_2''(\alpha) = \frac{1 + \lambda_0 e^{2\alpha m_1}}{1 - e^{-2\alpha m_2} - \lambda_0 e^{-2\alpha(m_2 - m_1)} + \lambda_0 e^{-2\alpha m_1}} \equiv \sum_{n=0} d_n e^{-2\alpha n m_0}$$

где  $m_0$  — общий наибольший делитель величин  $m_1$  и  $m_2$ .

Так как  $e^{-2\alpha m_0} < 1$ , то ряды  $N(\alpha)$  сходятся.

Отметим частичные случаи. Если мощность верхнего слоя равна мощности нижнего слоя ( $m_2 = 2m_1 = 2m$ ), уравнения (1.6)–(1.9) преобразуются к такому виду

$$\varphi_1^* = -\frac{q}{\pi m_2} \left[ \frac{1 + \lambda}{2} \ln \frac{4m_2}{r} + (1 - \lambda)P(r, z, \zeta_1, m_2) + 2\lambda P(r, z, \zeta_1, m_1) \right] + c_1^* \quad (1.10)$$

$$\Phi_2^* = -\frac{q(1-\lambda_0)}{\pi m_2} \left[ \frac{1}{2} \ln \frac{4m_2}{r} + P(r, z, \zeta_1, m_2) \right] + c_2^* \quad (1.11)$$

$$\Phi_1^{**} = -\frac{q(1-\lambda_0)}{\pi m_2} \left[ \frac{1}{2} \ln \frac{4m_2}{r} + P(r, z, \zeta_2, m_2) \right] + c_1^{**} \quad (1.12)$$

$$\Phi_2^{**} = -\frac{q}{\pi m_2} \left[ \frac{1+\lambda_0}{2} \ln \frac{4m_2}{r} + (1-\lambda_0)P(r, z, \zeta_2, m_2) + 2\lambda_0 P(r, z, \zeta_2, m) \right] + c_2^{**}$$

$$\left( P(r, z, \zeta, m) = \sum_{n=1} K_0 \left( \frac{\pi n r}{m} \right) \cos \frac{\pi n z}{m} \cos \frac{\pi n \zeta}{m} \right) \quad (1.13)$$

Здесь  $K_0(x)$  — функция Бесселя второго рода нулевого порядка мнимого аргумента. Если мощность нижнего слоя бесконечно большая ( $m_2 \rightarrow \infty$ ,  $m_0 = m_1$ ), то уравнения (1.6)–(1.9) будут иметь вид

$$\Phi_1^* = -\frac{g}{4\pi} \left\{ g_0(+\zeta_1, 0) + g_0(-\zeta_1, 0) + \sum_{n=1} \lambda^n [g_n(+\zeta_1, +n) + g_n(-\zeta_1, +n) + g_n(+\zeta_1, -n) + g_n(-\zeta_1, -n)] \right\} + c_1^* \quad (1.14)$$

$$\Phi_2^* = -\frac{q(1-\lambda)}{4\pi} \left\{ g_0(+\zeta_1, 0) + g_0(-\zeta_1, 0) + \sum_{n=1} \lambda^n [g_n(+\zeta_1, +n) + g_n(-\zeta_1, +n)] \right\} + c_2^* \quad (1.15)$$

$$\Phi_1^{**} = -\frac{q(1-\lambda_0)}{4\pi} \left\{ g_0(+\zeta_2, 0) + g_0(-\zeta_2, 0) + \sum_{n=1} (-1)^n \lambda^n [g_n(+\zeta_2, +n) + g_n(-\zeta_2, -n)] \right\} + c_1^{**} \quad (1.16)$$

$$\Phi_2^{**} = -\frac{q}{4\pi} \left[ g_0(-\zeta_2, 0) + (1-\lambda_0^2)g_0(+\zeta_2, 0) + \lambda_0 g_0(+\zeta_2, -2m_1, 0) + (1-\lambda_0^2) \sum_{n=1} (-1)^n \lambda_0^n g_n(+\zeta_2, +n) \right] + c_2^{**} \quad (1.17)$$

2. Потенциал несовершенной скважины в двухслойном пласте. Так как решение уравнений в общем виде сопряжено с весьма громоздкими вычислениями, то для скважин рассмотрим только указанные выше частные случаи, которых в дальнейшем окажется достаточно для получения оценки влияния мощности нижнего слоя пласта и выработки приближенных рекомендаций.

Принимая рабочую часть скважины  $l$  за линию стоков постоянной интенсивности  $q = Q/l$  [3], запишем для обоих случаев выражение для потенциалов от действия этого линейного стока, расположенного в верхнем и нижнем слоях пласта на расстоянии  $b_1$  и  $b_2$  от кровли пласта (фиг. 1). При этом ограничимся нахождением распределения потенциала в тех слоях пласта, в которых расположен линейный сток

для случая  $m_1 = m$

$$\Phi_1^* = \int_{b_1}^{b_1+l} \varphi_1^* d\zeta_1 = -\frac{Q}{\pi m_2} \left\{ \frac{1+\lambda}{2} \ln \frac{4m_2}{r} + (1-\lambda) \frac{m_2}{\pi l} [F(r, z, m_2, b_1+l) - F(r, z, m_2, b_1)] + \frac{2\lambda m_1}{\pi l} [F(r, z, m_1, b_1+l) - F(r, z, m_1, b_1)] \right\} + G_1^* \quad (2.1)$$

$$\Phi_2^{**} = \int_{b_2}^{b_2+l} \Phi_2^{**} d_{b_2}^z = -\frac{Q}{\pi m_2} \left\{ \frac{1+\lambda_0}{2} \ln \frac{4m_2}{r} + (1-\lambda_0) \frac{m_2}{\pi l} [F(r, z, m_2, b_2+l) - F(r, z, m_2, b_2)] + \frac{2\lambda_0 m}{\pi l} [F(r, z, m, b_2'+l) - F(r, z, m, b_2')] \right\} + C_2^{**} \quad (2.2)$$

$$\left( F(r, z, m, b) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} K_0 \left( \frac{\pi n r}{m} \right) \cos \frac{\pi n z}{m} \sin \frac{\pi n b}{m} \right)$$

для случая  $m \rightarrow \infty$

$$\Phi_1^* = -\frac{Q}{4\pi l} \left\{ f \left( \frac{z+b_1+l}{r} \right) + f \left( \frac{b_1+l-z}{r} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda^n \left[ f \left( \frac{z+2nm_1+b_1+l}{r} \right) + f \left( \frac{b_1+l-2nm_1-z}{r} \right) + f \left( \frac{z-2nm_1+b_1+l}{r} \right) + f \left( \frac{b_1+l+2nm_1-z}{r} \right) \right] + C_1^* \right. \quad (2.3)$$

$$\Phi_2^{**} = -\frac{Q}{4\pi l} \left[ f \left( \frac{b_2+l-z}{r} \right) + (1-\lambda_0^2) f \left( \frac{z+b_2+l}{r} \right) + \lambda_0 f \left( \frac{z-2m_1+b_2-l}{r} \right) + (1-\lambda_0^2) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \lambda_0^n f \left( \frac{z+2nm_1+b_2+l}{r} \right) \right] + C_2^{**} \quad (2.4)$$

$$\left( f \left( \frac{a+l}{r} \right) = \operatorname{arsh} \frac{a+l}{r} - \operatorname{arsh} \frac{a}{r} \right)$$

Определим потенциал  $\Phi_0$  в скважинах, причем за  $\Phi_0$  примем осредненный потенциал  $\langle \Phi_0 \rangle$  на поверхности скважины радиусом  $r_0$  и высотой  $l$ . Тогда для случая  $m_1 = m$

$$\langle \Phi_0^* \rangle = \frac{1}{l} \int_{b_1}^{b_1+l} \Phi_0^*(r_0, z) dz = -\frac{Q}{2\pi m_2} \left[ (1-\lambda) \ln \frac{4m_2}{r_0} + \frac{(1-\lambda)}{2} \varepsilon(r_0, l, b_1, m_2) + \lambda \varepsilon(r_0, l, b_1, m_1) \right] + C_0^* \quad (2.5)$$

$$\langle \Phi_0^{**} \rangle = -\frac{Q}{2\pi m_2} \left[ (1+\lambda_0) \ln \frac{4m_2}{r_0} + \frac{(1-\lambda_0)}{2} \varepsilon(r_0, l, b_2, m_2) + \lambda_0 \varepsilon(r_0, l, b_2', m) \right] + C_0^{**} \quad (2.6)$$

для случая  $m \rightarrow \infty$  при  $l/r_0 \geq 10$

$$\langle \Phi_0^* \rangle = -\frac{Q}{2\pi l} \left[ \ln \frac{l}{r_0} + \ln \left( 1.47 \frac{b_1+l}{2b_1+l} \right) + \frac{b_1}{l} \ln \frac{b_1(b_1+l)}{(b_1+0.5l)^2} + W(\lambda, l^0, b_1^0) \right] + C_0^* \quad (2.7)$$

$$\langle \Phi_0^{**} \rangle = -\frac{Q}{2\pi l} \left\{ \ln \frac{l}{1.356r_0} + (1-\lambda_0^2) \left[ \frac{b_2}{l} \ln \frac{b_2(b_2+l)}{(b_2+0.5l)^2} + \ln \frac{b_2+l}{b_2+0.5l} \right] + \lambda_0 \left[ \frac{b_2'}{l} \ln \frac{b_2'(b_2'+l)}{(b_2'+0.5l)} + \ln \frac{b_2'+l}{b_2'+0.5l} \right] + (1-\lambda_0^2) W_0(\lambda_0, l^0, b_2^0) \right\} + C_0^{**} \quad (2.8)$$

$$(\varepsilon(r_0, l, b, m) = (m/l)^2 [\sigma_{b+l} + \sigma_b + 2(\sigma_{1/2l} - \sigma_{b+1/2l})]) \quad (2.9)$$

Здесь величины  $\sigma_p = \sigma_{b+l}, \sigma_b, \sigma_{l/2}, \sigma_{b+l/2l}$  определяются из уравнения

$$\sigma_p = \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{\sin(\pi n p / m)}{n} \right]^2 K_0 \left( \frac{\pi n r_0}{m} \right)$$

$$W(\lambda, l^\circ, b_1^\circ) = \sum_{n=1}^{\infty} \lambda^n \left[ \frac{n+b_1^\circ}{l^\circ} \ln \frac{(n+b_1^\circ+l^\circ)(n+b_1^\circ)}{(n+b_1^\circ+0.5l^\circ)^2} + \frac{n-b_1^\circ}{l^\circ} \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{(n-b_1^\circ-l^\circ)(n-b_1^\circ)}{(n-b_1^\circ+0.5l^\circ)^2} + \ln \frac{(n+b_1^\circ+l^\circ)(n-b_1^\circ-0.5l^\circ)(n+0.5l^\circ)}{(n+b_1^\circ+0.5l^\circ)(n-b_1^\circ-l^\circ)(n-0.5l^\circ)} + \right. \\ \left. + \frac{2n}{l^\circ} \ln \frac{n^2-0.25l^{\circ 2}}{n^2} \right] \\ W_0(\lambda_0, l^\circ, b_2^\circ) = \\ = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \lambda_0^n \left[ \frac{n+b_2^\circ}{l^\circ} \ln \frac{(n+b_2^\circ+l^\circ)(n+b_2^\circ)}{(n+b_2^\circ+0.5l^\circ)^2} + \ln \frac{n+b_2^\circ+l^\circ}{n+b_2^\circ+0.5l^\circ} \right] \\ \left( l^\circ = \frac{l}{m_1}, b_1^\circ = \frac{b_1}{m_1}, b_2^\circ = \frac{b_2}{m_1} \right)$$

При расположении рабочей части скважины у кровли пласта в приведенных зависимостях необходимо положить  $b_1 = 0$ , а при расположении рабочей части скважины у подошвы пласта —  $b_2 + l = m_2$ . Тогда расчетные формулы упрощаются и будут иметь вид

$$\langle \Phi_0^* \rangle = -\frac{Q}{2\pi m_2} \left[ (1+\lambda) \ln \frac{4m_2}{r_0} + \frac{1-\lambda}{2} \sigma_l(m_2) + \lambda \sigma_l(m_1) \right] + C_0^* \quad (2.10)$$

$$\langle \Phi_0^{**} \rangle = -\frac{Q}{2\pi m_2} \left[ (1+\lambda_0) \ln \frac{4m_2}{r_0} + \frac{1-\lambda_0}{2} \sigma_{b_2}(m_2) + \lambda_0 \sigma_{b_2}(m) \right] + C_0^{**} \quad (2.11)$$

$$\langle \Phi_0^* \rangle = -\frac{Q}{2\pi l} \left[ \ln \left( 1.47 \frac{l}{r_0} \right) + W(\lambda, l^\circ) \right] + C_0^* \quad \text{при } m \rightarrow \infty \quad (2.12)$$

Полученные решения задачи для частных случаев позволяют оценить влияние мощности нижнего слоя пласта  $m$  на величину  $\Phi$ .

Так

$$\Delta \Phi_0^* = \langle \Phi_0^* \rangle_{(m_1=m)} - \langle \Phi_0^* \rangle_{(m \rightarrow \infty)} < 0.05 \langle \Phi_0^* \rangle_{(m_1=m)} \quad \text{при } b_1 + l / m_1 \leq 0.5$$

$$\Delta \Phi_0^* < 0.1 \langle \Phi_0^* \rangle_{(m_1=m)} \quad \text{при } 0.5 \leq b_1 + l / m_1 \leq 1.0$$

$$\Delta \Phi_0^{**} = \langle \Phi_0^{**} \rangle_{(m_1=m)} - \langle \Phi_0^{**} \rangle_{(m \rightarrow \infty)} < 0.1 \langle \Phi_0^{**} \rangle_{(m_1=m)} \quad \text{при } b_2 + l / m_2 < 0.75$$

$$\Delta \Phi_0^{**} < 0.2 \langle \Phi_0^{**} \rangle_{(m_1=m)} \quad \text{при } 0.75 \leq b_2 + l / m_2 \leq 1.0$$

**3. Практические рекомендации.** Для получения простых рекомендаций по расчету несовершенных скважин воспользуемся известным в области фильтрационных расчетов методом фильтрационных сопротивлений, принципы и возможности применения которого изложены во многих работах, например [9]. Согласно этому методу, формула для дебита несовершенных скважин может быть представлена в общем виде

$$Q_0 = \frac{2\pi S(k_1 m_1 + k_2 m_2)}{F_0 + f_0} \quad (3.1)$$

Здесь  $S$  — понижение напора в скважине,  $F_0$  — фильтрационное сопротивление совершенной скважины,  $f_0$  — фильтрационное сопротивление на несовершенство скважины.

В частности, для одиночной скважины с прямолинейным контуром питания, расположенным на расстоянии  $L$ , для скважины с круговым контуром питания, для линейного бесконечного ряда скважин, расположенного на расстоянии  $L$  от прямолинейного контура питания, соответственно

$$F_0 = \ln(2L/r_0), \quad F_0 = \ln(R/r_0), \quad F_0 = 2\pi L/\sigma_0 + \ln(\sigma_0/2\pi r_0)$$

На основании полученных решений для определения сопротивления  $f_0$  предложены следующие приближенные зависимости. В случае одиночной скважины и контурной системы скважин при расстоянии между скважинами  $\sigma_0$  больше мощности пласта  $m_2$  ( $\sigma_0/m_2 \geq 1$ ) величины  $f_0$  будут

$$f_0(b_1) = \beta(\lambda_0, m/m_1) \frac{k_2}{2k_1} \varepsilon(r_0, l, b_1, m_2) + \frac{k_1 - k_2}{2k_1} \varepsilon(r_0, l, b_1, m_1) \quad (3.2)$$

$$f_0(b_2) = \beta(\lambda, m_1/m) \frac{k_1}{2k_2} \varepsilon(r_0, l, b_2, m_2) + \frac{k_2 - k_1}{2k_2} \varepsilon(r_0, l, b_2', m) \quad (3.3)$$

Здесь  $\varepsilon$  — сопротивление на несовершенство скважины в однородном пласте, соответствующей мощности  $m_2$ ,  $m_1$  и  $m$ , определяется по зависимости (2.9).

Значения величин

$$\beta(\lambda_0, m/m_1), \beta(\lambda, m_1/m)$$

находятся из фиг. 2. При этом

$$\beta(\lambda_0) = 1 \text{ при } \lambda_0 = \frac{k_2 - k_1}{k_2 + k_1} \leq 0$$

$$\beta(\lambda) = 1 \text{ при } \lambda = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \leq 0$$

В работах [7-9] для нахождения значений величины  $\varepsilon$  по (2.9) приводятся различные графики, таблицы и более простые формулы.

Для контурной системы скважин при

$$\sigma_0/m_2 < 1$$

получаем

$$f_0 = f_0(b) + \Delta f(b) \quad (3.4)$$

Здесь величина  $\Delta f(b)$  — добавочное сопротивление. Это сопротивление вызывается несовершенством скважин и их взаимодействием между собой, определяется следующими соотношениями:

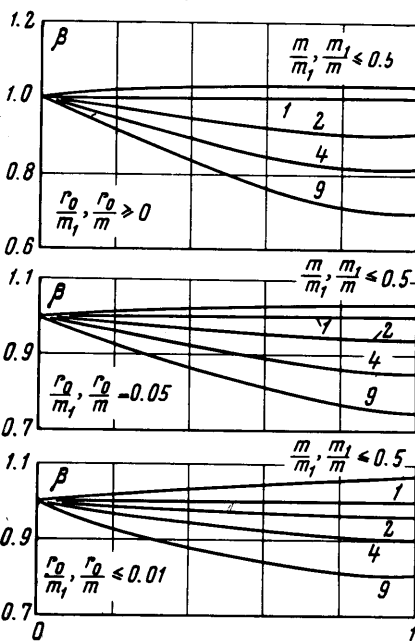
следующими соотношениями:

$$\Delta f(b_1) = \beta(\lambda_0, m/m_1) \frac{k_2}{k_1} \sum_{k=1}^{k=t} \varepsilon_k(r_k, l, b_1, m_2) + \frac{k_1 - k_2}{k_1} \sum_{k=1}^{k=t} \varepsilon_k(r_k, l, b_1, m_1) \quad (3.5)$$

$$\Delta f(b_2) = \beta(\lambda, m_1/m) \frac{k_1}{k_2} \sum_{k=1}^{k=t} \varepsilon_k(r_k, l, b_2, m_2) + \frac{k_2 - k_1}{k_2} \sum_{k=1}^{k=t} \varepsilon_k(r_k, l, b_2', m) \quad (3.6)$$

Здесь  $r_k$  принимают значения  $\sigma_0, 2\sigma_0, \dots, t\sigma_0$ , а  $t = m_2/\sigma_0$ ,  $t = m_1/\sigma_0$  и  $t = m/\sigma_0$ , причем  $t$  округляется до ближайшего меньшего целого числа. Величины  $\varepsilon_k$  в формулах (3.5) и (3.6) определяются по предыдущим рекомендациям, в которых вместо  $r_0$  принимается  $r_k$ . При  $k_2 = 0$ ,  $k_1 = 0$  и  $k_1 = k_2$  из полученных формул вытекают известные зависимости для однородного пласта с мощностями  $m_1$ ,  $m$  и  $m_2$ .

Поступило 3 VI 1966



Фиг. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабушкин В. Д. К вопросу определения водопроницаемости пород в зоне кольматации их. Тр. Сопещения по вопросам водопонижения в гидротехническом строительстве, Госстройиздат, 1959.
2. Ли Ци-цюань. Приток жидкости к скважинам в неоднородных пластах. Изв. АН СССР, Механика и машиностроение, 1960, № 5.
3. Нумеров С. Н., Баргесян Р. М. О дополнительных фильтрационных сопротивлениях несовершенного дренажа (горизонтального и вертикального) в случае фильтрации жидкости в гидравлически связанных пластах. Тр. Координационных совещаний по гидротехнике, Изд. «Энергия», 1966, вып. 25.
4. Стклянин Ю. И. Потенциал несовершенной скважины в двухслойном однородно-анизотропном радиальном пласте. Инж. ж., 1962, т. 2, № 1.
5. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод, Гостехиздат, 1952.
6. Маскет М. Движение однородной жидкости в пористой среде. Гостоптехиздат, 1949.
7. Веригин Н. Н. Метод расчета осушения строительных котлованов с помощью несовершенных скважин. Тр. Сопещения по вопросам понижения в гидротехническом строительстве, Госстройиздат, 1959.
8. Веригин Н. Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. Госстройиздат, 1962.
9. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. Изд. МГУ, 1965.

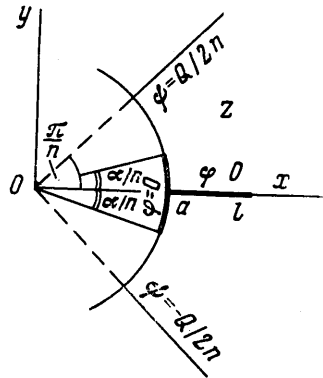
О ПРИТОКЕ К СКВАЖИНАМ С ЦЕЛЕВЫМ ФИЛЬТРОМ

М. Г. АЛИШАЕВ (Магачкала)

Обзор работ, посвященных притоку к несовершенным скважинам, можно найти в книге [1].

Ниже приводится решение задачи о притоке к скважине, частично раскрытой по всей мощности пласта некоторым числом щелей и вертикальными трещинами вдоль этих щелей. Указана геометрическая интерпретация приведенного радиуса скважины в простейших случаях.

Пусть скважина радиуса  $a$  симметрично раскрыта одинаковыми щелями с центральным углом раствора  $2\alpha/n$ , где  $n$  — число щелей, так что общая раскрытая часть скважины составляет центральный угол  $2\alpha$ . Пусть, далее, каждая щель посредине прорезана вдоль вертикали по направлению радиуса трещиной глубины  $l$ , считая от центра скважины ( $l \geq a$ ). На поверхности щелей и в трещинах значение потенциала примем постоянным и равным нулю, а на нераскрытой части скважины нормальную составляющую скорости — равной нулю. Это допущение означает, что перепад давления вдоль трещины не учитывается, и, очевидно, приемлемо для неглубоких трещин. Пласт будем считать бесконечным (фигура).



Комплексный потенциал течения  $w(z)$  легко найти методом конформных отображений: вырежем на плоскости течения вдоль линий тока сектор  $-\pi/n < \arg z < \pi/n$ , отобразим его степенной функцией на целую плоскость, преобразованием Жуковского скважину превратим в «лепешку», обратным преобразованием часть «лепешки», где потенциал равнялся нулю, преобразуем в круг

$$w = -\frac{Q}{2\pi n} \ln \frac{\xi + \sqrt{\xi^2 - r_c^{2n}}}{r_c^n} \tag{1}$$

$$\xi = \frac{1}{2} \left( z^n + \frac{a^{2n}}{z^n} \right) - a^n \cos \alpha - r_c^n, \quad r_c^n = a^n \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{(ln - a^n)^2}{4l^n}$$