

ГИДРАВЛИКА

С. М. КАЗАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
 МНОГОСЛОЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СРЕДЫ
 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОТКАЧКИ ИЗ ВОДОНОСНЫХ
 ГОРИЗОНТОВ

Современные методы определения гидрогеологических расчетных параметров базируются на уравнениях неустановившегося движения подземных вод. Имеется большое количество работ по определению основных параметров пластов [1]. В данной работе приведена методика расчета всех гидрогеологических параметров для трехслойной гидравлически связанной фильтрующей среды по данным опытных откачек. В основу методики положены формулы, которые получены в результате аналитических решений задач неустановившейся фильтрации [2], которые для малых времен откачки без учета инфильтрации при различных режимах откачки из водоносных горизонтов приводятся в [2, 3]. Для случая одной наблюдательной скважины в схеме опытного куста (рис.) включены три центральные и две наблюдательные скважины.

При откачке из двух горизонтов через центральную скважину 1 (рис.) с постоянным расходом расчетные формулы записываются в виде [3]:

$$\begin{aligned} S_0(r, t_1) &= b_0 \left[\frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{A^0 b_1}{N} G_0(t_1) - \varphi_1 \left(\frac{r_1^2}{a_1}, t_1 \right) \right) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{\Delta H}{T} T_1 \left(\frac{A^0 b_1}{N} F_0(t_1) - F_0(t_1) \right) \right]; \\ S_1(r_1, t_1) &= \frac{A^0 b_1}{N} \left[\frac{Q}{4\pi T} G_1(t_1) - \frac{\Delta H}{T} T_1 F_1(t_1) \right] - \\ &\quad - \frac{Q}{4\pi T} E_1 \left(-\frac{r_1^2}{4a_1 t_1} \right) - \frac{\Delta H}{T} T_1 F_1(t_1); \\ S_1(r_0, t_1) &= \frac{Q}{4\pi T} R(r_0, t_1) - \frac{\Delta H}{T} T_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$S_2(r_0, t_l) = \frac{Q}{4\pi T} R(r_0, t_l) + \frac{\Delta H}{T} T_1;$$

$$S_2(r_0, t_l) = S_1(r_0, t_l) + \Delta H \quad (l = 1, 2).$$

При откачке из нижнего водоносного горизонта через центральную скважину 2 с расходом Q_2 расчетные формулы имеют вид [2]:

$$\begin{aligned} S_0(r_r, t_1) &= -\frac{Q_2}{4\pi T_2} A^0 b_1 b_0 \left[\varphi_0\left(\frac{r_r^2}{A^0 a_1}, t_1\right) - \varphi_0\left(\frac{r_r^2}{a_1}, t_1\right) \right]; \\ S_1(r_1, t_l) &= -\frac{Q_2}{4\pi T_2} \frac{A^0 b_1}{N} \left[\varphi_1\left(\frac{r_1^2}{A^0 a_1}, t_l\right) - \varphi_1\left(\frac{r_1^2}{a_1}, t_l\right) \right]; \\ S_2(r_0, t_i) &= \frac{Q_2}{4\pi T_2} \text{Ei}\left(-\frac{r_0^2}{4A^0 a_1 t_i}\right) \quad (i = 1, 2). \end{aligned} \quad (2)$$

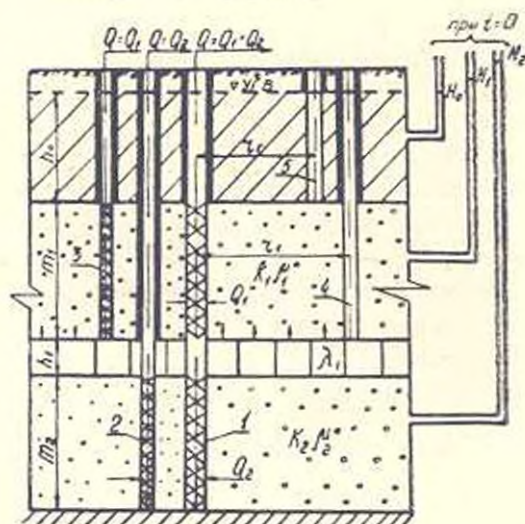


Рис. Расчетная схема. 1, 2, 3 — центральные скважины; 4, 5 — наблюдательные скважины.

При откачке из верхнего водоносного горизонта через центральную скважину 3 с расходом Q_1 расчетные формулы записываются в виде [3]:

$$\begin{aligned} S_0(r_r, t_1) &= -\frac{Q_1}{4\pi T_1} b_0 \tilde{\tau}_1 \left(\frac{r_r^2}{a_1}, t_1 \right); \\ S_1(r_1, t_l) &= -\frac{Q_1}{4\pi T_1} \text{Ei}\left(-\frac{r_1^2}{4a_1 t_l}\right); \\ S_2(r_2, t_i) &= -\frac{Q_1}{4\pi T_1} b_0^2 b_0 \left[\varphi_1\left(\frac{r_2^2}{A^0 a_1}, t_i\right) - \varphi_1\left(\frac{r_2^2}{a_1}, t_i\right) \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$G_0(t_i) = \varphi_0\left(\frac{r_r^2}{a_0}, t_i\right) - \varphi_0\left(\frac{r_r^2}{A^0 a_2}, t_i\right);$$

$$\begin{aligned}
F_0(t_i) &= r_{1r}^* \varphi_0\left(\frac{r_i^2}{a_1}, t_i\right) - r_{2r}^* \varphi_0\left(\frac{r_i^2}{A^0 a_1}, t_i\right); \\
F_0'(t_i) &= \frac{T_2}{T_1} r_{1r}^* \varphi_1\left(\frac{r_i^2}{a_1}, t_i\right); \quad G_1(t_i) = \varphi_1\left(\frac{r_i^2}{a_1}, t_i\right) - \varphi_1\left(\frac{r_i^2}{A^0 a_1}, t_i\right); \\
F_1(t_i) &= r_{11}^* \varphi_1\left(\frac{r_i^2}{a_1}, t_i\right) - r_{21}^* \varphi_1\left(\frac{r_i^2}{A^0 a_1}, t_i\right); \\
F_1'(t_i) &= r_{11}^* \operatorname{Erf}\left(\sqrt{\frac{r_i^2}{4a_1 t_i}}\right); \quad \varphi_0\left(\frac{r^2}{a_1}, t_i\right) = \int_0^{t_i} (t_i - u) \operatorname{Ei}\left(-\frac{r^2}{4a_1 u}\right) du; \\
\varphi_1\left(\frac{r^2}{a_1}, t_i\right) &= \int_0^{t_i} \operatorname{Ei}\left(-\frac{r^2}{4a_1 u}\right) du; \\
\varphi_0'\left(\frac{r^2}{a_1}, t_i\right) &= \int_0^{t_i} (t_i - u) \operatorname{Erf}\left(\sqrt{\frac{r^2}{4a_1 u}}\right) du; \\
\varphi_1'\left(\frac{r^2}{a_1}, t_i\right) &= \int_0^{t_i} \operatorname{Erf}\left(\sqrt{\frac{r^2}{4a_1 u}}\right) du; \quad R(r_0, t) = \ln \frac{2,25 A^0 a_1 t}{r_0^2}; \\
r_{11}^* &= \sqrt{\frac{r_0}{r_i}}; \quad r_i^* = r_i - r_0; \quad r_i^* = r_i - r_0 \sqrt{A^0}; \\
r_{21}^* &= r_{11}^* \sqrt{A^0}; \quad T = T_2 + T_1; \quad A^0 = \frac{a_2}{a_1}; \quad N = A^0 - 1; \quad \Delta H = H_{2e} - H_{1e}.
\end{aligned}$$

В (4) функции $\varphi\left(\frac{r^2}{a_i}, t\right)$ протабулированы для различных значений $\frac{r^2}{a_i}$ и t [4]. В вышеуказанных формулах: r_0 — радиус центральной скважины; r_1, r_2 — расстояние между центральной и наблюдательной скважинами, заложенными соответственно в верхнем и покровном слоях; a_i — коэффициент пьезопроводности ($i = 1, 2$); T_i — водопроницаемость I и II напорных пластов; $S_i(p_{i,1}, t_i)$ — понижения уровня грунтовых вод и пьезометрических напоров в наблюдательных скважинах за время t_i ; $S(r_0, t_i)$ — то же в центральных скважинах ($j = 0, 1, 2, i = 1, 2$).

Из четвертого и пятого уравнений системы (1) получаем:

$$T = \frac{Q}{4\pi} \frac{\ln t_2/t_1}{S_2(r_0, t_2) - S_2(r_0, t_1)} = \frac{Q}{4\pi} \frac{\ln t_2/t_1}{S_1(r_0, t_2) - S_1(r_0, t_1)}, \quad (5)$$

Для определения проводимости верхнего водоносного горизонта T_1 необходимо произвести откачку из этого горизонта с расходом Q_1 . Далее, из второго уравнения системы (2) имеем:

$$T_1 = \frac{Q_1}{4\pi} \frac{\ln t_2/t_1}{S_1(r_0, t_2) - S_1(r_0, t_1)}. \quad (6)$$

Следовательно: $T_2 = T - T_1$. Для контроля целесообразно произвести также откачки из нижнего водоносного горизонта и тогда:

$$T_2 = \frac{Q_2}{4\pi} \frac{\ln t_2/t_1}{S_2(r_0, t_2) - S_2(r_0, t_1)}. \quad (7)$$

Подставляя найденные значения T_1 , T_2 и T в третье и четвертое уравнения системы (1), определяем значения $A^0 a_1$:

$$A^0 a_1 = \frac{r_0^2}{2,25 t_1} \exp [S_{1,2}(r_0, t_1) \pm \frac{\Delta H}{T} T_{2,1}] \frac{4\pi T}{Q}. \quad (8)$$

Из второго уравнения системы (1) имеем:

$$\begin{aligned} \frac{A^0 b_1}{N} = \varphi(t_1) &= \frac{S_1(r_1, t_1) + \frac{Q}{4\pi T} \operatorname{Ei}\left(-\frac{r_1^2}{4a_1 t_1}\right) + \frac{\Delta H}{T} T_1 F_1'(t_1)}{\frac{Q}{4\pi T} G_1(t_1) - \frac{\Delta H}{T} T_1 F_1(t_1)} = \\ &= \varphi(t_2) = \frac{S_1(r_1, t_2) + \frac{Q}{4\pi T} \operatorname{Ei}\left(-\frac{r_1^2}{4a_1 t_2}\right) + \frac{\Delta H}{T} T_1 F_1'(t_2)}{\frac{Q}{4\pi T} G_1(t_2) - \frac{\Delta H}{T} T_1 F_1(t_2)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из трансцендентного уравнения (9) на ЭВМ определяются значения a_1 , которые можно также получить, используя таблицы для $\varphi\left(\frac{r_1^2}{a_1 t}\right)$. При этом строятся графики функции $\varphi(t_1)$ и $\varphi(t_2)$ для различных произвольных значений a_1 . По пересечению указанных графиков находим значения a_1 и $\frac{A^0 b_1}{N}$. Затем с учетом $A^0 a_1$ определяются комплексы A^0 и b_1 .

Из первого уравнения системы (1) находим:

$$b_0 = \frac{S_0(r_r, t_1)}{\frac{Q}{4\pi T} \left[\frac{A^0 b_1}{N} G_0(t_1) - \varphi_1\left(\frac{r_r^2}{a_1}, t_1\right) \right] - \frac{\Delta H}{T} T_1 \left[\frac{A^0 b_1}{N} F_0(t_1) - F_0'(t_1) \right]}. \quad (10)$$

Далее, следуя [2]:

$$b_2 = b_1 A^0 \frac{l_2}{T_1}, \quad b_1' = b_0 \frac{a_1}{T_1} \mu_0, \quad (11)$$

где μ_0 — гравитационная водоотдача.

По найденным комплексам определяются гидрогеологические параметры пластов:

$$k_1 = \frac{T_1^*}{m_1}; \quad k_2 = \frac{T_2^*}{m_2}; \quad \mu_1^* = \frac{T_1^*}{a_1}; \quad \mu_2^* = \frac{T_2^*}{a_2};$$

$$i_1 = b_1 k_1 \mu_1^*; \quad i_0 = b_0 k_0 \mu_0^*.$$
(12)

В (11) m_1, m_2, h_m, h_1 — мощности соответственно верхнего и нижнего напорных горизонтов, покровного и раздельного слоев; $\mu_{1,2}^*$ — коэффициенты упругой водоотдачи напорных горизонтов; $k_{1,2}, i_1, i_0$ — коэффициенты фильтрации напорных, раздельных и покровных слоев.

Значение указанных комплексов можно определить также по результатам откачки только из нижнего и верхнего водоносных горизонтов.

Откачка из нижнего горизонта. Из третьего уравнения системы (2) получаем:

$$\frac{S_2(r_1, t_1)}{S_2(r_0, t_2)} = \frac{\text{Ei}\left(-\frac{r_1^2}{4A^0 a_1 t_1}\right)}{\text{Ei}\left(-\frac{r_0^2}{4A^0 a_1 t_2}\right)}.$$
(13)

Из (13) подбором находим значение $A^0 a_1$ и подставляя его в третье уравнение системы (2), получаем T_2 :

$$\frac{S_1(r_1, t_1)}{S_1(r_1, t_2)} = \frac{\varphi_1\left(\frac{r_1^2}{A^0 a_1}, t_1\right) - \varphi_1\left(\frac{r_1^2}{a_1}, t_1\right)}{\varphi_1\left(\frac{r_1^2}{A^0 a_1}, t_2\right) - \varphi_1\left(\frac{r_1^2}{a_1}, t_2\right)}.$$
(14)

Из (14) на ЭВМ или подбором определяем значение a_1 , а затем и A^0 . Из второго уравнения системы (2) находим:

$$b_1 = \frac{4\pi T_2 N}{A^0 Q_2} \cdot \frac{S_1(r_1, t_1)}{\varphi_1\left(\frac{r_1^2}{a_1}, t_1\right) - \varphi_1\left(\frac{r_1^2}{A^0 a_1}, t_1\right)},$$
(15)

а из первого уравнения имеем:

$$b_0 = \frac{4\pi T_2}{A^0 b_1 Q_2} \cdot \frac{S_0(r_0, t_1)}{\varphi_0\left(\frac{r_0^2}{a_1}, t_1\right) - \varphi_0\left(\frac{r_0^2}{A^0 a_1}, t_1\right)},$$
(16)

Откачка из верхнего горизонта. Из второго уравнения системы (2) имеем:

$$\frac{S_1(r_1, t_1)}{S_1(r_1, t_2)} = \frac{\text{Ei}\left(-\frac{r_1^2}{4a_1 t_1}\right)}{\text{Ei}\left(-\frac{r_1^2}{4a_1 t_2}\right)},$$
(17)

откуда подбором определяем значение a_1 , а затем получаем:

$$r_1 = - \frac{Q_1}{4\pi S_1(r_1, t_1)} \operatorname{Ei}\left(-\frac{r_1^2}{4a_1 t_1}\right). \quad (18)$$

Из первого уравнения системы (3) находим:

$$b_1 = - \frac{4\pi T_1}{Q_1} \frac{S_0(r_1, t_1)}{\varphi_1\left(\frac{r_1^2}{a_1}, t_1\right)}. \quad (19)$$

Из третьего уравнения системы (2) получаем:

$$\frac{S_2(r_2, t_1)}{S_2(r_2, t_2)} = \frac{\varphi_1\left(\frac{r_2^2}{A^0 a_1}, t_1\right) - \varphi_1\left(\frac{r_2^2}{a_1}, t_1\right)}{\varphi_1\left(\frac{r_2^2}{A^0 a_1}, t_2\right) - \varphi_1\left(\frac{r_2^2}{a_1}, t_2\right)}, \quad (20)$$

откуда подбором определяем значение $A^0 a_1$, а затем находим:

$$b_2 = \frac{4\pi T_2}{Q_1} \cdot \frac{S_2(r_2, t_1)}{\varphi_1\left(\frac{r_2^2}{a_1}, t_1\right) - \varphi_1\left(\frac{r_2^2}{A^0 a_1}, t_1\right)}. \quad (21)$$

По найденным значениям указанных комплексов для случая откачки из нижнего и верхнего горизонтов определяются гидрогеологические параметры по формулам (11). После соответствующих преобразований систем (1) — (3) можно так же определить гидрогеологические параметры при наличии двух наблюдательных скважин, заложенных в верхнем и покровном слоях.

Предлагаемый метод определения гидрогеологических параметров многослойной толни является наиболее точным, поскольку используется аналитическое решение прямой задачи фильтрации. Кроме этого, в результате решения обратной задачи непосредственно получают соответствующие комплексы, входящие в расчетные зависимости прямой задачи, при помощи которых решаются проблемы, связанные с осушением и использованием подземных вод.

АрмСХН

20. XII. 1982

ՈՒՄ ՂԱԶԱՐՏԱՆ

ԲԱԶՄԱՇԵՐՏ ՄԵԱՆՑՈՎ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՀԻՒՐՈՅԻՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԶՐԱՏԱՐ ՀՈՐԻԶՈՆՆԵՐԻՑ ՏԱՐԵՐԸ ԹԵԺԻՄՈՎ ԶՐՀԱՆՄԱՆ ԴԵՊԲՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ն Վ

Դիտարկվում է հիդրավիկական կապի մեջ գտնվող երեք անսահմանափակ ջրատար հորաշերտերի հիդրոերկրաբանական պարամետրերի որոշման

խնդիրը: Փորը ժամանակների համար շկայունացված ծծանցման խնդրի ստացված անալիտիկ լուծումներով մշակված է բաղմաշերտ ծծանցող միջավայրի հիդրոերկրաբանական բոլոր պարամետրերի որոշման մեթոդ, օգտագործելով տարրեր ջրատար հորիզոններից փորձնական ջրհանման տվյալները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Боровский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. Е. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек.— М.: Недра, 1973.— 303 с.
2. Казарян С. М. Движение подземных вод к скважине в неоднородно-слоистом пласте при откачке из нижнего напорного водоносного горизонта.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1984, т. XXXVII, № 6, с. 17—25.
3. Казарян С. М. Движение подземных вод к скважине в слоистых толщах при малых и больших временах откачки из двух водоносных горизонтов.— В сб.: Научные труды Арм. СХН «Орошение в горных условиях», 1984, с. 3—14.