

К ВОПРОСУ ОБ УДЕЛЬНЫХ ДЕБИТАХ КОЛОДЦЕВ

В. А. НУДНЕР

Принимая участие в работах треста „Кузбассуглегеология“, связанных с использованием подземных вод для решения вопросов водоснабжения промышленных центров Кузбасса, автору предлагаемой работы не раз приходилось сталкиваться с понятием удельного дебита скважин и его использованием в практических целях. При этом оказалось, что само понятие удельного дебита грунтового колодца не достаточно определено, а использование его при решении практических задач затруднительно. Эти обстоятельства и заставили нас заняться исследованием понятия „удельный дебит скважины“. Результаты этого исследования излагаются в настоящей статье.

Как известно, под удельным дебитом колодца понимают дебит колодца, приходящийся на единицу понижения уровня воды в нем, вызванного откачкой.

Найдем выражение для удельного дебита совершенного грунтового колодца в условиях линейного закона фильтрации. Используем для этого известную формулу дебита колодца в виде:

$$Q = \frac{\pi K}{\ln \frac{R}{r_c}} (2H - S) S \quad (1)$$

Здесь K —коэффициент фильтрации,

R —радиус влияния,

r_c —радиус колодца,

H —мощность водоносного горизонта,

S —понижение уровня в колодце, вызванное откачкой.

Обозначим совокупность постоянных для данного колодца и данного водоносного горизонта членов правой части формулы (1) через A

$$\frac{\pi K}{\ln \frac{R}{r_c}} = A, \quad (2)$$

тогда

$$Q = A(2H - S)S. \quad (3)$$

Отсюда

$$q_c = \frac{Q}{S} = A(2H - S). \quad (4)$$

Здесь q_c — удельный дебит колодца.

Для того чтобы разобраться в сущности этой величины, найдем градиент дебита, т.е. возьмем первую производную от Q по S в уравнении (3)

$$q = \frac{dQ}{dS} = 2A(H - S). \quad (5)$$

Обозначим

$$H - S = h_c, \quad (6)$$

где h_c — мощность слоя воды в колодце при понижении уровня S .

Тогда

$$q = 2Ah_c. \quad (7)$$

Отсюда следует, что градиент дебита грунтового колодца прямо пропорционален мощности слоя воды в нем.

Найдем градиент дебита δ_c , приходящийся на единицу мощности слоя воды в колодце:

$$\delta_c = \frac{q}{h_c} = 2A = 2 \frac{\pi K}{\ln \frac{R}{r_c}}. \quad (8)$$

Назовем величину δ_c единичным дебитом колодца.

Формула (8) показывает, что единичный дебит совершенного грунтового колодца в условиях линейного закона фильтрации представляет для данного колодца и данного водоносного горизонта постоянную величину, прямо пропорциональную коэффициенту фильтрации и обратно пропорциональную логарифму отношения радиуса влияния к радиусу колодца.

Найдем теперь выражение для удельного дебита и градиента дебита артезианского колодца также в условиях линейного закона фильтрации. Воспользуемся для этого известной формулой.

$$Q = 2\pi Km \frac{S}{\ln \frac{R}{r_c}}. \quad (9)$$

Здесь m — мощность водоносного горизонта. Остальные обозначения прежние.

Как легко убедиться, в данном случае градиент дебита представляет собой удельный дебит

$$q = q_c = 2 \frac{\pi K}{\ln \frac{R}{r_c}} m. \quad (10)$$

Имея в виду формулу (2), можно написать

$$q = q_c = 2Am. \quad (11)$$

Единичный дебит артезианского колодца будет

$$\delta_a = \frac{q}{m} = 2A. \quad (12)$$

Сопоставив формулы (8) и (12), найдем, что

$$\delta_c = \delta_a = \delta, \quad (13)$$

т.е. единичный дебит колодца не зависит от того, какой горизонт — напорный или со свободной поверхностью, эксплуатируется колодцем.

Рассмотрим формулы (7) и (11).

Из (11) следует, что градиент дебита и удельный дебит артезианского колодца постоянны потому, что мощность слоя воды в колодце, в данном случае являющаяся мощностью водоносного горизонта, остается постоянной величиной.

Из (7) следует, что градиент дебита грунтового колодца непостоянен и изменяется с изменением понижения уровня, так как при этом изменяется мощность слоя воды в колодце.

Таким образом, формула (7) является общей формулой и для артезианского и для грунтового колодцев, но в первом случае h_c — постоянная величина (мощность водоносного горизонта), не зависящая от понижения уровня, а во втором случае h_c — непосредственно зависит от S .

Очевидно, что формула (7) справедлива и для случая, когда напорный поток, движущийся к колодцу, на некотором расстоянии от него, вследствие большого понижения уровня воды в колодце, переходит в поток со свободной поверхностью.

Определим теперь максимальный, минимальный и средний градиенты дебита грунтового колодца. Из формулы (7) следует, что при $h_c = H$

$$q_{\max} = 2AH, \quad (14)$$

при $h_c = 0$

$$q_{\min} = 0, \quad (15)$$

Что касается среднего градиента дебита, то он, очевидно, зависит от величины понижения уровня S , при котором он определяется. Так, при $S = H$, имея в виду, что градиент дебита изменяется при изменении понижения уровня по закону прямой линии

$$q_{cp_n} = \frac{q_{\max} + q_{\min}}{2} \quad (16)$$

$$q_{cp_n} = \frac{q_{\max}}{2}. \quad (17)$$

Или, учитывая формулу (14),

$$q_{cp_n} = AH, \quad (18)$$

При произвольном понижении S средний градиент дебита

$$q_{cp_s} = \frac{q_{\max} + q}{2} \quad (19)$$

Используя формулы (7) и (14), формулу (19), можно представить в следующем виде:

$$q_{cp_s} = \frac{2AH + 2Ah_c}{2} \quad \text{или}$$

$$q_{cp_s} = 2A \frac{H + h_c}{2} \quad (20)$$

Обозначим

$$\frac{H + h_c}{2} = h_{cp},$$

тогда

$$q_{cp_s} = 2Ah_{cp} \quad (21)$$

Вспомнив формулы (8) и (13), получим

$$q_{cp_s} = \delta h_{cp} \quad (22)$$

Вернемся теперь к удельному дебиту грунтового колодца. Формулу (4) можно представить, заменив в ней понижение S разностью $H - h_c$, в следующем виде:

$$q_c = A(H + h_c) \quad (23)$$

Сравнив формулы (20) и (23), найдем, что

$$q_c = q_{cp_s} \quad (24)$$

т.е. удельный дебит грунтового колодца при понижении уровня S равен среднему градиенту дебита при том же понижении. Такого, следовательно, содержание понятия „удельный дебит“ грунтового колодца.

Пользуясь формулами (4), (22) и (24), можно написать следующую формулу для дебита колодца:

$$Q = \delta h_{cp} S \quad (25)$$

Формула (25) может быть использована и для артезианского колодца и для грунтового и для случая, когда напорный поток в окрестностях скважины переходит (при больших понижениях уровня) в поток со свободной поверхностью.

В первом случае

$$h_{cp} = m, \quad (26)$$

во втором —

$$h_{cp} = \frac{H + h_c}{2} \quad (27)$$

в третьем—

$$h_{cp} = \frac{m + h_c}{2} . \quad (28)$$

Используя формулу (25), можно получить уравнение кривой дебита колодца.

Для этого найдем максимальный дебит $Q_{\max}$ колодца. При этом очевидно

$$S = H = S_{\max}.$$

$S_{\max}$ — здесь максимальное возможное понижение

$$h_{cp} = \frac{S_{\max}}{2},$$

$$Q_{\max} = \delta \frac{S_{\max}^2}{2} \quad (29)$$

Возьмем отношение $\frac{Q}{Q_{\max}}$

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{\delta h_{cp} S}{\delta \frac{S_{\max}^2}{2}}$$

Имея в виду, что

$$h_{cp} = \frac{H + h_c}{2} = \frac{S_{\max} + h_c}{2} ,$$

после несложных преобразований получим

$$Q = Q_{\max} \frac{S_{\max} + h_c}{S_{\max}^2} S. \quad (30)$$

Полученное уравнение кривой дебита грунтового колодца более удобно для практического использования, чем известное уравнение Тима

$$(S_{\max} - S)^2 = \frac{S_{\max}^2}{Q_{\max}} (Q_{\max} - Q). \quad (31)$$

Томский политехнический институт
им. С. М. Кирова