

Н. Н. ВЕРИГИН

**К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОЗАБОРОВ
В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОГО ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД**

(Представлено академиком Л. С. Лейбензоном 20 XI 1948)

В работах (1, 2) рассмотрена приближенная гидравлическая теория действия подземных водозаборов, основанная на допущении о том, что в пределах основного водоносного пласта, в котором заложены каптажные сооружения, напоры распределяются по гидростатическому закону (гипотеза Дюпюи), а из соседних с ним пластов происходит перетекание воды, поступающей затем в каптажи. При указанных предпосылках в (1, 2) исследуется приток воды к совершенным колодцам (плановая задача).

В иных условиях, а именно при фильтрации под гидротехническими сооружениями, рассмотрена также аналогичная линейная задача (3, 4).

Действие подземных водозаборов, питающихся водами соседних водоносных пластов, может быть исследовано несколько иным мето-

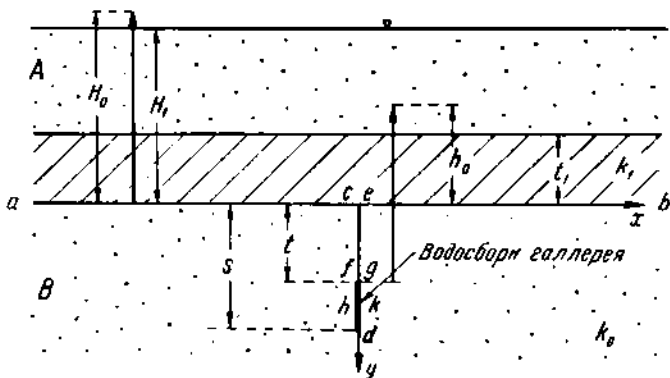


Рис. 1

дом, позволяющим отказаться от гипотезы Дюпюи. Это дает возможность выяснить картину течения в вертикальном разрезе (плоская задача) и рассмотреть работу часто встречающихся в практике так называемых „несовершенных“ водозаборов, вскрывающих водоносный пласт не на полную его мощность, а лишь частично.

Пусть имеется напорный водоносный пласт *B* (рис. 1), имеющий естественный напор H_0 , коэффициент фильтрации k_0 и обладающий весьма большой мощностью. Сверху этот основной пласт ограничен значительно менее проницаемым слоем пород мощностью t_1 с коэф-

фициентом фильтрации k_1 (граничный полупроницаемый слой). Над верхним полупроницаемым слоем залегают артезианский пласт A , обладающий естественным напором H_1 .

Пусть, далее, в основном рассматриваемом пласте B на глубине t от его кровли заложена водосборная галерея высоты $s - t$. Посредством откачки напор в галерее поддерживается на высоте h_0 . Для упрощения исследования галерея принимается нами в виде отрезка вертикальной прямой $fhdkg$ с заданным напором на нем h_0 (рис. 1).

Ввиду малой проницаемости граничного слоя приближенно можно допустить, что напор в верхнем водоносном пласте H_1 во время действия галереи остается постоянным.

Тогда условия на границах основного пласта A могут быть сформулированы следующим образом:

а) Кровля основного водоносного пласта ab

$$v_y = k_1 \frac{H_1 - h}{t_1} \quad \text{или} \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{k_1}{k_0} \frac{k_0 H_1 + \varphi}{t_1}. \quad (1)$$

б) Отрезок оси симметрии над галереей $cfge$

$$v_x = 0, \quad \psi = \text{const}. \quad (2)$$

в) Внешний контур водосборной галереи $fhdkg$

$$v_y = 0, \quad \varphi = -k_0 h_0 = \text{const}, \quad (3)$$

где φ — потенциал скорости, ψ — функция тока, h — напор, v_x и v_y — компоненты скорости фильтрации.

Введем аналитическую функцию

$$R = v + i\mu = -i \frac{dw}{dz} + m\omega + n, \quad (4)$$

где

$$m = \frac{k_1}{k_0 t_1}, \quad n = \frac{k_1 H_1}{t_1}, \quad \omega = \varphi + i\psi, \quad z = x + iy. \quad (5)$$

Вещественная и мнимая части комплекса R будут:

$$v = -v_y + \frac{k_1}{k_0} \frac{\varphi}{t_1} + \frac{k_1 H_1}{t_1}, \quad \mu = -v_x + \frac{k_1}{k_0} \frac{\psi}{t_1}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что в области аналитической функции R кровля водоносного пласта $aceb$ изобразится отрезком прямой $v = 0$, совпадающей с осью ординат, а контур галереи $fhdkg$ представится разрезами fhd и gkd вдоль прямой $v = -\frac{k_1 h_0}{t_1} + \frac{k_1 H_1}{t_1}$, параллельной оси ординат.

Точно так же из (6) следует, что в области R отрезок оси симметрии $cfge$, для которого $v_x = 0$ и $\psi = \text{const}$, изобразится в виде прямой $\mu = \text{const}$, параллельной оси абсцисс.

И вообще, в области R все горизонтальные полупроницаемые границы, вертикальные линии равного напора и вертикальные линии тока изображаются прямыми.

Отобразив конформно области R и z на вспомогательную нижнюю полуплоскость $\zeta = \xi + i\eta$, получим:

$$R = f_1(\zeta), \quad z = f_2(\zeta). \quad (7)$$

Тогда $s = 0$, $\gamma = 0$, $\alpha = 0$, и потому вместо (13) получим:

$$R = A \int_{\infty}^{\zeta} \frac{d\zeta}{\zeta^2} + C = -\frac{A}{\zeta} + C. \quad (14)$$

Кроме того, в рассматриваемом случае вместо (12) можно принять

$$z = E\zeta. \quad (15)$$

Следовательно, связь между R и z будет:

$$R = -\frac{A_0}{z} + C, \quad (16)$$

где $A_0 = AE$.

Подставляя (16) в (9) и интегрируя, будем иметь:

$$\omega = \frac{C - n}{m} - A_0 e^{-imz} \left[i(0,577 + \ln mz) - \frac{\pi}{2} + \theta \right] + iDe^{-imz}, \quad (17)$$

где

$$\theta = -mz - i \frac{1}{2} \frac{m^2 z^2}{2!} + \frac{1}{3} \frac{m^3 z^3}{3!} + i \frac{1}{4} \frac{m^4 z^4}{4!} - \frac{1}{5} \frac{m^5 z^5}{5!} - \dots, \quad (18)$$

а 0,577—постоянная Эйлера.

Постоянная C в (17) определится из (4), (6) и (16). Например, если принять напор основного пласта H_0 равным напору верхнего питающего пласта H_1 , то при $z = \infty$, $\varphi = -k_0 H_0$, $\psi = 0$ и $v_x = v_y = 0$ из (6) и (16) получим, что $C = 0$.

Постоянные A_0 и D в (17), а также расход галереи Q определяются посредством исключения точечного стока, заменяющего галерею, и перехода к реальной форме сооружения. С этой целью необходимо принять за очертание галереи одну из ближайших к точечному стоку линий равного напора (эквипотенциалей).

Ряд (18) при $k_1/k_0 \ll 1$ сходится весьма быстро, почему для расчета в большинстве случаев достаточно ограничиться его первыми двумя членами.

Решение для ряда водосборных галлерей, заменяемых точечными стоками, получается из (9) посредством наложения течений.

Тем же методом решение данной задачи может быть получено и при разных естественных напорах в основном и питающем пластах ($H_1 \neq H_0$). При этом в случае $H_0 > H_1$ и $h_0 < H_1$ на кровле основного пласта ab будет иметь место точка нулевой скорости, отграничивающая некоторую „зону питания“ галереи, в пределах которой вода из верхнего питающего пласта поступает в галерею. За пределами этой зоны вода фильтрует из основного пласта в верхний водоносный горизонт. В случае $H_0 < H_1$ на всем протяжении водоносных пластов имеет место течение из верхнего пласта в нижний (как и в рассмотренном выше случае $H_0 = H_1$).

В дальнейшем было бы важно разработать рассматриваемую теорию для случая нескольких водоносных пластов, разделенных полупроницаемыми слоями, и оценить влияние снижения напоров в питающих пластах (H_1, H_2 и т. д.) на дебит водозаборов.

Поступило
27 IV 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Мятлев, Изв. Туркменск. фил. АН СССР, № 3—4 (1946); Изв. АН СССР, ОТН, № 9 (1947). ² П. Я. Полубаринова-Кочина, Прикладн. матем. и мех., 11, 3 (1947). ³ Н. К. Гиринский, Расчет фильтрации под гидротехническими сооружениями на неоднородных грунтах, Стройиздат, 1941. ⁴ А. А. Угинчус, Расчет фильтрации через земляные плотины, Энергоиздат, 1940.