

ГИДРАВЛИКА

В. В. Александриян

Расчет несовершенных напорных и малонапорных  
колодцев с непроницаемым дном

При гидрогеологических исследованиях водоносных пластов, зачастую в целях экономии средств, приходится отказываться от строительства совершенных колодцев и строить более дешевые несовершенные колодцы, т. е. колодцы, не доведенные до водоупорного пласта. Если местонахождение водоупора неизвестно или он находится на большой глубине, то отказ от строительства совершенных колодцев становится неизбежным.

Существующие формулы расчета одиночных несовершенных колодцев, имеющих весьма большое распространение, не всегда удовлетворяют предъявляемым практикой требованиям. Они или весьма громоздки и приближены, или охватывают только отдельные, встречающиеся на практике случаи.

В частности, для расчета несовершенных малонапорных колодцев, т. е. колодцев, работающих в условиях частично напорных, частично безнапорных вод, до настоящего времени кроме эмпирической формулы Козени другой расчетной зависимости не существует.

Нами сделана попытка получения простых приближенных, достаточно точных для практических целей, формул для расчета несовершенных как напорных, так и малонапорных колодцев с непроницаемым дном.

Известно, что поверхности равного напора вблизи несовершенного колодца представляют некоторые концентрические поверхности, ось которых совпадает с осью колодца. Исследования М. Маскета [1] показали, что на расстоянии от оси колодца, равном двойной его глубине, поток, направленный к колодцу, становится плоскопараллельным, что позволяет заменить поверхности равного напора боковыми поверхностями круговых цилиндров с вертикальными образующими.

В случае несовершенного колодца с непроницаемым дном поверхности равного напора будут ограничены сверху депрессионной поверхностью, а снизу — поверхностью, образованной вращением вокруг оси колодца линии тока, направленной к самой нижней точке фильтра колодца. Несмотря на возбуждение, вызываемое откачкой, поступление воды из слоев, расположенных ниже этой поверхности, исключается, что следует из самого определения линии тока.

В дальнейшем, считаем возможным принять, что нижняя поверхность тока симметрична с депрессионной поверхностью или поверхностью уровня относительно плоскости, проведенной через середину водоприемной части колодца (фиг. 1). Это же допущение К. И. Добровольским [2] было положено в основу вывода формулы для расчета несовершенных безнапорных колодцев.

В пользу принятого допущения приводим подсчеты толщины активной зоны для двух случаев, произведенные по Е. А. Замарину и из предположения о симметричности нижней поверхности тока с депрессионной поверхностью ( $H_2 = S + H$ ). Результаты подсчетов помещены в табл. 1.

Таблица 1

Понижение уровня воды в колодце при откачках $s$	Толщина активного слоя $H_2$ в м			
	Глубина колодца $H=36,0$ м		Глубина колодца $H=44,0$ м	
	по Е. А. Замарину	по формуле $H_2 = S + H$	по Е. А. Замарину	по формуле $H_2 = S + H$
0,2 Н	46,8	43,2	57,2	52,8
0,3 Н	51,0	46,8	66,0	57,2
0,5 Н	61,2	54,0	74,8	66,0
0,7 Н	—	61,2	—	74,8
0,8 Н	66,6	64,8	81,4	79,2
0,85 Н	—	66,6	—	81,4
1,0 Н	72,0	72,0	88,0	88,0

Как видно из таблицы, значения активного слоя, высчитанные по обоим методам, дают близкие результаты. С увеличением понижения разница становится незначительной, и для предельного случая ( $S=1,0$  Н) получаются одинаковые результаты.

Одинаковые результаты дают оба метода также при различных  $S$ . Так, например, толщина активного слоя при  $S=0,2$  Н по Е. А. Замарину соответствует толщине активного слоя при  $S=0,3$  Н по формуле  $H_2 = S + H$  и т. д.

Приведенная таблица подтверждает приемлемость принятого допущения о симметричности депрессионной поверхности с поверхностью тока, направленной к самой нижней кромке колодца.

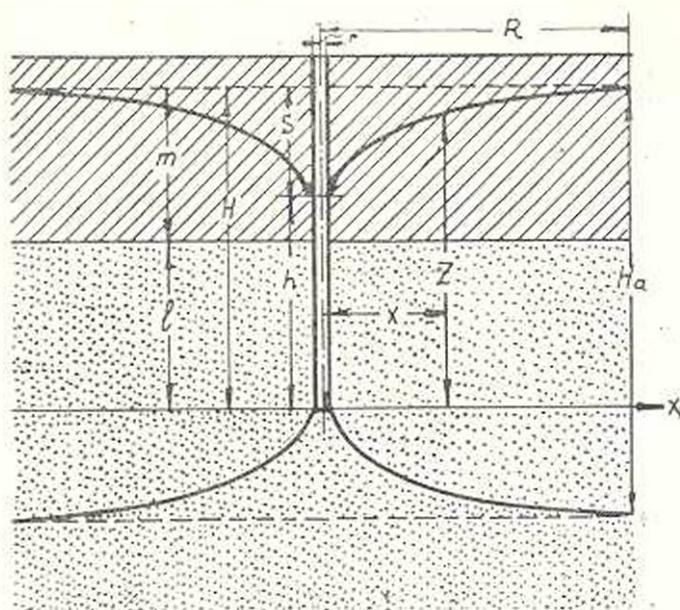
Кроме того это допущение, как увидим далее, позволяет исключить величину толщины активного слоя из окончательных расчетных формул.

Перейдем к выводу расчетных формул для напорных и малонапорных колодцев. Принимаем, что:

1. Водоносный слой сложен из однородного во всех направлениях грунта;
2. Движение грунтовых вод установившееся и следует линейному закону фильтрации  $Q = kw_i$  (закон Дарси).

## а) Дебит несовершенного напорного колодца.

Живое сечение напорного потока, направленного к колодцу, на расстоянии  $X$  от оси колодца на основании принятого допущения будет (фиг. 1):



Фиг. 1. Несовершенный напорный колодец.

$$\omega = 2\pi x(l + z - h). \quad (1)$$

Подставив выражение (1) в формулу Дарси, получим:

$$Q = 2\pi kx(l + z - h) \frac{dz}{dx}. \quad (2)$$

Отделив переменные и проинтегрировав выражение (2), получим:

$$\frac{Q}{2\pi k} \ln x \Big|_r^R = lz + \frac{z^2}{2} - hz \Big|_h^H,$$

откуда:

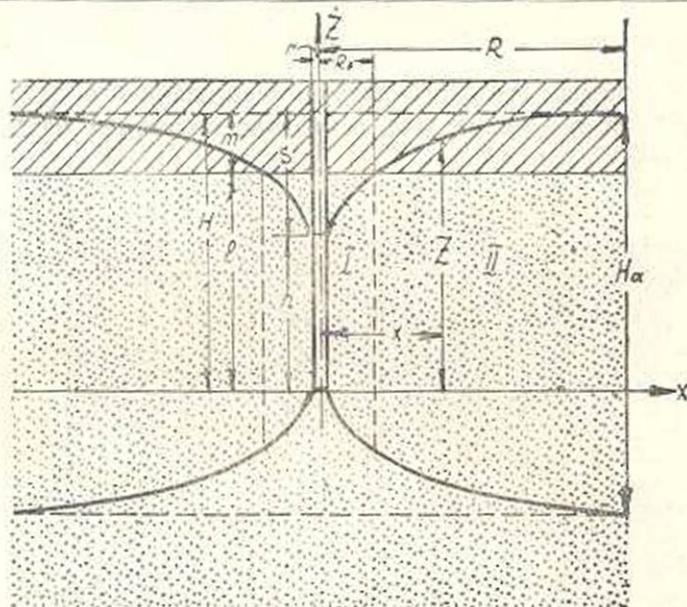
$$Q = \frac{\pi ks(2l + s)}{\ln \frac{R}{r}}. \quad (3)$$

## б) Дебит несовершенного малонапорного колодца.

Разделим поток, направленный к колодцу, на две зоны—безнапорную и напорную (фиг. 2).

Для участка безнапорного движения (фиг. 2, зона 1) имеем:

$$Q = 2\pi kx(2z - h) \frac{dz}{dx}. \quad (4)$$



Фиг. 2. Несовершенный малонапорный колодец.

Отделив переменные и проинтегрировав выражение (4), получим:

$$\frac{Q}{2\pi k} \ln x \Big|_r^{R_1} = z^2 - hz \Big|_h^l, \quad (5)$$

откуда:

$$Q = \frac{2\pi k (l^2 - hl)}{\ln \frac{R_1}{r}}. \quad (6)$$

Определим из уравнения (6)  $\ln R_1$ :

$$\ln R_1 = \ln r + \frac{\pi k}{Q} (2l^2 - 2hl). \quad (7)$$

Для участка напорного движения (фиг. 2, зона II) имеем:

$$Q = 2\pi kx (z + s - m) \frac{dz}{dx}. \quad (8)$$

Отделив переменные и проинтегрировав выражение (8), получим:

$$\frac{Q}{2\pi k} \ln x \Big|_{R_1}^R = \frac{z^2}{2} + sz - m^2z \Big|_l^H. \quad (9)$$

откуда:

$$\ln R_1 = \ln R - \frac{\pi k}{Q} (2Hs - 2l^2 + 2hl - m^2). \quad (10)$$

Приравнявая (7) и (10), получим:

$$\ln R - \frac{\pi k}{Q} (2Hs - 2l^2 + 2hl - m^2) = \ln r + \frac{\pi k}{Q} (2l^2 - 2hl), \quad (11)$$

откуда:

$$Q = \frac{\pi k (2H_s - m^2)}{\ln \frac{R}{r}}, \quad (12)$$

где  $K$  — коэффициент фильтрации.

С целью оценки пригодности предлагаемых формул для практического пользования приведем расчеты дебита по формуле (12), произведенные для двух колодцев, расположенных в одном из районов Армянской ССР, и сравнение результатов расчета с данными натурных измерений.

Геологический разрез обоих колодцев схематически представляет следующую картину: верхний маловодопроницаемый глиняный слой, толщина которого за вычетом естественного стояния уровня грунтовых вод приводится в табл. 2, подстилается снизу хорошо водопроницаемыми грунтами, мощность которых достигает 60 м. Наблюдениями за уровнем грунтовых вод во время откачек установлено, что кривая депрессии, в основном оставаясь в пределах верхнего слоя, лишь вблизи колодца выходит из него. Приведенная схема полностью соответствует расчетной схеме, принятой при выводе формулы (12).

Данные для расчета, заимствованные из полевого журнала и отчета Арм. НИИГиМ [3], и результаты подсчетов приводятся в табл. 2.

Таблица 2

№№ колодцев	H в м	m в м	k в м/сутки	R в м	r в м	s в м	Дебит колодца в м <sup>3</sup> /сутки		Погрешность расчета в %
							по формуле (12)	измеренный	
1	36,4	4,6	10,6	300	0,175	8,6	2710	2765	2,0
	36,4	4,6	10,6	500	0,175	10,6	3150	3379	6,5
	36,4	4,6	10,6	900	0,175	14,1	3930	4410	10,8
2	45,8	3,5	16,5	500	0,175	5,1	2970	3110	4,5
	45,8	3,5	16,5	700	0,175	6,7	3760	3970	5,3
	45,8	3,5	16,5	1000	0,175	9,3	5050	5360	5,8

Как видно из табл. 2, формула (12) дает достаточно высокую, для практических целей, точность. Максимальное расхождение между вычисленными и измеренными дебитами составляет всего 10,8%, что вместе со значительной простотой формулы (12) позволяет рекомендовать ее для практического пользования.

## Վ. Վ. Ալեքսանդրյան

ԱՆՔԱՓԱՆՑ ՀԱՏԱԿ ՈՒՆԵՑՈՂ ՃՆՇՄԱՆ ԵՎ ՑԱՄԻ ՃՆՇՄԱՆ  
ՈՉ ԿԱՑԱՐՔԱԼ ՋՐՀՈՐԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

## Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածուժ արված է ուղղաձիգ գրեկամի միջոցով հողերի չորացման և հիդրոգեոլոգիական հետազոտությունների պրակտիկայում լայն կիրառություն գտած ճնշման ու զածր ճնշման ստորերկրյա ջրերում աշխատող, ոչ կրիվ հորերի հաշվարկը:

Օգտվելով ֆիլտրացիայի հիմնական օրենքից և ընդունելով, որ դեպրեսիոն կամ ճնշման մակերևույթը սիմետրիկ է ակտիվ գոտու ստորին սահմանային մակերևույթի նկատմամբ, որը միաժամանակ հանդիսանում է հասցի ստորին մակերևույթը, ստացված են պարզ և գործնական կիրառության համար բավականաչափ ճշգրիտ բանաձևեր:

Հողվածուժ բերված բանաձևերը հիշված ղեկքերի համար ներկայումս կիրառվող բանաձևերից տարբերվում են իրենց պարզությամբ:

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде (перевод). Гостоптехиздат, М.—Л., 1949.
2. Добровольский К. И. Теоретические основания полевых методов исследования грунтов на водопроницаемость. Тифлис, 1932.
3. Отчет Арм. НИИГНМ за 1952 г. по теме № 5, часть III.