

## НОВЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ИНФИЛЬТРАЦИИ ИЗ ШУРФОВ

А. Н. Павлов

Краткий обзор существующих способов расчета коэффициента фильтрации ( $k$ ). Из существующих и признанных в настоящее время методов определения  $k$  инфильтрацией из шурфов метод А. К. Болдырева является наиболее широко используемым, но заведомо неточным, и только методы Н. С. Нестерова и Н. Я. Денисова совмещают простоту расчета и достаточную точность. Их методы, по существу, лишь принимают во внимание, а не учитывают всей сложности процесса инфильтрации. Весь процесс как бы исключается из опыта самим построением метода. Другими словами, опыт производится в форме, позволяющей при расчетах рассматривать только часть «водяного тела» с наиболее простым движением воды (Н. С. Нестеров) или решить систему уравнений, в каждом из которых сложность движения зафиксирована простым коэффициентом (Н. Я. Денисов). Но эти методы требуют или специального оборудования (Н. С. Нестеров), или слишком громоздки при выполнении (по Н. Я. Денисову). Однако даже метод Н. С. Нестерова недостаточно точен, так как в выделенной им центральной части «водяного тела» частицы воды движутся не только в вертикальном положении, но и в сторону [1].

Н. К. Гирицкий пишет: «... в грунтах, обладающих значительной высотой капиллярного поднятия, живое сечение средней части потока увеличивается в несколько раз, тогда как способ Н. С. Нестерова основан на предположении, что указанное расширение средней части потока не имеет места» [5]. А необходимость наличия хотя бы в двух зумпфах для метода Н. Я. Денисова всегда ставит опыт под сомнение, так как разрезы этих зумпфов на определенной глубине могут оказаться различными, особенно в таких отложениях, как ледниковые.

Другие методы разнятся между собой лишь по принципу подсчета  $k$  при одинаковом производстве самого налива.

Е. А. Замарин исходит из предположения, что зона увлажнения грунтов ограничивается шаровыми поверхностями, радиус которых непрерывно увеличивается в процессе опыта. Н. Я. Денисов сделал ряд существенных замечаний по этому методу, которые в сущности сводятся к следующему [1]: 1) при стабилизации расхода ( $Q$ , л/сек) из шурфа  $k$  будет непрерывно уменьшаться с ростом поверхности фильтрации (шаровой поверхности); 2) в таком случае кривая Е. А. Замарина  $k = f(t)$  будет иметь асимптотой ось ординат, т. е.  $k = 0$ .

Н. Н. Биндеман различал две стадии в процессе инфильтрации: 1) формирование эллипсоида смачивания; 2) фильтрационное движение после смачивания. Он считал, что фильтрационное движение совершается в плоскости проекции круга, радиусом которого является горизонтальная полуось эллипсоида, уменьшенная на величину капиллярного поднятия [1].

Н. Я. Денисов, однако, отмечал, что нет уверенности в окончательной стабилизации размеров горизонтальной оси эллипсоида смачивания, а следовательно, по расчетам Н. Н. Биндемана  $k$  уменьшается по ходу опыта.

Большой интерес представляет статья Н. К. Гиринского по поводу наливов в шурфы [5].

Н. К. Гиринский совершенно правильно считает, что при инфильтрации из шурфов движение воды, строго говоря, нельзя считать установившимся. Однако, проведя ряд строгих математических выкладок, он приходит к выводу, что для всех точек свободной «водяной поверхности», расположенных на какой угодно большой глубине, скорость фильтрации  $u_4 = 0$  (фильтрация в сторону) и  $v_4 = k$  (фильтрация вниз), т. е. происходит стабилизация ширины потока.

Из сложных зависимостей целого ряда параметров Н. К. Гиринский приходит к довольно простым расчетам коэффициента фильтрации. Однако при этом необходимы составленные им таблицы (в расчетах особенности горных пород отражаются только высотой капиллярного поднятия  $H_k$ ). Все математические выкладки и выводы Н. К. Гиринского дают возможность: 1) используя значение  $H_k$ , определить, на какой глубине от поверхности грунта стабилизируется ширина потока и какова она; 2) установить характер потока, т. е. каким является поток — капиллярным, или гравитационным, или каким-то средним.

Н. К. Гиринский сделал следующие выводы.

1. В породах, обладающих относительно высоким капиллярным поднятием, размеры гравитационной части потока незначительны.

2. Живое сечение потока, увеличиваясь по направлению течения, на относительно небольшом расстоянии от поверхности грунта почти достигает предельных размеров.

3. Определение коэффициента фильтрации гравелистых и песчаных грунтов по схеме А. К. Болдырева дает завышенные значения  $k$ ; в частности в 1,5—2 раза при  $H = S = 0,12$  м,  $b = 0,36$  м и  $H_k$  от 0 до 0,10 м и в 4 раза при  $H = 0,10$  м,  $S = 0$ ,  $b = 0,30$  и  $H_k$  от 0 до 0,10 м (где  $H$  — напор;  $S$  — глубина задавливания;  $b$  — сторона зумпфа;  $H_k$  — высота капиллярного поднятия).

4. Принцип, положенный Н. С. Нестеровым в основу определения  $k$  по данным наливов в шурфы, не может быть приложен к рассматриваемому потоку, так как расширение центральной части потока достигает большой величины.

Таким образом, метод расчета  $k$  по Н. К. Гириному является в настоящее время наиболее строго обоснованным и точным. Однако без наличия таблиц, рассчитанных Н. К. Гириным, этот метод не может использоваться рядовым гидрогеологом.

\* \* \*

Летом 1956 г. экспедиция института Гипроникель проводила несколько наливов в шурфы по методу А. К. Болдырева в Ловозерском районе Мурманской области. В процессе работ возникли некоторые вопросы и соображения по поводу наливов, в результате чего в настоящей

статье и предлагается новый способ расчета  $k$  при производстве налива в шурф по методу А. К. Болдырева.

**Теоретические предпосылки предлагаемого способа.** Если считать, что при инфильтрации из шурфа движение воды может практически установиться, то такое установившееся движение, естественно, будет характеризоваться постоянной скоростью, т. е. постоянство дебита при наливе (по аналогии с установившимся движением воды при откачках), примерно совпадает с постоянством инфильтрующей поверхности ( $Q = \text{const}$ ,  $F = \text{const}$ ). Таким образом, от начала опыта и до появления установившегося движения инфильтрационная поверхность видоизменяется непрерывно — очевидно, увеличивается (дебиты уменьшаются, а инфильтрационная поверхность растет). Кроме того, если налив производить в кольце, то из всех видов движения инфильтрующейся воды (рис. 1) исключаются: а) капиллярное восходящее  $v_a$  и б) капиллярное по горизонтальному направлению  $v_6$ . Сохраняются только следующие виды движения:

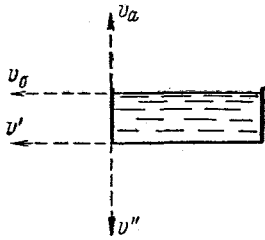


Рис. 1. Схема движения воды

в) гравитационно-капиллярное по горизонтальному направлению

$$v' = k_0 \frac{H_k + z}{S}; \quad (1)$$

г) гравитационно-капиллярное нисходящее

$$v'' = k_0 \frac{0,5H_k + z + S}{S}, \quad (2)$$

где  $v$  — скорость просачивания;

$k_0$  — коэффициент скорости движения воды в порах грунта;

$k_0 = \frac{k}{n_0}$  ( $n_0$  — свободная пористость);

$H_k$  — высота капиллярного поднятия;

$z$  — напор в шурфе;

$S$  — путь, пройденный инфильтрующейся водой за время  $t$ .

Эта скорость и определяет форму «водяного тела».

Если  $S < 0,5H_k$ , то  $v' > v''$ ;  $S = 0,5H_k$ , то  $v' = v''$ ;  $S > 0,5H_k$ , то  $v' < v''$ , т. е. в зависимости от  $S$  меняется форма «водяного тела».

При  $S > 0,5H_k$  образуется сдавленный с полюсов шар или приближенно эллипсоид вращения с короткой главной осью.

При  $S < 0,5H_k$  форма «водяного тела» вытягивается, причем при  $S \gg 0,5H_k$ ,  $v' \ll v''$ .

Как видно из формул (1) и (2), с увеличением  $S$  ( $S \rightarrow \infty$ ), т. е. с течением времени при наливе,  $v' \rightarrow 0$ ;  $v'' \rightarrow k_0$  (аналогично результатам Н. К. Гиринского).

Таким образом, с глубиной «водяное тело» растет преимущественно в длину (по длинной оси) и основная фильтрация направлена вниз.

При  $S = 0,5H_k$  тело несомненно имеет форму шара (во всяком случае форму, близкую к нему и по-видимому с этого момента (т. е. когда  $S = 0,5H_k$ ) начинается практически установившееся движение воды. Действительно, с этого момента и далее  $v' < v''$  все время и все с большей разницей. Следовательно, с вполне допустимой точностью можно предположить, что с момента, когда  $S \geq 0,5H_k$  основной поверх-

ностью инфильтрации является нижняя полусфера образовавшегося шара. С течением времени эта полусфера мало изменяется и по оси кольца перемещается вниз, т. е. с момента образования «водяного шара»  $F \approx \text{const}$ . Возможно, поверхность инфильтрации более сложна, но для простоты расчета принимаем ее шаровой.

**Вывод формулы для расчета  $k$ .** Опыт по определению  $k$  рекомендуется проводить следующим образом: 1) производить налив как обычно — до начала практически установившегося движения и еще некоторое время; 2) измерить общий объем влитой воды до начала установившегося движения  $N$ ,  $\text{м}^3$ ; 3) определить дебит при установившемся движении  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{сек}$ ; 4) рассчитать свободную пористость грунта

$$n_0 = \frac{n - w\gamma}{100},$$

где  $n$  — пористость;  
 $w$  — естественная влажность;  
 $\gamma$  — объемный вес.

5) зафиксировать количество воды, находящееся под «водяным телом», т. е. воды, которая находится в кольце выше поверхности грунта и создает напор

$$N' = zF', \text{ м}^3,$$

где  $z$  — напор,  $\text{м}$ ;  
 $F'$  — сечение кольца,  $\text{м}^2$ .

Тогда все дальнейшие расчеты сведутся к нахождению поверхности фильтрующей полусферы, т. е. радиуса шара  $R$ :

$$\frac{4}{3} \pi R^3 = (N - N') \frac{1}{n_0};$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{N - N'}{n_0}} \text{ м.}$$

Далее

$$F = 2\pi R^2,$$

где  $F$  — площадь фильтрующей поверхности (полусфера);

$k = \frac{Q}{F}$ ,  $\text{м}/\text{сек}$  ( $i = 1$  при достаточно большом  $S$ );

$$k = \frac{Q}{2\pi \sqrt[3]{\frac{9}{16\pi^2} \frac{(N - N')^2}{n_0^2}}}, \text{ м}/\text{сек};$$

$$k = \frac{Q}{2\pi \sqrt[3]{0,056 \frac{(N - zF')^2}{n_0^2}}}, \text{ м}/\text{сек};$$

$$k = \frac{1,44Q}{0,02\pi \sqrt[3]{0,056 \frac{(N - zF')^2}{n_0^2}}}, \text{ м}/\text{сутки}.$$

Окончательный вид формулы

$$k = 60Q \sqrt[3]{\frac{n_0^2}{(N - zF')^2}}, \text{ м}/\text{сутки} \quad (3)$$

при  $Q$ ,  $\text{л}/\text{мин}$  и  $N - zF'$ ,  $\text{л}$ .

Для данного вывода были приняты несколько схематизированные условия. Однако любая формула всегда в той или иной степени схематизирует и упрощает тот процесс, который она отражает.

**Примеры расчета. Пример 1.** Произведен налив в песок среднезернистый, желтый с большим количеством гальки и валунов.

$$z = 0,1 \text{ м (напор)}, F'_{\text{кольца}} = 1962,5 \text{ см}^2, \text{ т. е. } d = 0,5 \text{ м}, n = 0,42\%.$$

$$Q, \text{ л/мин} \left| 1,9 \right| 0,7 \left| 0,66 \right| 0,60 \left| 0,5 \right| 0,5 \left| 0,48 \right| 0,48 \left| 0,47 \right| 0,48 \left| 0,48 \right| 0,48 \left| 0,48 \right|$$

$$N - zF' = 48 \text{ л}, Q = 0,48 \text{ л/мин.}$$

По А. К. Болдыреву,

$$k' = \frac{0,48 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 10^3}{1962,5 \cdot 10^6} = 3,52 \text{ м/сутки.}$$

По Н. К. Гиринскому,  $H_k = 0,12 \text{ м}$  (с учетом наличия гальки и валунов). Глубина задавливания кольца примерно  $0,05 \text{ м}$ .

$$z + H_k = 0,22; \quad \xi = 2,14;$$

$$k_n = 0,48 \cdot 2,14 = 1,03 \text{ м/сутки};$$

$$n = \frac{0,05 \cdot 10^2}{0,5} = 10\%.$$

Тогда

$$k'' = \frac{k_n}{0,8} = \frac{1,03}{0,8} = 1,22 \text{ м/сутки.}$$

По нашему методу,

$$k''' = \frac{1,44 \cdot 0,48}{0,02\pi \sqrt[3]{0,056 \frac{48 \cdot 48}{0,42 \cdot 0,42}}} = 1,22 \text{ м/сутки.}$$

**Пример 2.** Произведен налив в суглинок средний, комковатый, влажный.

$$d = 0,45 \text{ м} (F_{\text{сеч}}' = 0,4 \cdot 0,4); \quad Q = 0,18 \text{ л/мин};$$

$$N - zF' = 72 \text{ л}; \quad n = 47\%; \quad H_k = 3,5 \text{ м (с учетом комковатости)};$$

$$z = 0,1 \text{ м.}$$

По А. К. Болдыреву,

$$k' = \frac{0,18 \cdot 60 \cdot 24}{0,16 \cdot 10^3} = 1,63 \text{ м/сутки.}$$

По Н. К. Гиринскому [5],

$$\frac{z + H_k}{d} = \frac{3,6}{0,45} = 8;$$

$$k'' = \frac{Q \cdot 1,44}{\frac{\pi}{4} d^2 \cdot 49,2} = \frac{0,18 \cdot 4 \cdot 1,44}{\pi \cdot 0,45 \cdot 0,45 \cdot 49,2} = 0,0366 \text{ м/сутки.}$$

По нашему методу,

$$k''' = \frac{1,44 \cdot 0,18}{0,02\pi \sqrt[3]{0,056 \frac{72 \cdot 72}{0,47 \cdot 0,47}}} = 0,375 \text{ м/сутки};$$

Q, л/сек	0,0066	0,0061	0,0039	0,0035	0,0035	0,0035	0,0033	0,0032	0,0031	0,003	0,003
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	-------

$$N - zF' = 72 \text{ л.}$$

*Пример 3.* Произведен налив в суглинок легкий, комковатый с корнями растений.

$$d = 0,45 \text{ м}; \quad z = 0,1 \text{ м}; \quad H_k = 3,5 \text{ м}; \quad n = 46\%;$$

Q, л/сек	0,007	0,007	0,0058	0,0054	0,0048	0,0046	0,0040	0,0035
----------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Продолжение:

Q, л/сек	0,0030	0,0028	0,0025	0,0023	0,0021	0,0020	0,0019
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

$$Q = 0,114 \text{ л/мин}; \quad N - zF' = 112 \text{ л.}$$

По А. К. Болдыреву,

$$k' = \frac{0,114 \cdot 60 \cdot 24}{0,16 \cdot 10^3} = 1,03 \text{ м/сутки.}$$

По Н. К. Гиринскому,

$$\frac{z + H_k}{d} = \frac{3,6}{0,45} = 8;$$

$$k'' = \frac{4 \cdot 0,114 \cdot 1,44}{\pi (0,45)^2 \cdot 49,2} = 0,0213 \text{ м/сутки.}$$

По нашему методу,

$$k''' = \frac{1,44 \cdot 0,114}{0,02\pi \sqrt[3]{0,056 \frac{112 \cdot 112}{0,46 \cdot 0,46}}} = 0,174 \text{ м/сутки.}$$

*Пример 4.* Произведен налив в супесь с прослойками песка 1,5—2 см, с включениями корней растений.

$$d = 0,45 \text{ м}; \quad n = 43\%; \quad H_k = 1,2 \text{ м (для легкой супеси)}; \quad z = 0,1 \text{ м.}$$

Q, л/сек	0,0024	0,0021	0,0028	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

$$N - zF' = 40 \text{ л}; \quad Q = 0,096 \text{ л/мин.}$$

По А. К. Болдыреву,

$$k' = \frac{0,096 \cdot 60 \cdot 24}{0,16 \cdot 10^3} = 0,865 \text{ м/сутки.}$$

По Н. К. Гиринскому,

$$\frac{z + H_k}{d} = \frac{1,3}{0,45} = 2,9;$$

$$k'' = \frac{0,096 \cdot 4 \cdot 1,44}{\pi (0,45)^2 \cdot 16,8} = 0,052 \text{ м/сутки.}$$

Если взять [3, стр. 45]

$$H_k = 2,3 \text{ м,}$$

то

$$k'' = 0,0288 \text{ м/сутки.}$$

По нашему методу,

$$k''' = \frac{1,44 \cdot 0,096}{0,02\pi \sqrt[3]{0,056 \frac{40 \cdot 40}{0,43 \cdot 0,43}}} = 0,288 \text{ м/сутки.}$$

*Пример 5.* Произведен налив в песок разнoзернистый, желтовато-серый с большим количеством гальки и мелких валунов.

$$z = 0,1 \text{ м; } F'_{\text{кольца}} = 1962,5 \text{ см}^2; \quad d = 0,5 \text{ м;}$$

$$n = 0,42\%; \quad H_k = 0,12 \text{ м; } N - zF' = 88 \text{ л.}$$

Q, л/мин	2,82	5,30	3,3	2,3	1,9	1,9	1,9	2,3	1,8	1,77	1,8	1,37
												Продолжение
Q, л/мин	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37

$$Q = 1,4 \text{ л/мин.}$$

По А. К. Болдыреву,

$$k' = \frac{1,4 \cdot 60 \cdot 24}{0,19625 \cdot 10^3} = 10,15 \text{ м/сутки.}$$

По Н. К. Гиринскому,

$$k_n'' = \xi Q; \quad H_k = 0,12; \quad H_k + z = 0,22; \quad \xi = 2,4;$$

$$k_n'' = 2,14 \cdot 1,4 = 3 \text{ м/сутки.}$$

При глубине задавливания кольца 0,05 м

$$k'' = \frac{k_n''}{0,8} = \frac{3}{0,8} = 3,75 \text{ м/сутки.}$$

При глубине задавливания кольца 0,02 м

$$k'' = \frac{3}{0,92} = 3,25 \text{ м/сутки.}$$

По нашему методу,

$$k''' = 60 \cdot 1,4 \sqrt[3]{\frac{0,42 \cdot 0,42}{88 \cdot 88}} = 2,37 \text{ м/сутки.}$$

Анализ приведенных расчетов. Будем считать, что расчеты Н. К. Гиринского вполне точны. При сравнении результатов подсчета  $k$  по предлагаемому методу и методу Н. К. Гиринского (см. таблицу) видно, что

Т а б л и ц а

Номер опыта	Состав грунта	Коэффициент фильтрации, м/сутки			$\frac{k'''}{k''}$	$\frac{k'}{k''}$
		по Болдыреву	по Гиринскому	по нашему методу		
I } V }	Песок . . . . .	3,52	1,29	1,22	0,95	2,73
		10,15	3,25	2,37	0,73	2,72
II } III }	Суглинок . . . . .	1,63	0,0336	0,375	11,10	48,50
IV }		10,30	0,0213	0,174	8,15	48,50
	Супесь . . . . .	0,856	0,0288	0,288	10,00	30,00

для песчаных грунтов тот и другой методы дают очень близкие данные, а для суглинков и супеси — по нашему методу данные почти в 10 раз большие, чем у Н. К. Гиринского. Интересно, однако, отметить, что постоянство отношений  $\frac{k'''}{k''}$  в приведенных примерах очень стабильно: 11,1; 8,15; 10 (т. е. колеблется около 10). Поэтому при расчетах  $k$  предлагаемым методом рекомендуется: а) для песчаных грунтов и легких супесей пользоваться формулой (3); б) для суглинков же и тяжелых и средних супесей в формулу вводить поправочный коэффициент  $C = 0,1$ .

При наличии коэффициента  $C = 0,1$  для суглинков и тяжелых и средних супесей разница результатов подсчета  $k$  по нашему методу и методу Н. К. Гиринского незначительна (особенно в сравнении с методом подсчета по Н. К. Болдыреву), тем более что величины  $H_k$  и  $n$  взяты по табличным данным. Кроме того, вместо свободной пористости  $n_0$  (особенно в примерах 2 и 3, где грунты влажные) нами использовалась величина общей пористости  $n$  (очевидно,  $n > n_0$ ), что способствовало завышению результатов в нашем методе подсчета.

Если принять  $H_k$  и  $n_0$  по данным определений для образцов, взятых с места опыта, то результаты подсчетов по методу Н. К. Гиринского и нашему, очевидно, могут быть еще более близкими.

**Сравнение сущности подсчетов по методу Н. К. Гиринского и нашему.** При подсчете  $k$  по Н. К. Гиринскому в качестве исходных величин служат  $z$  — напор,  $H_k$  — высота капиллярного поднятия,  $d$  — диаметр кольца,  $Q$  — установившийся расход и глубина задавливания кольца. Чем больше  $H_k$ , при неизменных прочих величинах, тем меньше  $k$ . Коэффициент  $\xi$ , используемый Н. К. Гиринским, отражает и форму «водяного тела».

Подсчет  $k$  по Н. К. Гиринскому очень прост, если иметь под рукой таблицы с коэффициентом  $\xi$ . Но эти таблицы недостаточно полны. Например, при  $H_k = 5$  м и  $d = 0,45$  м (тяжелый суглинок) нельзя рассчитать  $k$ , так как значение величины  $\frac{z + H_k}{d}$  получается больше 8,42 — величины, которой кончается таблица.

В нашем методе подсчета  $k$  исходными величинами служат  $Q$  — расход (установившийся),  $n_0$  — свободная пористость и  $N = zF'$  — объем влитой воды. При чем величиной, отражающей инфильтрационные свойства породы, являются не только  $n_0$ , но главным образом

$N - zF'$ . Величина  $N - zF'$  зависит от того, как быстро установится движение. В грунтах с меньшим  $k$  (т. е. большим  $H_k$ ) движение должно устанавливаться медленнее, т. е. величина  $N - zF'$  должна быть больше. Другими словами, величина  $N - zF'$  пропорциональна  $H_k$ :

$$N - zF' = f|H_k|.$$

При дальнейших работах представляет интерес построение графика этой зависимости или зависимости

$$\left(\frac{N - zF'}{n_0}\right)^{\frac{2}{3}} = f'|H_k|,$$

но для этого нужны непосредственные определения  $H_{k_2}$  при наливе.

При наливах в шурфы появляется возможность, кроме коэффициента фильтрации, получить и другие данные. Например, на кривой зависимости расхода от времени часто возникают перегибы или участки максимум и минимум (рис. 2). Они образуются при распространении инфильтрации до границ слоев или горизонтов с различными  $k$ .

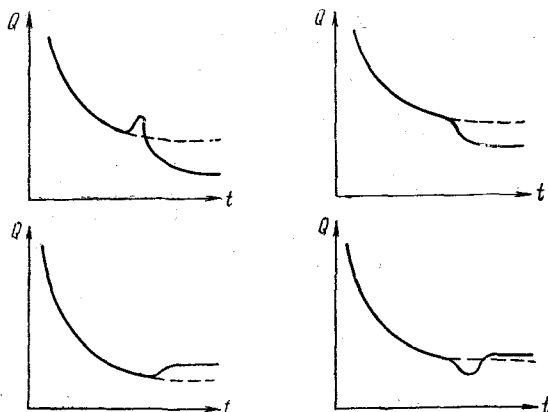


Рис. 2. График зависимости расхода воды от времени

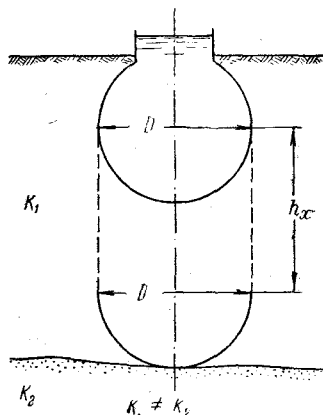


Рис. 3. Схема опыта при неоднородных коэффициентах фильтрации

На основании этих данных при наливе можно не только определить  $k$ , но и получить одновременно представление о глубине залегания этих горизонтов. Если максимум или минимум образуется после начала установившегося движения, то, определяя диаметр  $D$  «водяного тела» и прибавляя к нему величину опускания инфильтрующей зоны  $h_x$ , получим глубину залегания второго от поверхности горизонта (с отличным от первого коэффициентом фильтрации).

Величину  $h_x$  следует рассчитать по количеству воды, влитой в шурф от начала установившегося движения до образования максимум или минимум на кривой  $N_x$  и по диаметру «водяного тела»  $D$  (рис. 3)

$$h_x = \frac{N_x}{\frac{\pi}{4} D^2 n_0}.$$

Произведенный нами очень грубый подсчет подобного рода показал расхождение 0,2 м при мощности верхнего горизонта 3 м. Верхний горизонт представлял собой песчано-гравелистый грунт, сцементированный карбонатным и силикатным цементом. Нижний горизонт — пльвун. На подобное явление необходимо обратить внимание.

### Выводы

1. Новый метод расчета основан на сравнительно простой формуле и не требует вспомогательных таблиц и графиков.
2. Пять примеров, приведенных в настоящей статье, не позволяют еще рекомендовать выведенную формулу для пользования в производстве, однако надо полагать, что при более тщательной проверке предлагаемый метод оправдает себя, поскольку он не менее точен, чем метод Н. К. Гиринского.
3. Приведенный метод расчета  $k$  применим исключительно для опытов в однородном пласте большой мощности и глубоком залегании грунтовых вод ( $> 5$  м).
4. Сопротивление воздуха при опускании инфильтрационной зоны замедляет скорость просачивания воды главным образом при начале опыта. Но, если наливать воду постепенно на поверхность грунта, то влияние подобного явления можно предупредить и при расчетах ими пренебречь.
5. При инфильтрации могут наблюдаться явления диспергирования частиц (например, при наличии ионов Na в воде) или коагуляции (ионы Ca, Mg). В первом случае водопроницаемость уменьшается, во втором — увеличивается (для суглинков).

### Использованная литература

1. Определение коэффициента фильтрации горных пород методом инфильтрации из шурфов. Госэнергоиздат, 1947.
2. Добровольский К. И. Теоретические основания полевых методов исследования грунтов на водопроницаемость. Тифлис, 1932.
3. Овчинников А. М. Общая гидрогеология. Госгеолтехиздат, 1955.
4. Приклонский В. А. Грунтоведение, ч. I. Госгеолтехиздат, 1955.
5. Гиринский Н. К. Определение коэффициента фильтрации песков и супесей по данным налива в шурфы. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. Госгеолтехиздат, 1953.
6. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолтехиздат, 1952.