

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**



**ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра гідрогеології та інженерної геології**

**ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ НЕДОСКОНАЛИХ  
СВЕРДЛОВИН**

**Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни  
«Динаміка підземних вод»**

**для студентів напрямку підготовки 6.040103 Геологія**

Дніпропетровськ  
2014

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра гідрогеології та інженерної геології**

**ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ НЕДОСКОНАЛИХ  
СВЕРДЛОВИН**

**Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни  
«Динаміка підземних вод»**

**для студентів напрямку підготовки 6.040103 Геологія**

Дніпропетровськ  
НГУ  
2014

Гідрогеологічні розрахунки досконалих свердловин. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни «Динаміка підземних вод» для студентів напряму підготовки 6.040103 / О.О. Федоренко, Є.А. Шерстюк. – Д.: Національний гірничий університет, 2014. – 28 с.

Автори:

О.О. Федоренко, ст. викл. (розділ 1);

Є.А. Шерстюк, асист. (розділ 2).

Затверджено до видання редакційною радою НГУ (протокол №\_\_\_\_\_) за поданням методичної комісії напряму підготовки 6.040103 Геологія (протокол № \_\_\_\_\_.)

Методичні рекомендації призначено для самостійної роботи студентів напряму 6.040103 Геологія під час вивчення нормативної дисципліни «Динаміка підземних вод».

Розглянуто основи методики розрахунків дебітів, знижень та інших гідродинамічних параметрів недосконалих артезіанських, ґрунтових та ґрунтово-артезіанських вертикальних свердловин в умовах застосування різних режимів роботи їх елементів: стінок та дна. Наведено задачі для засвоєння матеріалу та приклади їх розв'язання.

Орієнтовано на підвищення ефективності самостійної роботи студента.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології д-р техн. наук, проф. Д.В. Рудаков.

## Зміст

Вступ.....	4
1. Типи вертикальних свердловин.....	4
2. Визначення дебіту недосконалих свердловин.....	5
2.1. Ґрунтова свердловина має проникні стінки і глухе дно.....	5
2.2. Свердловини з незатопленим фільтром .....	8
2.3. Свердловини з затопленим фільтром .....	9
2.4. Ґрунтова свердловина має непроникні стінки й відкрите дно.....	10
2.5. Ґрунтова свердловина має проникні стінки та дно.....	11
2.6. Артезіанська свердловина має проникні стінки і глухе дно.....	11
2.7. Артезіанська свердловина має непроникні стінки та відкрите дно.....	13
2.8. Артезіанська свердловина має проникні стінки і дно.....	14
2.9. Ґрунтово-артезіанська свердловина має проникні стінки і дно.....	14
3. Методичні рекомендації до розв'язання задач.....	16
Список літератури.....	23

## Вступ

Вертикальні свердловини є основними інженерними спорудами, що використовуються для відбору та нагнітання підземних вод при дослідних випробуваннях, а також для вирішення різних задач водопостачання й охорони підземних вод.

Вертикальні свердловини складаються з глухої й водоприймальної частин, причому водоприймальна звичайно обладнується фільтром, що запобігає виносу оточуючої породи в свердловину (надалі водоприймальну частину свердловини для стислості будемо називати фільтром). За ступенем розкриття водоносного горизонту вертикальні свердловини підрозділяються на гідродинамічно досконалі й недосконалі – залежно від того, повністю чи частково вони розкривають фільтром водоносний горизонт. Надходження води до недосконалої свердловини може відбуватися різними шляхами: через бічні стінки, дно чи одночасно через дно й бічні стінки.

У даних методичних вказівках наведені основи методики розрахунків дебітів та знижень у недосконалих артезіанських та ґрунтових свердловинах в умовах застосування різних режимів роботи їх елементів: стінок та дна .

Навчальна мета цих методичних вказівок – розглянути та вивчити теоретичні основи методики розрахунків недосконалих свердловин, а також приклади розрахунку в конкретних гідрогеологічних умовах.

### 1. Типи вертикальних свердловин

Вертикальні свердловини поділяються на наступні типи:

*Ґрунтові та артезіанські свердловини* – в залежності від гідравлічних властивостей пласта, в якому вони закладені. Вертикальні водозабірні свердловини, що розкривають ґрунтові (безнапірні) води, прийнято називати ґрунтовими (рис. 1 А)), а ті, що розкривають напірні (артезіанські) води – артезіанськими (рис. 1 Б)).

*Досконалі й недосконалі свердловини.* За ступенем розкриття водоносного пласта (в розрізі) вертикальні свердловини поділяються на досконалі й недосконалі в залежності від того, повністю чи частково вони розкривають водоносний горизонт своєю робочою частиною (фільтром).

*Досконалими* називаються свердловини, що розкривають водоносний горизонт на всю його потужність, у тому ж інтервалі обладнується фільтр свердловини (рис. 1а). Вода в такі свердловини надходить лише крізь їх стінки.

*Недосконалими* називаються такі свердловини, в яких дно не доведене до покрівлі підстиляючого водотривкого шару (рис. 1, б, в, е) або стінки яких проникли не на всю потужність водоносного пласта (рис. 1, г, д). У зв'язку з цим розрізняють недосконалі свердловини:

– з робочою частиною поблизу покрівлі пласта, а для ґрунтових вод у верхньому його інтервалі (рис. 1, б, в) чи з робочою його частиною біля підшови пласта (рис. 1, г);

– з робочою частиною всередині пласта (рис. 1, д)

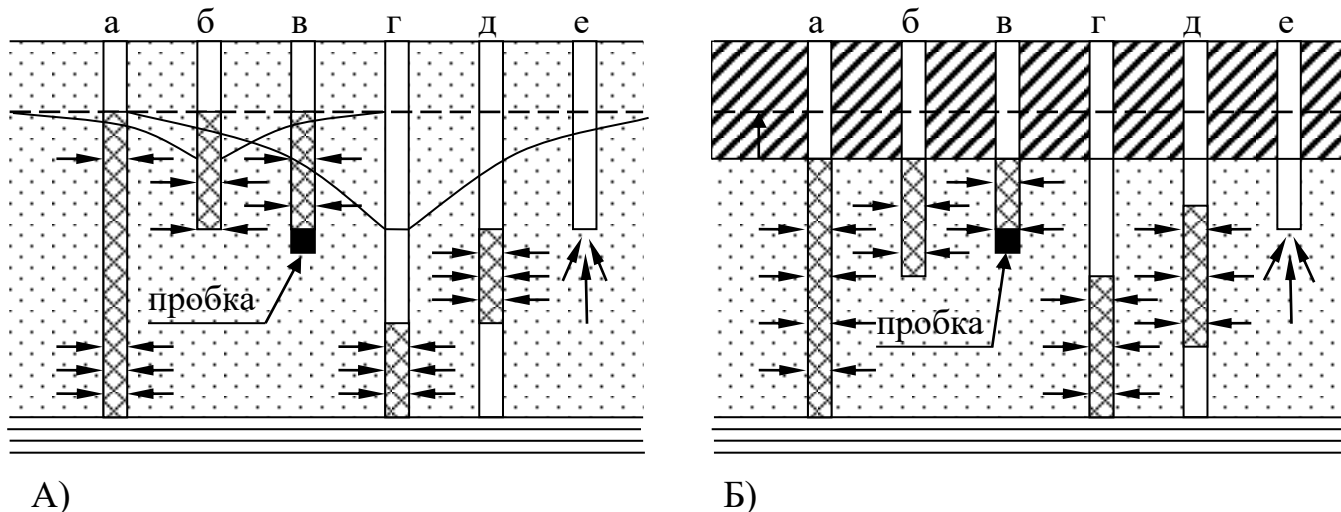


Рис. 1. Досконалі свердловини та недосконалі свердловини  
 а – досконалі свердловини; б, в, г, д, е – недосконалі;  
 А) – ґрунтові свердловини, Б) – артезіанські свердловини

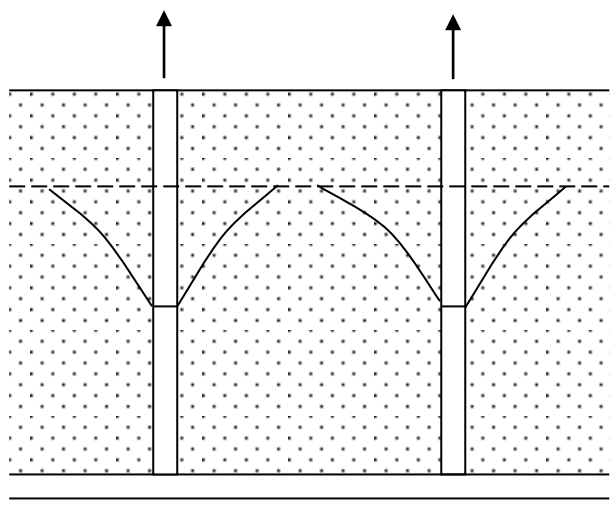


Рис. 2. Поодинокі свердловини

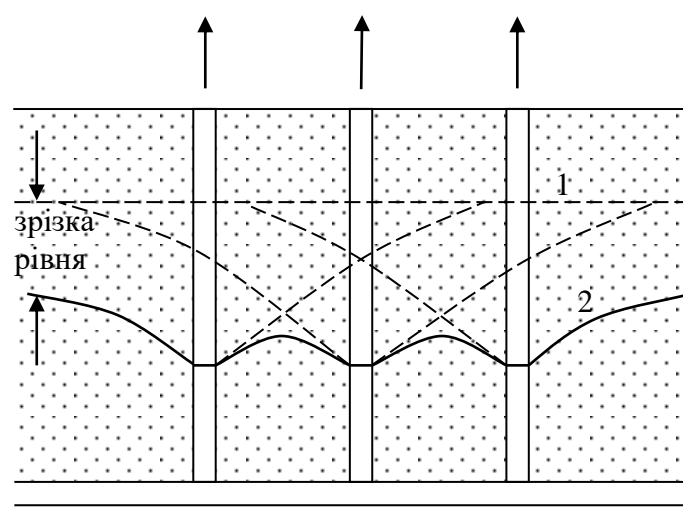


Рис. 3. Групові свердловини  
 1 – рівень підземних вод до відкачки;  
 2 – рівень підземних вод у процесі відкачки

## 2. Визначення дебіту недосконалих свердловин

### 2.1. Ґрунтова свердловина має проникні стінки і глухе дно

За Замарінім-Форхгеймером дебіт такої недосконалої свердловини вельми наближено визначається за емпіричною формулою

$$Q_{\text{нед}} = Q_{\text{доск}} \sqrt{\frac{l}{h_a}} \sqrt{\frac{2h_a - l}{h_a}} = \frac{1,36k(H_a^2 - h_a^2)}{\lg R - \lg r} \sqrt{\frac{l}{h_a}} \sqrt{\frac{2h_a - l}{h_a}}, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{доск}}$  – дебіт досконалої свердловини, м<sup>3</sup>/доб;  $l$  – довжина робочої частини фільтра чи робочої проникної частини свердловини, м;  $h_a$  – потужність водоносного пласта, рахуючи від рівня води в свердловині під час відкачки до межі активної зони, м;  $H_a$  – потужність активної зони, м (рис 4.).

Замарін Є. А. рекомендує величину активної зони приймати в залежності від величини зниження рівня:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } S = 0,2 (S + l) \dots \dots \dots H_a = 1,3 (S + l) \\ \text{“ } S = 0,3 (S + l) \dots \dots \dots H_a = 1,5 (S + l) \\ \text{“ } S = 0,5 (S + l) \dots \dots \dots H_a = 1,7 (S + l) \\ \text{“ } S = 0,8 (S + l) \dots \dots \dots H_a = 1,85 (S + l) \\ \text{“ } S = 1,0 (S + l) \dots \dots \dots H_a = 2,00 (S + l). \end{array} \right\} \quad (2)$$

Тут  $S$  – зниження під час відкачки, м;  $l$  – проникна частина свердловини, м. Після обчислення  $H_a$  визначається  $h_a = H_a - S$ .

На основі формули (2) в табл. 2.1 приведені значення поправочного коефіцієнта

на недосконалість свердловини  $B = \frac{Q_{\text{нед}}}{Q_{\text{доск}}}$  в залежності від величини  $\frac{h_a}{l}$ .

Таблиця 2.1

$\frac{h_a}{l}, \frac{M_a}{l}$	1,5	2,0	2,5	3,0 1	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
$B = \frac{Q_{\text{нед}}}{Q_{\text{доск}}}$	0,87	0,78	0,71	0,65	0,58	0,52	0,48	0,41	0,37
$\beta = \frac{Q_{\text{доск}}}{Q_{\text{нед}}}$	1,15	1,28	1,41	1,54	1,74	1,93	2,11	2,42	2,70

Ординати кривої депресії недосконалої ґрунтової свердловини (рис. 4) при  $x$  від  $x_1 = H$  до  $R$  можна наближено визначати за формулою

$$y_a = \sqrt{h_a^2 + \frac{0,73Q(\lg x - \lg r)}{kB}} \quad (3)$$

Тут величина  $B$  береться з табл. 2.1, а  $Q$  визначається за формулою (2).

## 2.2. Свердловини з незатопленим фільтром (знижений рівень знаходиться в межах фільтра)

За наближеною формулою В. Д. Бабушкіна дебіт свердловини з фільтром, що має довжину, не більше 30% потужності водоносного пласта ( $l < 0,3H$ ), дорівнює (рис. 5)

$$Q = 1,36kS \left( \frac{l+S}{\lg \frac{R}{r}} + \frac{l}{\lg \frac{0,66l}{r}} \right), \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (4)$$

При значній довжині фільтра ( $l > 0,3H$ ) за формулою В.Д. Бабушкіна дебіт свердловини дорівнює

$$Q = 1,36kS \left[ \frac{l+S}{\lg \frac{R}{r}} + \frac{2m}{\frac{1}{2\alpha} \cdot (2 \lg \frac{4m}{r} - A) - \lg \frac{4m}{R}} \right], \text{ м}^3/\text{доб.}, \quad (5)$$

де  $m$  – відстань від середини фільтра до водотриву (рис. 6), м;  $A$  – величина, залежна від  $\alpha = \frac{l}{m}$  і визначається за графіком, що зображено на рис. 7.

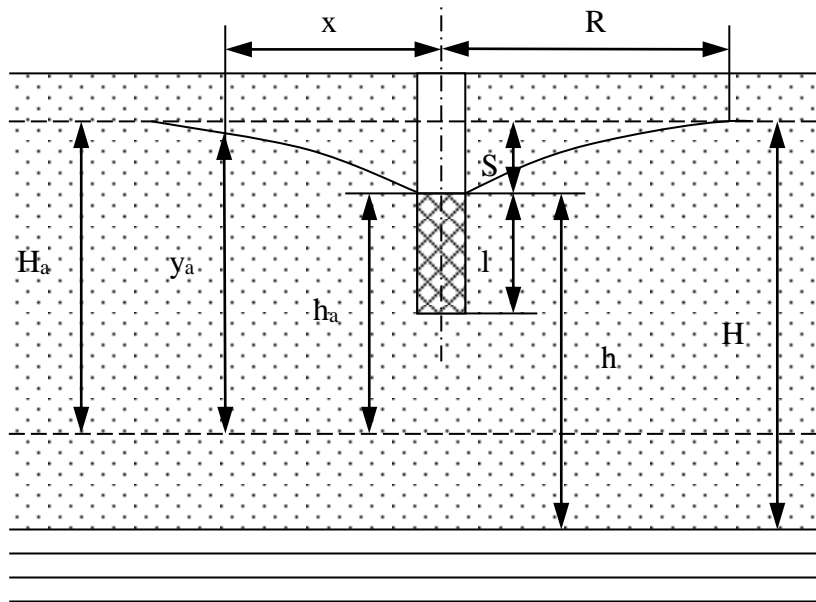


Рис. 4. Недосконала ґрунтова свердловина з виділеною активною зоною

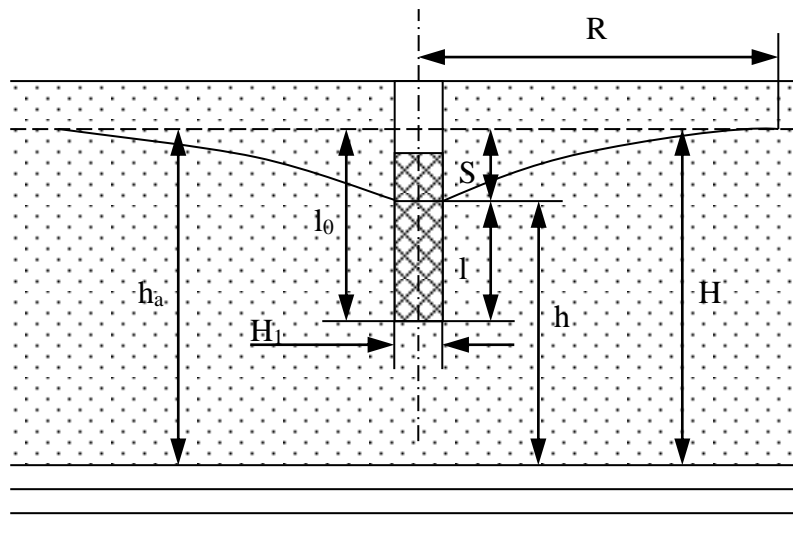


Рис. 5. Ґрунтова свердловина з незатопленим фільтром



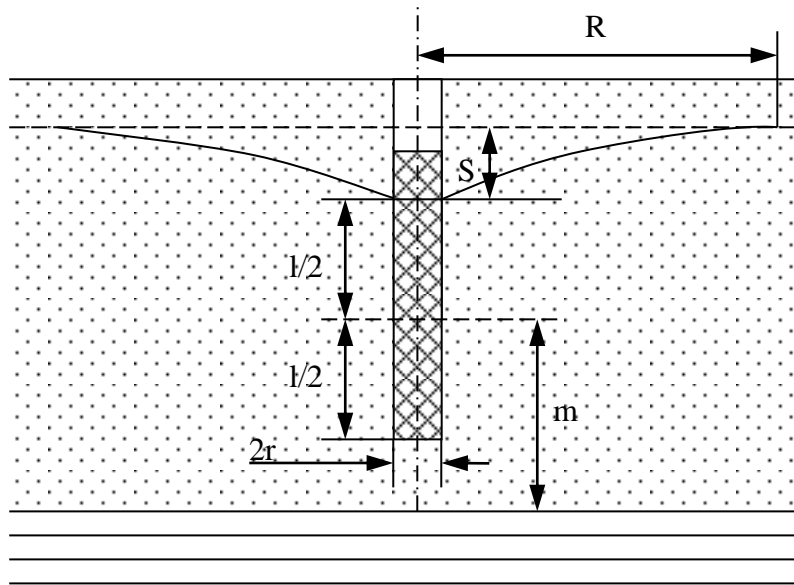


Рис. 6. Грунтова свердловина з незатопленим фільтром значної довжини

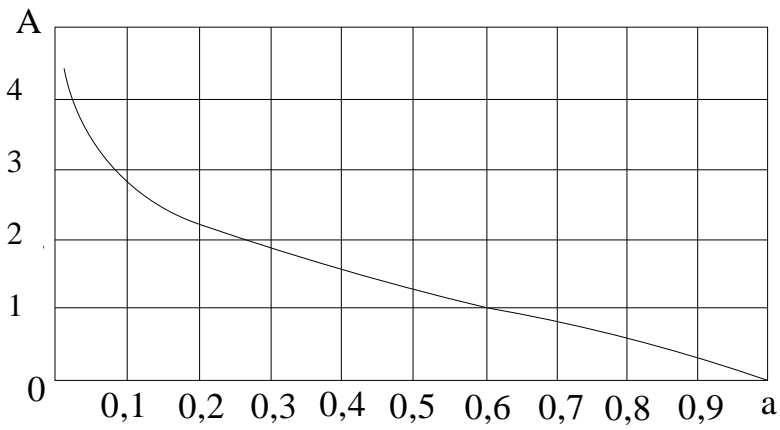


Рис. 7. Графік для визначення  $A = f(a)$

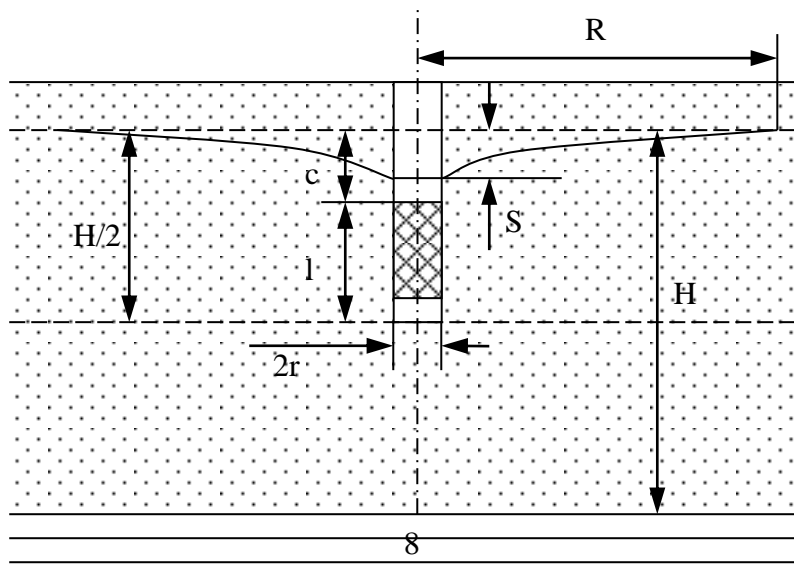


Рис. 8. Грунтова свердловина з затопленим фільтром

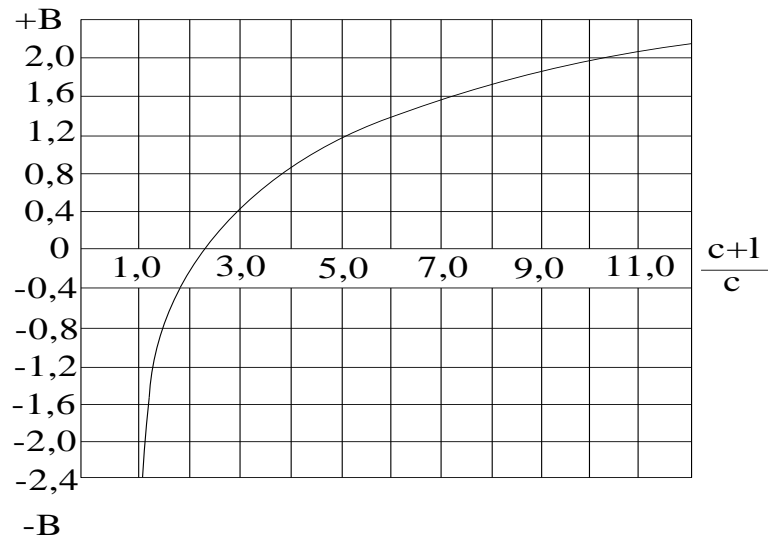


Рис. 9. Графік для визначення  $B = f\left(\frac{c+l}{c}\right)$

### 2.3. Свердловини з затопленим фільтром (знижений рівень знаходиться вище фільтра)

Дебіт свердловини, в якій фільтр розташований поблизу статичного рівня води і основа фільтра не досягає середини водоносного горизонту (рис. 8), за формулою В. Д. Бабушкіна дорівнює

$$Q = \frac{2,73kls}{0,5B - \lg \frac{r}{c}} \text{ м}^3/\text{доб}, \quad (6)$$

де  $c$  – відстань від статичного рівня води до верхнього кінця фільтра, м;  $B$  – величина, що залежить від  $\frac{c+l}{c}$  і визначається за графіком на рис. 9.

Дебіт свердловини з фільтром, що має довжину робочої частини, яка перевищує половину потужності водоносного горизонту, за формулою В. Д. Бабушкіна дорівнює

$$Q = 2,73kS(B + D), \quad \text{м}^3/\text{доб}, \quad (7)$$

$$B = \frac{h_1}{\frac{1}{2\alpha_1} \left( 2 \lg \frac{4h_1}{r} - A_1 \right) - \lg \frac{4h_1}{R}}; \quad (8)$$

$$D = \frac{h_2}{\frac{1}{2\alpha_2} \left( 2 \lg \frac{4h_2}{r} - A_2 \right) - \lg \frac{4h_2}{R}}. \quad (9)$$

Тут  $h_1$  – відстань від середини фільтра до статичного рівня, м; – відстань від середини фільтра до підшови водоносного пласта, м;  $A_1$  та  $A_2$  – величини, що залежать відповідно від співвідношень  $\alpha_1 = \frac{0,5l}{h_1}, \alpha_2 = \frac{0,5l}{h_2}$ , визначаються за графіком (рис. 7).

Дебіт свердловини з фільтром, що частково розкрив водоносний пласт, коли знижений рівень води в свердловині знаходиться вище фільтра, можна визначити за формулою

$$Q = \frac{2,73kS(S+l)}{\lg R - \lg r}, \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (10)$$

Прийняті позначення видно з рис. 8. При виводі цієї формули прийнято, що вода тече до фільтра з зони ґрунту, обмеженого з обох боків поверхнями, форма яких схожа з депресійною поверхнею.

Для свердловини, доведеної до водотриву й обладнаної фільтром лише в нижній частині водоносного горизонту, виправлена формула дебіту К. І. Добровольського має вигляд (рис. 10)

$$Q = \frac{1,36kS(H+l)}{\lg R - \lg r}, \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (11)$$

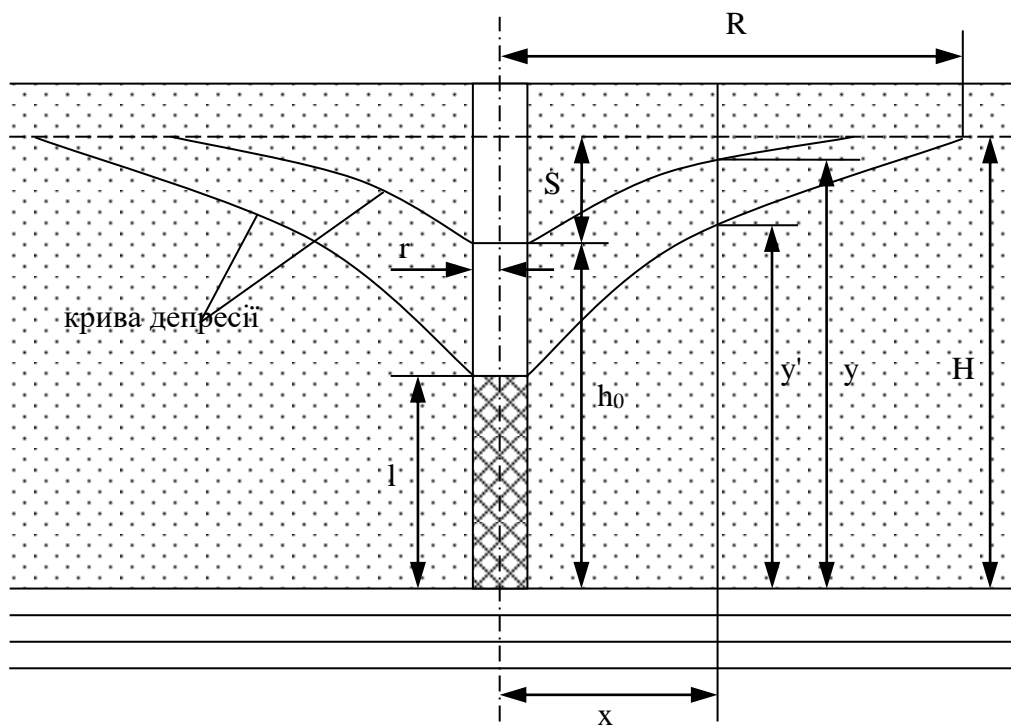


Рис. 10. Схема руху ґрунтових вод до недосконалої свердловини з фільтром біля водотриву (за К. І. Добровольським)

## 2.4. Грунтова свердловина має непроникні стінки й відкрите дно

Дебіт ґрунтової свердловини з відкритим дном при співвідношенні  $\frac{r}{T} \leq \frac{1}{2}$  визначається за формулою В. Д. Бабушкіна

$$Q = \frac{2\pi krS}{\frac{\pi}{2} + \frac{r}{T} \left( 1 + 1,18 \lg \frac{R}{4H} \right)}, \quad (12)$$

позначення дані на рис. 5.

При ламінарному характері руху води допускається для ґрунтових свердловин з відкритим дном застосування формул (20 – 22), виведених для артезіанських свердловин. Також можна використовувати формули подібного типу, що виведені для турбулентного характеру руху підземних вод (26 – 28).

## 2.5. Грунтова свердловина має проникні стінки та дно

Для визначення дебіту ґрунтової свердловини з проникними стінками і дном (рис. 5) можна, як це робить Є. А. Замарін, скласти рівняння дебіту свердловини для фільтрації через стінки і для фільтрації через напівсферичне дно. Маємо:

$$Q = \frac{1,36k(l_0^2 - l^2)}{\lg R - \lg r} + 2\pi kSr, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (13)$$

Для свердловини з плоским дном

$$Q = \frac{1,36k(l_0^2 - l^2)}{\lg R - \lg r} + 4kSr, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (14)$$

Усі наведені формули для недосконалих свердловин є наближеними, та найбільш обґрунтованими можна вважати формули В. Д. Бабушкіна.

В подальшому до збору й аналізу практичних даних недосконалість свердловин і довжину фільтра необхідно враховувати, за можливістю користуючись у кожному випадку кількома формулами, придатними для даного типу свердловин.

## 2.6. Артезіанська свердловина має проникні стінки і глухе дно

За Замариним-Форхгеймером дебіт недосконалої свердловини наближено дорівнює

$$Q_{\text{нед}} = Q_{\text{доск}} \sqrt{\frac{l}{M_a}} \sqrt{\frac{2M_a - l}{M_a}} = \frac{2,73kM_a S}{\lg R - \lg r} \sqrt{\frac{l}{M_a}} \sqrt{\frac{2M_a - l}{M_a}}, \quad \text{м}^3/\text{доб.}, \quad (15)$$

де  $Q_{\text{доск}}$  – дебіт досконалої свердловини за формулою Дюпюї,  $\text{м}^3/\text{доб.}$ ,  $l$  – довжина фільтра, м;  $M_a$  – активна потужність напірного водоносного горизонту, що

визначається за Замарінім (1), м.

Величину поправки в залежності від  $\frac{M_a}{l}$  можна взяти за табл. 2.1.

Рівняння (15), отримане за аналогією з емпіричною формулою (2) для ґрунтової свердловини, є менш точним, ніж формули (16 – 19). Н. К. Гиринський запропонував формулу для визначення дебіту недосконалої свердловини, коли фільтр дотикається до водотривкої покрівлі водоносного пласта (рис. 11) і довжина фільтра менша 30% потужності водоносного пласта ( $l < 0,3M$ ),

$$Q = \frac{2,73kls}{\lg(1,6l) - \lg r}. \quad (16)$$

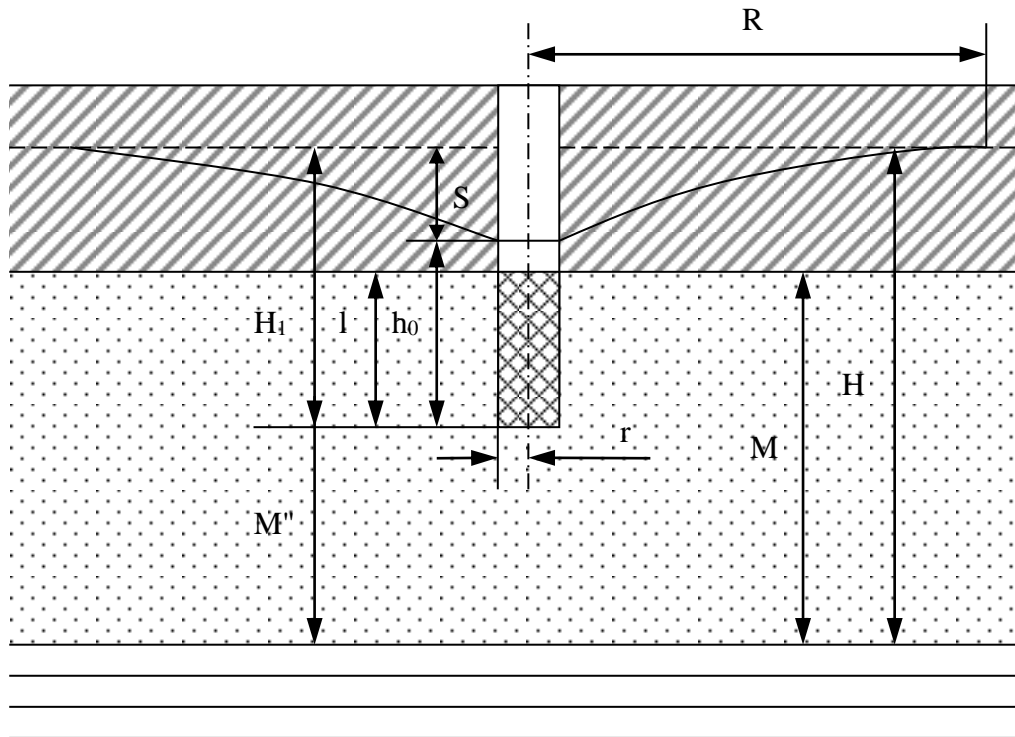


Рис. 11. Недосконала артезіанська свердловина

Формулою (16) також користуються, коли фільтр доведено до нижнього водотриву.

При довжині фільтра, що перевищує  $1/3 M$  ( $l > 0,3 M$ ), дебіт свердловин за М. Маскетом дорівнює

$$Q = \frac{2,73kMS}{\frac{l}{2\alpha} \left( 2 \lg \frac{4M}{r} - A \right) - \lg \frac{4M}{R}}, \quad (17)$$

де  $\alpha = \frac{l}{M}$  – відношення довжини робочої частини фільтра до потужності водоносного горизонту;  $A$  – величина, що залежить від  $\alpha$  і визначається за графіком на рис. 7.

Якщо фільтр довжиною  $l < 0,3M$  знаходиться в середній частині водоносного горизонту, дебіт свердловини буде більшим, ніж якщо фільтр дотикається до водотриву, і визначається за формулою:

$$Q = \frac{2,73klS}{\lg(0,66l) - \lg r} \quad (18)$$

П. П. Аргунов (1950 р.) вивів формулу для недосконалої свердловини, обладнаної фільтром будь-якої довжини (рис. 11), за якою значення дебіта отримується дещо меншим, ніж за формулами В. Д. Бабушкіна, М. К. Гиринського і М. Маскета, і за деякими практичними даними С. Б. Албула (1956 р.) більш близький до істини.

$$Q = \frac{2\pi kMS}{\frac{M-l}{l} \left( \operatorname{arsh} \frac{l}{r} - \operatorname{arsh} \frac{l}{R} \right) + \ln \frac{R}{r}}, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (19)$$

### **2.7. Артезіанська свердловина має непроникні стінки і відкрите дно**

За Форхгеймером дебіт свердловини з напівсферичним дном, доведеним до покрівлі водоносного горизонту нескінченної потужності, дорівнює

$$Q = 2\pi krS, \quad \text{м}^3/\text{доб.}, \quad (20)$$

де  $k$  – коефіцієнт фільтрації, м/доб. Інші позначення дані на рис. 13. Варто відзначити, що тут  $r$  – внутрішній радіус з кріплення свердловини. Ордината кривої депресії обчислюється за рівнянням

$$y = h + \frac{Q}{2\pi k} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x} \right), \quad \text{м.} \quad (21)$$

Для свердловини з пласким дном

$$Q = 4rSk, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (22)$$

В.Д. Бабушкін для свердловин із дном напівсферичної форми при співвідношенні  $\frac{r}{M} \leq \frac{1}{2}$  запропонував формулу

$$Q = \frac{2\pi rSk}{1 + \frac{r}{M} \left(1 + 1,18 \lg \frac{R}{4M}\right)}, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (23)$$

Для свердловини з пласким дном

$$Q = \frac{2\pi rSk}{\frac{\pi}{2} + \frac{r}{M} \left(1 + 1,18 \lg \frac{R}{4M}\right)}, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (24)$$

Тевене для свердловини з відкритим дном при обмеженій потужності водоносного горизонту дає формулу

$$Q = \pi rSk \ln \left(1 + \frac{2M}{H}\right). \quad (25)$$

Хоча формула (25) має слабку теоретичну базу, вона відповідає практичним даним. Зі співставлення цієї формули й формул (20) і (22) витікає, що застосування її неможливе для свердловин із напівсферичним дном при співвідношенні  $M/H$  меншому ніж 3,2, а з плоским – при  $M/H$  менше ніж 1,3 (рис. 10).

При турбулентному характері руху води формула дебіту свердловини з напівсферичним дном отримає вигляд

$$Q = 2\pi k \sqrt{3Sr^3} = 10,9kr \sqrt{Sr}, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (26)$$

Ордината кривої депресії в цьому випадку визначається за рівнянням

$$y = h + \frac{Q^2}{119k^2} \left( \frac{1}{r^3} - \frac{1}{x^3} \right), \quad \text{м.} \quad (27)$$

Для свердловин з пласким дном

$$Q = 6,9kr \sqrt{Sr}, \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (28)$$

## 2.8. Артезіанська свердловина має проникні стінки і дно

Складемо наближене рівняння дебіту свердловини з проникними стінками і дном (рис.11)

$$Q = \frac{2,73kIS}{\lg R - \lg r} + \pi rSk \ln \left(1 + \frac{2M''}{H_1}\right), \quad \text{м}^3/\text{доб.} \quad (29)$$

## 2.9. Грунтово-артезіанська свердловина має проникні стінки і дно

При зниженні рівня води в артезіанській свердловині (стволі шахти, шурфі) нижче покрівлі водоносного горизонту вода в свердловину потрапляє через дно і стінки на висоті  $l$  (рис. 12).

Приток до такої свердловини наближено дорівнює

$$Q = \frac{1,36k[(2H_1 - M') \cdot M' - l^2]}{\lg R - \lg r} + \pi r S k \ln \left( 1 + \frac{2M''}{H_1} \right). \quad (30)$$

Приток, що відбувається через стінки і дно ствола чи шурфа при їх проходженні, наближено дорівнює

$$Q = \frac{1,36k(2H_1 - M')M}{\lg R - \lg r} + \pi r S k \ln \left( 1 + \frac{2M''}{H_1} \right). \quad (31)$$

Застосування останньої формули можливо при відношенні  $\frac{M''}{H}$  менше 3,2.

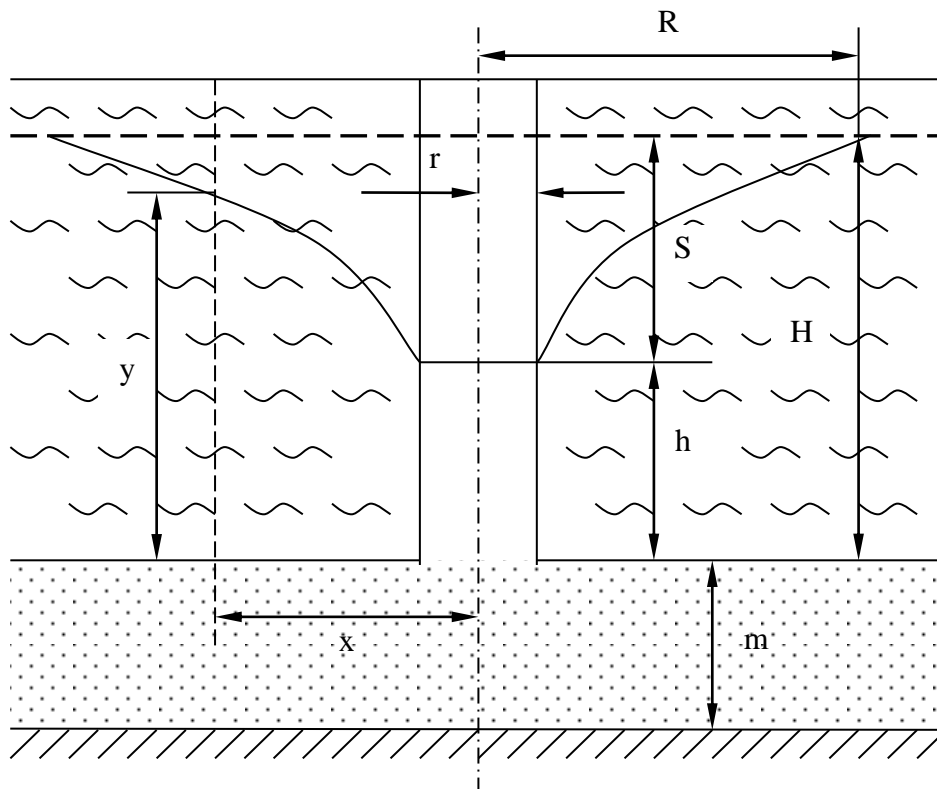


Рис. 12. Артезіанська свердловина з непроникними стінками та відкритим дном

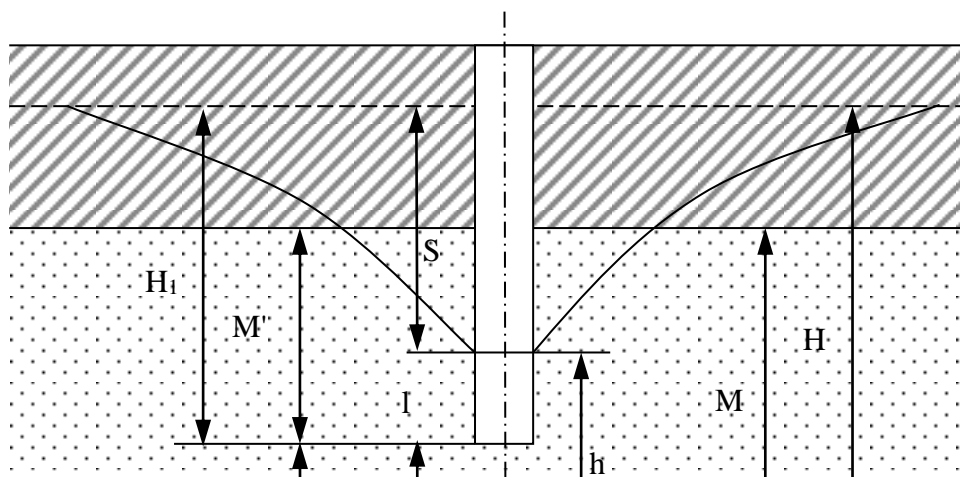




Рис. 13. Схема ґрунтово-артезіанської свердловини з проникними стінками і дном

### 3. Методичні рекомендації до розв'язання задач

#### Задача 1

Дано: бурову свердловину діаметром 200 мм пройдено в потужному пласті різнозернистого піску на глибину 14,66 м від поверхні землі й обладнано в нижній частині сітчастим фільтром діаметром 152 мм та висотою 5 м. Дно фільтра забите дерев'яною пробкою. Рівень ґрунтових вод у свердловині знаходиться на глибині 2,66 м, коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту  $k = 0,00012$  м/с (рис. 14). Свердловина являє собою ґрунтовий недосконалий колодязь із затопленим фільтром, що працює стінками.

Визначити: дебіт свердловини при зниженні рівня води в ній на 4,5 м.

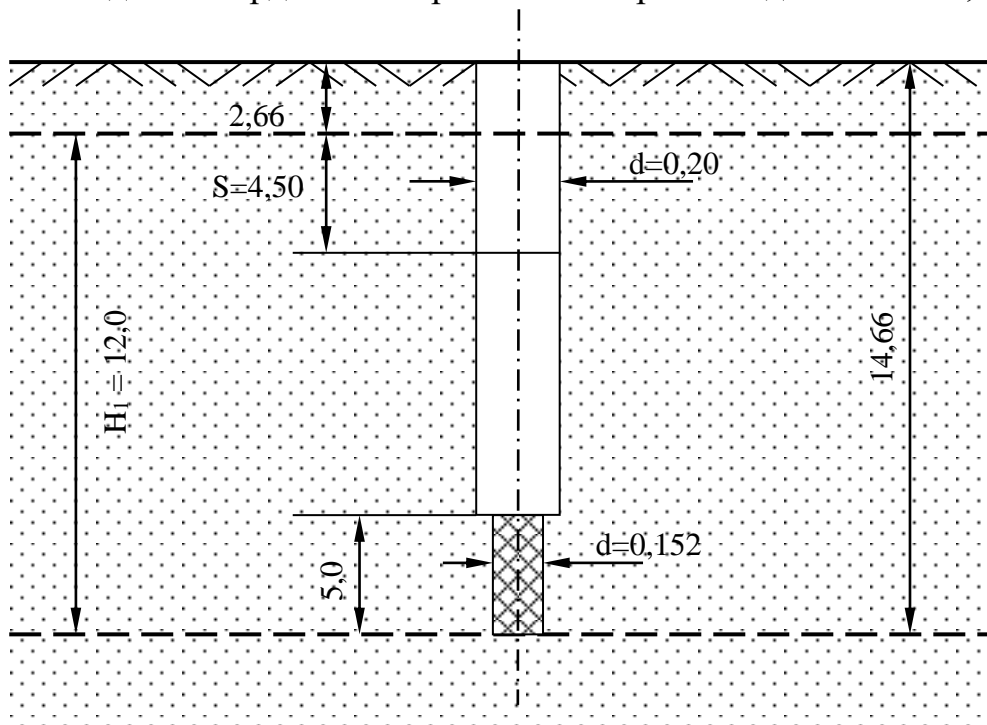


Рис. 14. Схема до розрахунку задачі 1

Розв'язання задачі.

1. Розрахунок за формулою Форхгеймера з урахуванням активної зони за Є.А. Замаріним.

Для нашого випадку при  $S = 4,5$  м та  $l = 5,0$  м зниження  $S = 0,47 (S + l)$ . Потужність активної зони за Замаріним (2) дорівнює

$$H_a = 1,67(S + l) = 1,67(4,5 + 5,0) = 15,86 \text{ м.}$$

Висота зниженого рівня в колодязі над підошвою активної зони складає  $h_a = 15,86 - 4,50 = 11,36$  м.

Радіус впливу обчислимо за формулою Зіхарда:

$$R = 10S\sqrt{k},$$

$$R = 10 \cdot 4,5 \sqrt{10,4} = 154 \text{ м.}$$

Дебіт свердловини за формулою (1) дорівнює

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{1,36k(H_a^2 - h_a^2)}{\lg R - \lg r} \sqrt{\frac{l}{h_a}} \sqrt{\frac{2h_a - l}{h_a}} = \\
 &= \frac{1,36 \cdot 0,00012(15,86^2 - 11,36^2)}{\lg 145 - \lg 0,076} \sqrt{\frac{5}{11,36}} \sqrt{\frac{2 \cdot 11,36 - 5}{11,36}} = \\
 &= 0,00608 \cdot 0,74 = 0,0045 \text{ м}^3/\text{с}.
 \end{aligned}$$

Величину поправки на недосконалість свердловини можна отримати простіше за табл. 2.1. При  $\frac{h_a}{l} = \frac{11,36}{5} = 2,27$  поправка дорівнює 0,74, як і було отримано раніше за формулою.

2. Розрахунок за формулою В.Д. Бабушкіна (6).

Враховуючи, що основа фільтра не досягає середини водоносного горизонту, дебіт свердловини визначаємо за формулою

$$Q = \frac{2,73kls}{0,5B - \lg \frac{r}{c}}.$$

У нашому випадку відстань від статичного рівня до верхнього краю фільтра дорівнює  $c = 7,0$  м ( $h - l = 12 - 5 = 7$  м).

При значенні  $\frac{c+l}{c} = \frac{7,0+5,0}{7,0} = 1,7$  за графіком на рис. 9 знаходимо величину

$$B = -0,32.$$

Маємо

$$Q = \frac{2,73 \cdot 0,00012 \cdot 5 \cdot 4,5}{0,5(-0,32) - \lg \frac{0,076}{7,0}} = 0,0041 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Розрахунок за формулою (10)

$$Q = \frac{2,73kS(S+l)}{\lg R - \lg r} = \frac{2,73 \cdot 0,00012 \cdot 4,5(4,5+5,0)}{\lg 145 - \lg 0,076} = 0,0042 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вирішити аналогічну задачу для варіантів, представлених в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Варіант №	Коефіцієнт фільтрації $k$ , м/сек	Висота фільтра $l$ , м	Глибина проходження свердловини, м	Зниження рівня в свердловині $S$ , м	Глибина до рівня ґрунтових вод, м
1	0,00011	4,0	15,0	4,0	2,0
2	0,00010	4,5	14,0	3,5	2,1
3	0,00006	4,2	13,0	3,0	2,2
4	0,00009	4,0	17,0	2,5	2,3
5	0,00014	3,5	16,0	3,0	2,4
6	0,00005	3,0	15,0	3,5	2,5
7	0,00008	4,0	16,0	4,0	2,6
8	0,00013	4,5	13,0	2,5	2,7
9	0,00007	4,0	16,0	2,0	2,8
10	0,00015	4,2	17,0	3,0	2,9
11	0,00012	3,5	14,0	3,0	3,0
12	0,00006	4,0	15,0	4,5	2,9
13	0,00010	4,2	19,5	6,0	2,8
14	0,00007	4,5	18,0	3,0	2,7
15	0,00006	4,0	16,0	4,0	2,6
16	0,00009	4,0	19,0	5,0	2,5
17	0,00014	3,8	15,0	3,5	2,4
18	0,00005	3,5	16,0	3,0	2,3
19	0,00008	3,6	17,0	2,5	2,2
20	0,00013	3,8	16,0	3,0	2,1
21	0,00007	4,0	15,0	4,0	2,0
22	0,00015	4,2	14,0	4,5	2,1
23	0,00012	4,4	15,0	5,0	2,2
24	0,00006	4,5	18,0	5,0	2,3
25	0,00010	4,0	15,0	3,0	2,4

## Задача 2

Дано:  $H_1 = 12$  м;  $l = 7,5$  м;  $S = 4,5$  м;  $r = 0,076$  м;  $R = 145$  м;  $k = 0,00012$  м/с (позначення зрозумілі з рис. 15).

Знайти: вирішити задачу 1, вважаючи, що свердловина обладнана незатопленим фільтром висотою 8 м. Додатково визначити, як знизиться рівень води при відкачці на відстані 15 м від свердловини.

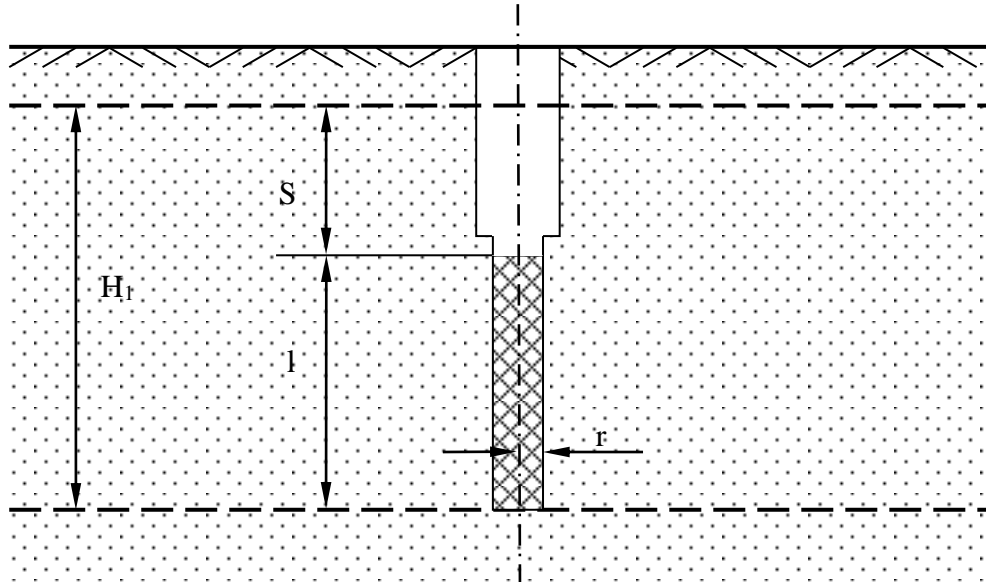


Рис. 15. Схема до розрахунку задачі 2

Розв'язання задачі.

### 1. Розрахунок за формулою Замаріна-Форхгеймера (1).

В даному випадку  $l=7,5$  м, а  $S + l = H_1 = 12$  м.

За Є.А. Замарінім (2) при  $S = 0,38 (S + l)$  величина активної зони дорівнює

$$H_a = 1,58 (S + l) = 1,58 \cdot 12 = 18,96 \text{ м.}$$

Поправка на недосконалість колодязя за табл. 2.1 при

$$\frac{h_a}{l} = \frac{18,96 - 4,50}{7,5} = 1,93$$

дорівнює  $B = 0,79$ .

Дебіт свердловини за формулою (1) становить

$$Q = \frac{1,36 \cdot 0,00012 (18,96^2 - 14,46^2)}{\lg 145 - \lg 0,076} \cdot 0,79 = 0,0059 \text{ м}^3/\text{с.}$$

### 2. Розрахунок за формулою В. Д. Бабушкіна (4).

При незатопленому фільтрі довжиною  $l = 7,5$  м, встановленому в пласті великої потужності ( $l < 0,3H$ ), дебіт свердловини дорівнює

$$Q = 1,36kS \left( \frac{l+S}{\lg \frac{R}{r}} + \frac{l}{\lg \frac{0,66l}{r}} \right) = 1,36 \cdot 0,00012 \cdot 4,5 \left( \frac{7,5+4,5}{\lg \frac{145}{0,076}} + \frac{7,5}{\lg \frac{0,66 \cdot 7,5}{0,076}} \right) = 0,0057 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Результати розрахунку дебіту за обома формулами близькі між собою.

Для визначення зниження рівня води в перерізі на відстані 15 м від свердловини застосуємо формулу (3). Маємо: дебіт за формулою (1) дорівнює  $0,0059 \text{ м}^3/\text{с}$ ; висота зниженого рівня води в свердловині над межею активної зони  $h = H_a - S = 18,96 - 4,50 = 14,49 \text{ м}$ .

Ордината кривої депресії, рахуючи від межі активної зони, приблизно дорівнює

$$y_a = \sqrt{h_a^2 + \frac{0,73Q(\lg x - \lg r)}{kB}} = \sqrt{14,46^2 + \frac{0,73 \cdot 0,0059 (\lg 15 - \lg 0,076)}{0,00012 \cdot 0,79}} = 17,71 \text{ м.}$$

Таким чином, зниження рівня води в цьому перетині відбулося на

$$S = H_a - y_a = 18,96 - 17,71 = 1,25 \text{ м.}$$

Вирішити аналогічну задачу для варіантів, наданих в табл 3.2.

Таблиця 3.2

Варіант №	Коефіцієнт фільтрації $k$ , м/с	Висота робочої частини фільтра $l$ , м	Потужність водоносного горизонту $H_1$ , м	Радіус фільтра $r$ , м	Зниження рівня в свердловині $S$ , м	Висота фільтра, м	Радіус впливу $R$ , м
1	0,00011	7,0	12,0	0,076	5,0	8,0	100,0
2	0,00010	7,5	12,0	0,076	4,5	8,0	70,0
3	0,00006	7,2	13,2	0,076	6,0	8,0	60,0
4	0,00009	6,0	11,5	0,076	5,5	8,0	75,0
5	0,00014	6,5	11,5	0,076	5,0	8,0	85,0
6	0,00005	7,0	10,5	0,076	3,5	8,0	60,0
7	0,00008	6,0	11,0	0,076	5,0	8,0	65,0
8	0,00013	6,5	13,0	0,076	6,5	8,0	70,0
9	0,00007	6,0	10,0	0,076	4,0	8,0	75,0
10	0,00015	6,2	11,3	0,076	5,1	8,0	80,0
11	0,00012	7,5	14,5	0,076	7,0	8,0	85,0
12	0,00006	6,0	10,5	0,076	4,5	8,0	90,0
13	0,00010	6,2	12,5	0,076	6,0	8,0	95,0
14	0,00007	5,5	11,2	0,076	6,0	8,0	100,0
15	0,00006	5,0	12,0	0,076	7,0	8,0	105,0
16	0,00009	7,0	12,0	0,076	5,0	8,0	110,0
17	0,00014	6,8	12,3	0,076	5,5	8,0	115,0
18	0,00005	7,5	12,5	0,076	5,0	8,0	120,0
19	0,00008	6,6	13,1	0,076	6,5	8,0	125,0
20	0,00013	6,8	12,2	0,076	5,4	8,0	130,0
21	0,00007	7,0	12,0	0,076	5,0	8,0	135,0
22	0,00015	7,2	13,7	0,076	6,5	8,0	140,0
23	0,00012	7,4	12,7	0,076	5,3	8,0	145,0
24	0,00006	6,5	12,2	0,076	5,7	8,0	150,0
25	0,00010	6,0	10,8	0,076	4,8	8,0	155,0

### Задача 3

Дано: бурова свердловина діаметром 200 мм, закладена в тріщинуватих опоках, які містять вільний водоносний горизонт потужністю 15 м, має працювати періодами тривалістю до 10 діб. Свердловина обсаджена трубами від рівня води на глибину 8,90 м, нижче до водотриву стінки її оголені. Коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту  $k = 0,0004$  м/с, тріщинуватість гірських порід 7,5 %. Прийнемо, що рух води в опоках має ламінарний характер (рис.16).

Знайти: дебіт свердловини при зниженні рівня води на 3,5 м.

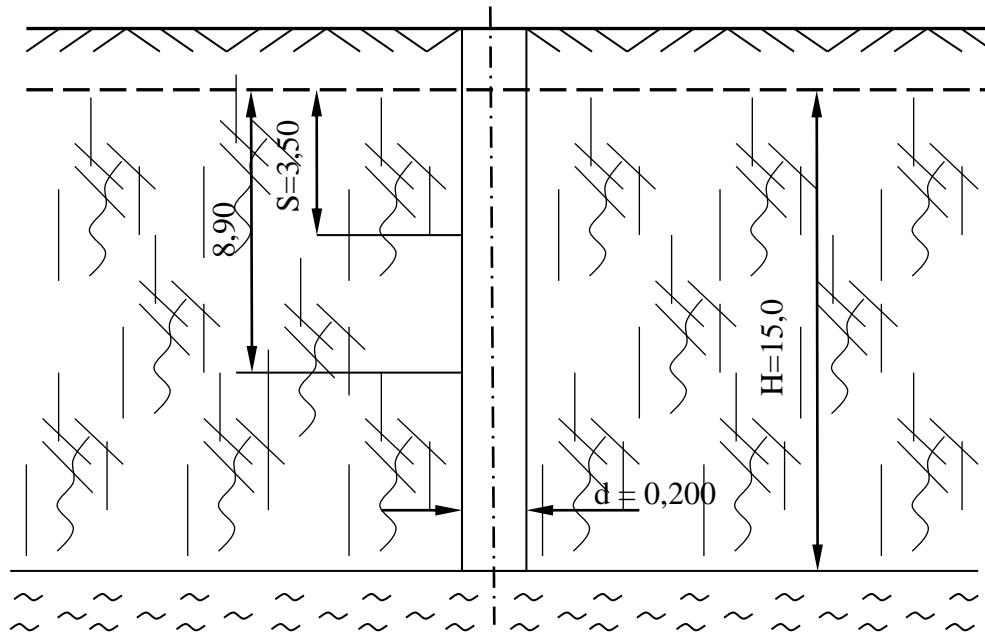


Рис. 16. Схема до розрахунку задачі 3

*Розв'язання задачі.* Бурова свердловина являє собою ґрунтовий недосконалий колодязь, що працює стінками, для розрахунку дебіту якого застосуємо формули Замаріна-Форхгеймера та Добровольського.

#### 1. Розрахунок за формулою Замаріна-Форхгеймера (1).

Активна зона за Замаріним (2) дорівнює  $Ha = 15,10$  м, тобто більше  $H = 15$  м, що вказує на те, що рух води до свердловини відбувається по всій потужності пласта.

Радіус впливу за формулою Керкіса дорівнює

$$R = 2 \sqrt{\frac{Hkt}{\mu}} = 2 \sqrt{\frac{15 \cdot 35 \cdot 10}{0,075}} = 528 \text{ м.}$$

Поправочний коефіцієнт на недосконалість свердловини при

$$\frac{h}{l} = \frac{11,50}{6,10} = 1,88 \text{ за табл. 2.1 дорівнює}$$

$$0,78 + \frac{0,87 - 0,78}{2 - 1,5} (1,88 - 1,50) = 0,85 .$$

Дебіт свердловини за формулою (1) дорівнює

$$Q_{\text{недоск}} = \frac{1636 \cdot 0,0004(15^2 - 11,5^2)}{\lg 528 - \lg 0,10} \cdot 0,85 = 0,0115 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. За формулою Добровольського (11) дебіт свердловини дорівнює

$$Q = \frac{1,36kS(H+l)}{\lg R - \lg r} = \frac{1,36 \cdot 0,0004 \cdot 3,5(15 + 6,10)}{\lg 528 - \lg 0,10} = 0,0108 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вирішити аналогічну задачу для варіантів, наданих в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Варіант №	Коефіцієнт фільтрації $k$ , м/с	Потужність водоносного горизонту $H$ , м	Діаметр фільтра $r$ , м	Зниження рівня $S$ , м	Глибина обсадження свердловини, м
1	0,00031	16,0	0,20	5,0	8,9
2	0,00030	15,0	0,20	4,5	9,0
3	0,00026	15,2	0,20	6,0	7,8
4	0,00019	15,5	0,20	5,5	8,7
5	0,00014	15,5	0,20	5,0	8,1
6	0,00025	17,5	0,20	3,5	9,0
7	0,00028	16,0	0,20	5,0	8,0
8	0,00013	13,0	0,20	6,5	9,1
9	0,00027	15,0	0,20	4,0	8,5
10	0,00015	15,3	0,20	5,1	7,9
11	0,00032	14,5	0,20	7,0	8,1
12	0,00026	17,5	0,20	4,5	8,0
13	0,00030	16,5	0,15	6,0	8,5
14	0,00027	16,2	0,15	6,0	5,3
15	0,00026	14,0	0,15	7,0	7,9
16	0,00009	15,0	0,15	5,0	7,8
17	0,00014	17,3	0,15	5,5	8,4
18	0,00035	15,5	0,15	5,0	8,7
19	0,00028	14,1	0,15	6,5	8,2
20	0,00013	15,2	0,15	5,4	7,1
21	0,00027	14,0	0,15	5,0	8,6
22	0,00015	13,7	0,15	6,5	9,1
23	0,00032	16,7	0,15	5,3	9,0
24	0,00026	16,2	0,15	5,7	7,9
25	0,00030	15,8	0,15	4,8	8,0



## Список літератури

1. Біндеман, Н.Н., Оцінка експлуатаційних запасів підземних вод [Текст] / Н.Н. Біндеман. – М.: Держгеоліздат, 1963. – 204 с.
2. Біндеман, Н.Н., Оцінка експлуатаційних запасів підземних вод [Текст] / Н.Н. Біндеман, Л.С. Язвін. – М.: Недра, 1970. – 215 с.
3. Бочевєр, Ф.М. Розрахунки експлуатаційних запасів підземних вод [Текст] / Ф.М. Бочевєр. – М.: Недра, 1968. – 325 с.
4. Дробноход, Н.І. Оцінка запасів підземних вод [Текст] / Н.І. Дробноход Л.С. Язвін. – Київ: Вища школа, 1982. – 301 с.
5. Жернов, І.Є. Динаміка підземних вод [Текст] / І.Є. Жернов. – К.: Вища школа, 1982. – 324 с.
6. Бочевєр, Ф.М. Основи гідрогеологічних розрахунків [Текст] / Ф.М. Бочевєр, І.В. Гармонов. – М.: Недра, 1969. – 357 с.
7. Проектування водозаборів підземних вод [Текст] / За ред. Ф.М. Бочевєра. – М.: Стройіздат, 1976. – 292 с.
8. Шестаков, В.М. Динаміка підземних вод [Текст] / В.М. Шестаков. – М.: МГУ, 1979. – 368 с.

**Федоренко Олена Олександрівна**  
**Шерстюк Євгенія Анатоліївна**

**ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ НЕДОСКОНАЛИХ  
СВЕРДЛОВИН**

**Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни  
«Динаміка підземних вод»**

**для студентів напряму підготовки 6.040103 Геологія**

Редактор Т.С. Меркулова

Підписано до друку 17.01.12. Формат 30×42/4.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,5.

Обл.-вид. арк. 1,5. Тираж 50 прим. Зам. №

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»  
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.