

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

**ОДИНОЧНІ ДОСКОНАЛІ СВЕРДЛОВИНИ
ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ В УМОВАХ КРУГОВОГО
КОНТУРУ ЖИВЛЕННЯ. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ**

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

для студентів напряму підготовки 6.040103 Геологія

Дніпропетровськ
2012

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



**ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра гідрогеології та інженерної геології**

**ОДИНОЧНІ ДОСКОНАЛІ СВЕРДЛОВИНИ
ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ В УМОВАХ КРУГОВОГО
КОНТУРУ ЖИВЛЕННЯ. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ**

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

для студентів напряму підготовки 6.040103 Геологія

Дніпропетровськ
НГУ
2012

Одиночні досконалі свердловини при стаціонарному режимі в умовах кругового контуру живлення. Гідрогеологічні розрахунки. 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, 2012. – 24 с.

Автори:

О.О. Федоренко, ст. викл. (розділ 1);

Є.А. Шерстюк, асист. (розділ 2).

Затверджено до видання редакційною радою НГУ (протокол № 3 від 15.11.2011) за поданням методичної комісії напряму підготовки 6.040103 Геологія (протокол № 1 від 18.10.2011р.)

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 досконалих артезіанських, ґрунтових та ґрунтово-артезіанських вертикальних свердловин в умовах стаціонарного режиму фільтрації. 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. І.О. Садовенко.

Зміст

Вступ	4
1. Рівняння Дюпюї.....	4
1.1. Рівняння руху підземних вод до артезіанської свердловини.....	4
1.1.1. Одна центральна свердловина.....	5
1.1.2. Одна центральна й одна спостережна свердловини.....	6
1.1.3. Одна центральна та дві спостережні свердловини.....	8
1.2. Рівняння руху підземних вод до ґрунтової свердловини.....	8
1.2.1. Одна центральна свердловина.....	10
1.2.2. Центральна й одна спостережна свердловини.....	11
1.2.3. Центральна і дві спостережні свердловини.....	13
1.3. Рівняння руху підземних вод до ґрунтово-артезіанської свердловини.....	13
2. Методичні рекомендації до розв'язання задач.....	15
Список літератури.....	24

Вступ

Теорія сталого руху радіального потоку найповніше розроблена на основі вивчення руху підземних вод до вертикальних водозбірних свердловин.

Вертикальні водозбірні свердловини, які розкривають ґрунтові води, прийнято називати ґрунтовими, а вертикальні водозбірні свердловини, які розкривають напірні води, – артезіанськими.

Існує два типи ґрунтових та артезіанських свердловин – досконалі й недосконалі. Досконалими називаються свердловини, які пройшли через водоносний горизонт до покрівлі водотривкого горизонту, що залягає нижче. У таких свердловинах робочий фільтр встановлюється на всю потужність водоносного горизонту.

У методичних вказівках наведені основи методики розрахунків дебітів та знижень досконалих артезіанських, ґрунтових та ґрунтово-артезіанських свердловин в умовах стаціонарного режиму фільтрації.

Мета цих вказівок – розглянути і вивчити теоретичні основи методики розрахунків досконалих свердловин, а також приклади розрахунку в конкретних гідрогеологічних умовах.

1. Рівняння Дюпюї

Уперше теорію припливу підземних вод до свердловин розробив французький учений Дюпюї ще в 1857 р. Проте, формула Дюпюї і нині має широке практичне застосування. При виведенні цих формул зроблені такі припущення:

- 1 – водопровідність водоносного горизонту постійна;
- 2 – водотривкий шар залягає горизонтально;
- 3 – відкачка проводиться в умовах, коли напірний градієнт потоку в природному стані дорівнює нулю.

1.1. Рівняння руху підземних вод до артезіанської свердловини

Загальна схема руху підземних вод до такої свердловини наведена на рис. 1.

Візьмемо перетин на відстані r від центральної свердловини і позначимо ординату кривої депресії в цьому перетині через y .

За лінійним законом Дарсі (1):

$$Q = k F I, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт фільтрації, м/доб; F – площа поперечного перетину, м²; I – ухил потоку.

Площа поперечного перетину потоку дорівнює в даному випадку площі бічної поверхні циліндра, радіус якого дорівнює r , а висота – m

$$F = 2\pi r m. \quad (2)$$

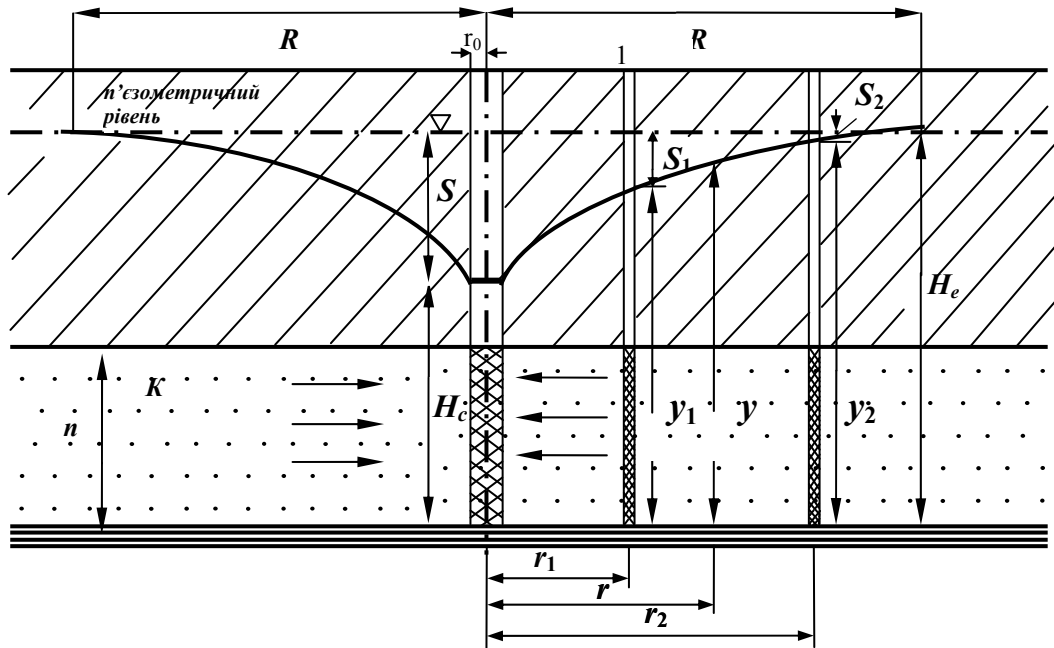


Рис. 1. Усталений рух підземних вод до досконалої артезіанської свердловини

Величину напірного градієнта можна виразити в такий спосіб:

$$I = \frac{dy}{dr} . \quad (3)$$

На відміну від плоского потоку градієнт напору I буде величиною позитивною, тому що в розглянутій схемі зі збільшенням r збільшується і y . Витрата відкачки Q також приймається позитивною, хоча і спрямована проти осі r .

Підставивши значення F і I у формулу Дарсі, одержимо:

$$Q = k 2\pi r m \frac{dy}{dr} . \quad (4)$$

Розділяючи в цьому рівнянні змінні dy і dr , доведемо його до вигляду:

$$dy = \frac{Q}{2\pi km} \cdot \frac{dr}{r} . \quad (5)$$

При інтегруванні отриманого рівняння розглянемо три випадки:

- 1 – одна центральна свердловина;
- 2 – одна центральна й одна спостережна свердловини;
- 3 – одна центральна і дві спостережні свердловини.

1.1.1. Одна центральна свердловина

Візьмемо такі межі інтегрування:

- для y від H_c до H_e (тобто беремо ординати крайніх перетинів, розташованих на кінцях кривої депресії, з відстанню між ними R);
- для r від r_0 до R (бачимо, що не від 0 до R , тому що радіус свердловини впливає на величину припливу до неї).

Опорний перетин у даному випадку сполучено зі стінкою свердловини, де $r = r_0$, а $y = H_c$. Інтегрування рівняння (5) дає:

$$\int_{H_c}^{H_e} dy = \int_{r_0}^R \frac{Q}{2\pi km} \cdot \frac{dr}{r} \quad (6) \quad \text{і} \quad H_e - H_c = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{r_0}. \quad (7)$$

Рівняння (7) являє собою поверхню обертання логарифмічної кривої, тому що y змінюється від H_c до H_e , а r від r_0 до R .

Таким чином, при відкачці з досконалої артезіанської свердловини крива депресії являє собою логарифмічну криву.

З огляду на те, що $H_e - H_c = S_0$, одержимо:

$$Q = \frac{2\pi km S_0}{\ln \frac{R}{r_0}} \quad (8) \quad \text{і} \quad S_0 = \frac{Q \ln \frac{R}{r_0}}{2\pi km}. \quad (9)$$

Перейшовши до десяткових логарифмів і підставивши у формулу (8) замість 2π величину 6,28, знайдемо, що

$$Q = \frac{6,28 km S_0}{2,3 \lg \frac{R}{r_0}} \quad (10)$$

або в остаточному вигляді

$$Q = \frac{2,73 km S_0}{\lg \frac{R}{r_0}} \quad (11) \quad \text{і} \quad S_0 = \frac{Q \lg \frac{R}{r_0}}{2,73 km}. \quad (12)$$

Отримані формули є розрахунковими для визначення дебіту досконалої артезіанської свердловини в умовах сталого руху підземних вод при заданому зниженні рівня в ній S_0 (формула 11) або для визначення S_0 при заданому дебіті свердловини Q (формула 12).

З цих рівнянь одержуємо формулу для розрахунку коефіцієнта фільтрації за даними одиночної дослідної відкачки:

$$k = \frac{Q \lg \frac{R}{r_0}}{2,73 m S_0} = \frac{0,366 Q \lg \frac{R}{r_0}}{m S_0}. \quad (13)$$

1.1.2. Одна центральна й одна спостережна свердловини

Візьмемо тепер для інтегрування рівняння (5) такі межі (рис. 1).

Для y від H_c до y_1 , для r від r_0 до r_1 . Перетин, де $r = r_1$, а $y = y_1$, є поточним. Однак, з огляду на те, що витрати при усталеному русі і за відсутності інфільтрації у всіх перетинах однакові, матимемо:

$$\int_{H_c}^{y_1} dy = \int_{r_0}^{r_1} \frac{Q}{2\pi km} \cdot \frac{dr}{r} \quad (14)$$

Після інтегрування знайдемо

$$y_1 - H_c = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{r_1}{r_0} \quad (15)$$

Оскільки відстань між центральною і спостережною свердловинами в межах площі розвитку депресійної воронки може бути різним, то формулу (15), визнавши $r = r_1$ і $y = y_1$ і перейшовши до десяткових логарифмів, можна подати у вигляді:

$$y = H_c + \frac{Q}{6,28km} \cdot 2,3 \lg \frac{r}{r_0} \quad (16) \quad \text{або} \quad y = H_c + \frac{0,366Q \lg \frac{r}{r_0}}{km} \quad (17)$$

Формула (17) є розрахунковою для побудови кривої депресії: задаючи значення $r < R$, визначають ординати кривої депресії y .

З іншого боку, рівняння (15) можна записати з огляду на те, що $y_1 - H_c = S_0 - S_1$ (де S_1 – зниження в першій спостережній свердловині):

$$S_0 - S_1 = \frac{Q}{2\pi km} \cdot \ln \frac{r_1}{r_0} \quad (18) \quad \text{або} \quad S_1 = S_0 - \frac{0,366Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{km} \quad (19)$$

Формула для розрахунку km – коефіцієнта водопровідності з використанням величин зниження рівня в центральній (S_0) і однієї спостережної (S_1) свердловинах має вигляд:

$$km = \frac{0,366Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{S_0 - S_1} \quad (20)$$

Можна одержати формулу для визначення S_1 , аналогічну за формою формулі для розрахунку S_0 (формула 12). Для цього проінтегруємо рівняння (5) у таких межах: для y від y_1 до H_e , і для r від r_1 до R .

Тоді матимемо:

$$\int_{y_1}^{H_e} dy = \int_{r_1}^R \frac{Q}{2\pi km} \cdot \frac{dr}{r} \quad (21)$$

Після інтегрування отримаємо:

$$H_e - y_1 = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{r_1} \quad (22)$$

Тому що $H_e - y_1 = S_1$, знайдемо, що

$$S_1 = \frac{Q}{6,28km} \cdot 2,3 \lg \frac{R}{r_1} \quad (23) \quad \text{або} \quad S_1 = \frac{Q \lg \frac{R}{r_1}}{2,73km} \quad (24)$$

Аналогічно можна визначити величину зниження рівня S_2 у другій спостережній свердловині, узявши замість r_1 , відстань від неї до центральної свердловини r_2 , або в будь-якій іншій точці горизонту, розташованій в межах воронки депресії.

Отже, формулу (24) для таких розрахунків можна записати так (рис.1):

$$S_M = \frac{Q \lg \frac{R}{r_M}}{2,73km}, \quad (25)$$

де S_M – зниження в точці M , м; r – відстань від центральної свердловини до цієї точки, м.

Формулу (24), як і рівняння (19), можна використовувати для визначення коефіцієнта фільтрації за центральною і спостережною свердловинами:

$$k = \frac{0,366Q \lg \frac{R}{r_1}}{mS_1}. \quad (26)$$

1.1.3. Одна центральна та дві спостережні свердловини

Опускаючи виведення формул, запишемо їх в остаточному вигляді, з огляду на те, що $y_2 - y_1 = S_1 - S_2$ (27) (де S_2 – зниження в другій спостережній свердловині):

$$S_1 - S_2 = \frac{Q}{6,28km} \cdot 2,3 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (28) \quad \text{або} \quad S_1 - S_2 = \frac{0,366Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{km}. \quad (29)$$

Знаючи дебіт свердловини, зниження в першій і другій спостережних свердловинах, а також відстань від цих свердловин до центральної, цю формулу можна використовувати для визначення коефіцієнта водопровідності або фільтрації:

$$km = \frac{0,366Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{S_1 - S_2}. \quad (30)$$

1.2. Рівняння руху підземних вод до ґрунтової свердловини

При відкачці води з ґрунтової свердловини виникають складні умови руху підземних вод. У цьому випадку, на відміну від руху в артезіанському горизонті, депресійна воронка є реальною поверхнею ґрунтового потоку, спрямованого до свердловини (рис. 2). При цьому лінії току в розрізі зображені у верхній частині потоку системою кривих, за характером близьких до кривої депресії, а в нижній – прямими, паралельними водотривкому ложу. У напірному водоносному горизонті лінії току в плані й у розрізі являють собою прямі лінії, паралельні верхній і нижній межах горизонту. У цих умовах поперечні (живі) перетини ґрунтового потоку мають вигляд похилих циліндричних поверхонь, що відбивають форму ліній рівного напору в розрізі.

Відповідно до лінійного закону фільтрації витрата води дорівнює

$$Q = kFI. \quad (1)$$

Виходячи з передумови сталості напорів по вертикалі за поперечні (живі) перетини потоку беремо циліндричні перетини. У цьому випадку площа поперечного перерізу потоку на відстані r від свердловини дорівнює площі бічної поверхні циліндра, радіус якого r і висота y , тобто $F = 2\pi r y$.

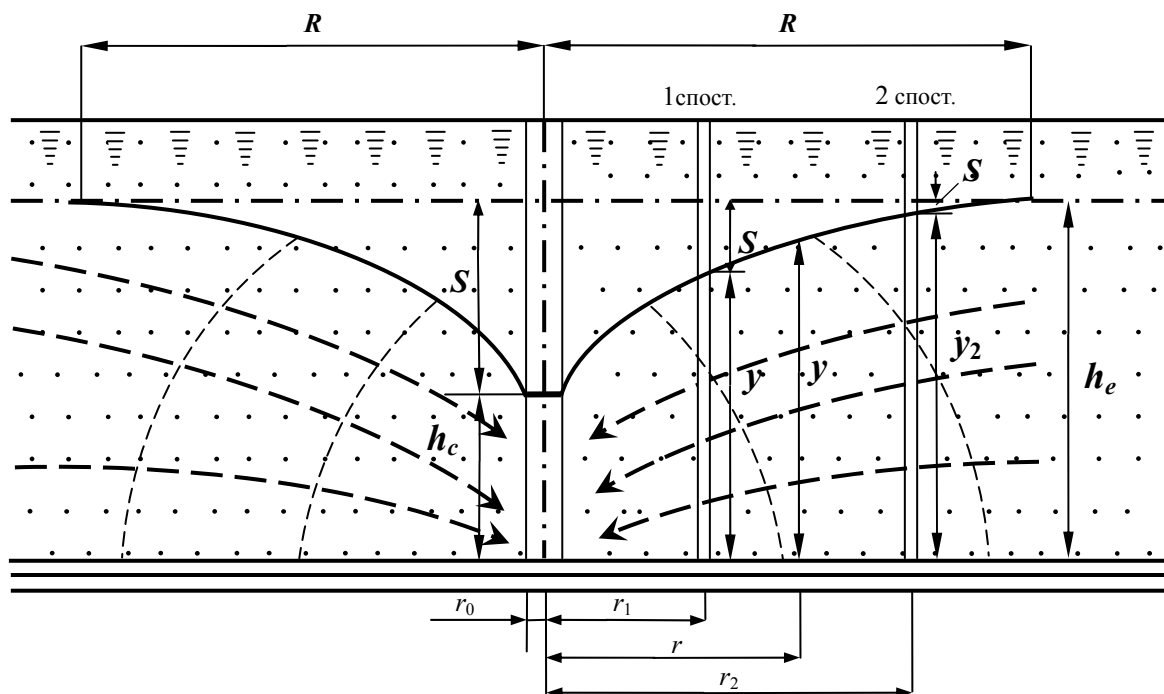


Рис. 2. Усталений рух підземних вод до досконалої ґрунтової свердловини (розрахункова схема)

З огляду тільки на горизонтальні переміщення часток рідини в потоці, а вертикальними зневажаючи, записуємо формулу для визначення ухилу кривої депресії (рис. 3):

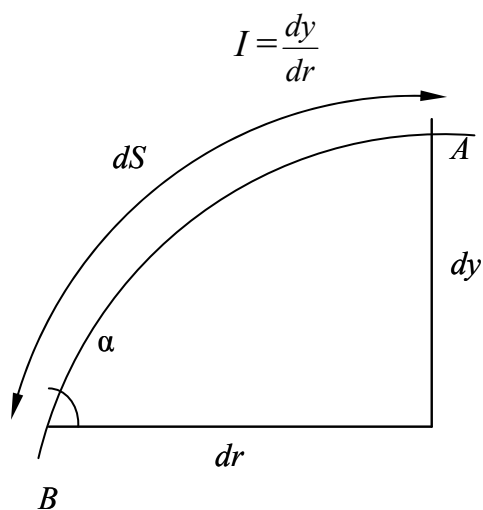


Рис. 3. Елемент кривої депресії для розрахунку ухилу

Як правило, напірний градієнт має бути виражений у такий спосіб $I = \frac{dy}{ds} = \sin \alpha$ (31), а не $I = \frac{dy}{dr} = \operatorname{tg} \alpha$ (32), тому що лінії току є прямими тільки в нижній частині горизонту; у верхній же його частині – це криві лінії, і частки рідини при переміщенні від точки A до точки B за найвищою лінією току, що збігається з депресійною кривою, проходять шлях dS , а не dy .

При невеликих ухилах поверхні воронки депресії, що має місце на деякій відстані від свердловини, з якої проводиться відкачка, кут α досить малий і $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha$. При великих зниженнях рівня в свердловині ухил депресійної кривої різко зростає. У цьому випадку при $\alpha \rightarrow 90^\circ$, $\operatorname{tg} \alpha \rightarrow \infty$, $\sin \alpha \rightarrow 1$, тобто формули, виведені з огляду на це припущення, призведуть до значних похибок у розрахунках.

Підставимо отримані вираження для F і I у рівняння Дарсі:

$$Q = 2\pi k r \frac{dy}{dr}. \quad (33)$$

Перетворивши вираз, отримаємо

$$2y dy = \frac{Q}{\pi k} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (34)$$

При інтегруванні цього рівняння розглянемо, як і при виведенні рівнянь руху підземних вод до артезіанської свердловини, три випадки.

1.2.1. Одна центральна свердловина

Візьмемо такі межі інтегрування:

– для y від h_c до h_e , для r від r_0 до R . Тоді отримаємо: $\int_{h_c}^{h_e} 2y dy = \int_{r_0}^R \frac{Q}{\pi k} \cdot \frac{dr}{r}$. (35)

Після інтегрування маємо:

$$2 \cdot \frac{h_e^2 - h_c^2}{2} = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r_0} \quad (36) \quad \text{або} \quad h_e^2 - h_c^2 = \frac{Q}{\pi k} \cdot \ln \frac{R}{r_0}. \quad (37)$$

Звідси
$$Q = \frac{\pi k (h_e^2 - h_c^2)}{\ln \frac{R}{r_0}}. \quad (38)$$

За рівнянням (37) обчислюється поверхня обертання параболічної кривої. Отже, крива депресії, що утвориться при відкачці із досконалої ґрунтової свердловини, за своєю формою має вигляд параболічної кривої (y змінюється від h_c до h_e , а r від r_0 до R).

Якщо позначити зниження рівня у свердловині $S_0 = h_e - h_c$, відкіля

$$h_c = h_e - S_0, \text{ то}$$

$$h_e^2 - h_c^2 = (h_e + h_c) \cdot (h_e - h_c) = (h_e + h_e - S_0) \cdot S_0 = (2h_e - S_0) \cdot S_0. \quad (39)$$

З огляду на це і переходячи до десяткових логарифмів, маємо:

$$Q = \frac{\pi k(h_e^2 - h_c^2)}{2,31 \lg \frac{R}{r_0}} = \frac{3,14k(h_e^2 - h_c^2)}{2,31 \lg \frac{R}{r_0}} = \frac{3,14k(2h_e - S_0) \cdot S_0}{2,31 \lg \frac{R}{r_0}}. \quad (40)$$

В остаточному вигляді отримаємо:

$$Q = \frac{1,36k(h_e^2 - h_c^2)}{\lg \frac{R}{r_0}} \quad (41) \quad \text{або} \quad Q = \frac{1,36k(2h_e - S_0) \cdot S_0}{\lg \frac{R}{r_0}}. \quad (42)$$

Формули (41) і (42) є розрахунковими для визначення дебіту одиночної ґрунтової свердловини при усталеному русі підземних вод, якщо задано зниження в ній S_0 .

Так само їх можна використати для визначення коефіцієнта фільтрації. З формули (42) маємо:

$$k = \frac{0,73Q \lg \frac{R}{r_0}}{(2h_e - S_0) \cdot S_0}. \quad (43)$$

Слід зазначити, що формулою (42) користуватися зручніше, тому що в цьому випадку непотрібно заміряти глибину води в свердловині при відкачці h_c . Замість неї заміряють S_0 , що робити значно простіше, тому що S_0 завжди значно менше, ніж h_c .

Іноді становить інтерес визначення зниження в свердловині при заданому дебіті Q . З формули (41) маємо:

$$h_e^2 - h_c^2 = \frac{Q \lg \frac{R}{r_0}}{1,36k}. \quad (44)$$

Відкіля $h_c = \sqrt{h_e^2 - \frac{Q \lg \frac{R}{r_0}}{1,36k}}$ (45). З огляду на те, що $S_0 = h_e - h_c$, одержимо формулу для визначення S_0 :

$$S_0 = h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Q \lg \frac{R}{r_0}}{1,36k}}. \quad (46)$$

1.2.2. Центральна й одна спостережна свердловини

Проінтегруємо рівняння (34), прийнявши такі межі: для y від h_c до y_1 , для r від r_0 до r_1 . Тоді отримаємо:

$$\int_{h_c}^{y_1} 2y dy = \int_{r_0}^{r_1} \frac{Q}{\pi k} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (47)$$

Після інтегрування маємо:
$$2 \cdot \frac{(y_1^2 - h_c^2)}{2} = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r_1}{r_0}, \quad (48)$$

відкіля:
$$y_1^2 - h_c^2 = \frac{Q}{3,14k} \cdot 2,31 \lg \frac{r_1}{r_0} \quad (49) \quad \text{або} \quad y_1^2 - h_c^2 = \frac{Q}{1,36k} \cdot \lg \frac{r_1}{r_0}. \quad (50)$$

Оскільки аналогічні рівняння можна отримати при різних поточних значеннях y і r (при тому самому опорному перетині, сполученому зі стінкою свердловини, де $y = h_c$, а $r = r_0$), то вираз (50) можна записати так:

$$y = \sqrt{h_c^2 + \frac{Q}{1,36k} \cdot \lg \frac{r}{r_0}}. \quad (51)$$

Формула (51) являє собою рівняння для побудови кривої депресії (при різних значеннях r визначають ординати кривої депресії y).

Рівняння (50) можна перетворити, прийнявши $y_1 = h_e - S_1$ і $h_c = h_e - S_0$.

Тоді ліва частина рівняння переписеться так:

$$\begin{aligned} y_1^2 - h_c^2 &= (y_1 - h_c) \cdot (y_1 + h_c) = (h_e - S_1 - h_e + S_0) \cdot (h_e - S_1 + h_e - S_0) = \\ &= (S_0 - S_1)(2h_e - S_0 - S_1), \end{aligned} \quad (52)$$

після чого рівняння (50) матиме вигляд:

$$(S_0 - S_1) \cdot (2h_e - S_0 - S_1) = \frac{Q}{1,36k} \cdot \lg \frac{r_1}{r_0}. \quad (53)$$

Це рівняння використовується для визначення коефіцієнта фільтрації за центральною і однією спостережною свердловинами:

$$k = \frac{0,73Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{(S_0 - S_1) \cdot (2h_e - S_0 - S_1)} \quad (54)$$

Виведемо формулу для визначення зниження S_1 у спостережній свердловині. Для цього під час інтегрування рівняння (34) приймемо такі межі: для y від y_1 до h_e , для r від r_1 до R . Тоді:

$$\int_{y_1}^{h_e} 2y dy = \int_{r_1}^R \frac{Q}{\pi k} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (55)$$

Після інтегрування отримаємо:

$$2 \cdot \frac{h_e^2 - y_1^2}{2} = \frac{Q}{\pi k} \cdot \ln \frac{R}{r_1} = \frac{Q}{3,14k} \cdot 2,31 \lg \frac{R}{r_1} \quad \text{або} \quad h_e^2 - y_1^2 = \frac{Q \lg \frac{R}{r_1}}{1,36k}. \quad (56)$$

З рівняння (56) знайдемо, що
$$y_1 = \sqrt{h_e^2 - \frac{Q \lg \frac{R}{r_1}}{1,36k}}. \quad (57)$$

З огляду на те, що $S_1 = h_e - y_1$, отримаємо:

$$S_1 = h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Q \lg \frac{R}{r_1}}{1,36k}}. \quad (58)$$

Аналогічно можна отримати рівняння для визначення зниження рівня у 2-й, 3-й та в інших спостережних свердловинах, тобто в будь-якій точці безнапірного горизонту.

Отже, формулу (58) можна записати так:

$$S_M = h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Q \lg \frac{R}{r_M}}{1,36k}}, \quad (59)$$

де S_M – зниження в точці M , віддаленій від свердловини, з якої здійснюється відкачка, на відстань r .

1.2.3. Центральна і дві спостережні свердловини

Приймаємо такі межі інтегрування рівняння (34):

Для y від y_1 до y_2 , для r від r_1 до r_2 . Тоді отримаємо:

$$\int_{y_1}^{y_2} 2y dy = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Q}{\pi k} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (60)$$

Після інтегрування знайдемо:

$$2 \cdot \frac{(y_2^2 - y_1^2)}{2} = \frac{Q}{\pi k} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{Q}{3,14k} \cdot 2,3 \lg \frac{r_2}{r_1}, \text{ тобто } y_2^2 - y_1^2 = \frac{Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{1,36k}. \quad (61)$$

Перетворимо це рівняння, з огляду на те, що $y_2 = h_e - S_2$ і $y_1 = h_e - S_1$. Тоді ліва частина рівняння (61) перепишеться так:

$$y_2^2 - y_1^2 = (y_2 - y_1) \cdot (y_2 + y_1) = (h_e - S_2 - h_e + S_1) \cdot (h_e - S_2 + h_e - S_1) = (S_1 - S_2) \cdot (2h_e - S_1 - S_2). \quad (62)$$

У цілому воно набуде такого вигляду:

$$(S_1 - S_2) \cdot (2h_e - S_1 - S_2) = \frac{Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{1,36k}. \quad (63)$$

Це рівняння використовується для визначення коефіцієнта фільтрації за двома спостережними свердловинами:

$$k = \frac{0,73Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{(S_1 - S_2)(2h_e - S_1 - S_2)}. \quad (64)$$

1.3. Рівняння руху підземних вод до ґрунтово-артезіанської свердловини

При значному зниженні рівня підземних вод у напірному горизонті напірний потік переходить у безнапірний (рис. 4): на ділянці a рух підземних вод до свердловини матиме безнапірний характер, на ділянці b – напірний.

Вважаючи, що $H_e - m = S$, напишемо рівняння витрати для ділянки b , використовуючи формулу Дюпюї (1):

$$Q = \frac{2,73km(H_e - m)}{\lg R - \lg a}, \quad (65)$$

а для ділянки a , використовуючи формулу (31):

$$Q = \frac{1,36k(m^2 - h_c^2)}{\lg a - \lg r_0}. \quad (66)$$

Розв'язуючи одне з цих рівнянь стосовно a , можна визначити відстань від осі свердловини до перетину, у якому безнапірний рух переходить у напірний.

Формула для визначення дебіту ґрунтово-артезіанської свердловини виводиться в такий спосіб. Розв'яжемо рівняння (65) і (66) щодо їхньої спільної величини $\lg a$:

$$\lg a = \lg R - \frac{2,73km(H_e - m)}{Q} \quad \text{та} \quad \lg a = \lg r_0 + \frac{1,36k(m^2 - h_c^2)}{Q}.$$

Дорівнявши праві частини цих виразів, отримаємо:

$$\lg R - \frac{2,73km(H_e - m)}{Q} = \lg r_0 + \frac{1,36k(m^2 - h_c^2)}{Q}.$$

Звідси:
$$Q = \frac{1,36k(2mH_e - m^2 - h_c^2)}{\lg \frac{R}{r_0}} \quad (67) \quad \text{і} \quad k = \frac{0,73 \lg \frac{R}{r_0}}{2mH_e - m^2 - h_c^2}. \quad (68)$$

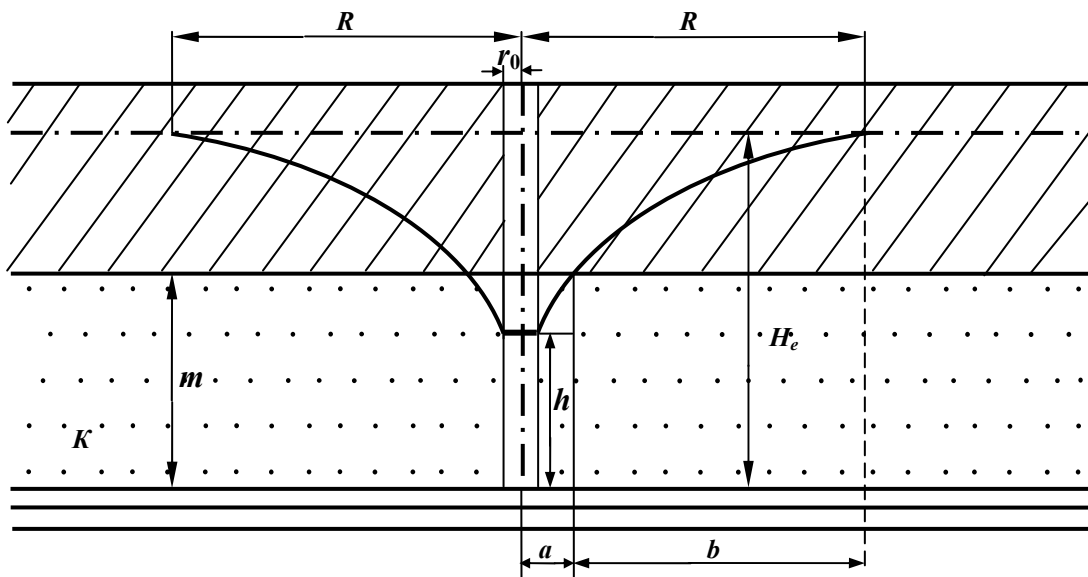


Рис. 4. Усталений рух підземних вод до ґрунтово-артезіанської свердловини (розрахункова схема)

2. Методичні рекомендації до розв'язання задач

Задача 1

Дано: напірні води залягають у піщаному горизонті потужністю 15,9 м (рис. 1); напір над підошвою глинистої покрівлі – 24,8 м; коефіцієнт фільтрації пісків – 8 м/доб; діаметр свердловини – 25,4 см; радіус впливу – 100 м.

Знайти: притік води в артезіанську свердловину при зниженні напірного рівня води у ній на 5 м.

Розв'язання задачі. Для визначення дебіту артезіанської свердловини застосовуємо формулу (11) Дюпюї: $Q = \frac{2,73kmS_0}{\lg \frac{R}{r_0}}$.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$Q = \frac{2,73 \cdot 8,0 \cdot 15,9 \cdot 5,0}{\lg 100 - \lg 0,127} = 598,7 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Відповідь: $Q = 598,7 \text{ м}^3/\text{доб.}$

Розв'язати аналогічну задачу для нижчеподаних варіантів:

Таблиця 3.1

Варіант №	Зниження рівня підземних вод S_0 , м	Потужність m , м	Коефіцієнт фільтрації k , м/доб	Напір на покрівлю ВГ H , м	Радіус свердловини r_0 , м	Радіус впливу R , м
1	4,0	14,0	7,0	23,0	0,1	100,0
2	3,5	16,0	3,0	10,0	0,1	40,0
3	3,0	12,0	5,0	9,0	0,1	60,0
4	2,5	8,0	4,5	7,0	0,1	50,0
5	3,0	10,0	5,0	18,0	0,1	55,0
6	3,5	9,0	6,0	14,0	0,1	60,0
7	4,0	15,0	5,5	13,0	0,1	65,0
8	5,0	16,0	6,5	12,0	0,1	70,0
9	6,0	14,0	7,0	30,0	0,1	75,0
10	7,0	13,0	7,5	20,0	0,1	80,0
11	5,0	12,0	8,0	16,0	0,1	85,0
12	4,5	17,0	8,5	22,0	0,1	90,0
13	6,0	17,5	9,0	21,0	0,1	95,0
14	7,0	18,0	12,0	23,0	0,1	100,0
15	4,0	14,5	10,0	25,0	0,1	105,0
16	5,0	15,0	11,0	25,0	0,1	110,0
17	5,5	13,0	13,0	21,0	0,1	115,0
18	3,0	12,0	10,0	18,0	0,1	120,0
19	2,5	11,0	11,0	17,0	0,1	125,0
20	3,0	10,0	12,0	16,0	0,1	130,0
21	4,0	9,0	13,0	15,0	0,1	135,0
22	4,5	8,0	14,0	14,0	0,1	140,0
23	5,0	15,0	12,0	18,0	0,1	145,0
24	5,0	14,0	13,0	19,0	0,1	150,0
25	6,0	13,0	13,0	20,0	0,1	155,0

Задача 2

Дано: під час буріння свердловини для потреб водопостачання виявлено ґрунтові води у грубозернистих пісках із коефіцієнтом фільтрації 10 м/доб, що підстиляються глинами. Потужність потоку ґрунтових вод – 14 м; діаметр свердловини – 305 мм. Радіус впливу дорівнює 300 м. Свердловина обладнана фільтром на всю потужність водоносного горизонту.

Знайти: дебіт свердловини при зниженні рівня за час відкачки на 4 м.

Розв'язання задачі. Свердловина в гідрогеологічному відношенні досконала, тому що фільтр перекриває всю потужність фільтруючих порід. Тому ми маємо право використати формулу (42) Дюпюї у вигляді:

$$Q = 1,366 \frac{k(2h_e - S_0)S_0}{\lg R - \lg r_0}.$$

Після підстановки чисельних значень у формулу витрати маємо:

$$Q = 1,366 \frac{10,0(2 \cdot 14,0 - 4,0)4,0}{\lg 300 - \lg 0,152} = 397,9 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

Відповідь: $Q = 397,9 \text{ м}^3/\text{доб}$.

Розв'язати аналогічну задачу для нижчеподаних варіантів:

Таблиця 3.2

Варіант №	Зниження рівня підземних вод S_0 , м	Потужність h_e , м	Коефіцієнт фільтрації k , м/доб	Радіус свердловини r_0 , м	Радіус впливу R , м
1	4,0	15,0	3,0	0,1	30,0
2	3,5	14,0	3,2	0,1	35,0
3	4,2	13,0	3,5	0,1	40,0
4	4,0	12,0	4,0	0,1	45,0
5	3,5	16,0	4,2	0,1	50,0
6	3,0	15,0	5,0	0,1	55,0
7	4,0	14,0	4,5	0,1	60,0
8	4,5	13,0	5,0	0,1	65,0
9	5,0	12,0	5,5	0,1	70,0
10	3,2	11,0	6,0	0,1	75,0
11	3,5	9,0	6,5	0,1	80,0
12	4,0	10,0	7,0	0,1	85,0
13	4,2	11,0	7,5	0,1	90,0
14	4,5	12,0	8,0	0,1	95,0
15	4,0	13,0	8,5	0,1	100,0
16	4,0	14,0	9,0	0,1	110,0
17	3,8	15,0	9,2	0,1	120,0
18	3,5	16,0	9,5	0,1	130,0
19	3,6	17,0	9,8	0,1	140,0
20	3,8	12,0	10,0	0,1	150,0
21	4,0	13,0	10,2	0,1	160,0
22	4,2	14,0	11,0	0,1	170,0
23	4,4	15,0	10,5	0,1	180,0
24	4,5	16,0	11,5	0,1	190,0
25	4,0	15,0	12,0	0,1	200,0

Задача 3

Дано: під час відкачування зі свердловини ґрунтової води протягом 18 год зниження в ній становить 4 м. Потужність водоносних середньозернистих пісків, із яких складається водоносний горизонт – 9,4 м; коефіцієнт фільтрації водоносних ґрунтів становить 3 м/доб.

Знайти: радіус впливу свердловини.

Розв'язання задачі. Для визначення радіуса впливу свердловини використаємо формулу Кусакіна:

$$R = 2S\sqrt{h_e \cdot k}. \quad (69)$$

Після підстановки чисельних значень у формулу маємо:

$$R = 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{9,4 \cdot 3} = 42,48 \text{ м.}$$

Відповідь: радіус впливу свердловини становить $R = 42,48$ м.

Розв'язати аналогічну задачу для нижчеподаних варіантів:

Таблиця 3.3

Варіант №	Коефіцієнт фільтрації k , м/доб	Потужність h_e , м	Зниження рівня підземних вод S_0 , м
1	3,0	15,0	4,0
2	3,2	14,0	3,5
3	3,5	13,0	4,2
4	4,0	12,0	4,0
5	4,2	16,0	3,5
6	5,0	15,0	3,0
7	4,5	14,0	4,0
8	5,0	13,0	4,5
9	5,5	12,0	5,0
10	6,0	11,0	3,2
11	6,5	9,0	3,5
12	7,0	10,0	4,0
13	7,5	11,5	4,2
14	8,0	12,0	4,5
15	8,5	13,0	4,0
16	9,0	14,0	4,0
17	9,2	15,0	3,8
18	9,5	16,0	3,5
19	9,8	17,0	3,6
20	10,0	12,0	3,8
21	10,2	13,0	4,0
22	11,0	14,0	4,2
23	10,5	15,0	4,4
24	11,5	16,0	4,5
25	12,0	15,0	5,0

Задача 4

Дано: водоносний горизонт, що складається із дрібнозернистих пісків. Досконалою свердловиною виявлено напірні води; потужність водоносного горизонту – 10 м; при зниженні рівня води в свердловині на 3 м отримано дебіт, який дорівнює 8 м³/год; діаметр свердловини – 203 мм; радіус впливу – 200 м.

Знайти: коефіцієнт фільтрації водоносних ґрунтів.

Розв'язання задачі. Визначимо коефіцієнт фільтрації за формулою (13):

$$k = \frac{Q \ln \frac{R}{r}}{2,73 m S_0}$$

Після підстановки числових значень у формулу маємо:

$$k = \frac{8(\ln 200 - \ln 0,1)}{2,73 \cdot 10 \cdot 3} \cdot 24 = 17,8 \text{ м/доб.}$$

Відповідь: $k = 17,8 \text{ м/доб.}$

Розв'язати аналогічну задачу для нижчеподаних варіантів:

Таблиця 3.4

Варіант №	Зниження рівня підземних вод S_0 , м	Потужність m , м	Дебіт свердловини Q , м ³ /доб	Радіус свердловини r_0 , м	Радіус впливу R , м
1	4,0	14,0	100,0	0,1	100,0
2	3,5	16,0	105,0	0,1	40,0
3	3,0	12,0	110,0	0,1	60,0
4	2,5	8,0	115,0	0,1	50,0
5	3,0	10,0	120,0	0,1	55,0
6	3,5	9,0	125,0	0,1	60,0
7	4,0	15,0	130,0	0,1	65,0
8	5,0	16,0	135,0	0,1	70,0
9	6,0	14,0	140,0	0,1	75,0
10	7,0	13,0	145,0	0,1	80,0
11	5,0	12,0	150,0	0,1	85,0
12	4,5	17,0	145,0	0,1	90,0
13	6,0	17,5	140,0	0,1	95,0
14	7,0	18,0	135,0	0,1	100,0
15	4,0	14,5	130,0	0,1	105,0
16	5,0	15,0	125,0	0,1	110,0
17	5,5	13,0	120,0	0,1	115,0
18	3,0	12,0	115,0	0,1	120,0
19	2,5	11,0	110,0	0,1	125,0
20	3,0	10,0	105,0	0,1	130,0
21	4,0	9,0	110,0	0,1	135,0
22	4,5	8,0	100,0	0,1	140,0
23	5,0	15,0	105,0	0,1	145,0
24	5,0	14,0	125,0	0,1	150,0
25	6,0	13,0	145,0	0,1	155,0

Задача 5

Дано: під час буріння свердловини для потреб водопостачання виявлено напірні води, що підстилаються й перекриваються глинами. Свердловина, з якої здійснюється відкачка, обладнана фільтром на всю потужність водоносного горизонту. Відкачка проводиться з центральної свердловини, є дві спостережні свердловини. Дані для розрахунку наведено в табл. 3.5.

Знайти: коефіцієнт фільтрації водоносних середньозернистих жовтуватосірих пісків, із яких складається водоносний горизонт, за даними спостережень за зниженням рівня води.

Таблиця 3.5

Дані для розрахунку

Діаметр центральної свердловини, м	Потужність водоносних пісків, м	Зниження рівня у центральній свердловині, м	Дебіт свердловини м ³ /с	Зниження рівня води у спостережних свердловинах, м		Відстань спостережних свердловин від центральної, м	
				свердловина 1	свердловина 2	свердловина 1	свердловина 2
0,203	15,5	3,70	0,0016	2,76	0,90	2,0	25,0

Розв'язання задачі. У даному випадку свердловина в гідрогеологічному відношенні є досконалою, тому що фільтр перекриває всю потужність водовмісних порід. Визначимо коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту за формулою (30):

$$k = \frac{0,366 \lg \frac{r_2}{r_1}}{m(S_1 - S_2)}$$

Перерахуємо дебіт свердловини в м³ за годину, він становить:

$$0,0016 \cdot 60 \cdot 60 = 5,76 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Після підстановки числових значень у формулу маємо:

$$k = \frac{0,366 \cdot 5,76 \lg \frac{25}{2}}{15,5(2,76 - 0,9)} \cdot 24 = 1,92 \text{ м/доб.}$$

Відповідь: коефіцієнт фільтрації пісків водоносного горизонту становить $k = 1,92$ м/доб.

Розв'язати аналогічну задачу для нижчеподаних варіантів:

Таблиця 3.6

Варіант №	Діаметр центральної свердловини, м	Потужність водоносних пісків, м	Зниження в центральній свердловині, м	Дебіт м ³ /год	Зниження у спостережних свердловинах, м		Відстань спостережних свердловин від центральної, м	
					свердловина 1	свердловина 2	свердловина 1	свердловина 2
1	0,203	10,0	2,5	0,0016	2,0	0,7	2,0	25,0
2	0,203	10,5	2,6	0,0015	2,1	0,8	2,0	25,0
3	0,203	11,0	2,7	0,0017	2,2	0,9	2,0	25,0
4	0,203	11,5	2,8	0,0016	2,3	1,0	2,0	25,0
5	0,203	12,0	2,9	0,0017	2,4	1,1	2,0	25,0
6	0,203	12,5	3,0	0,0012	2,5	1,2	2,0	25,0
7	0,203	13,0	3,1	0,0014	2,6	1,3	2,0	25,0
8	0,203	13,5	3,2	0,0014	2,7	1,4	2,0	25,0
9	0,203	14,0	3,3	0,0015	2,8	1,5	2,0	25,0
10	0,203	14,5	3,4	0,0015	2,9	1,4	2,0	25,0
11	0,203	15,0	3,5	0,0016	3,0	1,3	2,0	25,0
12	0,203	15,5	3,6	0,0012	2,9	1,2	2,0	25,0
13	0,203	16,0	3,7	0,0019	2,8	1,1	2,0	25,0
14	0,203	16,5	3,8	0,0016	2,7	1,0	2,0	25,0
15	0,203	17,0	3,9	0,0017	2,6	0,9	2,0	25,0
16	0,203	17,5	4,0	0,0019	2,5	0,8	2,0	25,0
17	0,203	18,0	4,1	0,0016	2,4	0,7	2,0	25,0
18	0,203	18,5	4,2	0,0016	2,3	0,8	2,0	25,0
19	0,203	19,0	4,3	0,0014	2,2	0,9	2,0	25,0
20	0,203	19,5	4,4	0,0018	2,1	1,0	2,0	25,0
21	0,203	20,0	4,5	0,0012	2,0	1,1	2,0	25,0
22	0,203	19,5	5,0	0,0016	2,1	1,2	2,0	25,0
23	0,203	19,0	5,5	0,0013	2,2	1,3	2,0	25,0
24	0,203	18,5	6,0	0,0018	2,3	1,4	2,0	25,0
25	0,203	18,0	4,5	0,0013	2,4	1,5	2,0	25,0

Задача 6

Дано: досконала свердловина виявила ґрунтові води з вільною поверхнею; потужність водоносного горизонту – 8 м; за даними дослідної відкачки при зниженні рівня води у свердловині на 2 м отримано дебіт, який дорівнює 3 м³/год (3 м³/год = 72 м³/доб); діаметр свердловини – 203 мм; радіус впливу – 200 м.

Знайти: коефіцієнт фільтрації водоносних пісків.

Розв'язання задачі. Визначимо коефіцієнт фільтрації за формулою (43):

$$k = \frac{0,73Q \lg \frac{R}{r_0}}{(2h_e - S_0)S_0}.$$

Після підстановки числових значень у формулу маємо:

$$k = \frac{0,73 \cdot 72 \lg \frac{200}{0,1}}{(2 \cdot 8 - 2) \cdot 2} = 6,19 \text{ м/доб.}$$

Відповідь: $k = 6,19$ м/доб.

Розв'язати аналогічну задачу для нижчеподаних варіантів:

Таблиця 3.7

Варіант №	Дебіт свердловини Q , м ³ /доб	Потужність h_e , м	Зниження у свердловині S_0 , м	Радіус свердловини r_0 , м	Радіус впливу R , м
1	70,0	15,0	3,0	0,1	30,0
2	75,0	14,0	3,0	0,1	35,0
3	80,0	13,0	3,0	0,1	40,0
4	85,0	12,0	4,0	0,1	45,0
5	90,0	16,0	4,0	0,1	50,0
6	95,0	15,0	4,0	0,1	55,0
7	100,0	14,0	5,0	0,1	60,0
8	105,0	13,0	5,0	0,1	65,0
9	110,0	12,0	5,0	0,1	70,0
10	115,0	11,0	4,0	0,1	75,0
11	120,0	9,0	3,0	0,1	80,0
12	125,0	10,0	3,0	0,1	85,0
13	130,0	11,0	7,0	0,1	90,0
14	135,0	12,0	5,0	0,1	95,0
15	140,0	13,0	4,0	0,1	100,0
16	145,0	14,0	6,0	0,1	110,0
17	150,0	15,0	7,0	0,1	120,0
18	145,0	16,0	8,0	0,1	130,0
19	140,0	17,0	9,0	0,1	140,0
20	135,0	12,0	5,0	0,1	150,0
21	130,0	13,0	8,0	0,1	160,0
22	125,0	14,0	5,0	0,1	170,0
23	120,0	15,0	7,0	0,1	180,0
24	115,0	16,0	8,0	0,1	190,0
25	110,0	15,0	6,0	0,1	200,0

Задача 7

Дано: з центральної досконалої свердловини діаметром 203 мм, яка виявила ґрунтові води потужністю 8,5 м, проведена відкачка при двох ступенях зниження рівня; результати відкачки наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Дані для розрахунку

Свердловини	Відстань від центральної свердловини, м	Зниження рівня, м		Дебіт, м ³ /год	
		1 ступінь	2 ступінь	1 ступінь	2 ступінь
Центральна	0	2,00	3,10	1,55	2,77
1 спостережна	2,02	0,74	0,90	–	–
2 спостережна	5,90	0,50	0,61	–	–

Знайти: середній коефіцієнт фільтрації водоносних пісків за результатами відкачки з дослідного куша.

Розв'язання задачі. Визначення коефіцієнта фільтрації виконуємо за формулами (54) та (64):

$$k = \frac{Q(\ln r_1 - \ln r_0)}{\pi(S_0 - S_1)(2h_e - S_0 - S_1)},$$

$$k = \frac{Q(\ln r_2 - r_1)}{\pi(S_1 - S_2)(2h_e - S_1 - S_2)}.$$

Спочатку визначимо коефіцієнт фільтрації для першого ступеня зниження у свердловині.

Для ділянки «центральна свердловина – свердловина 1»

$$k_{y-1} = \frac{1,55 \cdot 24(\ln 2,02 - \ln 0,1)}{3,14(2,0 - 0,74)(17 - 2,0 - 0,74)} = 1,97 \text{ м/доб};$$

для ділянки «свердловина 1 – свердловина 2»

$$k_{1-2} = \frac{1,55 \cdot 24(\ln 5,90 - \ln 2,02)}{3,14(3,10 - 0,90)(17 - 3,10 - 0,90)} = 3,28 \text{ м/доб}.$$

Визначимо коефіцієнт фільтрації для другого ступеня зниження.

Для ділянки «центральна свердловина – свердловина 1»

$$k_{y-1} = \frac{2,77 \cdot 24(\ln 2,02 - \ln 0,1)}{3,14(3,10 - 0,90)(17 - 3,10 - 0,90)} = 2,22 \text{ м/доб};$$

для ділянки «свердловина 1 – свердловина 2»

$$k_{1-2} = \frac{2,77 \cdot 24(\ln 5,90 - \ln 2,02)}{3,14(0,90 - 0,61)(17 - 0,90 - 0,61)} = 5,05 \text{ м/доб.}$$

Знайдемо середній коефіцієнт фільтрації.

При першому ступені зниження

$$k_{cp1} = \frac{1,97 + 3,28}{2} = 2,62 \text{ м/доб.};$$

при другому ступені зниження

$$k_{cp2} = \frac{2,2 + 5,05}{2} = 3,63 \text{ м/доб.}$$

Отже,

$$k_{cp} = \frac{2,62 + 3,63}{2} = 3,12 \text{ м/доб.}$$

Відповідь: $k_{сер}=3,12$ м/доб.

Розв'язати аналогічну задачу для нижчеподаних варіантів:

Таблиця 3.9

Варіант №	Зниження рівня підземних вод S_0 , м	Потужність h_e , м	Радіус свердловини r_0 , м	Радіус впливу R , м
1	4,0	15,0	0,1	30,0
2	3,5	14,0	0,1	35,0
3	4,2	13,0	0,1	40,0
4	4,0	12,0	0,1	45,0
5	3,5	16,0	0,1	50,0
6	3,0	15,0	0,1	55,0
7	4,0	14,0	0,1	60,0
8	4,5	13,0	0,1	65,0
9	5,0	12,0	0,1	70,0
10	3,2	11,0	0,1	75,0
11	3,5	9,0	0,1	80,0
12	4,0	10,0	0,1	85,0
13	4,2	11,0	0,1	90,0
14	4,5	12,0	0,1	95,0
15	4,0	13,0	0,1	100,0
16	4,0	14,0	0,1	110,0
17	3,8	15,0	0,1	120,0
18	3,5	16,0	0,1	130,0
19	3,6	17,0	0,1	140,0
20	3,8	12,0	0,1	150,0
21	4,0	13,0	0,1	160,0
22	4,2	14,0	0,1	170,0
23	4,4	15,0	0,1	180,0
24	4,5	16,0	0,1	190,0
25	4,0	15,0	0,1	200,0

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. Бочевер, Ф.М. Розрахунки експлуатаційних запасів підземних вод [Текст] / Ф.М. Бочевер. – 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. Бочевер, Ф.М. Основи гідрогеологічних розрахунків [Текст] / Ф.М. Бочевер, І.В. Гармонов. – М.: Недра, 1969. – 357 с.
7. Проектування водозаборів підземних вод [Текст] / за ред. Ф.М. Бочевера. – 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

**ОДИНОЧНІ ДОСКОНАЛІ СВЕРДЛОВИНИ
ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ В УМОВАХ КРУГОВОГО
КОНТУРУ ЖИВЛЕННЯ. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ**

**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. 1,33. Тираж 25 пр. Зам. №

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

