

Відкрита лекція на тему:

**«РОЗРАХУНОК
ПРИПЛИВУ
ПІДЗЕМНИХ ВОД
ДО ВОДОЗАБІРНИХ
СПОРУД»**

РОЗРАХУНОК ПРИПЛИВУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДО ВОДОЗАБІРНИХ СПОРУД

Поняття про водозабірні споруди

Для водопостачання та інших потреб підземні води можуть видобуватися за допомогою спеціальних інженерних споруд, які називаються водозабірними. За особливостями розкриття водоносних горизонтів вони поділяються на вертикальні та горизонтальні.

До вертикальних водозаборів належать бурові свердловини, шахтні колодязі; до горизонтальних – каптажні галереї, канали, трубчасті дрени, кяризи тощо.

Залежно від того, які водоносні горизонти розкриваються – ґрунтові чи напірні, водозабірні споруди поділяються на ґрунтові та артезіанські.

Розрізняють досконалі і недосконалі гірничі виробки. Під *досконалими* розуміються виробки, які розкривають водоносний пласт на всю його товщину (рис. 10). Вода в такі виробки надходить через стінки в інтервалі, що відповідає потужності напірного (а) та ґрунтового пласта біля свердловини (б).

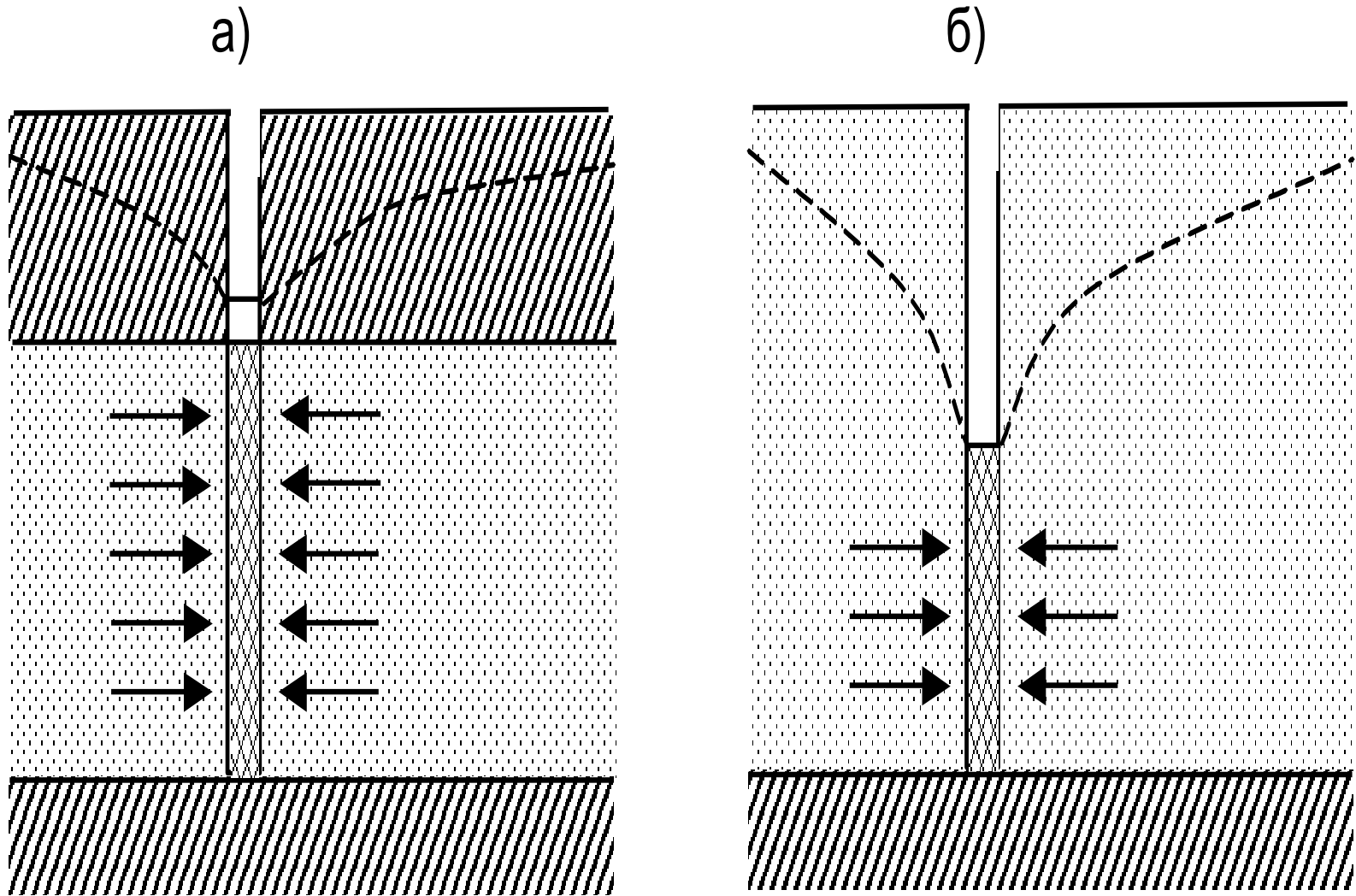


Рис. 10. Досконалі свердловини:
а – напірний, б – безнапірний пласт.

Недосконалыми виробками називаються такі, в які вода надходить в інтервалі, що менший за товщину водоносного пласта.

Розрізняють два види недосконалих *вертикальних* гірничих виробок (свердловин, колодязів): 1) артезіанські з повністю затопленим фільтром, який може бути розташованим у різних частинах водоносного горизонту (рис. 11.1) – біля покрівлі (а), всередині (б), біля підшови (в); 2) ґрунтові (рис. 11.2) – з великим заглибленням фільтру під рівень ґрунтових вод з різноманітним положенням фільтра у водоносному горизонті (а, б, в), і частково затоплені (г).

У недосконалі колодязі вода може надходити одночасно і через стінки, і через дно, чи тільки через дно, чи тільки через стінки, в недосконалі свердловини – тільки через стінки.

Якщо із свердловини чи колодязя відкачувати воду, то рівень води в них починає знижуватися від початкового – *статичного* рівня. Рівень, який знижується, називається *динамічним* (рис. 12).

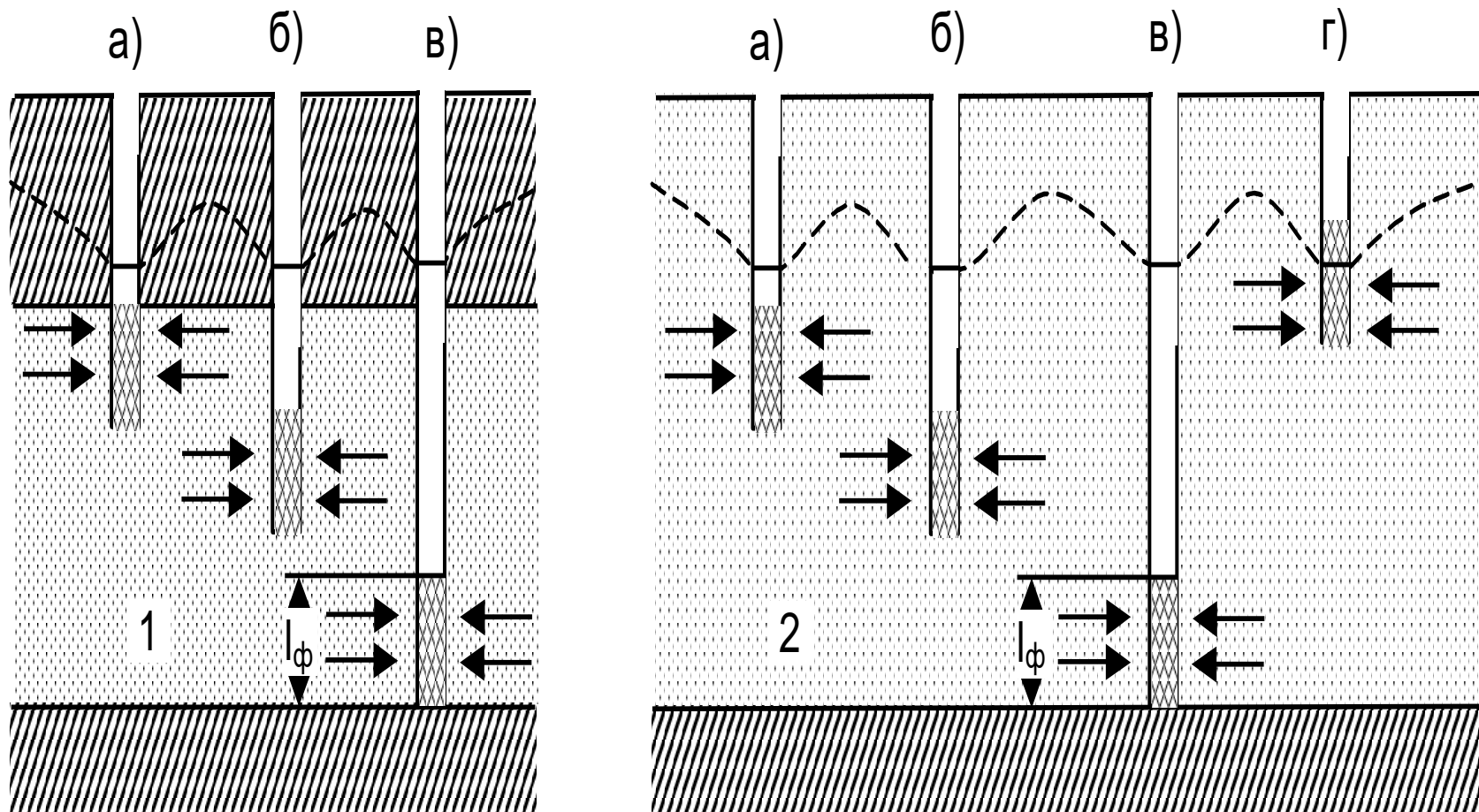


Рис. 11. Недосконалі артезіанські (1) та ґрунтові (2) свердловини. Фільтри розташовані:
а) біля покрівлі, б) всередині, в) біля підшови, г) частково затоплені.

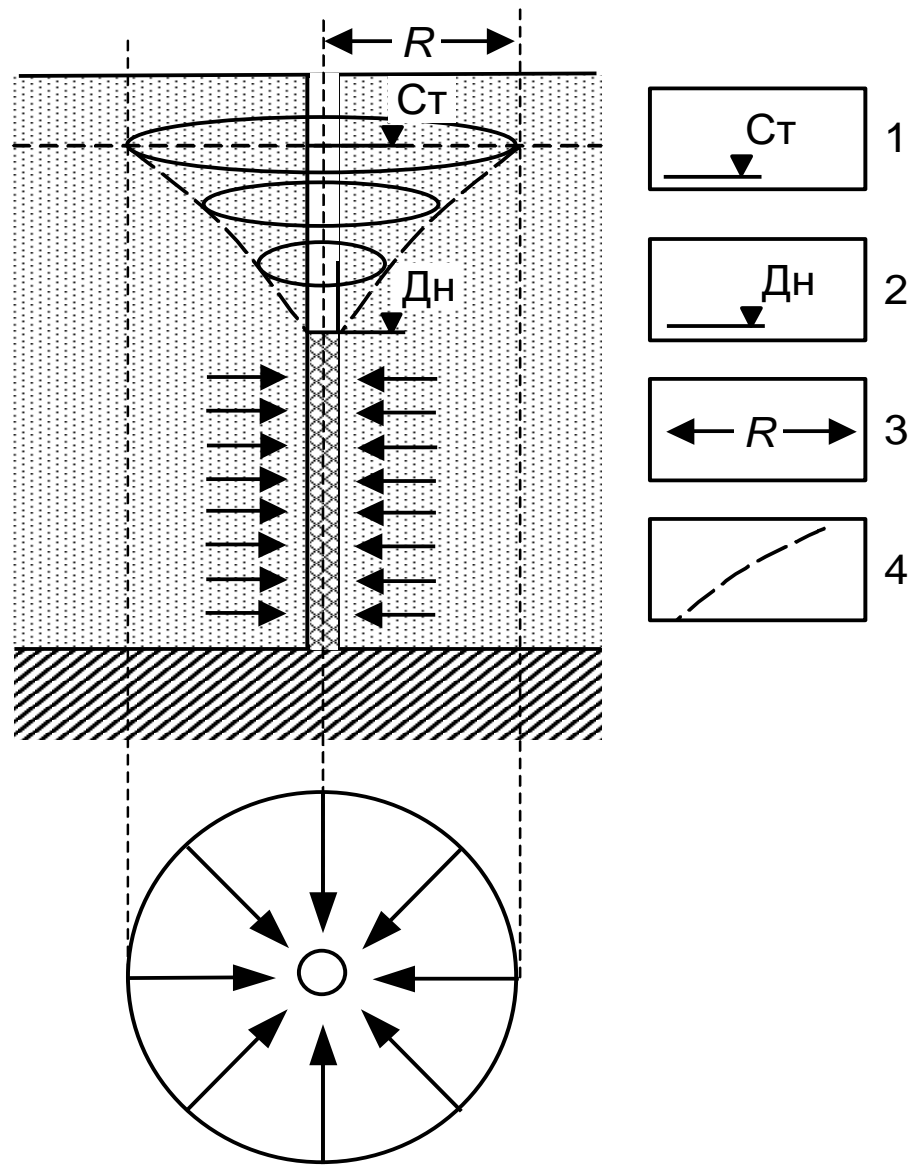


Рис. 12. Розріз і план воронки депресії при русі води до свердловини:

1 – статичний рівень; 2 – динамічний рівень; 3 – радіус впливу; 4 – крива депресії.

При довготривалій відкачці у водоносному горизонті навколо колодязя (свердловини) утворюється лійкоподібне зниження рівня підземних вод. Найбільше воно у колодязі. На деякій відстані від колодязя зниження настільки мале, що динамічний рівень зливається із статичним. Лійкоподібне зниження рівня води підземних вод прийнято називати *воронкою депресії*.

У вертикальному розрізі воронка депресії відображається у вигляді кривої лінії, яка зветься *кривою депресії*. Відстань від осі колодязя до точки, де динамічний і статичний рівні зливаються, називається *радіусом впливу*. В умовах усталеного руху положення воронки депресії постійне, а в умовах неусталеного руху – змінюється в часі.

Вперше теорію притоку води до колодязя розробив Дюпюї (1867 р.). При розрахунках припускається, що водопровідність пласта постійна, а нижній водотрив – горизонтальний. При цьому лінії току у плані мають вигляд радіусів, спрямованих до колодязя, а в розрізі – паралельних прямих (див. рис. 12).

Розрахунок притоку води до досконалого артезіанського колодязя

Розрахунок притоку води до досконалого артезіанського колодязя (рис. 13) виконується, виходячи з формули Дарсі:

$$Q = kFl. \quad (54)$$

Оскільки напір H змінюється по осі x відповідно до положення кривої депресії, перемінним є і напірний градієнт I , який можна записати у вигляді:

$$I = \frac{\partial H}{\partial x}. \quad (55)$$

Площа поперечного перетину F дорівнює площі бічної поверхні циліндра з радіусом x і висотою m :

$$F = 2\pi x m \quad (56)$$

Тоді формула Дарсі (54) прийме вигляд:

$$Q = 2\pi k x m \frac{\partial H}{\partial x}. \quad (57)$$

Розділивши перемінні, отримаємо

$$Q \frac{\partial x}{x} = 2\pi km \partial H. \quad (58)$$

Проінтегрувавши це рівняння від перетину, де $x = r_c$ і $H = H_1$, до перетину, де $x = R$ і $H = H_2$, отримаємо:

$$Q \int_{r_c}^R \frac{\partial x}{x} = 2\pi km \int_{H_1}^{H_2} \partial H. \quad (59)$$

Звідси

$$Q \ln \frac{R}{r_c} = 2\pi km (H_2 - H_1) \quad (60)$$

$$Q = \frac{2\pi km (H_2 - H_1)}{\ln \frac{R}{r_c}} \quad (61)$$

оскільки $H_2 - H_1 = S$ то:

$$Q = \frac{2\pi km S}{\ln \frac{R}{r_c}}. \quad (62)$$

Ця формула була виведена французьким гідравліком Дюпюї і має його ім'я, використовується вона для визначення дебіту (витрати) колодязя Q при усталеному русі.

При неусталеному русі величини Q , S , R будуть перемінними в часі. На кожний конкретний момент часу радіус воронки депресії буде різний. На кожний момент часу (t) радіус впливу R_t розраховується за формулою:

$$R_t = 1,5\sqrt{at}, \quad (63)$$

де: a – коефіцієнт п'єзопровідності.

Виходячи з цього, розрахунок дебіту колодязя при заданому значенні S у кожний конкретний момент часу t проводиться за формулою:

$$Q = \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{R_t}{r_c}}. \quad (64)$$

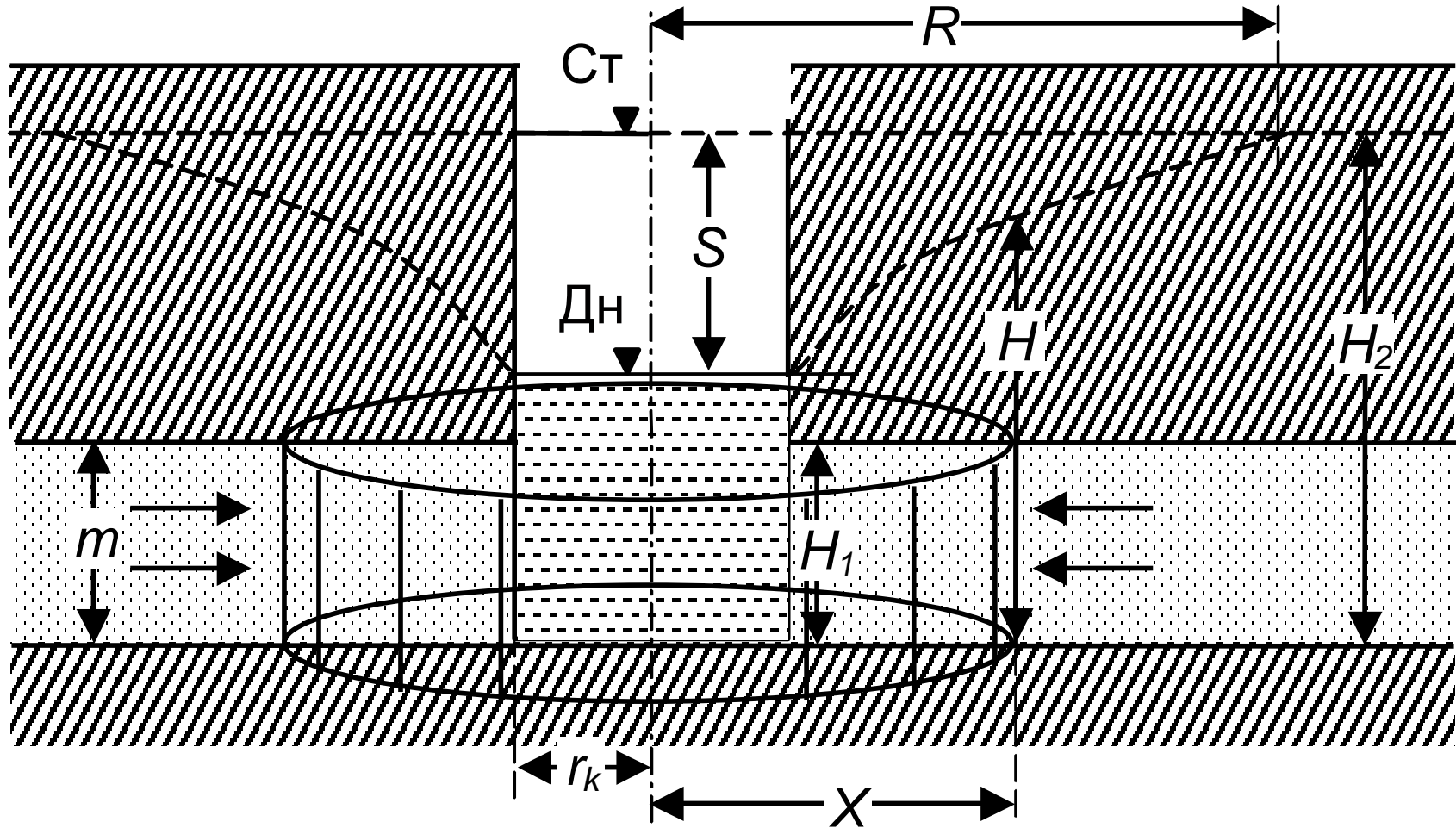


Рис. 13. Схема до розрахунку припливу води до досконалого артезіанського колодязя:

m – товщина горизонту; r_k – радіус колодязя; X – відстань між центром колодязя та перетином X ; H_1 , H_2 і H – відмітки н'єзометричного рівня горизонту в колодязі, точці X та точці, де збігаються статичний та динамічні рівні, S – глибина воронки депресії, R – радіус воронки депресії.

Розрахунок притоку води до досконалого ґрунтового колодязя

Приплив води до досконалого ґрунтового колодязя (рис. 14) розраховується таким же чином, як і до артезіанського. У формулі Дарсі (54), оскільки потужність ґрунтового водоносного горизонту h змінюється по осі x відповідно до положення кривої депресії, напірний градієнт I є перемінним, і його можна записати у вигляді:

$$I = \frac{\partial h}{\partial x}. \quad (65)$$

Площа поперечного перетину F на відстані x від осі колодязя дорівнює площі бічної поверхні циліндра з радіусом x і висотою h , тобто:

$$F = 2\pi xh, \quad (66)$$

і тоді дебіт колодязя Q за формулою (54) буде дорівнювати:

$$Q = 2\pi kxh \frac{\partial h}{\partial x}. \quad (67)$$

Розділивши перемінні, отримаємо:

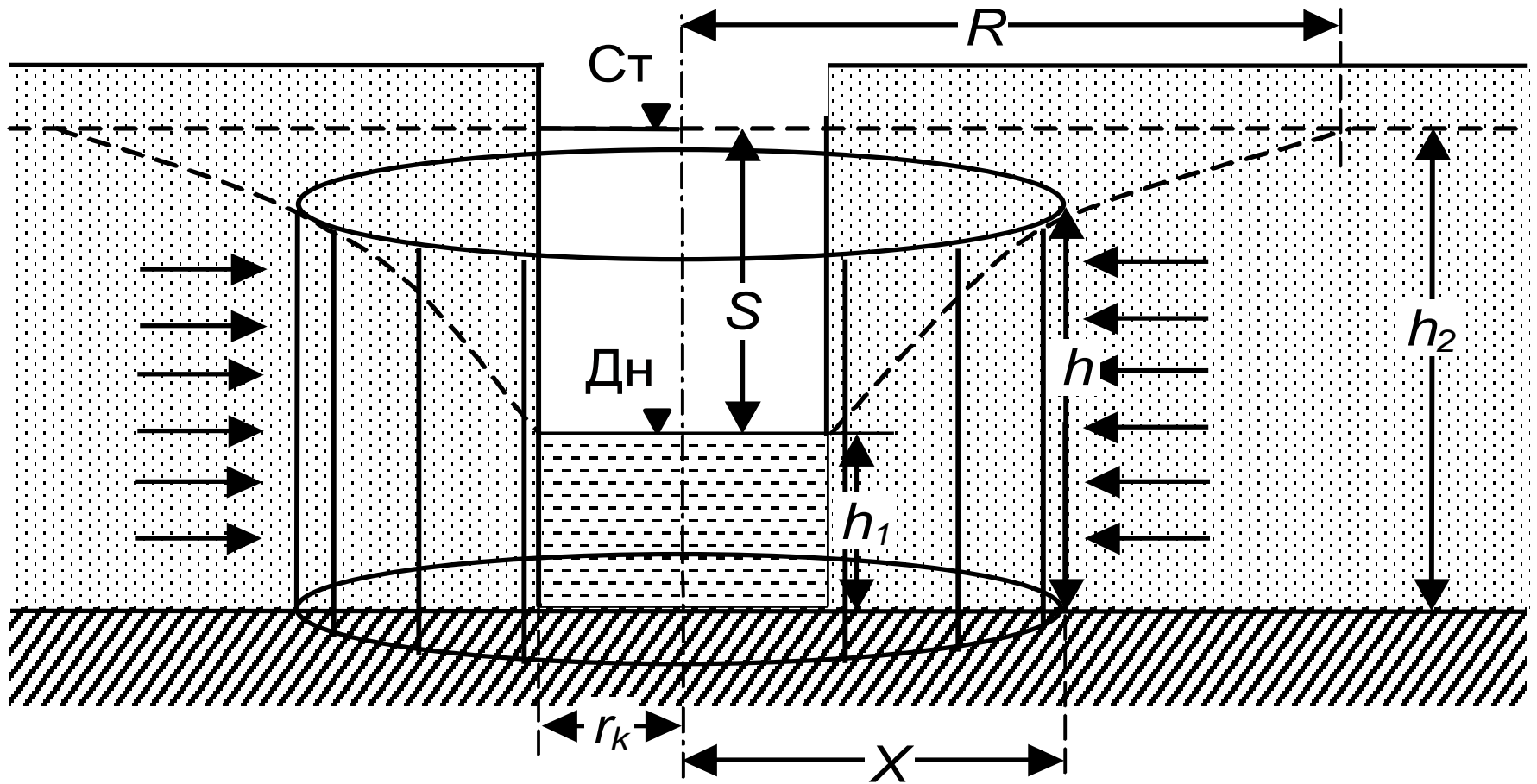


Рис. 14. Схема до розрахунку припливу води до досконалого ґрунтового колодязя:

r_k – радіус колодязя; X – відстань між центром колодязя і перетином X ;
 h_1 , h_2 і h – відмітки рівня горизонту в колодязі, точці X та точці,
де збігаються статичний та динамічні рівні, S – глибина воронки депресії,
 R – радіус воронки депресії

$$Q \frac{\partial X}{X} = 2\pi k h \partial h. \quad (68)$$

Після інтегрування в межах r_c і R , а також h_1 і h_2 :

$$Q \int_{r_c}^R \frac{\partial X}{X} = 2\pi X \int_{h_1}^{h_2} h \partial h, \quad (69)$$

$$Q \ln \frac{R}{r_c} = \pi k (h_2^2 - h_1^2), \quad (70)$$

$$Q = \frac{\pi k (h_2^2 - h_1^2)}{\ln \frac{R}{r_c}}. \quad (71)$$

Оскільки: $h_1 = h_2 - S$ (72)

то: $h_2^2 - h_1^2 = S(2h_1 - S)$ (73)

і вираз (71) матиме вигляд:

$$Q = \frac{\pi k S (2h_1 - S)}{\ln \frac{R}{r_c}}. \quad (74)$$

Ця формула використовується для визначення дебіту (витрати) ґрунтового колодязя Q при усталеному русі.

При неусталеному русі величини Q , h_1 , R будуть перемінними в часі. При заданому значенні S на кожний момент часу (t) радіус впливу R_t розраховується за формулою:

$$R_t = 1,5 \sqrt{a_p t} \quad (75)$$

де: a_p – коефіцієнт рівнепровідності.

Розрахунок дебіту колодязя при заданому значенні S у кожний конкретний момент часу t проводиться за формулою:

$$Q = \frac{\pi k S (2h_1 - S)}{\ln \frac{R_t}{r_c}}. \quad (76)$$

Розрахунок притоку води до недосконалого колодязя

У недосконалому колодязі пласт працює не на всю товщину (див. рис. 11.2). Тому витрата недосконалого колодязя завжди менша, ніж досконалого. При тому ж самому дебіті зниження рівня води в недосконалому колодязі завжди більше. М.М. Верігін запропонував враховувати недосконалість колодязя введенням *поправки на недосконалість виробок* (ζ) у розрахункові формули.

Дебіт *недосконалого артезіанського колодязя* визначається за формулою:

$$Q = \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{R}{r_c} + \zeta}. \quad (77)$$

Аналогічний розрахунок виконується і для *недосконалого ґрунтового колодязя*:

$$Q = \frac{\pi k(h_2^2 - h_1^2)}{\ln \frac{R}{r_c} + \zeta}. \quad (78)$$

Значення коефіцієнта (ζ) може бути визначене, виходячи з величин l_ϕ/m і m/r_c , де l_ϕ – довжина робочої частини колодязя, m – потужність водоносного пласта, r_c – радіус водозабірної споруди.

Розрахунок водопоглинаючого колодязя

Кожний колодязь (свердловина) спроможний не тільки давати воду при відкачці, але й поглинати її при наливах чи нагнітаннях.

У гідравлічному відношенні поглинання води тотожне відкачці, і всі розрахунки можна вести за звичайними формулами динаміки, якщо замінити в них величину зниження на величину напору, при якому відбувається водопоглинення.

У процесі наливу чи нагнітання води у свердловину рівень в ній буде знаходитися на деякій висоті по відношенню до рівня води поглинаючого пласта. Внаслідок цього у пласті виникає рух води від свердловини (колодязя) в сторони. Через деякий час після початку поглинення в товщі порід біля свердловини формується своєрідна воронка депресії, яка подібна до переверненої депресійної воронки, що утворюється при відкачці із свердловини (див. рис. 15).

При нагнітанні в напірний пласт утворюється перевернена воронка депресії в п'єзометричній поверхні (рис. 15.а); при нагнітанні у ґрунтовий колодязь (свердловину) формується воронка в реальній поверхні ґрунтових вод із найбільш високим рівнем у свердловині (рис. 15.б).

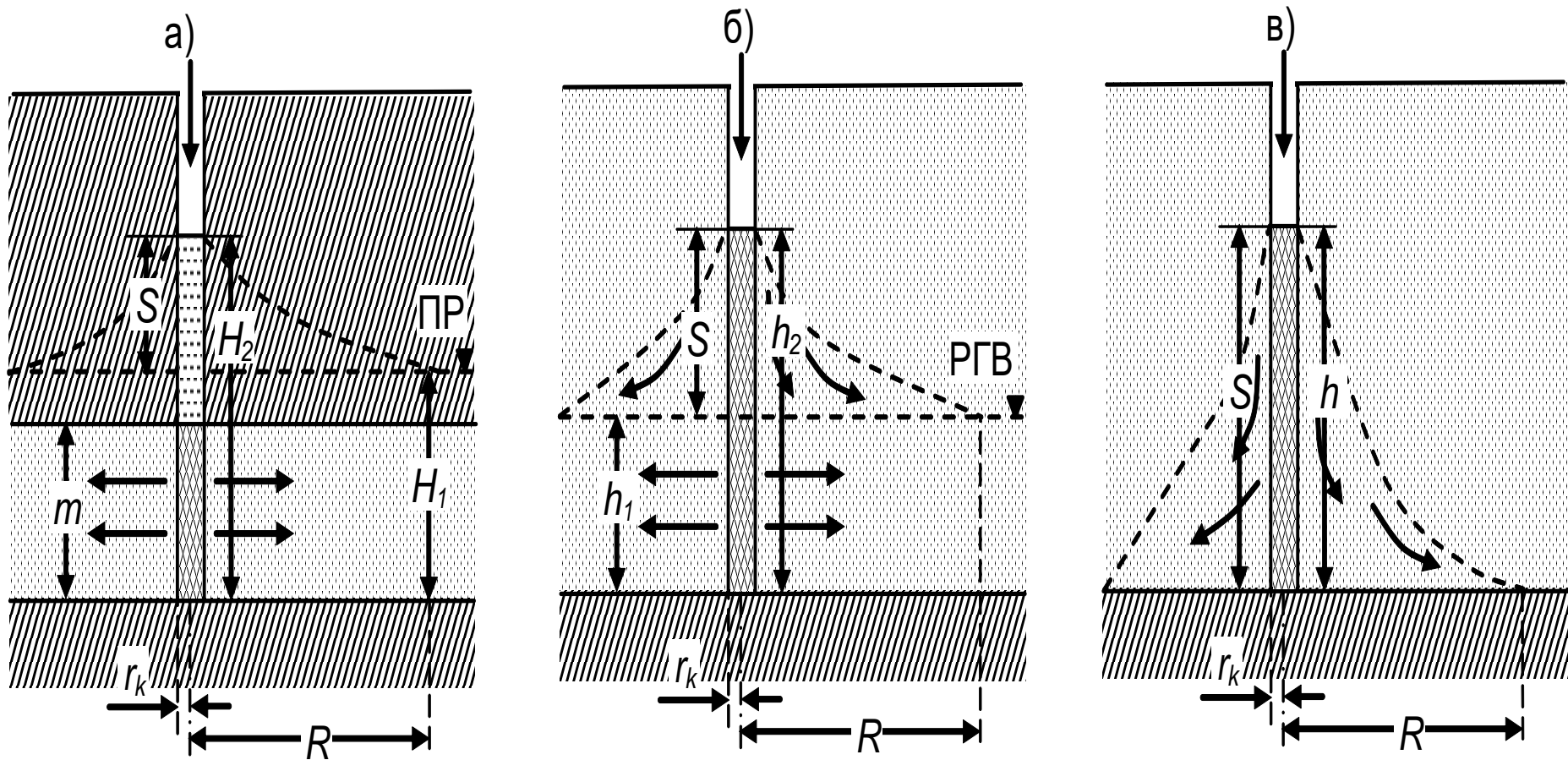


Рис.15. Схема водопоглинаючих свердловин:

а) напірний, б) безнапірний і в) налив у сухий пласт:

t – товщина горизонту; r_k – радіус колодязя; H_1, H_2 – відмітки п'єзометричного рівня відповідно до горизонту та після наливу в колодязь, h_1, h_2 – відмітки рівня відповідно до ґрунтового горизонту та після наливу в колодязь; h – висота наливу; S – висота воронки депресії, R – радіус воронки депресії.

Рух води при нагнітанні у колодязі (свердловини) описується тим же рівнянням Дюпюї, що і при відкачці, тому витрата води в артезіанський колодязь (свердловину) визначається за формулами (62) і (64) та (71) і (74) – для ґрунтового водоносного горизонту. При цьому, у формулах величина зниження рівня (S) замінюється величиною підвищення рівня ($-S$).

Так, формула (62) матиме вигляд:

$$-Q = \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{R}{r_c}}. \quad (79)$$

При нагнітанні в ненасичені (сухі) породи (рис. 15.в) у формулі (79) $h_1 = 0$, тому вона прийме вигляд:

$$Q = \frac{\pi kh^2}{\ln \frac{R}{r_c}} \quad (80)$$

Розрахунок припливу води до горизонтальних водозабірних споруд

Горизонтальні водозабірні споруди (галереї, кяризи, канали тощо) теж можуть бути досконалими та недосконалими, залежно від ступеня розкриття пласта. Розглянемо найпростіший випадок припливу води до прямокутного в розрізі каналу, що доведений до нижнього водотриву (рис. 16).

Одинична витрата потоку з одного боку каналу визначається за формулою Дюпюї (13), позначивши через L відстань, на яку пошириться зниження рівня ґрунтових вод при роботі водозбірною каналу, з висотою природного рівня на зазначеній відстані h_1 :

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L}. \quad (81)$$

Горизонтальні водозбірні споруди можуть бути заглиблені у водоносний горизонт не на всю потужність. У такому випадку споруди вважаються недосконалими і в розрахункові залежності вводяться спеціальні коефіцієнти.

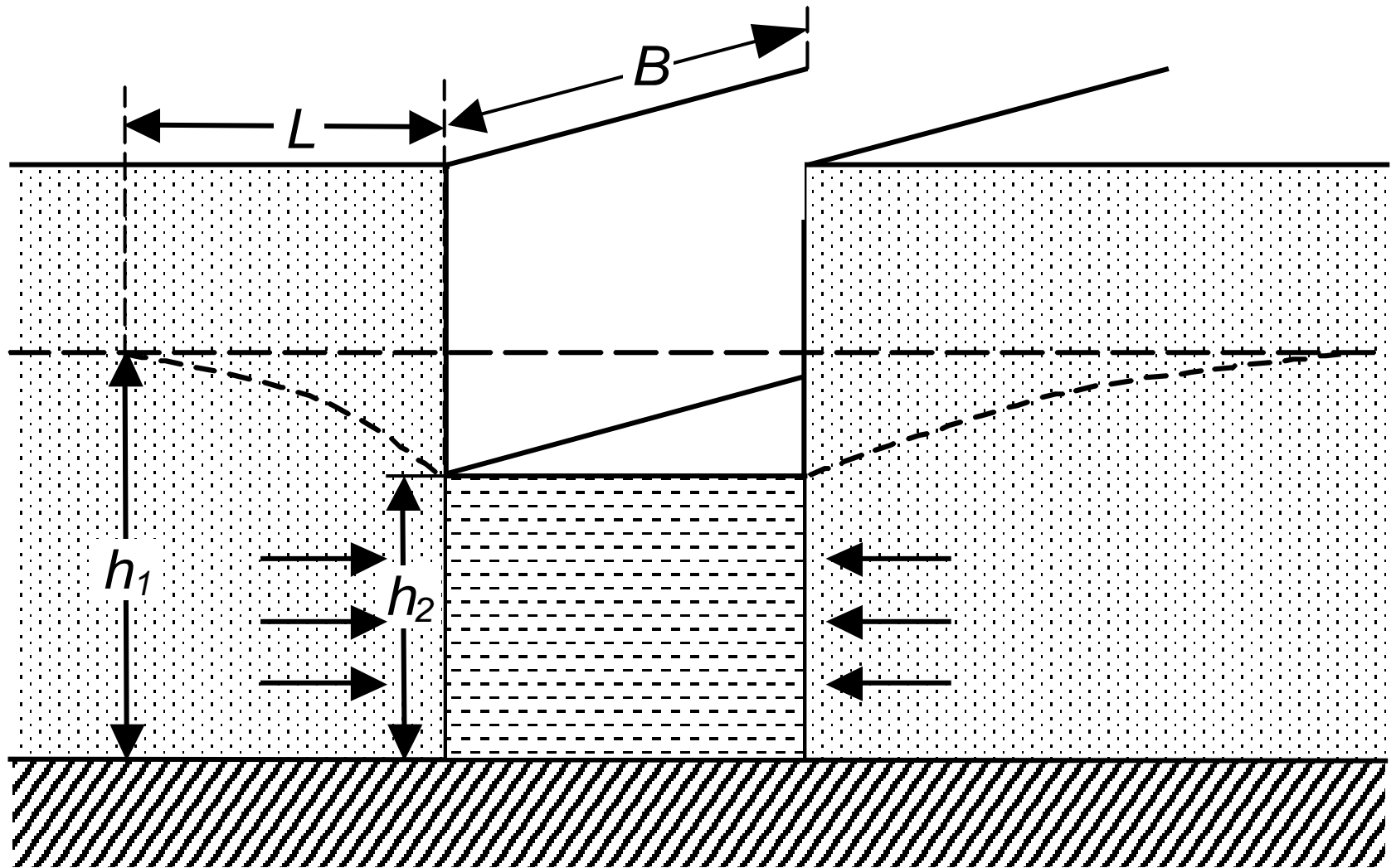


Рис.16. Схема розрахунку водопритоку до досконалого каналу:
 h_1 , h_2 – відповідно відмітки рівнів ґрунтового горизонту в точці, де збігаються статичний та динамічні рівні і в колодязі, B – ширина потоку, L – радіус воронки депресії.

Питання для самоконтролю:

1. Які особливості притоку підземних вод до колодязя (свердловини)?
2. Чим відрізняються досконалі свердловини від недосконалих?
3. Виведіть залежність для визначення дебіту досконалого артезіанського колодязя.
4. Чим принципово відрізняється вивід формули для розрахунку досконалих ґрунтового та артезіанського колодязів?