

Розрахункові гідрогеологічні
(геофільтраційні) параметри

Визначення та зміст терміну параметр

- **Параметр** (в техніці) - величина, що характеризує ту чи іншу властивість якого-небудь явища, пристрою, об'єкту.
- **Об'єктом дослідження** в даному випадку є водовмісні породи, якими складені водоносні горизонти та комплекси.
- **Основними властивостями** пористого середовища, що визначають умови руху рідини **є пористість та проникність**.
- **Пористість** - частка об'єму пор в загальному об'ємі пористого середовища. Є безрозмірною величиною від 0 до 1. Також може бути виражена в %.
- **Проникність гірських порід** - здатність пропускати рідину або газ під дією перепаду тиску. Майже всі без винятку осадові породи мають проникність. Однак такі породи, як глини, доломіт, деякі вапняки, незважаючи на порівняно велику пористість мають помітну проникність тільки для газу. Це пояснюється малим розміром пор, переважно субкапілярного характеру, в яких навіть рух газу при реально існуючих в пластах перепадах тиску утруднено.
- **Вказані основні властивості пористого середовища формують фільтраційні та ємнісні характеристики гірських порід, що можуть бути виражені через геофільтраційні параметри.**

Макроскопічні, уявні, дійсні (ефективні) та узагальнені геофільтраційні параметри

- Слід відмітити, що так як структура пор у водовмісних середовищах має хаотичний характер, то рух води розглядається з макроскопічної точки зору, а реальна водовмісна порода замінюється на деяке умовне середовище з неперервними властивостями. При такому підході пористість чи проникність гірської породи та пов'язані з ними геофільтраційні параметри водоносних горизонтів повинні розглядатись, як **макроскопічні параметри**, що характеризують тільки відносно великі об'єми досліджуваного середовища.
- Якщо розрахунок параметрів ведеться, за залежностями що не відповідають реальним природним умовам, то такі параметри називають **уявними**.
- Якщо параметри комплексно характеризують апробовану ділянку водоносного пласту з врахуванням його водопровідних та фільтраційних властивостей та впливу зовнішніх меж і при цьому пласт замінюється умовно однорідною товщею, то їх називають **узагальненими**

Характеристика геофільтраційних параметрів водовмісних порід

Пористість

(в долях одиниці)

• Граніти й гнейси	0.0002 – 0.006
• Каррарський мармур	0.002 – 0.004
• Глинисті сланці	0.005 – 0.075
• Кременистий сланець	0.0085 – 0.009
• Вапняки	0.005 – 0.135
• Доломіти	0.015 – 0.22
• Туфові вапняки	0.202 – 0.322
• Пісковики тріщ.	0.035 – 0.285
• Піски	0.35 – 0.42
• Глини	0.25 – 0.55

Справочник гидрогеолога.

Под ред. М.Е. Альтовского. 1962. С.124

Пористість

(в долях одиниці)

• Мули глинисті	0.198 – 0.90
• Торф	0.76 - 0.89
• Різні типи ґрунтів	0.438 - 0.65
• Піски	0.173 - 0.48
• Лес, Лесовидні суглинки	0.353 – 0.59
• Покровні суглинки	0.242 – 0.50
• Глини	0.183 – 0.55
• Вапняні туфи	0.202 – 0.322
• Піски пухкі	0.264 – 0.509
• Піски ущільнені	0.112 – 0.295
• Піщаники кайнозою й мезозою	0.0223 – 0.42
• Піщаники палеозою	0.0109 – 0.265
• Вапняки пористі	0.0021 – 0.34
• Доломіти пористі	0.015 – 0.33
• Глини платформ	0.172 – 0.549
• Глини складчастих областей	0.104 – 0.508
• Щільні вапняки	0.002 – 0.069
• Гіпс	0.001 – 0.06

• Ангідрит	0.01
• Вугілля	0.04
• Крейда	0.0328 – 0.55
• Опока	0.20 – 0.49
• Інфузорна земля	0.91
• Сланці глинисті	0.049 – 0.10
• Сланці покрівельні	0.0116 – 0.103
• Сланці кременисті	0.0085 – 0.0091
• Мармур	0.0011 – 0.06
• Кварцити	0.00008 – 0.034
• Гнейси	0.003 – 0.024
• Амфіболіти	0.009 – 0.011
• Порфірити	0.0038 – 0.0673
• Фоноліти	0.0117 – 0.0389

Овчинников А.М. Общая гидрогеология. 1955. С.116.
 Справочное руководство гидрогеолога. Под ред.
 В.М.Максимова. 1959. С.33

Коефіцієнт фільтрації

- **Коефіцієнт фільтрації (K)** – являє собою витрату рідини через одиницю площі поперечного перерізу пласта при напірному градієнті рівному одиниці. Коефіцієнт пропорційності в законі Дарсі:

$$Q = KFI = KF(\Delta H / L)$$

Являє собою також фіктивну швидкість фільтрації при одиничному напірному градієнті.

Має розмірність м/доба, см/сек. Залежить від структури пор водовмісної породи та гідродинамічних властивостей рідини (щільності та в'язкості), що фільтрується.

- **Коефіцієнт проникності (Kп)**– використовується у випадку, коли склад та властивості рідини, що фільтрується змінюється (високо мінералізовані розчини, нафтогазовий конденсат, вода забруднена нафтопродуктами і т. п.). Пов'язаний з коефіцієнтом фільтрації такими залежностями :

$$K_n = K\eta / \rho g$$

$$K_n = Kv / g$$

де η - динамічний коефіцієнт в'язкості рідини; ρ - густина рідини; g – прискорення сили тяжіння; v - кінематичний коефіцієнт в'язкості. Розмірність коефіцієнта проникності відповідає розмірності площі, одиниця виміру Дарсі. $1\text{Д} = 1.02 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$. Оскільки до складу формул, що визначають входять показники гідродинамічних властивостей рідини, можна сказати, що цей коефіцієнт є більш точною характеристикою пористого середовища, в якому відбувається процес фільтрації.

Коефіцієнт водопровідності

- Фільтраційні властивості пласта характеризуються проникністю гірської породи. Проникність – властивість породи пропускати через себе воду під дією градієнту тиску. Проникність характеризується **коефіцієнтом водопровідності (T)**.

Коефіцієнт водопровідності являє собою витрату рідини через одиницю поперечного перерізу водоносного горизонту потужності m при одиничному напірному градієнті.

Визначається за залежністю.

$$T = Km$$

Має розмірність $m^2/\text{доба}$.

Коефіцієнт гравітаційної ємності (гравітаційної водовіддачі)

- Коефіцієнт гравітаційної ємності (водовіддачі) гірської породи(μ) - кількість води, що може вільно витікати з породи (елементарного об'єму пласта). Виражається співвідношенням . Величина безрозмірна.

$$\mu = \frac{\Delta V}{F \cdot \Delta H}$$

Під коефіцієнтом гравітаційної ємності(водовіддачі) гірської породи також розуміють різницю між загальною пористістю та максимальною молекулярною вологоємністю з врахуванням об'ємної ваги скелету породи та об'ємної ваги води .

$$\mu = n - \frac{\Delta_{ск} \cdot W_m}{\Delta \vartheta}$$

Приймається також твердження, що , де - активна пористість гірської породи.

$$\mu = n_a$$

Коефіцієнт пружної ємності породи та пружної водовіддачі пласта)

:

- Коефіцієнт пружної ємності гірської (β^*) породи визначається таким чином

$$\beta^* = n \cdot \beta_{\epsilon} + \beta_n$$

- Коефіцієнт пружної водовіддачі пласта (μ^*) визначається за залежністю:

$$\mu^* = \Delta_{\epsilon} \cdot \beta^* \cdot m$$

а при умові, що $\Delta_{\epsilon}=1$

$$\mu^* \approx \beta^* \cdot m$$

Величина β^* має розмірність m^{-1} , величина μ^* - безрозмірна.

Коефіцієнти рівнепровідності та п'єзопровідності

- В гідродинамічних розрахунках використовуються комплексні параметри, що в залежності від гідравлічних властивостей водоносного горизонту називаються коефіцієнтом рівнепровідності (a_p) - для безнапірного водоносного горизонту та коефіцієнтом п'єзопровідності (a_n) - для напірного водоносного горизонту.. Ці коефіцієнти мають розмірність – м²/доба та визначаються за такими залежностями:

$$a_p = Kh_{сер} / \mu$$

$$a_n = T / \mu^* = Km / \beta^* m = K / \beta^*$$

- В загальному випадку вказані коефіцієнти характеризують швидкість розвитку депресії в ході відкачування (реальної воронки депресії в безнапірному пласті та п'єзометричної воронки (зони знижених напорів) в напірному пласті).

Режим підземних вод при ДФВ

Режим підземних вод при дослідних відкачках визначається трьома групами факторів:

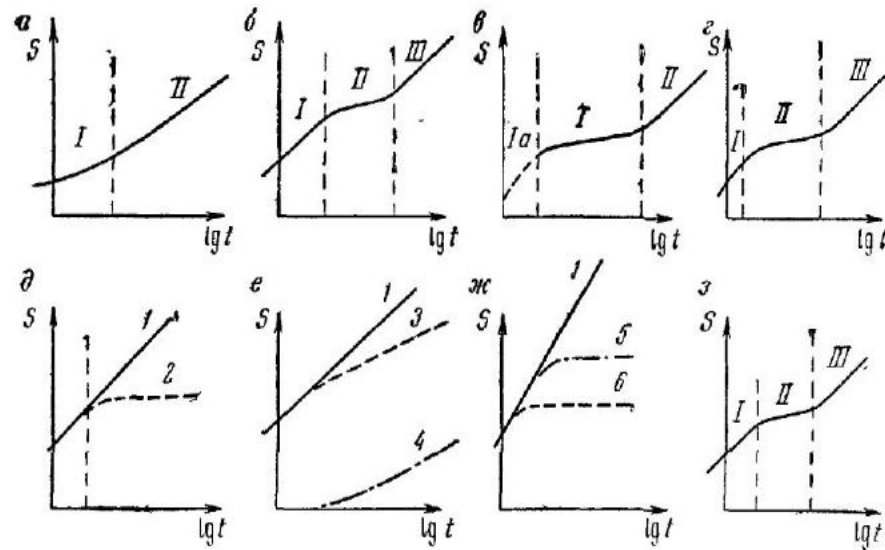
- 1) гідрогеологічними умовами (будовою водовмісної товщі й умовами на границях шару в плані й розрізі);
- 2) природним режимом підземних вод;
- 3) технічними умовами проведення дослідів.

Найбільше на режим підземних вод при дослідних відкачках впливає перша група факторів.

Основні види водоносних горизонтів та умови проведення відкачок

- **Необмежені водоносні горизонти, однорідні по проникності й ізольовані в покрівлі я підосві:**
напірні водоносні горизонти в пухких відкладеннях;
безнапірні водоносні горизонти в пухких відкладеннях;
напірні й безнапірні водоносні горизонти в тріщинуватих породах.
- **Водоносні горизонти в шаруватих товщах:**
двошарова будова водоносної товщі;
багатошарова будова водоносної товщі.
- **Обмежені водоносні горизонти:**
водоносні горизонти, пов'язані з поверхневими водотоками й водоймами;
водоносні горизонти, обмежені непроникними контурами;
водоносні горизонти, що складаються з окремих зон з різною водопровідністю та (або) водовіддачею;
- ділянки водоносних горизонтів з локальними живленням та розвантаженням.

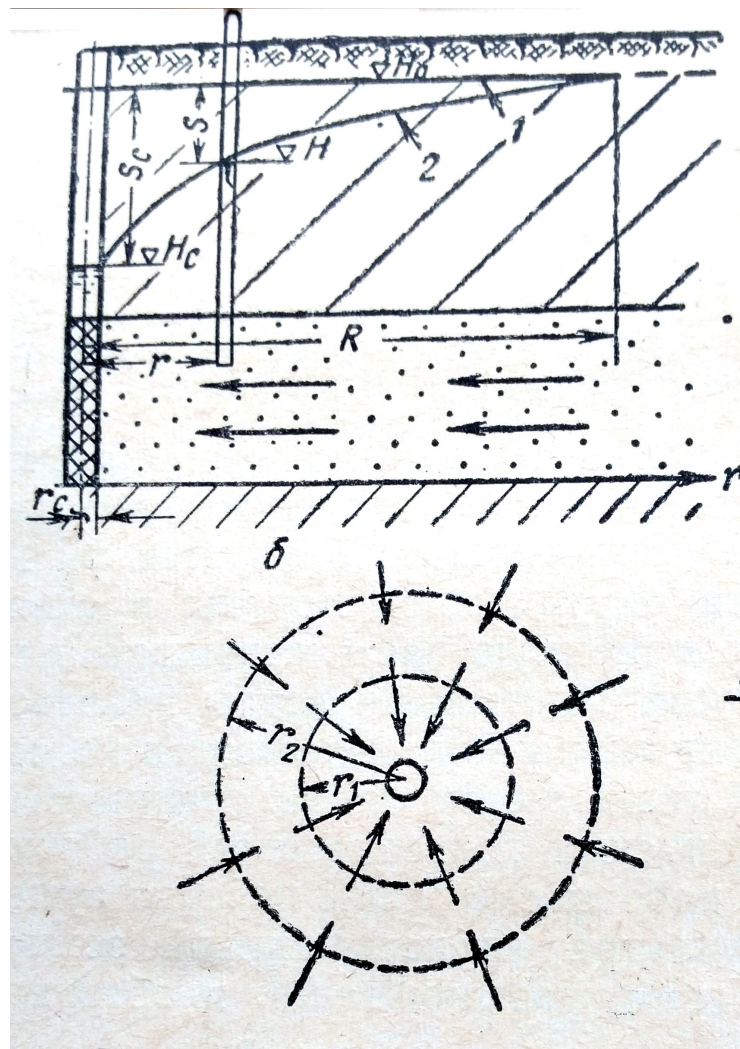
Закономірності зміни рівня при відкачуванні у типових гідрогеологічних умовах



- а - необмежений напірний однорідний шар;
- б - безнапірний шар;
- в - тріщинуватий і тріщинно-карстовий шари;
- г - двошарова товща із змінним напором у верхньому шарі;
- д - багатошарова товща з постійним напором у верхньому шарі;
- е - багатошарова товща з роздільним водотривом при змінному напорі у верхньому шарі;
- ж - водоносний пласт біля річки;
- з - пласт з межею неоднорідності по водовіддачі (напірно-безнапірний пласт),
- 1 – по Тейсу, 2 – при перетіканні, 3 – при перетіканні у дослідному горизонті, 4 – при перетіканні у живлячому горизонті, 5 – при недосконалому зв'язку з річкою, 6 – при досконалому зв'язку з річкою.

Режим підземних вод
при дослідних відкачках
в необмежених напірних
водоносних горизонтах
у пухких відкладах

Схема формування депресійної (п'єзометричної) воронки



Визначення геофільтраційних параметрів

- В основі визначення геофільтраційних параметрів лежить вирішення рівнянь водопритоку до свердловин щодо змінних, що характеризують властивості водовмісних порід (зворотна задача).

Напірний ізольований необмежений однорідний пласт

- Умови формування воронки депресії (п'єзометричної воронки):
 - в умовах напірної фільтрації динамічний рівень не опускається нижче верхнього водотривкого шару (покрівлі пласта);
 - неусталена фільтрація виникає за рахунок пружних запасів водоносного горизонту під впливом зниження тиску в пласті, що викликано зниженням напору;
 - депресійна воронка формується та розширюється достатньо швидко, а радіус впливу може досягати значних величин, так як живлення по площі та перетікання тут відсутні;
 - процес формування п'єзометричної воронки у напірному пласті описується диференціальним рівнянням неусталеного планово-радіального потоку:

$$T\left(\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r}\right) = \mu^* \frac{\partial H}{\partial t} \qquad \frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r} = \frac{1}{a_i} \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$a_i \left(\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r}\right) = \frac{\partial H}{\partial t}$$

Умови розв'язку рівняння

- Розв'язок даної задачі можливий шляхом інтегрування вказаних рівнянь при початковій умові $H=H_0=\text{const}$ та граничній умові на свердловині:

$$Q = 2\pi r_c T \left. \frac{\partial H}{\partial r} \right|_{r=r_c} = -2\pi r_c T \left. \frac{\partial S}{\partial r} \right|_{r=r_c}$$

При умові сталого дебіту ($Q=\text{const}$) допускається застосування суперпозиції Розв'язок такої задачі вперше отриманий Ч.Тейсом у 1935р. має вигляд:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2}{4a_{\dot{j}} t}$$

$W(u)$ – функція свердловини (well-function, по Ч.Тейсу)

Well-function(по Ч.Тейсу)

- Функція свердловини пов'язується із спеціальною функцією E_i , що називається інтегральним експоненціалом і може бути виражена наступним чином:

$$W(u) = -E_i(-u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx =$$
$$= \ln\left(\frac{1}{u}\right) - 0,577 + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

Квазістаціонарний (квазіусталений) режим фільтрації

- Із загального виразу для функції **W(u)** слідує, що при малих значеннях аргументу, тобто при достатньо великих значеннях a_{Π} і t ряд можна апроксимувати першими двома членами ряду та представити у вигляді логарифмічної залежності:

$$W(u) = \ln\left(\frac{1}{u}\right) - 0,577 = \ln \frac{2,25 a_{\Pi} t}{r^2}$$

при цьому абсолютна погрішність такого виразу рівна аргументу u з точністю до 1-5%.

Залежність може бути застосована при умові,

$$u = \frac{r^2}{4 a_{\Pi} t} \leq 0,03 \div 0,9$$

При цій умові рівняння Тейса

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

набуває вигляду

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \cdot \ln\left(\frac{2,25a_i t}{r^2}\right)$$

і називається рівнянням Тейса для умов квазістаціонарного режиму фільтрації

При використанні десяткових логарифмів це рівняння набуває наступного вигляду:

$$S = \frac{0.183Q}{T} \cdot \lg\left(\frac{2,25a_i t}{r^2}\right)$$

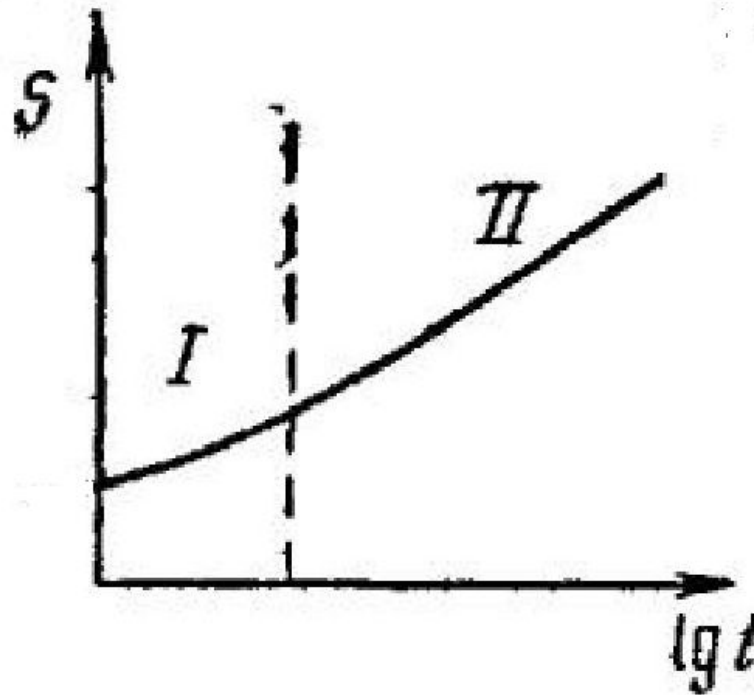
- Час, після закінчення якого допустима заміна інтегральної функції логарифмічною, отримав назву часу настання квазістаціонарного режиму, а зона, в якій діє логарифмічна залежність між зниженням і часом, - зони (області) квазістаціонарного режиму.

- Відмінною особливістю цієї зони є однаковий темп зниження рівня в усіх точках, розташованих в її межах.
- Іншими словами, в цій зоні криві депресії в часі переміщуються паралельно самим собі.

- Час настання (t_0) і радіус зони (r_0) квазістаціонарного режиму можуть бути визначені за формулами:

$$t_0 = \frac{2,5 \cdot r^2}{a_{\ddot{I}}} \quad r_0 = 0.63 \sqrt{a_{\ddot{I}} \cdot t}$$

- Таким чином, в напірному ізольованому пласті зниження рівня через певний час після початку відкачування пов'язано з логарифмом часу прямолінійною залежністю.
- Це положення послужило основою графоаналітичного методу визначення геофільтраційних параметрів шляхом аналізу графіків $S - \lg(t)$
- На графіку $S = f(\lg(t))$ виділяється дві ділянки:



- I – напівлогарифмічна залежність між зниженням рівня (гідродинамічного напору) і часом відсутня).
- II – виражена прямолінійна ділянка графіка відповідає закономірності зміни зниження при квазістаціонарному режимі.

- Тривалість першого періоду в напірних ізольованих водоносних горизонтах незначна (при розташуванні спостережних свердловин на відстані до 100м від дослідної – не перевищує 0,5 – 1,0 діб та досягає кількох діб при відстані, що перевищує 300 – 500м.

