



# **Фізичні властивості ґрунтів**

- До фізичних властивостей відносять щільність, теплофізичні, електричні та магнітні властивості, а також водопроникність.
- *Щільність* – це відношення маси ґрунту до об'єму, що займає ґрунт. В інженерно-геологічній практиці використовують такі показники щільності: щільність часток ґрунту, щільність ґрунту, щільність скелету ґрунту, щільність ґрунту під водою та щільність скелету висушеного ґрунту.
- *Щільність часток ґрунту ( $\rho_s$ )*- це маса одиниці їх об'єму, або в кількісному виразі відношення маси твердої компоненти ґрунту до їх об'єму. Одиниця виміру - г/см<sup>3</sup>.
- Значення цього показника залежить від мінерального складу та вмісту органічних речовин.
- Щільність часток більшості гірських порід змінюється в межах 2,5-2,8 г/см<sup>3</sup>, (для кислих порід трохи нижче – 2,63-2,75 г/см<sup>3</sup>, для основних - вище до 3,0-3,4 г/см<sup>3</sup>). У дисперсних ґрунтах величини щільності часток змінюються у відносно вузькому діапазоні й згідно зі статистичними даними середні значення цього показника складають: для пісків – 2,66, супісків – 2,70, суглинків – 2,71 і глин 2,74 г/см<sup>3</sup>.

- *Щільність ґрунту ( $\rho$ )* - це маса одиниці об'єму ґрунту з природною вологістю і непорушеним станом. Розмірність щільності ґрунту - г/см<sup>3</sup>. Його величина залежить від мінералогічного складу (з підвищенням щільності мінералів, що складають породу, її щільність зростає), вологості (підвищення вологості обумовлює зростання щільності) і пористості (зниження цього показника веде до підвищення щільності).
- *Щільність сухого ґрунту або скелету ґрунту ( $\rho_d$ )* - це маса твердої компоненти ґрунту в одиниці об'єму при непорушеній структурі. Ця величина більш постійна, тому що вона залежить від мінералогічного складу і пористості. Чим більш важкими мінералами складений ґрунт і менша пористість, тим більше значення щільності скелету. Цей показник є розрахунковим і визначається за такою формулою:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 \cdot W}$$

- де  $\rho$  - щільність,  $W$  - вологість ґрунту в частках одиниці.

- *Щільність скелету ґрунту під водою ( $\rho_{d,ef}$ )* - це маса його одиниці об'єму в природному стані під водою.
- Кількісною вона дорівнюється щільності ґрунту за винятком гідростатичної підйомної сили води:

$$\rho_{d,ef} = \rho - \rho_w,$$

- Цей показник використовується для розрахунків стійкості основ у водонасичених зонах.
- *Щільність скелету висушеного ґрунту* - це маса одиниці об'єму ґрунту, висушеного при температурі 105°C. Щільність скелету піщаних ґрунтів залишається постійною після висушування, а в глинистих ґрунтах, які при висушуванні схильні до усідання, величина щільності скелету висушеного ґрунту перебільшує щільність скелету ґрунту природного стану.

- Під *пористістю ґрунту* ( $n$ ) розуміють об'єм всіх пор в одиниці об'єму ґрунту, незалежно від їх величини і характеру взаємозв'язку. Розмірність її виражається у відсотках. Пористість також виражають відношенням об'єму пор до об'єму, який займають частки ґрунту. Таку величину називають *коефіцієнтом пористості* ( $e$ ), розмірність її - частки одиниці.
- Пористість ( $n$ ) і коефіцієнт пористості ( $e$ ) визначають за допомогою залежності, що зв'язує ці показники із щільністю ( $\rho$ ), щільністю часток ( $\rho_s$ ) та щільністю скелету ґрунту ( $\rho_d$ ):

$$n = 1 - V_s = 1 - \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$

$$e = \frac{n}{V_s} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

- де  $V_s$  - об'єм часток в одиниці об'єму ґрунту.

- Поряд із цим через коефіцієнт пористості можна розрахувати величину пористості й об'єм часток ґрунту в одиниці об'єму:

$$n = \frac{e}{1+e} \quad V_s = \frac{1}{1+e}$$

- Для інженерно-геологічної оцінки щільності пісків використовують коефіцієнт щільності (відносну щільність)  $I_d$ :

$$I_d = \frac{e_p - e}{e_p - e_{щл}}$$

- де  $I_d$  - коефіцієнт щільності;  $I_d$ ,  $e_p$  та  $e_{щл}$  - відповідно коефіцієнти пористості в пухкому та щільному станах.
- Згідно з величиною коефіцієнту щільності виділяють піски пухкі ( $0 < I_d < 0,33$ ), середні ( $0,34 < I_d < 0,66$ ) та щільні ( $0,67 < I_d < 1$ ).

## Теплофізичні властивості ґрунтів

- Основними теплофізичними характеристиками за допомогою, яких визначають напрямок та інтенсивність процесів теплопереносу в ґрунтах, є теплоємність (питома й об'ємна), теплопровідність і температуропровідність.
- *Питома теплоємність* ( $C$ ) - характеризує кількість тепла, яке необхідно передати одиниці маси ґрунту для зміни його температури на  $1^{\circ}\text{C}$ . Одиниця виміру - Дж/кг $^{\circ}\text{C}$ . *Об'ємна теплоємність* ( $C_v$ ) дорівнює кількості тепла, необхідного для зміни температури одиниці об'єму ґрунту на  $1^{\circ}\text{C}$ . Її вимірюють в Дж/м $^3$  $^{\circ}\text{C}$ . Ці показники зв'язані між собою таким співвідношенням:

$$C_v = \rho C,$$

- де  $\rho$  - щільність ґрунту.
- Теплопровідність характеризує здатність ґрунтів проводити тепло і оцінюється *коефіцієнтом теплопровідності* ( $\lambda$ ) – це величина, що дорівнює кількості тепла, яку передає ґрунт за одиницю часу через одиницю площі при температурному градієнті, який дорівнює одиниці. Розмірність його - Вт/м  $^{\circ}\text{C}$ . У ряді випадків на практиці використовують величину зворотну коефіцієнту теплопровідності  $\xi = 1/\lambda$ , яку називають *питомим тепловим опором*. Вона характеризує ступінь опору ґрунту передачі тепла.

- Температуропровідність характеризує швидкість розповсюдження зміни температури внаслідок поглинання або віддачі тепла. Кількісною характеристикою її є коефіцієнт температуропровідності ( $a$ ), який показує зміну температури в одиниці об'єму ґрунту за одиницю часу при нестационарних теплових процесах. Розмірність його – м<sup>2</sup>/с. Чисельно цей коефіцієнт дорівнює теплопровідності ґрунту з об'ємною теплоємністю, рівною одиниці:

$$a = \frac{\lambda}{C_v} \qquad a = \frac{\lambda}{\rho C}$$

- Термічне розширення ґрунтів. Як і інші фізичні тіла, ґрунти при зміні температури змінюють свої розміри. Ці зміни кількісно характеризуються коефіцієнтами лінійного ( $\alpha$ ) і об'ємного розширення ( $\beta$ ), які використовують в гірничій справі.

- Коефіцієнт лінійного розширення ( $\alpha$ ) можна визначити за формулою:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l(t_2 - t_1)}$$

- де  $l$  і  $\Delta l$  - відповідно початковий лінійний розмір зразку і зміна лінійних розмірів зразку;  $t_1$  і  $t_2$  - початкова і кінцева температури зразку.



- Величина коефіцієнту об'ємного розширення ( $\beta$ ) приблизно в 3 рази перевищує значення коефіцієнту лінійного розширення  $\beta = 3\alpha$ .
- Морозостійкість ґрунтів - це здатність ґрунтів чинити опір впливу негативних температур.
- Кількісною характеристикою морозостійкості є коефіцієнт морозостійкості ( $K_m$ ), якій розраховується як відношення міцності при одноосьовому стисканні зразків після циклічного проморожування до міцності сухих вихідних зразків:

$$K_m = \frac{R_{ст.м}}{R_{ст.с}}$$

- де  $R_{ст.м}$  - межа міцності при одноосьовому стисканні мерзлих зразків;  $R_{ст.с}$  - межа міцності при одноосьовому стисканні зразків, які не зазнали дії негативних температур.
- Коли  $K_m < 75\%$ , то ґрунт вважається не морозостійким.

- *Проникність* - це здатність ґрунтів пропускати через себе рідину чи газ. Здатність ґрунтів пропускати через себе воду називають *водопроникністю*, а рух води під дією різниці напорів у ґрунтах має назву *фільтрації*.

- В піщаних і глинистих ґрунтах фільтрація йде згідно закону Дарсі:

$$v = k \frac{\Delta H}{l} = k \cdot I$$

- де  $v$  - швидкість фільтрації;  $k$ - коефіцієнт пропорційності, якій називають коефіцієнтом фільтрації;  $I$  - гідравлічний градієнт, що дорівнює відношенню різниці напорів  $\Delta H$  до довжини шляху фільтрації  $l$ .
- Значення величини  $k$  залежить від багатьох факторів, серед яких одним з важливих є літологічний склад порід.

- Швидкість фільтрації ( $v$ ) являє собою умовну величину, віднесену до загального перерізу потоку, а дійсна (істинна) швидкість ( $v_d$ ) руху води в порах і тріщинах описується формулою:

$$v_d = \frac{v}{n_a}$$

- де  $n_a$  - активна пористість.
- Активна пористість  $n_a$  дорівнює величині загальної пористості в піщаних і грубоуламкових ґрунтах, в глинистих ґрунтах вона значно менша загальної пористості в зв'язку із заповненням частини (а іноді всієї системи) пор ґрунту зв'язаною водою.
- Закон Дарсі є справедливим для більшості піщаних та глинистих ґрунтів, але для тріщинуватих скельних і крупноуламкових різновидів, де режим фільтрації переходить в турбулентний, швидкість фільтрації визначають за формулою А.А. Краснопольського:

$$v = k_K \sqrt{I}$$

- де  $k_K$  - коефіцієнт, що визначається дослідним шляхом.
- У глинистих ґрунтах фільтрація починається лише після того, як буде подоланий деякий критичний градієнт, який отримав назву початкового градієнту фільтрації ( $I_n$ ).

## Капілярні властивості та розчинність ґрунтів

- Капілярні властивості виявляються в здатності ґрунтів піднімати воду знизу вгору по порах, а також у капілярній зв'язності ґрунтів.
- При змочуванні водою поверхні капіляра поверхня води скривляється, створюючи увігнутий меніск і в рідині розвивається негативний тиск. Під дією цього тиску вода піднімається по капіляру на висоту так званого «капілярного підняття».
- Підйомна сила меніска за формулою Лапласа складає:

$$Q = \frac{2a \cos \theta}{r}$$

- де  $a$  - поверхневий натяг рідини;  $\theta$  - крайовий кут змочування;  $r$  - радіус капіляра.
- Формула Лапласа покладена в основу рівняння, яке використовується для розрахунку висоти капілярного підняття:

$$H_k = \frac{2a \cos \theta}{rg \rho_w}$$

- де  $g$  - прискорення сили тяжіння;  $\rho_w$  - щільність рідини (для води  $\rho_w = 1$ )

- При повному насиченні пор ґрунту водою ( $\theta = 0$  та  $\rho_w = 1$ ) та при заміщенні  $a$  і  $g$  відповідними чисельними значеннями для води рівняння приймає такий вигляд (відомий як формула Жюрена):

$$H_k = \frac{0.15}{r} = \frac{0.3}{d}$$

- де  $d$  – діаметр капіляра
- Важливою характеристикою капілярних властивостей є *швидкість капілярного підняття*. В загальному вигляді залежність між висотою підняття і часом для різних механічних фракцій описується формулою:

$$Ht = k \cdot t \cdot n$$

- де  $Ht$  - висота капілярного підняття в момент часу  $t$ ;  $k$  та  $n$  - константи, що залежать від дисперсності ґрунту. За даними Б.Н. Мічуріна для піщаних фракцій константи міняються відповідно в межах  $k = 4-22$  і  $n = 0,1-0,5$ ; для пилуватих фракцій  $k = 14-30$  і  $n = 0,42-0,5$ .
- Висота й швидкість капілярного підняття суттєво залежить від гранулометричного складу ґрунту - підвищення дисперсності обумовлює збільшення висоти підняття й зниження швидкості підйому.