

Лекція №2

**Газоподібна і тверда
фаза ґрунту.**

**Методи аналізу
зернового складу**

ПЛАН

- 1. Газоподібна фаза**
- 2. Тверда фаза**
- 3. Зерновий склад твердої фази ґрунту**

1 Газоподібна фаза (с.р.)

Газоподібна фаза ґрунту представлена повітрям з домішкою водяного пару. Склад повітря в порах ґрунту дещо відрізняється від атмосферного:

	N_2	O_2	CO_2
в атмосфері:	78 %	21 %	0,03 %
в порах ґрунту:	<78 %	<21 %	до 10 %

Збільшений вміст вуглекислого газу внаслідок біохімічних процесів поглинання O_2 та N_2 і виділення CO_2 , які відбуваються в ґрунті.

Походження газу в ґрунті:

- як залишок повітря, що знаходилось в порах до їх заповнення водою;**
- в результаті виділення з води (що був розчинений) при зниженні тиску;**
- в результаті хімічних реакцій.**

Газ може знаходитися в ґрунті в трьох видах: вільному, защемленому і адсорбованому.

Вільний газ з'єднується з атмосферним повітрям. В такому вигляді він знаходиться в ґрунті при ступені зволоження $S_r < 0,5$, тобто коли вода заповнює менше 50 % об'єму пор.

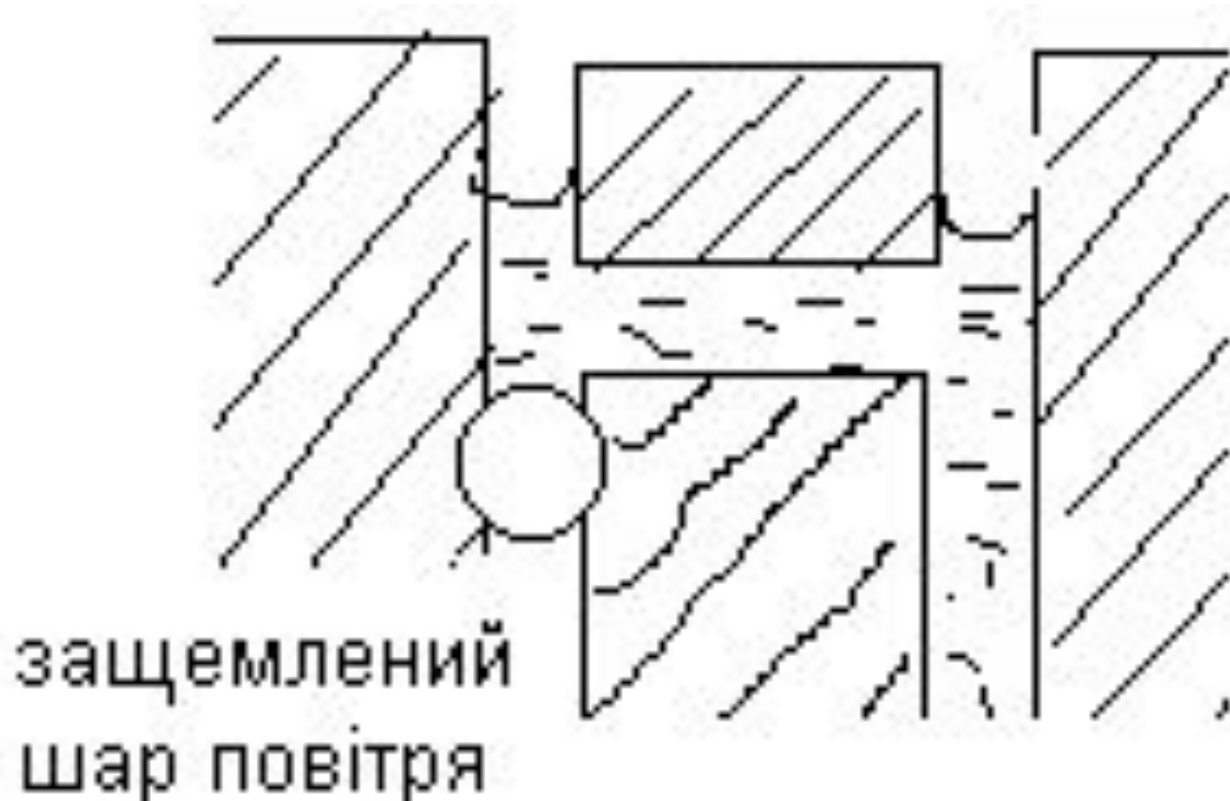
Защемлений газ.

При $0,9 < S_r < 1$ увесь поровий газ знаходиться у вигляді пухирців, оточених повітрям, тобто у защемленому вигляді.

Защемлений газ впливає на властивості ґрунту таким чином:

- збільшує стиснуваність газоводяної субстанції ґрунту (може підвищити на порядок);
- збільшує тривалість осадки насипу з глинистих ґрунтів;
- зменшує водопроникність ґрунту.

Защемлений газ з дуже важко видаляється (навіть під тиском 200 МПа, що руйнує чавун), в глині залишається 4 % повітря.



Адсорбований газ захоплюється поверхнею сухих часток ґрунту (за рахунок процесу адсорбції). Він зменшує тертя між ґрунтовими частинками.

Зв'язок газу з поверхнею частинок слабкий і при зволоженні він витісняється водою.

2 Тверда фаза

2.1 Розміри і види твердих часток ґрунту

Тверда фаза нескельного ґрунту складається з окремих частинок. Розміри найбільших та найменших частинок ґрунту відрізняються на 8 порядків: від 10^2 мм до 10^{-6} мм.

Різні умови вивітрювання вихідної гірської породи, переносу і осідання продуктів її руйнування зумовлюють наявність у ґрунті частинок різних видів. Ці частинки відрізняються розміром, формою і мінеральним складом. Прийнято розрізняти такі частинки ґрунту:

Назва	Валунні (брилеві)	Галечни- кові (щебеневі)	Гравійні (жерствя- ні)	Піщані	Пилуваті	Глини- сті
Розмір, мм	>200	200-10	10-2	2-0,05	0,05- 0,001	<0,001

Чим менший радіус зерна R , тим більша питома поверхня. Питома поверхня частинки – це площа її поверхні віднесена до одиниці маси.

$$S_n = \frac{4\pi R^2}{\left(\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_s\right)} = \frac{3}{R\rho_s} \approx \frac{3}{2.7} R \approx \frac{1}{R}, \quad \frac{\text{см}^2}{\text{г}}$$

Чим менше R , тим більше S_n і тим більше роль процесів, що відбуваються на цій поверхні.

Особливості глинистих частинок

Більшість глинистих частинок мають розмір від 10^{-3} до 10^{-4} мм. За формою являють собою пластинки, довжина і ширина яких в 10-100 разів перевищують товщину. В зв'язку з цим під розміром глинистих частинок домовились розуміти діаметр умовної кулі, що падає у воді з швидкістю цієї частинки.

Глинисті частинки мають питому поверхню $S_n = 10^4 - 10^5 \text{ см}^2/\text{г}$. На цій поверхні відбуваються інтенсивні процеси хімічного вивітрювання, які обумовили створення вторинних глинистих мінералів: каолінит, монтморилоніт, гідрослюда

Каолініт ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
двошаровий кристалічний мінерал що
утворився із польового шпату і слюди,
в кислому середовищі поблизу денної
поверхні. Безбарвний або білі
пластинки. Не набухає .

Монтморилоніт ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) –
трьохшаровий кристалічний мінерал
що утворився в основному
середовищі. Жовтуваті і зеленуваті
пластинки. Шари кристалічної решітки
розсовуються і між ними
розміщується вода. Тому в воді
набухає, збільшується розмір на
порядок.

Гідрослюда – утворилася в середовищі, багатому водою із слюдоподібних мінералів, зелені і бурі пластинки. Трьохшаровий мінерал, але шари зв'язані сильніше, ніж у монтморилоніту. За своїми властивостями займає проміжне місце між каолінітом і монтморилонітом.

Глиниста фракція ґрунту полімінеральна. Тому її іменують по переважаючому мінералу: каолінітові, монтморилонітова, гідрослюди́ста глина. За розповсюдженням перше місце займають гідрослюди́сті (їх приблизно 60%); друге місце – монтморилонітові; третє – каолінітові.

Глинисті частинки мають особливу властивість: їх поверхня несе на собі негативний електричний заряд, тому вони інтенсивно взаємодіють з водою. Піщані ж – електронейтральні. Глинисті частинки надають ґрунту здатність до набухання, усадки, зв'язаність, липкість, пластичність.

3 Зерновий склад твердої фази ґрунту

Зерновим (гранулометричним) складом ґрунту – називають масову долю частинок різної крупності в абсолютно сухому ґрунті.

Незалежно від походження і мінерального складу окремі частинки ґрунту об'єднуються по розмірам у певні групи , які називаються – фракціями.

Основні фракції: гравійна
(щебенева) - 10-2 мм; піщана
– 2-0,05 мм; пилувата – 0,05-0,001 мм;
глиниста – менша 0,001 мм.

Оскільки властивість частинок різної крупності відрізняється, то від зернового складу в значній мірі залежать властивості ґрунту.

Зерновий склад є важливою класифікаційною ознакою ґрунту.

3.1 Класифікація ґрунтів по зерновому складу

Для ґрунтів, які відносяться до підгрупи крупноуламкових і піщаних, зерновий склад являється основною ознакою типу ґрунту, а для ґрунтів підгрупи пилувато-глинистих – додатковою.

До підгрупи крупноуламкових відносять ґрунти, які містять більше 50% (по масі) частинок крупніше 2 мм.

Класифікація ґрунтів підгрупи крупноуламкових:

Типи ґрунтів	Розмір частинок, мм, крупніше	Масова доля частинок, %
Валунний (бриловий) ґрунт	200	>50
Галечниковий (щебеновий)	10	>50
Гравійний (жерств'яний)	2	>50

Примітка: назви ґрунтів в дужках відповідають переважно для не обкатаних частинок. Наприклад, якщо до складу ґрунту входить 55% частинок 10-2мм, з них 35% не обкатаних, то це жорства.

До підгрупи піщаних входять ґрунти, які містять менше 50% частинок крупніше 2 мм і не мають пластичності.

Класифікація ґрунтів підгрупи піщаних

Типи ґрунтів	Розмір частки, мм крупніше	Масова доля часток, %
Пісок гравелистий	2	>25
Пісок крупний	0,50	>50
Пісок середньої крупності	0,25	>50
Пісок дрібний	0,10	>75
Пісок пилюватий	0,10	<75²¹

Для встановлення назви ґрунту послідовно підсумовуються проценти вмісту частинок: спочатку крупніші за 200 мм; потім крупніші за 10 мм, тощо. Назви ґрунту приймаються за першою задовольняючою ознакою.

Приклади: 1) піщаний ґрунт має наступний зерновий склад:

Розмір частинок, мм	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0.1
Масова доля, %	5	5	10	10	30	25	15

2) Визначити тип ґрунту. Маємо:

крупніше 2 мм – $5+5=10\%$

(гравелистий пісок)

крупніше 0,5 мм – $5+5+10+10=30\%$ (не крупний пісок)

крупніше 0,25 мм –

$5+5+10+10+30=60\% > 50\%$ – отже це пісок середньої крупності.

Орієнтовна класифікація ґрунтів пилувато-глинистих:

Типи ґрунту	Масова доля глинистих частин в %
Супісок	3-12
Суглинок	12-25
Глина	>25

Якщо пилуватих частинок більше ніж пилуватих, то додається слово "пилувата". Але ця класифікація орієнтовна, тому що важливо не тільки вміст частинок глинистої фракції, але і властивості глинистих частинок. Як бачимо вони впливають в значній мірі. Достатньо щоб 26% було глинистих частинок (по масі), і ґрунт відноситься до глин.

Зерновий склад ґрунту визначають:

- 1. Для визначення типу ґрунту.**
- 2. Для визначення придатності ґрунту як матеріалу насипу земляного полотна, греблі, шару дорожнього одягу, тощо.**
- 3. Для підбору оптимального зернового складу при покращенні місцевого ґрунту шляхом його змішування з привозним.**
- 4. При підборі зернового складу кам'яного матеріалу для приготування асфальто- і цементобетонних сумішей.**

Методи визначення зернового складу (с.р.)

Експериментальні методи визначення зернового складу ґрунту розподіляються на 4 групи: механічні, гідравлічні, непрямі і оптичні.

Механічні методи

Механічні методи ґрунтуються на розділі частинок по крупності шляхом пропускання проби ґрунту через отвори визначеного розміру. До цієї групи відноситься ситовий метод. При ситовому аналізі пробу ґрунту пропускають шляхом просіювання через набір стандартних сит і обчислюють масову долю в ґрунті кожної фракції.

$$A_{\phi} = \frac{m_{\phi}}{m} \cdot 100\%; \text{ Наприклад } A_{2-1} = \frac{20}{100_g} \cdot 100 = 20\%$$

Ситовий аналіз дозволяє поділяти за розмірами частинки, більші за 0,1 мм. До стандартного набору для ґрунтів входить 7 сит: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 і 0,1 мм. Ситовий аналіз полягає в просіюванні проби сухого ґрунту через набір сит, визначенні маси залишків на ситах з отворами різних розмірів.

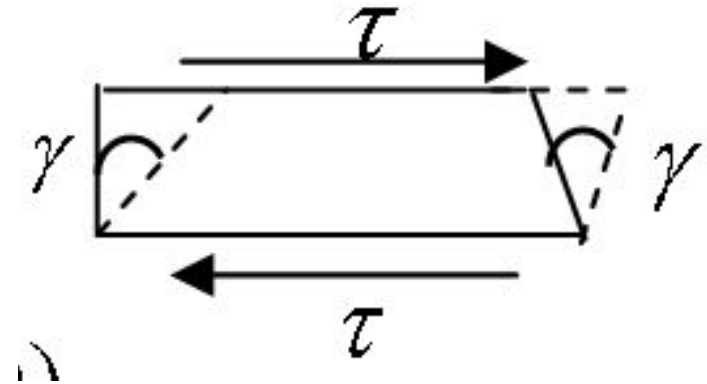
Ситовий метод обмежений мінімальним розміром частинок 0,1 мм (при меншому розмірі неможливо виготовити рівномірну сітку). Тому ситовий метод не дозволяє визначити кількість частинок пилюватої і глинистої фракції. З цією метою застосовують різні непрямі методи визначення зернового складу.

Гідравлічні методи (в рідині)

Базуються на тому, що швидкість руху частинок ґрунту залежить від їх розміру. Теоретичною базою цих методів являється залежність між силою, діючою на тіло, і швидкістю його руху у в'язкій рідині.

В'язкою називається рідина, швидкість деформації зсуву якої пропорційна дотичній напрузі.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}; \quad \eta = \frac{d\gamma}{dt}$$



де - η коефіцієнт в'язкості.

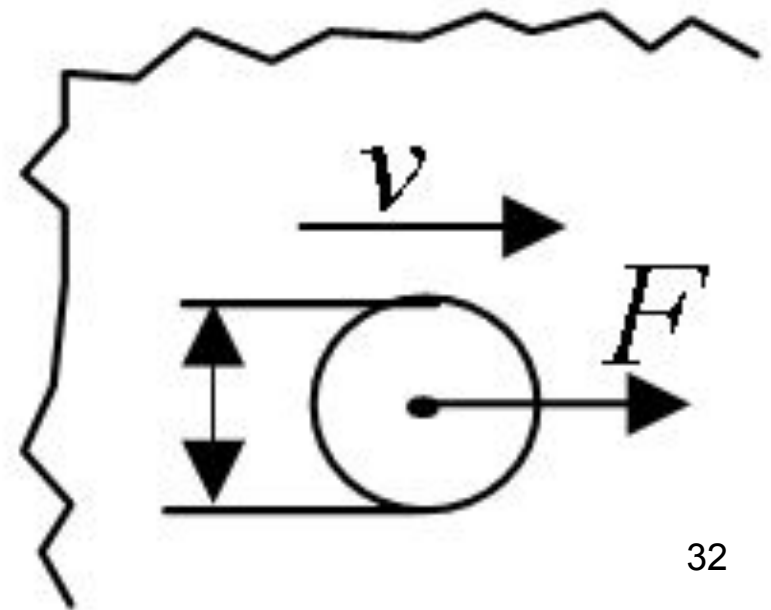
Це аналогічно закону Гука: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$;

При крученні, зсуві: $\gamma = \frac{\tau}{G}$

Поняття про в'язкість запропонував Ньютон (1687 рік). Чим більші дотичні напруги, тим більша швидкість зсуву. Для визначеної дотичної напруги чим більша в'язкість, тим менша швидкість зсуву.

$$[\eta] = \frac{[\tau]}{[j]}; [\eta] = \frac{\text{Па}}{1/c} = \text{Па} \cdot c = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot c =$$

$$= \frac{\kappa_2 \cdot m}{c^2} \cdot \frac{1}{m^2} \cdot c = \frac{\kappa_2}{c \cdot m}$$



Для води при +20°С:

$$\eta = 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с} = 10^{-3} \text{кг/с} \cdot \text{м} = 0,01 \text{г/с} \cdot \text{см}.$$

Для рівномірного руху кулі з діаметром d швидкістю V в рідині, яка має в'язкість η , до кулі повинно бути прикладена сила F , яка визначається за формулою Дж.Стокса (1851 р.) $F = 3\pi\eta Vd$. Коли частинка ґрунту опускається в воді, на неї діє сила тяжіння і Архімедова виштовхуюча сила:

$$F = F_{\text{грав}} - \overline{F_{\text{арх}}} = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \rho_s q - \frac{\pi d^3}{6} \rho_w q = \frac{\pi d^3}{6} q (\rho_s - \rho_w)$$

Тому

$$V = \frac{F}{3\pi r d} = \frac{\pi d^3}{G} \cdot \frac{q(\rho_s - \rho_w)}{3\pi r \cdot d} = \frac{(\rho_s - \rho_w) \cdot q}{18r} \cdot d^2$$

Для $\rho_s = 2,7 \text{ гр/см}^3$;

$\rho_w = 1 \text{ гр/см}^3$;

$r = 0,01 \text{ гр/с см}$;

$q = 9,81 \text{ см/с}^2$;

$V = 9 \cdot 10^3 \cdot d^2 \text{ см/с}$, де d в см.

Наприклад, при $d = 0,05 \text{ мм}$

$V = 9 \cdot 10^3 \cdot 0,05^2 = 0,22 \text{ см/с} = 2 \text{ мм/с}$.

На залежності швидкості руху частинок в рідині від їх діаметру базується кілька методів.

Аерометричний метод базується на вимірі аерометром щільності суспензії частинок ґрунту в воді.

Спочатку осідають найбільші частинки, потім менші і т.д.

По мірі осідання частинок щільність суспензії зменшується.

Розділивши висоту суспензії в мірній посудині на швидкість, з якою осідають частини даного розміру, можна визначити відрізок часу, за який в суспензії повністю осідають частини більші даного розміру. Після цього відрізка часу заміряють аерометром щільність суспензії і, порівнявши її з щільністю чистої води, обчислюють масу частинок менше даного розміру. Повторюючи заміри щільності суспензії через інші відрізки часу, визначають вміст в ґрунті більш мілких частинок.

Піпет-метод оснований на тому, що після закінчення збовтування суспензії з певної глибини відбирають пробу піпеткою, випарюють воду із цієї проби і визначають масу частинок. В наступних пробах, які відбираються через все більші проміжки часу, визначають вміст більш мілких частинок.

Недоліки методів, оснований на осіданні частинок:

- 1. нерівномірність руху крупних частинок внаслідок дії інерційних сил;**
- 2. відхилення траєкторії руху мілких частинок від прямої внаслідок дії броунівського руху;**
- 3. повільне осідання мілких частинок (глинисті – з швидкістю 1см за 3 години; чекають декілька діб). Тому робочий діапазон седиментальних методів 0.05 – 0.001мм.**

Центрифугування ґрунтується на тому, що при обертанні центрифуги рідина з ґрунтом знаходиться в полі центробіжних сил, які прискорюють рух частинок. Розділ їх за розмірами проходить швидше. Важкі (крупні) відділяються першими. Певній швидкості обертання відповідають певні розміри частинок, які виділяються із суспензії. Таким шляхом аналізують зерновий склад частинок менших 0.005мм.

Польові методи

Ґрунтуються на відмінності взаємодії частинок різної крупності з водою. Один із найпростіших – польовий метод С.І. Рутковського. Цей метод дозволяє виділити вміст трьох фракцій: піщаної, пілуватої і глинистої. Кількість піщаної фракції визначається шляхом осідання в воді. Найбільш мілкі зерна піску $d=0.05$ мм осідають з швидкістю 2 мм/с. Тому через 90с в суспензії товщиною 18 см не залишається піщаних частинок – всі вони знаходяться на дні посудини. Однак серед частинок, що осіли, можуть бути також в суспензії поблизу дна. Тому через 90 с верхні $2/3$ шару води зливають – до освітлення води.

Замірявши потім об'єм осівшого піску і порівнявши його з об'ємом всієї проби ґрунту, визначають відносний вміст піску

$$A_n = \frac{M_n}{M} \cdot 100 \approx \frac{V_n}{V} \cdot 100, \%$$

Вміст глинистих частинок оцінюють по відносному збільшенню об'єму ґрунту порівняно з його початковим об'ємом. Припустимо, що об'єм ґрунту можна показати як суму

$$V_0 = V_n + V_{\text{пил}} + V_{\text{гл}}$$

Після витримування в воді (дві доби) набухають тільки частинки:

$$V_1 = V_n + V_{\text{пил}} + V_{\text{гл}} \cdot K_n$$

Відносне збільшення об'єму:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_1 - V_0}{V_0} = \frac{V_{\text{гл}}}{V_0} (K_n - 1)$$

Якщо прийняти, що масова доля глинистої фракції дорівнює її об'ємній долі

$$A_{gl} = \frac{M_{gl}}{M} \approx \frac{V_{gl}}{V_0},$$

то

$$A_{gl} = \frac{1}{(k_n - 1)} * \frac{\Delta V}{V_0} \approx 0,226 \frac{\Delta V}{V_0} = 22,6 \frac{\Delta V}{V_0}, \%$$

Де в середині $K_n = 5.42$ (тільки для певних генетичних різновидностей ґрунтів)

$$A_{nil} = 1 - A_n - A_{gl}$$

Недолік методу – приблизність, але простий, - потрібний тільки годинник і мірний циліндр

Оптичні методи

До них відносяться мікроскопічні, фотоаналітичні і візуальні.

Мікроскопічні методи дозволяють побачити частинки до 0.0005 мм через мікроскоп із світловою оптикою і підрахувати кількість різних частинок в полі зору.

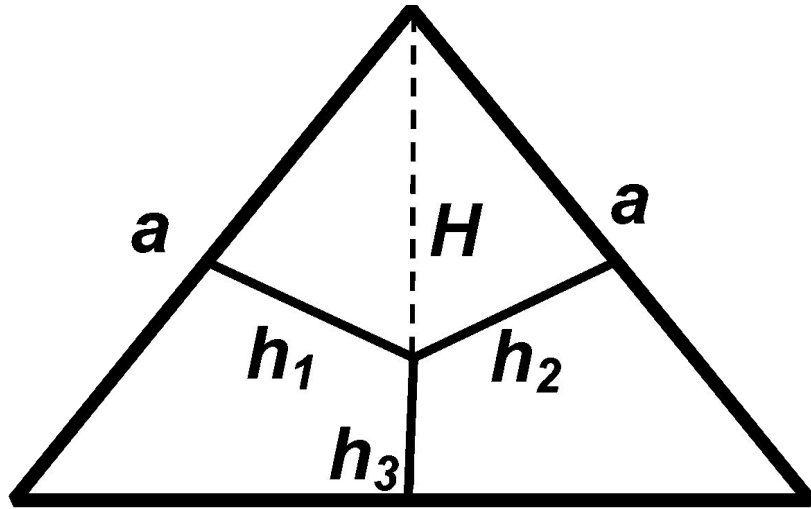
Фотоаналітичні основані на фотографуванні поверхні ґрунту і послідуочого огляду знімка за допомогою лупи для підрахування кількості частинок різного розміру.

Таким чином, рухаючись на всюдиході і фотографуючи, можна обстежити велику територію.

Зображення і описання зернового складу

Для наглядності і зручності роботи результати гранулометричного аналізу зображають графічно і описують математичними формулами. При графічному зображенні звичайно використовують трикутну діаграму і криву гранулометричного складу.

Трикутна діаграма використовується для зображення вмісту в ґрунті трьох фракцій: піщаної, пилуватої, глинистої.

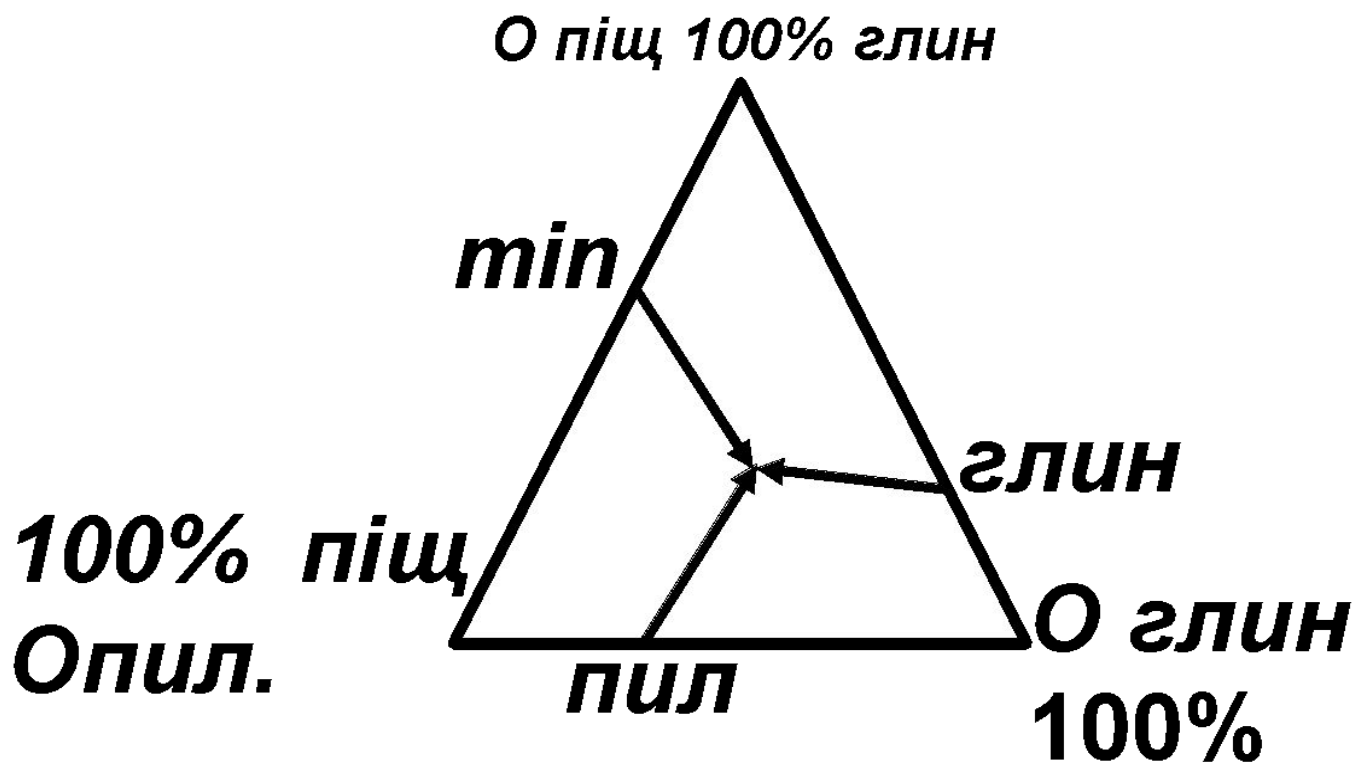


Її ідея належить Фере, базується на теоремі про те, що в рівносторонньому трикутнику сума довжин перпендикулярів,

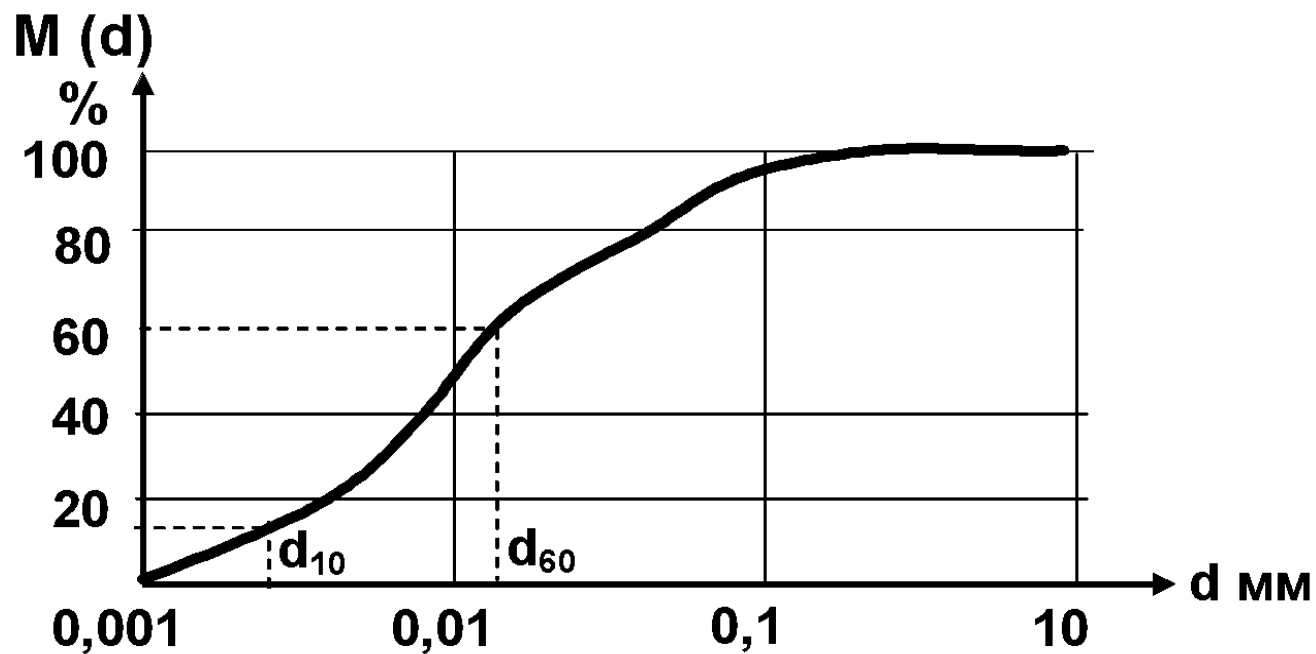
опущених з будь-якої точки в середині трикутника на його 3 сторони рівна висоті цього трикутника:

$$\frac{1}{2}ah_1 + \frac{1}{2}ah_2 + \frac{1}{2}ah_3 = \frac{1}{2}aH; \quad h_1 + h_2 + h_3 = H.$$

Тому, якщо від однієї сторони рівностороннього трикутника відкласти вміст піщаної фракції на перпендикулярі до цієї сторони, від другої – пилюватої, а від третьої – глинистої, то сума вмісту цих фракцій буде рівна 100%, яким відповідає довжина висоти.



Аналогічно, якщо вважати координатними прямими сторони рівностороннього трикутника, відклавши уздовж однієї з них вміст піщаної фракції, уздовж другої – пилюватої, уздовж третьої – глинистої, то сума координат будь-якої точки буде дорівнювати 100%-довжині будь-якої зі сторін. Сумарна крива гранулометричного складу – найбільш зручний вид його зображення. Абсциса кривої d відповідає діаметру частинки, а ордината – масовій долі частинок з діаметром менше d .



По цій кривій визначаються такі показники:

1. d_{10} – діаметр частинок, менше від яких в ґрунті вміщується 10% (ефективний діаметр);
2. d_{60} - діаметр частинок, менше від яких в ґрунті вміщується 60% (контрольний діаметр);
3. $C_u = d_{60} / d_{10}$ - коефіцієнт неоднорідності.

Величина d_{10} характеризує
водопроникність ґрунту;

Величина d_{60} характеризує крупність
ґрунту;

Величина C_u характеризує
неоднорідність зернового складу.

Криві гранулометричного складу
описують математичними
залежностями.

Формула Годена (1926 р.)

$$M(d) = \left(\frac{d}{d_{\max}} \right)^n$$

$d_{\max}$ – розмір найбільших частинок;

n – постійна для даного зернового складу.

Формула О.Э.Стефановича (1983 р.):

$$M(d) = \frac{1 - e^{-\beta(d/d_{\max})^n}}{1 - e^{-\beta}}$$

При $\beta=0$ ця формула дає формулу Годена

При $n=0,5$ формула Годена дає криву, яка за кордоном широко використовується для визначення оптимального зернового складу піщано-гравійної суміші (Фуллера)

$$M(d) = 100 \sqrt{d / d_{\max}}, \%$$

Приклад: підібрати оптимальний склад піщано-гравійної суміші при $d_{\max}=10\text{ мм}$.

Визначаємо масові долі частинок

- менші 10 мм $M(10)=100\sqrt{10/10}=100\%$
- менші 5 мм $M(10)=100\sqrt{5/10}=70,7\%$
- менші 2 мм $M(10)=100\sqrt{2/10}=44,7\%$
- менші 1 мм $M(10)=100\sqrt{1/10}=31,6\%$

Тому для складання щільної суміші треба взяти $A_{10.5}=29,3\%$, $A_{5.2}=26\%$, $A_{2.1}=13,1\%$ і т. д.