**КИЇВСЬКИЙ**
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**С.В. Корнєєнко**

# ДОСЛІДЖЕННЯ
## СКЛАДУ, ФІЗИЧНИХ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**С.В. Корнєєнко**

# ДОСЛІДЖЕННЯ

## СКЛАДУ, ФІЗИЧНИХ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

Навчальний посібник

**Київ - 2016**

УДК 624.131: 631.43(075.8)
ББК
К

Рецензенти:
д-р геол. наук, проф. Кошляков О.Є.
канд. тех. наук Шостак А.В.

Рекомендовано до друку вченою радою ННІ «Інститут геології»
(протокол № 5 від 30 листопада 2016 року)

**Корнєєнко С.В.**
К Дослідження складу, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів: навчальний посібник /С.В. Корнєєнко/ [Електронний ресурс]. Режим доступу: geol.univ@kiev.ua – К. , 2016. – 217 с.

Мета даного видання – ознайомлення студентів з основними показниками складу, будови, стану, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів, методами їхнього лабораторного отримання та набуття практичних навичок у проведенні розрахунків характеристик ґрунтів, які використовуються при проектуванні й будівництві різноманітних інженерних споруд.

У посібнику розглядаються методи лабораторного вивчення складу, стану, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів. Методи викладені у відповідності з діючими стандартами, нормативними документами та розробками науково-дослідницьких установ і виробничих організацій.

Посібник призначено для аудиторної (лабораторної) та самостійної роботи студентів геологорозвідувальних спеціальностей вищих навчальних закладів.

**УДК 624.131: 631.43(075.8)**
**ББК**

**©Корнєєнко С.В., 2016**
**©Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2016**

*Пам'яті моїх батьків присвячується*

# ВСТУП

**Ґрунтознавство** – наука, яка вивчає склад, стан, будову й властивості ґрунтів та складених ними ґрунтових товщ (тіл і масивів), закономірності їхнього формування та просторово-часові зміни під впливом сучасних і прогнозованих геологічних процесів, що формуються під час розвитку земної кори під впливом сукупності всіх природних факторів та у зв'язку з інженерною діяльністю людини.

**Об'єктом** вивчення ґрунтознавства є ґрунти, складені ними прості й складні геологічні тіла, які в свою чергу формують ґрунтові товщі, та геологічні природні й антропогенні процеси, що у них відбуваються. Ці елементи являють собою верхні горизонти земної кори і є об'єктами вивчення трьох самостійних, тісно пов'язаних між собою наукових напрямків інженерної геології – ґрунтознавства, інженерної геодинаміки та регіональної інженерної геології.

**Предметом** вивчення ґрунтознавства є знання про ґрунти, про їхній склад, стан, будову та властивості.

Свою назву ґрунтознавство отримало від слова «*ґрунт*» [від польськ. «*grynt*», від нім. «*der Grund*» – основа].

**Ґрунти** - це будь-які гірські породи, ґрунти рослинного шару та антропогенні геологічні утворення, які мають певні генетичні ознаки й розглядаються як багатокомпонентні, динамічні системи та досліджуються у зв'язку з інженерною діяльністю людини, що планується, здійснюється або вже здійснилася.

З метою оцінки й класифікації ґрунтів основ будинків і інженерних споруд зразки, що були отримані в результаті інженерно-геологічних вишукувань, піддають лабораторним дослідженням. Практично 40-50% від загального об'єму інженерно-геологічних робіт припадає саме на частку лабораторних випробувань. Визначення складу, будови, стану та фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунту в лабораторних умовах дозволяє прийняти найбільш відповідні й раціональні проектні рішення на етапі проектування майбутньої інженерної споруди.

**Метою виконання лабораторних робіт** є одержання студентами практичних навичок з визначення складу, будови, стану, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів, включаючи обробку дослідних даних.

Лабораторні роботи виконуються студентами самостійно під контролем викладача. Для цього академічна група розбивається на бригади (3-4 студенти). Призначений викладачем бригадир організовує роботу бригади й відповідає за збереження конкретного комплекту лабораторного устаткування.

Приступаючи до лабораторної роботи, кожний студент попередньо складає конспект, в якому позначається:

- мета роботи;
- поняття про характеристику ґрунту, що визначається;
- практичне значення характеристики;
- список необхідного устаткування, що буде використовуватись (при необхідності доповнений схемами);
- методика виконання роботи.

Перед виконанням лабораторної роботи студенти зобов'язані пройти у викладача інструктаж з техніки безпеки. Далі, беручи участь у колективному виконанні лабораторного досліду, студент заповнює таблицю, що містить цифровий матеріал проведених дослідів і випробувань.

На завершення роботи кожна бригада упорядковує свій лабораторний стіл, миє й прибирає устаткування. Лабораторна робота закінчується обробкою результатів (у тому числі й графічною). З метою побудови графіків, діаграм і схем заздалегідь має бути підготовлений вкладиш з міліметрового паперу.

Наприкінці заняття записи пред'являються викладачеві. У випадку правильного виконання роботи й достовірності отриманих результатів вони зараховуються. При погано організованій роботі бригади й одержанні результатів, що значно відрізняються від середньостатистичних, викладач залишає за собою право вимагати повторного проведення лабораторної роботи. Пропущені студентами лабораторні роботи повинні бути відпрацьовані в порядку, встановленому кафедрою.

Навчальний посібник призначено для аудиторної (лабораторної) та самостійної роботи студентів геологорозвідувальних спеціальностей вищих навчальних закладів. Посібник включає характеристику основних термінів і понять, загальні методичні рекомендації з визначення складу, стану, будови, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів, а також варіанти контрольних завдань для індивідуального рішення студентами заочної форми навчання.

## Частина І. ВИВЧЕННЯ СКЛАДУ ТА БУДОВИ ҐРУНТІВ

***Ґрунт*** – це мінеральна або органічна, органо-мінеральна, багатокомпонентна, багатофазна динамічна система, яка вивчається в інженерно-геологічному відношенні. За характером структурних зв'язків між агрегатами або уламками ґрунти поділяються на два основні класи: ***скельні*** з жорсткими кристалізаційними й цементаційними зв'язками хімічної природи та ***нескельні (дисперсні)*** – без жорстких зв'язків, в яких переважають зв'язки фізичної природи.

*Скельні ґрунти* суттєво відрізняються від нескельних умовами походження (генезисом), характером внутрішніх зв'язків і властивостями. За характером структурних зв'язків скельні ґрунти поділяються на дві групи – скельні та напівскельні, а за походженням та умовами утворення на чотири підгрупи – магматичні інтрузивні, магматичні ефузивні, метаморфічні та осадові [20]. Всі вони наділені міцними кристалізаційними та цементаційними зв'язками, їхні інженерно-геологічні властивості більш надійні (це обумовлено насамперед високою міцністю, незначною деформованістю і водопроникністю та високою стійкістю скельних ґрунтів), зазнають менших змін під дією зовнішніх факторів та легше вивчаються, ніж властивості нескельних ґрунтів.

Природні *нескельні (дисперсні)* ґрунти, в основному, є продуктами фізичного і хімічного вивітрювання скельних гірських порід літосфери, з наступним транспортуванням продуктів вивітрювання водним або еоловим шляхом та їхнім відкладенням. Головною особливістю дисперсних ґрунтів є їхня роздробленість, тобто ґрунт складається із окремих твердих часток різної крупності, представлених різноманітними мінералами (агрегатами) або уламками вихідних скельних порід.

Дисперсні ґрунти займають приблизно 5% від загального об'єму земної кори, але мають дуже широке площинне розповсюдження (майже 75% поверхні суші), тому їхнє вивчення і характеристика має велике наукове та практичне значення.

*Нескельні (дисперсні) ґрунти* за характером структурних зв'язків поділяються на дві групи – зв'язні (глинисті) та незв'язні (піщані та крупноуламкові) [20]. В цілому, дисперсні ґрунти являють собою природні багатокомпонентні, багатофазні утворення, що складаються з мінеральної частини (*тверда компонента*), пор-порожнин (замкнених або сполучених між собою), заповнених водою (*рідка компонента*), в різних її видах і станах, та газом (*газова компонента*), наприклад, повітрям, метаном, сірководнем, іншими газами або водяною парою (рис. 1.1). До складу окремих видів ґрунтів також можуть входити органо-мінеральні й органічні сполуки та біотична (*жива*) компонента (макро- та мікроорганізми, які мешкають у гірських породах).

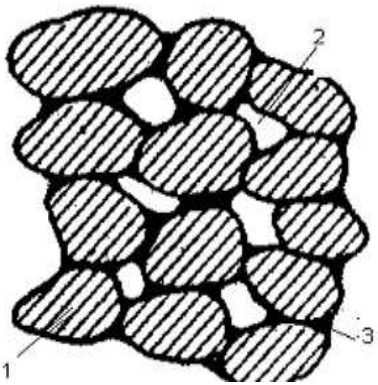



**Рис. 1.1. Схема трикомпонентного ґрунту:**
*1* – тверда компонента; *2* – газова компонента;
*3* – рідка компонента

Співвідношення складових компонентів - твердої, рідкої та газоподібної - визначає фазовий стан ґрунту: рідка компонента є дисперсним середовищем, а тверда - дисперсною фазою. Завдяки тому, що розміри твердих часток і мінералів, які входять до складу ґрунтів, розрізняються як за величиною, так і за складом, дисперсні ґрунти відносять до полімінеральних і полідисперсних систем. *Двокомпонентний (двофазовий) стан* відповідає повному гідравлічно безперервному заповненню пор

водою (стан ґрунтової маси) або газом; *трикомпонентний* – частковому заповненню об'єму пор водою і газом; *чотирикомпонентний* - частковому заповненню об'єму пор водою, газом і біотичною складовою.

Кількісне співвідношення об'ємів твердої мінеральної частини, води, газу та біотичних складових у ґрунті може бути різним. Все це необхідно мати на увазі при аналізі їхнього вмісту в ґрунті й дослідженні факторів, що впливають на зміну властивостей ґрунтів і вміст компонентів. Співвідношення об'ємів компонентів у ґрунті не є постійним - при зміні умов середовища (наприклад, випаруванні вологи тощо) воно змінюється. Найбільш непостійні у ґрунтах мобільні компоненти - *рідка, газова* та *біотична*. Якщо не враховувати об'єм біотичної компоненти (що цілком виправдано при наявності, наприклад, у ґрунті мікроорганізмів, об'ємна частина яких незначна або дуже мала), то ґрунт можна розглядати як трикомпонентну систему. Трикомпонентний стан є найбільш характерним для переважної більшості видів ґрунтів.

*Тверда компонента* є головною складовою основи будь-якого ґрунту. Тому, як правило, вивчення складу ґрунту в ґрунтознавстві починається саме з аналізу твердої компоненти.

## Розділ 1. ВИВЧЕННЯ СКЛАДУ ТА БУДОВИ ТВЕРДОЇ КОМПОНЕНТИ ҐРУНТІВ

***Тверда компонента ґрунту*** складається з різноманітних мінералів, органічної речовини, органо-мінеральних сполук та води у твердому стані.

Найбільш важливою характеристикою твердої компоненти ґрунтів є її *мінералогічний (*або *мінеральний*) *склад*, що визначає в остаточному підсумку як сам ґрунт, так і його стан та інженерно-геологічні властивості. У природі налічується понад 2500 мінералів, але тільки приблизно 100 з них мають значне поширення. Вміст деяких із них у твердій компоненті ґрунту становить кілька десятків відсотків. Ці мінерали називають *головними породоутворюючими мінералами*. Залежно від умов утворення головні породоутворюючі мінерали поділяють на

первинні та вторинні. Інші мінерали містяться у ґрунті в досить незначних кількостях (частини відсотка), тому їх називають *другорядними,* або *акцесорними,* мінералами. Нарешті, зустрічаються так звані «випадкові» мінерали, або *домішки,* що не є характерними для даного ґрунту.

*Первинні мінерали* утворюються в результаті охолодження і кристалізації магми, а також при метаморфізмі, тому з моменту свого утворення вони не зазнали суттєвих хімічних змін. *Вторинні мінерали* - результат хімічної зміни первинних мінералів. Найпоширенішими первинними мінералами в ґрунтах є кварц, польові шпати, амфіболи та піроксени, слюди. Серед вторинних мінералів виділяють прості солі, гідроксиди та оксиді, а також глинисті мінерали.

Різні мінерали неоднаково піддаються вивітрюванню. Так, кварц є найбільш стійким мінералом, й тому, звичайно, він накопичується у крупних фракціях гранулометричного складу, польові шпати переважають у середньозернистому піску. Як приклад, можна привести розподіл мінералів за фракціями гранулометричного складу в лесах (таблиця 1.1).

**Таблиця 1.1.**

**Розподіл мінералів, що переважають, за фракціями гранулометричного складу в лесах (за В.П. Ананьєвим)**

| Діаметр часток, мм | Мінерали, що переважають |
|---|---|
| > 0,25 | Кварц |
| 0,25 - 0,005 | Кварц, польові шпати, кальцит, важкі мінерали |
| 0,005 - 0,001 | Польові шпати, кварц, кальцит, каолініт, гідрослюди |
| 0,001 - 0,0001 | Гідрослюди, каолініт, кальцит, монтморилоніт, опал |
| < 0,0001 | Монтморилоніт, гідрослюди, органічна речовина, опал |

При інженерно-геологічному вивченні ґрунтів, як правило, досліджуються тільки головні породоутворюючі мінерали, що містяться у породах у великій кількості та мають значний вплив на їхні властивості.

Основними породоутворюючими мінералами в ***магматичних гірських породах*** (граніти, діорити, сієніти, діабази, порфіри, габро, дуніти тощо) є первинні мінерали – польові шпати (їхня частина може досягати 60% від загального мінералогічного складу породи), кварц та піроксени (авгіт, енстатит, діопсид тощо) – 10-12%, слюди – 5%, олівін – 3% тощо. До складу ***метаморфічних гірських порід*** (гнейси, кварцити, сланці, мармури тощо) входять як первинні мінерали - кварц, польові шпати, слюда, так і вторинні мінерали – гранати, тальк, хлорит, епідот тощо. До складу ***осадових гірських порід*** (пісковики, аргіліти, алевроліти, глини, леси, піски, вапняки, мергелі тощо) можуть входити всі найбільш розповсюджені породоутворюючі мінерали – первинні (кварц, польові шпати, слюда тощо), вторинні (амфіболи, піроксени, кальцит, гіпс, ангідрит, доломіт, глинисті мінерали тощо), а також органічна речовина й органо-мінеральні сполуки.

Властивості первинних мінералів залежать від хімічного складу, структури кристалічної решітки та характеру зв'язку між атомами, молекулами й іонами.

Найбільше значення мають мінерали класу *первинних силікатів*, у яких переважають внутрішньокристалічні зв'язки іонно-ковалентного типу; *прості солі* (карбонати, сульфати, галоїди), що мають іонний тип зв'язків; *глинисті мінерали* (монтморилоніт, гідрослюди, каолініт тощо), що характеризуються великим розмаїттям внутрішньокристалічних зв'язків. Крім того, у ґрунтах у значній кількості може вміщуватись *органічна речовина*, в будові якої присутні молекулярні й водневі зв'язки.

Властивості мінералів, які, у свою чергу, зумовлюють властивості ґрунтів, пов'язані з особливостями їхнього хімічного складу, внутрішньої будови й зв'язків, що існують усередині самих мінералів (атомів, іонів, радикалів). Міцність найтвердіших компонентів визначає міцність і характер зв'язків усередині них. Мінерали з однаковим хімічним складом можуть мати різну міцність внаслідок розбіжності в їхній кристалічній структурі й характері хімічних зв'язків усередині самого кристала, тому більш обґрунтовано проводити підрозділ твердої

компоненти за переважаючим типом зв'язків усередині самої компоненти - чим міцніші переважаючі у твердої компоненті зв'язки, тим вона міцніша.

За характером зв'язків і певним просторовим розподілом електронів у твердих компонентах ґрунтів виділяється п'ять типів зв'язків: *ковалентний, іонний, металічний, водневий та молекулярний.*

***Ковалентний зв'язок*** характерний для атомів, що мають близькі або однакові значення електронегативності. Зв'язок у цьому випадку формується за рахунок спільного використання пари електронів, що переходять з орбіти одного атома на спільну орбіту обох атомів. Спільні електрони обумовлюють міцний зв'язок між атомами, тому ковалентні зв'язки дуже міцні й характеризуються спрямованістю. Вони притаманні для різних широко розповсюджених силікатних мінералів. Багато кристалічних сполук із ковалентними зв'язками є тугоплавкими й мають високу твердість та міцність (наприклад, алмаз). Однак ковалентні зв'язки можуть існувати не тільки у твердих кристалах, але й у рідинах (наприклад, у молекулах води), а також в органічних сполуках (у молекулах органічних сполук).

***Іонний зв'язок*** характерний для атомів, що мають різні значення електронегативності. При взаємодії цих атомів валентні електрони переходять від атома з меншою електронегативністю до атома з більшою електронегативністю. В результаті утворюються два протилежно заряджених іони, між якими під впливом кулонівського тяжіння виникає іонний зв'язок.

На відміну від кулонівських, іонні зв'язки внаслідок своєї електростатичної природи не наділені спрямованістю і насиченістю. Ненасиченість іонного зв'язку найбільше яскраво проявляється у схильності сполук із таким зв'язком до утворення кристалічних решіток, у вузлах яких кожний іон оточений максимально можливим числом іонів протилежного заряду. Іонні зв'язки характерні для багатьох солей (галоїдів, сульфатів, карбонатів). Найбільш характерна властивість сполук з іонним типом зв'язків на відміну від ковалентного - розчинність, тобто їхня здатність до дисоціації на іони в

розчинах у полярних розчинниках. Це обумовлено тим, що енергія сольватації [*сольватація* (від лат. «*solvo*» - розчиняю) – електростатична взаємодія між іонами або молекулами розчиненої речовини із іонами або молекулами розчинника] іонів молекулами розчинника перевищує енергію самого іонного зв'язку в кристалі. Найбільш розчинні галоїди (до 35,7 г в 100 $см^3$ води при t = 10 $^0$C), найменш розчинні - карбонати (тисячні долі грама в таких самих умовах).

***Металеві зв'язки*** утворюються в сполуках між елементами, що володіють вільними валентними орбіталями й низкою енергією іонізації. Такі зв'язки характерні для всіх сполук, що відносяться до металів - речовин, наділених високою електро- й теплопровідністю, обумовленими значною рухливістю електронів у кристалічній решітці. Зі 107 елементів періодичної системи Менделєєва 83 елемента є металами. Метал являє собою ряд позитивних іонів, локалізованих у певних положеннях кристалічної решітки і ніби занурених у «море» вільних рухливих електронів. Це відрізняє ненаправлений металічний зв'язок від спрямованого ковалентного. Енергія зв'язків між електронами і ядрами в кристалах металів відносно мала, вона мінімальна у лужних металів і зростає зі збільшенням заряду ядра, досягаючи найбільших значень у перехідних металів.

***Водневий зв'язок*** утворюється за рахунок атома водню, що перебуває між двома атомами та який ковалентно зв'язаний з одним атомом і може одночасно взаємодіяти із суміжним атомом іншої молекули. Він має електростатичну природу і значно менший за своєю енергією, ніж ковалентний чи іонний зв'язок. Водневі зв'язки характерні для твердих компонентів ґрунту, що містять водень (льоду, кристалогідратів), найбільш електронегативних елементів типу кисню, фтору тощо, а також для деяких глинистих мінералів.

***Молекулярні зв'язки*** (*сили Ван-Дер-Ваальса*) виникають за рахунок поляризації молекул, якщо вони знаходяться на відстанях, що значно перевищують їхні іонні радіуси. Молекулярні сили беруть участь у формуванні зв'язків усіх мінералів, але найбільш поширені в органічних твердих

компонентах і глинистих мінералах. Це найслабкіший зв'язок серед вище розглянутих.

Ґрунтуючись на виділенні типу зв'язку, що переважає, тверді компоненти ґрунтів поділяють на групи, що істотно розрізняються за своїми властивостями:

1) мінерали з переважанням ковалентних зв'язків - *первинні силікати*;

2) з переважанням іонних зв'язків - *іонні мінерали* та *солі*;

3) з переважанням металевого зв'язку - *металеві сполуки*;

4) з переважанням ковалентного зв'язку й наявністю молекулярних і водневих зв'язків - *глинисті мінерали*;

5) компоненти з переважанням молекулярних і наявністю ковалентних зв'язків - *органічна речовина* й *органо-мінеральні комплекси*;

6) компоненти з переважанням водневого зв'язку, молекулярних і наявністю ковалентних зв'язків - *лід* і *газогідрати*.

## Глава 1.1. Визначення розміру та кількісного вмісту структурних елементів твердої компоненти ґрунтів

Знання морфометричних характеристик ґрунтів (розміру, форми, характеру поверхні твердих часток та їхнього кількісного вмісту) має дуже велике практичне значення в інженерної геології. Розмір структурних елементів (зерен, кристалів, уламків тощо) у різних ґрунтах змінюється від дещиць мікрона до десятків сантиметрів. Зміна розміру структурних елементів ґрунту в настільки широких межах приводить до великої різниці між питомою поверхнею твердої компоненти та її поверхневою енергією, що суттєво позначається на властивостях ґрунту в цілому. Цей вплив особливо чітко проявляється за відсутності жорстких кристалізаційних зв'язків між структурними елементами твердої компоненти, тобто у дисперсних ґрунтах. Тому розмір елементів, які складають тверду компоненту ґрунту, є однією із суттєвих ознак цієї компоненти, що визначає її властивості.

Однією з найважливіших характеристик ґрунту є ***гранулометричний (зерновий) склад*** – це вміст за масою груп первинних часток **(*фракцій*)** ґрунту різної величини, виражений у відсотках по відношенню до загальної маси взятої для аналізу наважки повітряно-сухого ґрунту. Гранулометричний (зерновий) склад характеризує граничну дисперсність ґрунту, він є постійним для даного ґрунту й тому є його найважливішою класифікаційною ознакою.

Кількісний вміст у ґрунті твердих водостійких як первинних, так і вторинних часток (зчеплених в агрегати) за фракціями називають ***мікроагрегатним складом ґрунту.*** Мікроагрегатний склад характеризує не граничну, а природну дисперсність ґрунту, що існує у даних умовах. Він не є постійним для даного ґрунту й може змінюватися при зміні фізико-хімічних умов середовища. Тому мікроагрегатний склад не є класифікаційною ознакою, за ним немає сенсу класифікувати ґрунти. Однак для правильної й найбільш повної оцінки дисперсності даного ґрунту необхідне знання як гранулометричного, так і мікроагрегатного складу. Як правило, на практиці для одного й того ж ґрунту визначають гранулометричний та мікроагрегатний склад і потім зіставляють їх між собою.

Визначення гранулометричного (зернового) складу є необхідним для вирішення *багатьох практичних питань*, головні з яких: класифікація ґрунтів за гранулометричним складом; приблизний розрахунок водопроникності пухких незв’язних ґрунтів за допомогою емпіричних формул; оцінка придатності ґрунтів для їхнього використання в якості насипів для шляхів, для дамб і земляних гребель; вибір оптимальних шпарин фільтрів гідрогеологічних свердловин; оцінка можливого виникнення явища суфозії у тілі фільтруючих гребель та в їхній основі, у стінках котлованів, бортах виїмок, а також оцінка незв’язних ґрунтів в якості будівельного матеріалу та заповнювача бетону. Від гранулометричного складу залежать такі важливі характеристики властивостей і стану ґрунту, як пластичність, пористість, опір зсуву, стисливість, зсідання, набухання, висота капілярного підняття, водопроникність тощо.

З метою визначення гранулометричного складу ґрунту виконується ***гранулометричний аналіз***, сутність якого полягає в розчленовуванні ґрунту на групи із близькими за величиною частками (*фракціями*). Розмір часток (фракцій) зазвичай визначають за діаметром й виражають у міліметрах. У наш час розроблено багато способів гранулометричного аналізу ґрунтів, які можна об'єднати в 4 основні групи: **візуальний спосіб***,* який полягає у порівнянні на око або за допомогою лупи ґрунту, що досліджується, з еталонами, склад яких відомий; **ситовий спосіб** розсіювання ґрунту на ситах; **центрифугування***,* засноване на різній швидкості осадження часток ґрунту різної крупності відцентровою силою, що розвивається при обертанні центрифуги; **гідравлічні способи (седиментаційні)***,* засновані на розбіжності швидкості падіння у воді часток різної крупності. Серед гідравлічних способів розрізняють: ***методи відмулювання*** у спокійній воді *А.М. Сабаніна, А.А. Аттерберга, В.Р. Вільямса,* а також способи, засновані на послідовному відборі проб із підготовлених суспензій (до них відноситься піпетковий аналіз*);* способи, які полягають у прямому зважуванні осадів, що послідовно випадають із суспензії при її відстоюванні; способи, засновані на обліку зміни густини суспензії **(*ареометричний аналіз)***.

***Методи седиментації*** засновані на ***законі Джорджа Стокса,*** що зв'язує діаметр часток і швидкість їхнього падіння під дією власної ваги у в'язкій рідині:

$$v = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_s - \rho_w}{\mu}, \qquad (1.1)$$

де $v$ – стала швидкість падіння часток у рідині, см/с; $g$ – прискорення вільного падіння, см/с$^2$; $r$ – радіус часток, мм; $\rho_s$ – щільність часток, г/см$^3$; $\rho_w$ – густина рідини, г/см$^3$; $\mu$ - динамічна в'язкість рідини, Па×с.

Використання формули Д. Стокса, виведеної з рядом допущень, у ґрунтознавстві має ряд *особливостей*:

а) частки осаджуються незалежно одна від одної. Ця умова накладає особливість на концентрацію ґрунтової суспензії - вона не повинна перевищувати 1,5-2%;

б) частки повинні бути сферичної форми (що на практиці спостерігається досить рідко), тільки в цьому випадку рівняння Д. Стокса можна застосовувати. За будь-якої іншій формі часток (наприклад, лускатої, пластинчатої, дендритної тощо) для них буде визначатися так званий «еквівалентний діаметр», тобто якийсь усереднений діаметр, котрий мали б частки, якби вони були округлої форми й їхнє падіння у рідині підкорялося закону Д. Стокса;

в) закон Д. Стокса застосовують для певного діапазону діаметрів часток - більш ніж 0,0001 мм та менш ніж 0,25 мм. Як відомо, частки менші від 0,0001 мм вже піддаються впливу броунівського (теплового) руху. Їхній вміст визначити за законом вільного падіння Д. Стокса практично неможливо. Крім того, закон Д. Стокса використовує умови ламінарного руху часток. Це накладає умову визначення часток діаметром тільки меншим від 0,25 мм, тому що більші частки, ймовірно, будуть осаджуватися з виникненням турбулентних явищ.

З огляду на те (див. формулу 1.1), що стала швидкість падіння часток у рідині $v$ дорівнює:

$$v = \frac{l}{t}, \qquad (1.2)$$

де $l$ – відстань, см, $t$ – час, хв., можна точно розрахувати глибину, на якій проявляться частки певного діаметру через певний час. Професором Е.Б. Шене експериментально було встановлено співвідношення між швидкістю падіння часток у рідині та їхнім діаметром за одиницю часу (таблиця 1.2):

**Таблиця 1.2.**

**Співвідношення між швидкістю падіння часток у рідині та їхнім діаметром**

| **Діаметр часток, мм** | **Швидкість падіння часток за одну секунду, мм** |
|---|---|
| 0,05 - 0, 01 | 2,0 |
| 0,01 - 0,005 | 0,2 |
| 0,005 - 0,001 | 0,0044 |
| < 0,001 | 0,0012 |

Найбільшого поширення в інженерно-геологічній практиці в Україні набули ситовий, ареометричний та піпеточний аналізи (таблиця 1.3)[24].

**Таблиця 1.3.**

**Методи визначення складу ґрунтів**

| **Найменування ґрунтів** | | **Склад ґрунту** | **Метод визначення** |
|---|---|---|---|
| Піщані, при виділенні зерен піску величиною: | від 10 мм до 0,5 мм | Гранулометричний | Ситовий без промивання водою |
| | від 10 мм до 0,1 мм | | Ситовий з промиванням водою |
| Глинисті | | Гранулометричний | Ареометричний |
| | | Гранулометричний та мікроагрегатний | Піпеточний |

В цілому, технологія визначення гранулометричного складу тонкодисперсних ґрунтів в Україні й за рубежем є практично однаковою, розбіжності полягають лише у розмірах отворів сит, що застосовують для ситового аналізу, та інтерпретації отриманих результатів.

Перед початком аналізу проб ґрунту, при розподілі проб на фракції, їх підготовляють у такий спосіб:

- для виділення часток розміром більше ніж 0,1 мм - розтиранням ґрунту;
- для виділення часток розміром менше ніж 0,1 мм - розмочуванням, кип’ятінням у воді з додаванням аміаку та розтиранням ґрунту;
- для проб ґрунту, суспензія яких коагулює при випробуванні на коагуляцію, розтиранням ґрунту й додаванням пірофосфорнокислого натрію.

Для визначення гранулометричного й мікроагрегатного складу ґрунтів беруть зразки, висушені до повітряно-сухого стану й розтерті в порцеляновій ступці товкачиком із гумовим наконечником. Допускається розтирати зразки ґрунту в розтиральній машині, що не викликає подрібнення часток.

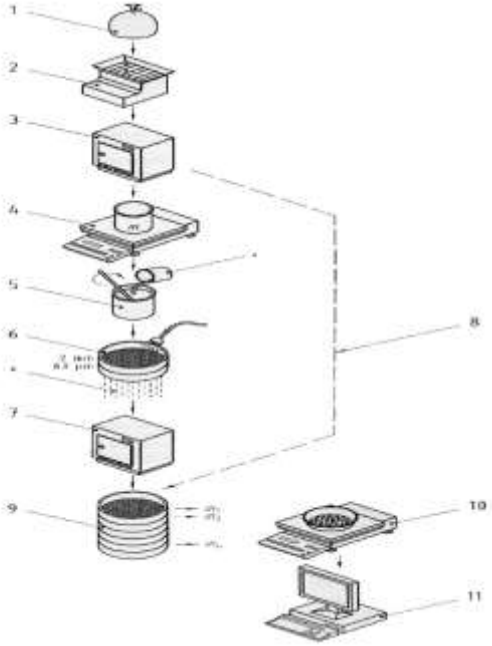



**Рис. 1.2. Схема визначення гранулометричного складу ґрунту ситовим аналізом [43]:**
*1* - зразок ґрунту; *2* - квартування; *3* - висушування;
*4* - зважування; *5* - розтирання; *6* - просіювання; *7* - висушування;
*8* - сухе розділення; *9* - просіювання; *10* - зважування;
*11* - розрахунки

Для визначення гранулометричного і мікроагрегатного складу ґрунтів, що містять органічні речовини, беруть зразки природної вологості.

При визначенні гранулометричного складу піщаних ґрунтів ситовим методом із промиванням водою застосовують водопровідну або профільтровану дощову (річкову) воду, а при визначенні гранулометричного та мікроагрегатного складу глинистих ґрунтів - дистильовану воду.

При визначенні гранулометричного та мікроагрегатного складу глинистих ґрунтів ареометричним або піпеточним методами циліндри, в яких відстоюються суспензії, повинні

бути захищені від коливання температури і не піддаватися струсам.

Зважувати проби ґрунту на лабораторних технічних вагах необхідно з похибкою до 0,01 г, а при вазі проб ґрунту 1000 г та більше зважування допускається робити з похибкою до 1 г.

Зважування на лабораторних аналітичних вагах повинно проводитись із похибкою до 0,001 г.

Результати обчислення гранулометричного та мікроагрегатного складу ґрунтів мають визначатися з похибкою до 0,1%.

Існує декілька форм зображення результатів гранулометричного і мікроагрегатного аналізів ґрунтів - у формі таблиць; графічно у вигляді інтегральних (кумулятивних) чи диференціальних кривих вмісту часток, гістограм розподілу часток за фракціями, а також у вигляді кругових циклограм і трикутних діаграм.

З перерахованих способів графічного зображення результатів гранулометричного та мікроагрегатного аналізів у ґрунтознавстві найдоцільніше використовувати циклограми, трикутні діаграми (трикутник Ферре́) та інтегральні (кумулятивні) криві.

***Циклограма (кругова діаграма)*** (рис. 1.3)**.** Площа круга, окреслена довільним діаметром, розбивається на сектори, довжини дуг яких пропорційні вмісту кожної фракції. Площі секторів зафарбовуються або заштриховуються відповідно до прийнятих умовних позначок.

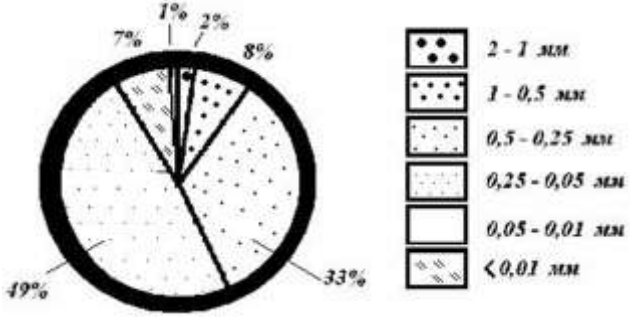
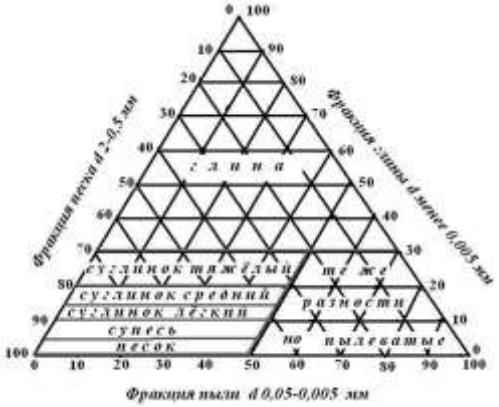



**Рис. 1.3. Циклограма результатів гранулометричного аналізу складу ґрунту**

Біля кожної дуги зовні вказується відсотковий вміст відповідної фракції (див. рис. 1.3). За допомогою циклограми можна відобразити результати лише одного гранулометричного аналізу, що є досить незручним при обробці великої кількості гранулометричних аналізів.

***Діаграма-трикутник***. Для зображення великої кількості результатів гранулометричних аналізів зручно користуватися ***трикутником Ферре́*** (рис. 1.4.). Цей спосіб дозволяє зображувати вміст не всіх фракцій ґрунту, а лише трьох його основних груп - *піщаної* (діаметр 2÷0,05 мм), *пилуватої* (діаметр 0,05÷0,005 мм) та *глинистої* (діаметр < 0,005 мм).



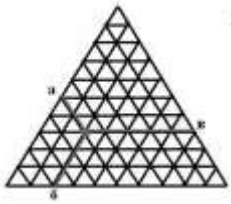




**Рис. 1.4. Трикутник Ферре́:**
*а* – вміст часток з діаметром 2÷0,05 мм; *б* - вміст часток з діаметром 0,05÷0,005 мм; *в* - вміст часток з діаметром < 0,005 мм

• - *ґрунт, що вміщує 50% піску, 20% пилу, 30% глини (суглинок важкий)*

Щоб зобразити результати гранулометричного аналізу складу ґрунту за допомогою трикутника Ферре́, насамперед необхідно попередньо підготувати такий трикутник. Залежно від того, які ґрунти аналізуються (піщані чи глинисті), по боках трикутника показують спочатку можливий відсотковий вміст фракцій, розділивши кожний бік трикутника на 10 рівних відрізків від 0 до 100%. При цьому розподіл проводять у напрямку проти годинникової стрілки і наносять у такому ж напрямку значення фракцій. *Для глин* в основі трикутника – вміст пилуватих фракцій (0,05÷0,005 мм), потім глинистих фракцій (< 0,005 мм) і потім піщаних фракцій (2÷0,05 мм) (див. рис.1.4). *Для пісків* в основі трикутника – вміст крупнозернистих фракцій (2÷1 мм), потім дрібнозернистих фракцій (0,5÷0,05 мм) і середньозернистих фракцій (1÷0,5 мм).

Перетинання 3 ліній, які відповідають відсотковому вмісту 3 фракцій, що досліджуються, й дає точку, яка відображає гранулометричний склад ґрунту. Потім за положенням точки, що зображує результат одного аналізу, можна відразу визначити найменування ґрунту. Трикутник може бути розбитий на окремі ділянки, у межах яких розташовані точки, що відповідають певним групам ґрунтів за їхнім гранулометричним складом, наприклад, глина; супісок важкий тощо (див. рис. 1.4).

Спосіб зображення результатів гранулометричного аналізу складу ґрунту за допомогою трикутника Ферре́ є достатньо грубим, але дозволяє наносити на одне креслення дуже велику кількість аналізів.

Найчастіше гранулометричний склад ґрунту графічно зображують у вигляді ***інтегральних кривих***. Інтегральна крива - це графік, що відображає сумарний вміст фракцій, дрібніших за певний діаметр (рис. 1.5 та рис. 1.6). Форма кривих на цих графіках відображає всі особливості розподілу часток у ґрунті за розмірами, включаючи і його відсортованість. Нерівномірний (або рівномірний) вміст різних фракцій у ґрунті характеризується його неоднорідністю або відсортованістю.

Інтегральні криві можуть бути побудовані у звичайному масштабі (див. рис. 1.5) або в напівлогарифмічному масштабі (див. рис. 1.6), що дозволяє наносити вміст дрібних фракцій з

достатньою точністю, не подовжуючи криву по осі абсцис. Пологий характер інтегральних кривих свідчить про погану відсортованість ґрунту, а крутий нахил — про добру.

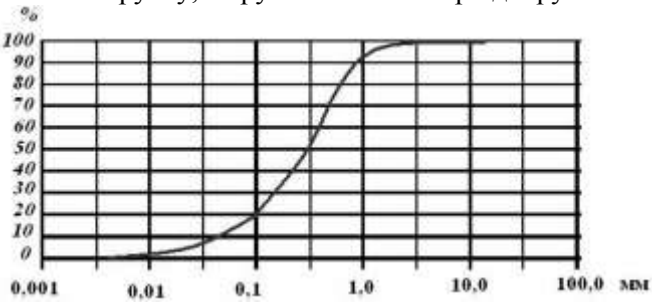



**Рис. 1.5. Інтегральна крива гранулометричного складу ґрунту у звичайному масштабі**

Для побудови сумарної кривої у напівлогарифмічному масштабі по осі абсцис відкладають не діаметри часток, а їхні логарифми або величини, пропорційні логарифмам. На початку координат ставлять не нуль, а, зазвичай, число 0,001. Потім, приймаючи 1g10 рівним довільному відрізку, відкладають цей відрізок у правий бік 3-4 рази. При цьому роблять позначки й ставлять проти них числа, що зростають на порядок - 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10 тощо.

Відстань між кожними 2 сусідніми мітками ділять на 9 частин, пропорційно логарифмам чисел від 2 до 9. У першому від початку координат інтервалі виділені відрізки будуть відповідати діаметрам часток від 0,002 до 0,009, у другому від 0,02 до 0,09, у третьому від 0,2 до 0,9 тощо. Зазначені відрізки відкладають по осі абсцис кожний від початку координат або позначки, що обмежує еталонний відрізок (звичайно, 4 см).

***Приклад:*** якщо прийняти lg 10 = 1 відповідним 4 см, тоді

lg 2 = 0,301 відповідним 0,301×4 = 1,20 см;
lg 3 = 0,477 відповідним 0,477×4 = 1,90 см;
lg 4 = 0,600 відповідним 0,600×4 = 2,40 см;
lg 5 = 0,700 відповідним 0,700×4 = 2,80 см;
lg 6 = 0,780 відповідним 0,780×4 = 3,12 см;
lg 7 = 0,850 відповідним 0,850×4 = 3,40 см;
lg 8 = 0,900 відповідним 0,900×4 = 3,60 см;
lg 9 = 0,950 відповідним 0,950×4 = 3,80 см.

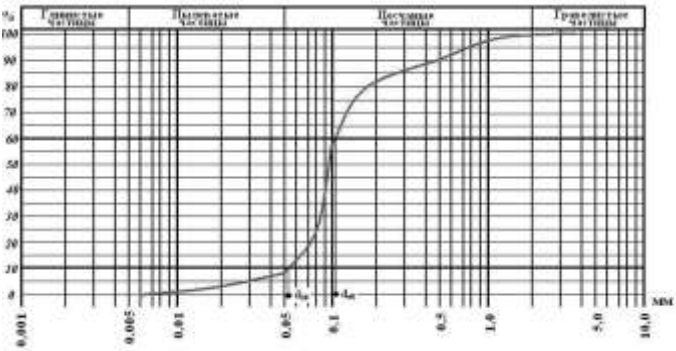



**Рис. 1.6. Інтегральна крива гранулометричного складу ґрунту у напівлогарифмічному масштабі**

При побудові кривої гранулометричного складу ґрунту по осі ординат відкладають у відсотках не вміст кожної окремої фракції, а сумарний вміст фракцій часток з діаметрами, меншими за якого-небудь числа. Для цього послідовно підсумовують вміст фракцій, починаючи із найдрібнішої (див. приклад у табл. 1.7).

Для характеристики неоднорідності ґрунту застосовується показник неоднорідності гранулометричного складу $C_u$ *(коефіцієнт неоднорідності, ступінь неоднорідності* або *коефіцієнт однорідності)*, що визначається за формулою А. Хазена:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \qquad (1.3)$$

де $d_{60}$ - діаметр часток, менше від якого в ґрунті міститься (за масою) 60% часток (*контролюючий діаметр)*; $d_{10}$ - діаметр часток, менше від якого в ґрунті міститься 10% часток (*діючий* або *ефективний діаметр*). Контролюючий та ефективний діаметри визначають на інтегральній кривій гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.6) при перетині її, відповідно, з лінією 10% ($d_{10}$) та 60% ($d_{60}$). З точки на осі ординат, яка відповідає 10% та 60%, проводять лінію паралельно осі абсцис до перетину із кривою. З отриманої на кривій точки опускають перпендикуляр на вісь абсцис. Розмір часток, що відповідає

точці перетину перпендикуляра з віссю абсцис, і буде, відповідно, контролюючим та ефективним діаметрами.

Для ґрунту, що складається із часток однієї фракції, $d_{10} = d_{60}$ і, отже, $C_u = 1$. Чим більшим є ступінь неоднорідності, тим неодноріднішим вважається ґрунт. При ступені неоднорідності, близькому до 1, ґрунт є ідеально однорідним. При $C_u \geq 3$ для пісків та $C_u \geq 5$ для глин, ґрунти вважаються неоднорідними. Можливі вигини й горизонтальні ділянки на інтегральних кривих свідчать про нерівномірний вміст або навіть відсутність яких-небудь фракцій у ґрунті. Чім крутішими виходять кумулятивні криві, тим більш однорідним є ґрунт. За допомогою інтегральних кривих гранулометричного складу ґрунтів легко підбирати або виготовляти суміші бажаного гранулометричного складу. Такі завдання виникають при зведенні насипних масивів, при будівництві гребель, доріг, використанні ґрунтів у якості будівельних матеріалів тощо.

Як вже говорилося раніше, технологія визначення гранулометричного складу ґрунтів в Україні й за рубежем практично однакова, розходження полягають лише у розмірах отворів сит, що застосовують для ситового аналізу, та інтерпретації отриманих результатів. Для класифікації великоуламкових, грубозернистих і піщаних ґрунтів за стандартами ASTM D 2487-2000 [40] проводиться розрахунок вмісту фракцій за граничними розмірами часток: 300; 76,2; 19; 4,75; 0,425 та 0,075 мм; для класифікації за стандартами ISO 14688-2:2004 [42] - 630; 200; 63; 20; 6,3; 0,63; 0,2 та 0,063 мм. Для переведення результатів аналізів, виконаних за закордонними стандартами, у ДСТУ Б В.2.1-19:2009 [24] проводиться розрахунок вмісту фракцій за граничними розмірами часток: 800; 400; 200; 100; 60; 40; 20; 10; 4; 0,5; 0,25; 0,1 та 0,05 мм. Крім розрахунку показника неоднорідності гранулометричного складу (або ступеня фракціонованості - «*uniformity coefficient*») $C_u$, у закордонних нормативних документах також розраховують коефіцієнт кривизни («*coefficient of curvature*») $C_c$, що характеризує форму кумулятивної кривої гранулометричного складу [40,42], для чого визначають параметри $d_{60}$, $d_{30}$ і $d_{10}$:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}}, \qquad (1.4)$$

Побудова кумулятивної кривої за даними лабораторних досліджень, проведених за різними стандартами, може бути досить неточною для одних і тих же ґрунтів. Для усунення розбіжностей в інтерпретації результатів, пов'язаних з розмірами отворів сит, що застосовувалися, технологіями підготовки проб та тривалістю осадження глинистих часток, у закордонних нормативних документах для приблизної оцінки рекомендується проводити інтерполяцію в логарифмічному (напівлогарифмічному) масштабі, подібно процедурі, розглянутій у стандарті ASTM D 2487-2000 для визначення $d_{60}$, $d_{30}$ і $d_{10}$ [40]. При перетворенні даних рекомендується не використовувати всі значення, а інтерполювати лише граничні значення, що були використані для визначення номенклатури ґрунту. Наприклад, при переведенні результатів із ДСТУ Б В.2.1-19:2009 в ASTM D 2487-2000 необхідний критерій 0,075 мм розраховують шляхом інтерполяції за даними вмісту часток > 0,05 мм, 0,05÷0,10, < 0,10 мм [40].

На основі результатів гранулометричного аналізу (з урахуванням способу підготовки) проводять класифікацію ґрунтів. При цьому використовуються гранулометричні класифікації двох типів: *загальні* й *часткові*. Загальні класифікації охоплюють всі або декілька гранулометричних типів ґрунтів, часткові класифікації розроблені стосовно якому-небудь одного типу ґрунту, наприклад, пісків, глин, лесів тощо.

Для номенклатурної класифікації структурних елементів і фракцій твердої компоненти дисперсних ґрунтів використовується загальна класифікація [17] (табл. 1.4), яка широко застосовується у сучасному ґрунтознавстві. При її розробці особлива увага була приділена обґрунтуванню меж вмісту глинистих, пилуватих, піщаних і гравійних часток, тому що з ними зв'язано виділення основних петрографічних типів осадових порід: глин, лесів, пісків, аргілітів, алевролітів, пісковиків та великоуламкових порід.

**Таблиця 1.4**

**Класифікація структурних елементів і фракцій твердої компоненти дисперсних ґрунтів**

| Елементи ґрунту | Фракції | Розмір фракцій, мм |
|---|---|---|
| Валуни (брили) | Крупні | > 800 |
| | Середні | 400–800 |
| | Дрібні | 200–400 |
| Галька (щебінь) | Крупні | 100–200 |
| | Середні | 60–100 |
| | Дрібні | 10–60 |
| Гравій (жорства) | Крупні | 5–10 |
| | Дрібні | 2–5 |
| Піщані частки | Грубі | 1–2 |
| | Крупні | 0,5–1 |
| | Середні | 0,25–0,5 |
| | Дрібні | 0,10–0,25 |
| | Тонкі | 0,05–0,10 |
| Пилуваті частки | Крупні | 0,01–0,05 |
| | Дрібні | 0,002–0,01 |
| Глинисті частки | --- | < 0,002 |

Для класифікації різних типів ґрунтів (від пісків до глин) у ґрунтознавстві також використовується загальна гранулометрична класифікація ґрунтів В.В. Охотіна (табл. 1.5), розроблена ще в 1933-1940 рр. стосовно до гранулометричного аналізу з підготовкою ґрунту кип’ятінням із додаванням аміаку. В її основу, у першу чергу, покладено облік вмісту в ґрунті глинистих часток (< 0,002 мм), оскільки саме вони в ряді випадків впливають на багато властивостей дисперсних ґрунтів.

У закордонних країнах застосовуються інші загальні класифікації дисперсних ґрунтів. Так, відповідно до загальної класифікації, прийнятої в наш час у США («*Public Road Administration*») та ряді країн Західної Європи, виділяється глиниста фракція розміром менш 0,002 мм, пилувата фракція («*silt*») розміром 0,02÷0,002 мм, тонкопіщана фракція 0,02÷0,1 мм, піщана 0,1÷2 мм та гравіювата фракція крупніше 2 мм. У цій класифікації мул або мулистий ґрунт («*silt*») виділяється не в

генетичному сенсі, а в літологічному й відповідає прийнятому в Україні пилуватому ґрунту.

**Таблиця 1.5**

**Класифікація дисперсних ґрунтів за гранулометричним (зерновим) складом (за В.В. Охотіним)**

| Ґрунт | Вміст часток (мм), % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **глинистих < 0,002** | **пилуватих 0,002 ÷ 0,05** | **піщаних 0,05 ÷2** | **гравіюватих > 2** |
| Глина важка | > 60 | не регламентується | | |
| Глина | 30 – 60 | --- | більше ніж пилуватих | менш 10 |
| Глина пилувата | 30 – 60 | більше ніж піщаних | --- | |
| Суглинок важкий | 20 – 30 | --- | більше ніж пилуватих | |
| Суглинок важкий пилуватий | 20 – 30 | більше ніж піщаних | --- | |
| Суглинок середній | 15 – 20 | --- | більше ніж пилуватих | |
| Суглинок середній пилуватий | 15 – 20 | більше ніж піщаних | --- | |
| Суглинок легкий | 10 – 15 | --- | більше ніж пилуватих | |
| Суглинок легкий пилуватий | 10 – 15 | більше ніж піщаних | --- | |
| Супісок важкий | 6 – 10 | --- | більше ніж пилуватих | |
| Супісок важкий пилуватий | 6 – 10 | більше ніж піщаних | --- | |
| Супісок легкий | 3 – 6 | --- | більше ніж пилуватих | |
| Супісок легкий пилуватий | 3 – 6 | більше ніж піщаних | --- | |
| Пісок | < 3 | --- | більше ніж пилуватих | |

На рисунку 1.7 наведено порівняльне співставлення розмірів гранулометричних фракцій, що визначають з метою

класифікації ґрунтів за стандартами ДСТУ Б В.2.1-19:2009, ГОСТ 251000-2011, ASTM D 2487-2000 та ISO 14688-2:2004 [14,24,40,42].

| Розмір фракцій мм | 800 | 630 | 40 | 300 | 200 | 100 | 76,2 | 6 | 0 | 0 | 2 | 19 | 10 | 6,3 | 4,75 | | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| ДСТУ Б В.2.1-2-96, ГОСТ 25100 | Валуни (брили) | | | Галька (щебінь) | | | Гравій (жорства) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | крупні | сере ні | дрібні | крупні | середні | дрібні | крупні | дрібні |

| ISO 14688-2 | Large boulders | Boulders | Cobbles | Carse g r vel | edium gravel | Fi e gravel |
|---|---|---|---|---|---|---|

| ASTM D 2487 | Boulders | Cobbles | Gravel | | Sand |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | coarse | fine | coarse |

| Розмір фракцій мм | 0,63 | 0,5 | 0,425 | 0,25 | 0, | 0,1 | 0,075 | 0,063 | 0,05 | 0,02 | 0,0063 | 0,005 | 0,002 | <0,002 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| ДСТУ Б В.2.1-2-96, ГОСТ 25100 | Пісок | | | | Пил | Глина |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | крупний | середній | дрібний | пилуватий | | |

| ISO 14688-2 | Sand | | | Silt | | | Clay |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | coarse | medium | fine | coarse | medium | fine | |

| ASTM D 2487 | Sand | | Silt | Clay |
|---|---|---|---|---|
| | medium | fine | | |

**Рис. 1.7. Порівняльне співставлення розмірів гранулометричних фракцій ґрунтів за стандартами ДСТУ Б В.2.1-19:2009, ГОСТ 25100-2011, ISO 14688-2:2004 та ASTM D 2487-2000**

Серед часткових класифікацій в Україні й країнах СНД широке розповсюдження отримала класифікація Н.А. Качинського для ґрунтів рослинного шару і глинистих ґрунтів, класифікація С.С. Морозова для пилуватих (зокрема лесових і лесоподібних) ґрунтів та класифікація Є.М. Сергєєва для

характеристики піщаних ґрунтів. Існують також класифікації гравіюватих ґрунтів Н.І. Іванова, великоуламкових ґрунтів А.І. Шеко, піщаних ґрунтів В.Д. Ломтадзе тощо.

Крім того, для класифікації великоуламкових і піщаних ґрунтів в інженерній геології використовується часткова класифікація ДСТУ Б В.2.1-2-96 [20], яка широко застосовується у будівельних організаціях (табл. 1.6).

**Таблиця 1.6.**

**Класифікація великоуламкових і піщаних ґрунтів (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96)**

| Різновид ґрунтів | Розмір часток d, мм | Вміст часток, % за масою |
|---|---|---|
| **Великоуламкові:** | | |
| валунний ґрунт (при переважній більшості неокатаних часток – бриловий) | > 200 | > 50 |
| галечниковий ґрунт (при переважній більшості неокатаних часток – щебеневий) | > 10 | > 50 |
| гравійний ґрунт (при переважній більшості неокатаних часток – жорств'яний) | > 2 | > 50 |
| **Піщані:** | | |
| пісок гравелистий | > 2 | > 25 |
| пісок крупний | > 0,50 | > 50 |
| пісок середньої крупності | > 0,25 | > 50 |
| пісок дрібний | > 0,10 | ≥ 75 |
| пісок пилуватий | > 0,10 | < 75 |
| **Примітка.** За наявності у великоуламкових ґрунтах піщаного заповнювача більше від 40% чи глинистого заповнювача більше від 30% від загальної маси повітряно-сухого ґрунту в найменування великоуламкового ґрунту додається найменування виду заповнювача та вказується характеристика його стану. Вид заповнювача встановлюється після видалення з великоуламкового ґрунту часток крупніше за 2 мм. | | |

**Лабораторна робота 1. Визначення гранулометричного (зернового) складу піщаних ґрунтів ситовим методом.**

*Ситовий методом* є основним для визначення гранулометричного складу піщаних ґрунтів. Цей метод дозволяє визначати вміст у ґрунті фракцій діаметром > 0,1 мм, не вимагає застосування складної апаратури, простий для використання й дає досить точні результати.

Ситовий метод може бути використаний для аналізу чистих пісків, а також пісків з домішкою гравію й гальки (гравелистих пісків) та гравійно-піщаних ґрунтів.

Лабораторні дослідження гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу ґрунтів виконують *відповідно до методики, наведеної в ДСТУ Б В.2.1-19:2009* [24].

**Мета роботи:** визначення гранулометричного (зернового) складу ґрунту ситовим методом без промивання водою (для чистих пісків) та з промиванням водою (для глинистих пісків).

**Засоби випробування та матеріали** (рис. 1.8): набір стандартних сит (розміри отворів 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм) з піддоном і кришкою; лоток для ґрунту; чашка порцелянова (згідно ГОСТ 9147-80 [4]) для зважування фракцій; ваги лабораторні

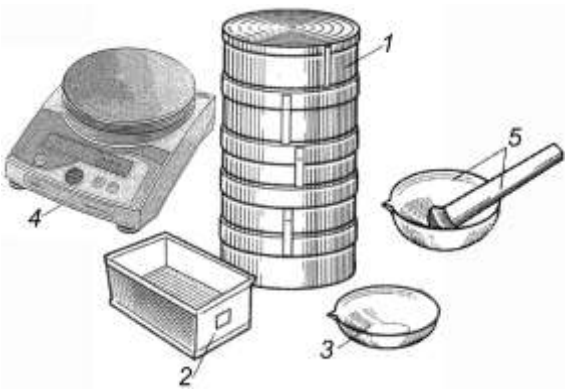



**Рис. 1.8. Обладнання, необхідне для визначення гранулометричного складу ситовим методом:**
*1* – набір сит; *2* – лоток; *3* - чашка порцелянова;
*4* - лабораторні ваги; *5* - порцелянова ступка й товкачик

технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); порцелянова ступка й товкачик із гумовим наконечником (згідно ГОСТ 9147-80 [4]); пензлик для змітання часток із сит; ґрунтовий ніж із прямим лезом; аркуш білого щільного паперу розміром 25×25 см; сушильна шафа.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування.***

1) Перед початком виконання роботи зразок ґрунту доводять до повітряно-сухого стану. Грудки ґрунту розтирають гумовим товкачиком у порцеляновій ступці. Середню пробу для аналізу відбирають методом квартування (рис. 1.9).

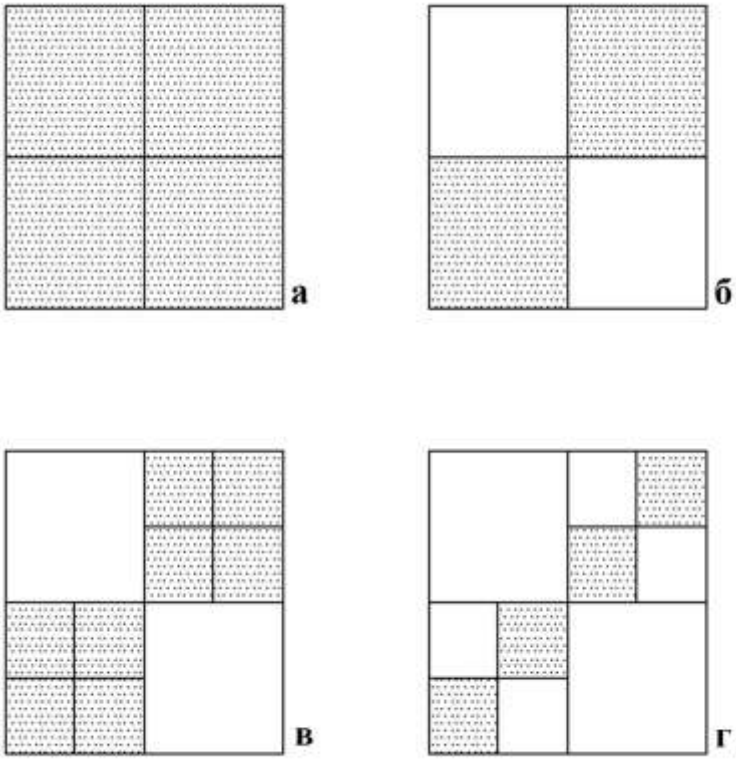



**Рис. 1.9. Відбір середньої проби ґрунту для гранулометричного аналізу методом квартування**

Для цього ґрунт, вагою приблизно 4-8 середніх наважок, ретельно перемішують, потім шпателем або лінійкою розподіляють по аркушу щільного паперу тонким рівним шаром товщиною у кілька міліметрів та двома взаємно перпендикулярними лініями розділяють на 4 рівні частини (квадрати) (див. рис. 1.9, а). Два протилежних (за діагоналлю) квадрати залишають як скорочену пробу, а два інших видаляють з аркуша паперу за допомогою шпателя (див. рис. 1.9, б). Кожний із квадратів, що залишилися, двома взаємно перпендикулярними лініями розділяють на 4 рівні частини (див. рис. 1.9, в). Залишають по 2 протилежних квадрати, а 2 інших видаляють (рис. 1.9, г). Такий розподіл проби (квартування) продовжують доти, поки на аркуші паперу не залишиться проба ґрунту необхідної ваги.

*Вага середньої проби повинна становити*: для ґрунтів, що не містять часток розміром більше, ніж 2 мм - 100 г; для ґрунтів, що містять до 10% (за вагою) часток розміром більше ніж 2 мм - не менше ніж 500 г; для ґрунтів, що містять від 10% до 30% часток розміром більше ніж 2 мм - 1000 г; для ґрунтів, що містять понад 30% часток розміром більше ніж 2 мм - не менше ніж 2000 г.

2) Для розподілу ґрунту на фракції ситовим методом без промивання водою застосовують сита з розміром отворів: 10; 5; 2; 1; 0,5 мм; із промиванням водою - сита з розміром отворів: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

***2. Поділ ґрунту на фракції без промивання водою.***

1) Середню пробу ґрунту відбирають у повітряно-сухому стані методом квартування і зважують на технічних вагах з точністю до 0,01 г.

2) Сита монтують у стовпчик, розміщуючи їх від піддона в порядку збільшення розміру отворів. Пробу ґрунту висипають у верхнє сито й закривають кришкою.

3) Просіювання здійснюють ручним способом за допомогою легких бічних ударів не менше, ніж 15 хвилин, а механізованим способом не менше, ніж 10 хвилин. При просіюванні проби

вагою більше ніж 1000 г, ґрунт висипають у верхнє сито за два прийоми.

5) Фракції ґрунту, що затрималися на ситах, висипають, починаючи з верхнього сита, у ступку та додатково розтирають товкачиком із гумовим наконечником, після чого знову просіюють на цих же ситах.

6) Повноту просівання фракцій ґрунту перевіряють струшуванням кожного сита над аркушем паперу. Якщо при цьому на аркуш випадають частки, то їх висипають на наступне сито; просіювання продовжують доти, поки на папір перестануть випадати частки.

7) Фракції ґрунту, що затрималися після просівання на кожному ситі та які пройшли у піддон, переносять у заздалегідь зважені порцелянові чашечки й зважують з точністю до 0,1 г.

8) Складають вагу всіх фракцій ґрунту. Якщо отримана сума ваги всіх фракцій ґрунту перевищує більше, ніж на 1% вагу взятої для аналізу проби, то аналіз слід повторити. Втрату ґрунту при просіюванні розносять по фракціях пропорційно до їхньої ваги.

***3. Поділ ґрунту на фракції із промивання водою.***

1) Відбирають середню пробу ґрунту, яку потім висипають у заздалегідь зважену порцелянову чашку, змочують водою та розтирають товкачиком із гумовим наконечником.

2) Пробу ґрунту поміщають у спеціальну посудину для відмулювання, заливають водою так, щоб висота шару води над зернами ґрунту була близько 270 мм. Вміст посудини енергійно перемішують (каламутять) та дають суспензії відстоятися 10-15 секунд. Зливають воду з неосілими частками ($d < 0,05$ мм) крізь сито з отворами розміром 0,1 мм.

3) Каламучення та зливання повторюють до повного освітлення води над осадом - змивають частки, що залишилися на ситі, за допомогою гумової груші в порцелянову чашку, а відстояну воду зливають.

4) Промиту пробу ґрунту висушують до повітряно-сухого стану та зважують чашку із ґрунтом.

5) Вагу часток ґрунту розміром менше ніж 0,1 мм визначають як різницю між вагою середньої проби, взятої для аналізу, і вагою висушеної проби ґрунту після промивання.

6) Ґрунт просівають крізь набір сит. Повноту просівання фракцій ґрунту крізь кожне сито перевіряють над аркушем паперу.

7) Кожну фракцію ґрунту, що затрималася на ситах, зважують окремо з точністю до 0,01 г. Втрату ґрунту при просіванні розносять по фракціях пропорційно до їхньої ваги.

***4. Обробка результатів випробування.***

1) Вміст у ґрунті кожної фракції *A* у відсотках обчислюють за формулою:

$$A = \frac{g_i}{g} \times 100, \qquad (1.5)$$

де $g_i$ – вага даної фракції ґрунту, г; $g$ – вага середньої проби ґрунту, взятої для аналізу, г.

2) Результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 1.7), де вказують відсотковий вміст у ґрунті фракцій:

- розміром більше ніж 10 мм; від 10 мм до 5 мм; від 5 мм до 2 мм; від 2 мм до 1 мм; від 1 мм до 0,5 мм і менше ніж 0,5 мм - *при розділенні ґрунту без промивання водою*;
- розміром більше ніж 10 мм; від 10 мм до 5 мм; від 5 мм до 2 мм; від 2 мм до 1 мм; від 1 мм до 0,5 мм; від 0,5 мм до 0,25 мм; від 0,25 мм до 0,1 мм і менше ніж 0,1 мм - *при розподілі ґрунту із промиванням водою*.

Результати обчислення гранулометричного складу ґрунтів мають визначатися з похибкою до 0,1% та обов’язково супроводжуватися вказівкою про метод визначення (див. приклад табл. 1.7).

3) За даними результатів обчислення гранулометричного складу ґрунту необхідно:

- побудувати циклограму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.3);
- побудувати трикутну діаграму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.4);

- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у звичайному масштабі (див. рис. 1.5);
- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у напівлогарифмічному масштабі (див. рис. 1.6);
- для характеристики неоднорідності ґрунту розрахувати показник неоднорідності гранулометричного складу $C_u$ (див. формулу 1.3).

***5. Підсумки.***

На основі результатів гранулометричного аналізу (з урахуванням способу підготовки) необхідно зробити висновки про ступінь неоднорідності ґрунту та виконати класифікацію ґрунтів (див. табл. 1.6).

**Таблиця 1.7**

**Журнал лабораторного визначення гранулометричного (зернового) складу ґрунту ситовим аналізом**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Вага зразка, г _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| Показники | Ситовий аналіз без промивання водою | | | | | Ситовий аналіз із промиванням водою | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Фракції ґрунту, мм | | | | | | | |
| | > 10 | від 10 до 5 | від 5 до 2 | від 2 до 1 | від 1 до 0,5 | від 0,5 до 0,25 | від 0,25 до 0,1 | < 0,1 |
| Номер тари (порцелянової чашки) | | | | | | | | |
| Вага тари, г | 30,1 | 30,5 | 31,0 | 30,5 | 31,4 | 30,0 | 31,7 | 31,0 |
| Вага тари з ґрунтом, г | 35,6 | 45,5 | 51,0 | 75,5 | 81,8 | 114 | 286,7 | 56,0 |
| Вага фракції ґрунту, г | 5,5 | 15,0 | 20,0 | 45,0 | 50,4 | 84,0 | 255,0 | 25,0 |
| Вміст фракції, % | 1 | 3 | 4 | 9 | 10 | 17 | 51 | 5 |
| % за сукупністю фракцій | 100 | 99 | 96 | 92 | 83 | 73 | 56 | 5 |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

**Лабораторна робота 2. Визначення гранулометричного (зернового) складу глинистих ґрунтів ареометричним методом.**

*Ареометричний метод* застосовується для визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів. Метод заснований на використанні різної швидкості осадження у воді різних за розмірами часток ґрунту й дозволяє визначати вміст у ґрунті фракцій діаметром < 0,25 мм.

Вперше ареометричний метод було запропоновано Г.Д. Буйюкосом (1927) та застосовано на практиці А. Казагранде (1934).

Будова ареометра (рис. 1.10) заснована *на законі Архімеда - усяке занурене у рідину тіло втрачає у своїй вазі стільки, скільки важить витиснена ним рідина*. Таким чином, у легку рідину тіло буде занурене на більшу глибину, у важку - на меншу.

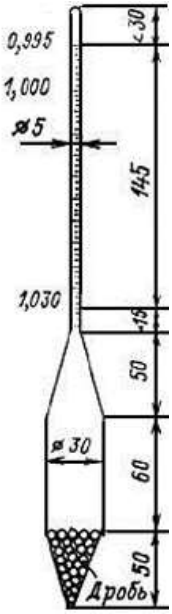



**Рис. 1.10. Ґрунтовий ареометр АГ 0,995-1-1,030 кг/м$^3$**

Отже, чим більшою є концентрація суспензії, тим більшою буде її густина і тем меншою глибина, на яку буде поринати у неї ареометр. При відстоюванні суспензії частки ґрунту, підкоряючись закону сили тяжіння, випадають на дно мірного циліндра, і густина суспензії зменшується. Відповідно ареометр в міру випадання часток поступово занурюється у суспензію все глибше й глибше.

Ареометричний метод є основним при гранулометричному аналізі дисперсних ґрунтів.

**Мета роботи:** визначити вміст у ґрунті різних фракцій з розмірами часток < 0,1 мм.

Визначення гранулометричного (зернового) складу глинистих ґрунтів ареометричний методом проводять *відповідно до ДСТУ Б В.2.1-19:2009* [24] шляхом виміру густини суспензії ареометром у процесі її відстоювання при постійних характеристиках матеріалу часток і середовища та швидкості падіння часток, пропорційних квадрату їхніх радіусів (діаметрів).

В міру випадіння часток різного розміру до осаду зменшується густина суспензії ґрунту. Вимірюючи цю густину через певні проміжки часу ареометром, можна встановити вміст у суспензії (ґрунті) різних за розмірами фракцій.

**Засоби випробування та матеріали (рис. 1.11):** ареометр зі шкалою 0,995-1-1,030 та ціною поділки шкали тиску 0,001 (див. рис. 1.10); секундомір; набір сит з розміром отворів: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм; колба конічна плоскодонна ємністю 750-1000 см$^3$; мірний літровий циліндр із внутрішнім діаметром 60±2 мм; лійки скляні діаметром від 4 до 5 см та висотою 14 см (згідно ГОСТ 25336-82 [5]); мішалка; чашки порцелянові (згідно ГОСТ 9147-80 [4]) для зважування фракцій; промивалка; скляні стаканчики (згідно з ГОСТ 25336-82 [5]); порцелянова ступка й товкачик із гумовим наконечником (згідно ГОСТ 9147-80 [4]); ваги лабораторні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); термометр із похибкою до 0,5$^o$С (згідно ГОСТ 28498-90 [13]); піщана баня; піпетка на 25 мл; 4% або 6,7% пірофосфорнокислий натрій (згідно ГОСТ 342-77 [7]); 25% розчин аміаку (згідно ГОСТ 3760-79 [2]); ніж; сушильна шафа.

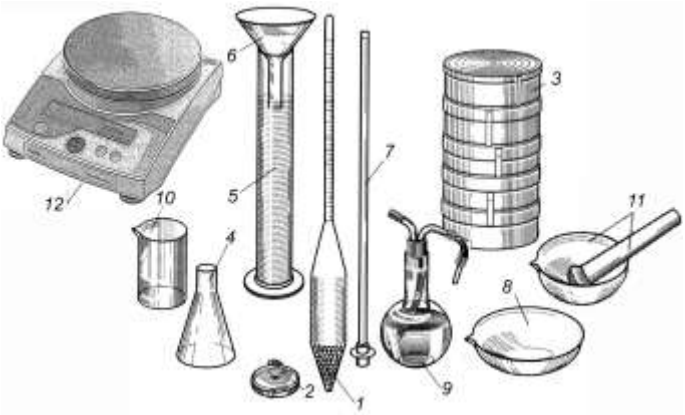



**Рис. 1.11. Обладнання, необхідне для визначення гранулометричного складу аерометричним методом:**
*1* – ареометр; *2* – секундомір; *3* – набір сит; *4* – конічна колба; *5* – мірний циліндр; *6* – лійка скляна; *7* – мішалка; *8* - чашка порцелянова; *9* – промивалка; *10* – скляний стаканчик; *11* - порцелянова ступка й товкачик; *12* - лабораторні ваги

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування.***

1) Перед початком виконання роботи зразок ґрунту доводять до повітряно-сухого стану. Грудки ґрунту розтирають товкачиком із гумовим наконечником у порцеляновій ступці. Методом квартування відбирають середню пробу ґрунту вагою 200 г.

***2. Визначення гігроскопічної (або природної) вологості та щільності часток ґрунту.***

1) Одночасно із відбором середньої проби для визначення гранулометричного складу відбирають проби ґрунту для визначення гігроскопічної вологості $W_g$ (або природної вологості $W$) і щільності часток $\rho_s$ вагою не менше ніж 15 г кожна.

Визначення гігроскопічної вологості $W_g$, що відповідає вологості ґрунту в повітряно-сухому стані, розглядається далі в лабораторній роботі 8. Визначення природної вологості $W$

розглядається далі в лабораторній роботі 7. Визначення щільності часток ґрунту $\rho_s$ розглядається далі в лабораторній роботі 12.

***3. Визначення вмісту часток крупніших від 1 мм.***

1) Пробу ґрунту вагою 200 г у повітряно-сухому стані просіюють крізь набір сит із розміром отворів 10; 5; 2; 1 мм. Зважують фракції ґрунту, що затрималися на ситах і пройшли у піддон. Якщо в пробі немає великих часток, просіювання крізь сита з розмірами отворів 2 мм та більше не роблять.

Результати реєструють у журналі (таблиця 1.8).

**Таблиця 1.8**

**Журнал лабораторного визначення ваги фракцій ґрунту від 10,0 до 1 мм**

| **Показники** | **Розмір часток, мм** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **> 5** | **5-2** | **2-1** | **< 1** |
| **Номер тари (порцелянової чашки)** | | | | |
| **Вага тари, г** | | | | |
| **Вага тари з ґрунтом, г** | | | | |
| **Вага фракції ґрунту, г** | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $g_n$ |
| **Відсотковий вміст фракції, %** | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_n$ |

2) Відсотковий вміст фракцій ґрунту $A_i$ більше, ніж 5 мм, від 5 мм до 2 мм, від 2 мм до 1 мм обчислюють за формулою 1.6, при цьому вагу середньої проби ґрунту $g_0$ визначають із поправкою на гігроскопічну вологість при випробуванні повітряно-сухих зразків або природну вологість при випробуванні вологих зразків (формула 1.7):

$$A_i = \frac{g_i}{g_0} \times 100, \qquad (1.6)$$

де $g_i$ – вага даної фракції ґрунту, г; $g_0$ – вага середньої проби ґрунту, із поправкою на гігроскопічну або природну вологість, г.

$$g_0 = \frac{g_w}{1 + 0{,}01 \times W_g}, \qquad (1.7)$$

де $g_0$ – вага абсолютно сухої середньої проби ґрунту, г; $g_w$ - вага середньої проби ґрунту в повітряно-сухому стані (або при

природній вологості), г; $W_g$ – вологість гігроскопічна (або природна), %.

3) За даними таблиці 1.8 шляхом підсумовування результатів 3-х стовпчиків останнього рядка визначають сумарний відсотковий вміст у ґрунті фракцій розміром, більшим за 1 мм $A_k$:

$$A_k = A_1 + A_2 + A_3, \qquad (1.8)$$

***4. Випробування суспензії ґрунту на коагуляцію.***

Методом квартування відбирають пробу ґрунту вагою близько 2 г, розтирають її товкачиком із гумовим наконечником з дистильованою водою об'ємом 4-6 см$^3$ у порцеляновій чашці. Після чого у чашку доливають ще 14-16 см$^3$дистильованої води. Суспензію у чашці кип'ятять протягом 5-10 хвилин. Потім суспензію виливають у пробірку (або мірний циліндр) ємністю від 100 см$^3$ до 150 см$^3$, в яку доливають дистильовану воду в такій кількості, щоб загальний об'єм суспензії у пробірці дорівнював близько 100 см$^3$ для глин, 70 см$^3$ - для суглинків та 50 см$^3$ - для супісків.

Потім суспензію збовтують й витримують у спокої протягом доби. Якщо осад, що випав за цей час на дно пробірки, має пухку, пластівчасту структуру, а рідина над осадом прозора, то це вказує на те, що відбулася коагуляція суспензії.

При поділі на фракції проби ґрунту, суспензія якого при випробуванні на коагуляцію не коагулює, для промивання, змивання осаду і розведення суспензії обов'язково повинна застосовуватися дистильована вода з додаванням 25% розчину аміаку (на 1 л води 0,5 см$^3$ аміаку).

***5. Ареометричний аналіз.***

***5.1. Підготовка до аналізу.***

1) Відбирають методом квартування середню пробу із ґрунту, що пройшов крізь сито з розміром отворів 1 мм, у заздалегідь зважену порцелянову чашку та зважують її.

Вага середньої проби має бути для глин близько 20 г, для суглинків - близько 30 г, для супісків - близько 40 г.

2) Підготовка ґрунту до аналізу залежить від здатності його суспензії до коагуляції.

*3) Для ґрунту, в якого суспензія не коагулює, підготовка до аналізу полягає у наступному:*

- середню пробу ґрунту переносять у колбу ємністю 750-1000 $см^3$, при цьому залишок проби у чашці змивають струменем води у колбу за допомогою промивалки;
- колбу доливають водою, щоб загальна її кількість у 10 разів перевищила вагу середньої проби ґрунту (для промивання, змивання й розведення суспензії застосовують дистильовану воду з додаванням на 1 л 0,5 $см^3$ 25% розчину аміаку);
- ґрунт, залитий водою, витримують протягом однієї доби;
- після добової витримки у колбу додають 1 $см^3$ 25% розчину аміаку, закривають колбу пробкою зі зворотним холодильником або лійкою діаметром 4-5 см та кип'ятять суспензію протягом 1 години (кип'ятіння не повинно бути бурхливим). Після кип'ятіння необхідно остудити суспензію до кімнатної температури;
- охолоджену суспензію зливають у скляний циліндр ємністю 1 л крізь сито із розміром отворів 0,1 мм, вставлене у лійку діаметром 14 см; при цьому частки ґрунту, що залишилися на внутрішній поверхні колби, змиваються водою з промивалки;
- об'єм суспензії у мірному циліндрі доводить до 1 л.

*4) Для ґрунту, в якого суспензія коагулює, підготовка до аналізу полягає у наступному:*

- середня проба ґрунту переноситься у колбу, куди додається дистильована вода;
- завісь збовтують й зливають відразу в скляний циліндр ємністю 1 л крізь сито з розміром отворів 0,1 мм, поміщене у лійку діаметром 14 см;
- частки ґрунту, що затрималися на ситі, змивають струменем води у порцелянову чашку, де їх ретельно розтирають товкачиком із гумовим наконечником;
- завісь із чашки зливають через сито з розміром отворів 0,1 мм, поміщене у лійку діаметром 14 см, у циліндр (розтирання осаду в чашці та зливання зависі триває до повного освітлення води над частками, що залишилися на дні чашки);

- частки ґрунту, що затрималися на ситі, додають до часток, які залишилися на дні порцелянової чашки, переносять їх у заздалегідь зважений порцеляновий тигель, випарюють на піщаній бані та висушують у сушильній шафі до постійної ваги;
- висушені до постійної ваги частки ґрунту просіюють крізь сита з розміром отворів 0,5; 0,25 та 0,1 мм.

5) Частки ґрунту, що пройшли крізь сито з розміром отворів 0,1 мм, переносять у циліндр із суспензією.

Фракції ґрунту, що затрималися на ситах, зважують.

Суспензію у мірному циліндрі доводять до об'єму 1 л.

При аналізі ґрунту, суспензія якого при випробуванні на коагуляцію коагулює, перед доливанням води у циліндр додають у нього 25 см$^3$ 4% або 6,7% пірофосфорнокислого натрію (4% - із розрахунку на безводний пірофосфорнокислий натрій ($Na_4P_2O_7$) та 6,7% - із розрахунку на водний пірофосфорнокислий натрій ($Na_4P_2O_7 \times 10H_2O$)).

***5.2. Проведення аналізу.***

1) Суспензію у циліндрі ретельно перемішують мішалкою протягом 1 хвилини до повного зникнення осаду на дні. Момент закінчення збовтування суспензії фіксують за допомогою секундоміра.

2) Час взяття відліку за ареометром після закінчення перемішування суспензії визначають за таблицею 1.9.

**Таблиця 1.9**

**Визначення часу вимірювання густини суспензії ґрунту**

| **Діаметр (мм) фракції зерен ґрунту** | **Час від закінчення збовтування суспензії до вимірювання густини, хв.** |
|---|---|
| 0,05 | 1 |
| 0,01 | 30 |
| 0,005 | 180 |
| ПРИМІТКА. *Для зручності роботи з ареометром слід брати спрощені відліки, тобто у відліку густини суспензії на шкалі ареометра необхідно відкинути одиницю й перенести кому на три знаки вправо – у цьому випадку тисячні ділення будуть представляти собою цілі числа, а десяткові, що беруть довільно, - десяткові числа.* | |

За 10-12 секунд до вимірювання густини суспензії у неї обережно опускають ареометр, що має вільно плавати, не торкаючись стінок циліндра. Потім береться відлік за ареометром *R*. Тривалість взяття відліку за ареометром не повинна перевищувати 5-7 секунд.

3) Контроль температури суспензії здійснюють шляхом вимірювання температури з похибкою до 0,5°С упродовж перших 5 хвилин (до початку випробування) та потім після кожного виміру густини суспензії ареометром. За температури, що відрізняється від +20°С, до відкликів, що знімають з ареометра, вносять температурну поправку $R_t$, що визначається за таблицею 1.10.

**Таблиця 1.10**

**Температурні поправки до відкликів, що знімають з ареометра**

| Температура суспензії, °С | Поправка до відліку за ареометром, $R_t$ | Температура суспензії, °С | Поправка до відліку за ареометром, $R_t$ | Температура суспензії, °С | Поправка до відліку за ареометром, $R_t$ | Температура суспензії, °С | Поправка до відліку за ареометром, $R_t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10,0 | -1,2 | 15,5 | -0,7 | 21,0 | +0,2 | 26,5 | +1,4 |
| 10,5 | -1,2 | 16,0 | -0,6 | 21,5 | +0,3 | 27,0 | +1,5 |
| 11,0 | -1,2 | 16,5 | -0,6 | 22,0 | +0,4 | 27,5 | +1,6 |
| 11,5 | -1,1 | 17,0 | -0,5 | 22,5 | +0,5 | 28,0 | +1,8 |
| 12,0 | -1,1 | 17,5 | -0,4 | 23,0 | +0,6 | 28,5 | +1,9 |
| 12,5 | -1,0 | 18,0 | -0,3 | 23,5 | +0,7 | 29,0 | +2,1 |
| 13,0 | -1,0 | 18,5 | -0,3 | 24,0 | +0,8 | 29,5 | +2,2 |
| 13,5 | -0,9 | 19,0 | -0,2 | 24,5 | +0,9 | 30,0 | +2,3 |
| 14,0 | -0,9 | 19,5 | -0,1 | 25,0 | +1,0 | | |
| 14,5 | -0,8 | 20,0 | 0,0 | 25,5 | +1,1 | | |
| 15,0 | -0,8 | 20,5 | +0,1 | 26,0 | +1,3 | | |

4) До відліків густини суспензії за ареометром *R* вносять поправки на нульове показання ареометра, висоту меніска й диспергатор.

*Для визначення поправки на нульове показання ареометра* $R_0$ його опускають у мірний циліндр із дистильованою водою, що

має температуру 20°С, та роблять відлік густини води. Отриманий відлік приймають за одиницю густини. Різниця між прийнятою одиницею та заміряним відліком за ареометром й дорівнює поправці, що вводять у розрахунок. Поправку додають до кожного відліку за шкалою ареометра, якщо ареометр при перевірці показує менше ніж 1,000, та віднімають, якщо ареометр показує більше ніж 1,000.

*Поправку на висоту меніска* $R_m$ вводять у розрахунок, якщо ареометр градуйований на заводі по нижньому краю меніска. Для цього ареометр опускають у циліндр із дистильованою водою, що має температуру 20°С. Роблять відліки по нижньому й верхньому краях меніска. Різниця між заміряними відліками й буде поправкою на висоту меніска. Поправки додають до кожного відліку за шкалою ареометра при вимірах густини суспензії. Якщо ареометр градуйований по верхньому краю меніска, то поправка взагалі не потрібна.

*Для визначення поправки на диспергатор* $R_d$ ареометр опускають у мірний циліндр, в який налито 950 см$^3$ дистильованої води, що має температуру 20°С, та роблять відлік по верхньому краю меніска. Потім додають у циліндр диспергуючу речовину та доливають у циліндр воду до 1 л. Отриману суміш збовтують, вдруге опускають до неї ареометр і роблять відлік по верхньому краю меніска. Різниця між другим і першим відліком і є поправкою на диспергатор. Поправку віднімають від кожного відліку за шкалою ареометра при вимірах густини суспензії.

***6. Обробка результатів випробування.***

1) Для ґрунту, в якого суспензія коагулює, *визначають відсотковий вміст фракцій* $A_i$ *розміром більше, ніж 0,5 мм; 0,25 мм та 0,1 мм,* якій обчислюють за формулою:

$$A_i = \frac{g_i}{g_0} \times (100 - A_k), \qquad (1.9)$$

де $g_i$ – вага даної фракції ґрунту, висушеної до постійної ваги, г; $g_0$ – вага середньої проби ґрунту, із поправкою на гігроскопічну або природну вологість, взятої для ареометра

(див. формулу 1.7), г; $A_k$ - сумарний відсотковий вміст у ґрунті фракцій розміром більше, ніж 1 мм, %.

Результати реєструють у журналі (таблиця 1.11).

**Таблиця 1.11**

**Журнал лабораторного визначення ваги фракцій ґрунту від 1,0 до 0,1 мм**

| Показники | Розмір часток, мм | | |
|---|---|---|---|
| | 1÷0,5 | 0,5÷0,25 | 0,25÷0,1 |
| **Номер проби** | **1** | **2** | **3** |
| **Номер тари (порцелянової чашки)** | | | |
| **Вага тари, г** | | | |
| **Вага тари з фракцією ґрунту, висушеної до постійної ваги, г** | | | |
| **Вага фракції ґрунту, висушеної до постійної ваги, г** | $g_4$ | $g_5$ | $g_6$ |
| **Відсотковий вміст фракції ґрунту, %** | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ |

2) За даними кожного вимірювання ареометром обчислюють сумарний вміст фракцій ґрунту $A_{Ci}$ у відсотках за формулою:

$$A_{C_i} = \frac{\rho_s \times R_p}{(\rho_s - \rho_w) \times g_0} \times (100 - A_k), \quad (1.10)$$

де $\rho_s$ – щільність часток ґрунту, г/см$^3$; $\rho_w$ – густина води, г/см$^3$; $g_0$ – вага середньої проби ґрунту, із поправкою на гігроскопічну $W_g$ або природну вологість $W$, взятої для ареометра (див. формулу 1.7), г; $R_p$ – відліки за ареометром з поправками на нульове показання ареометра $R_0$, висоту меніска $R_m$ та диспергатор $R_d$; $A_k$ - сумарний відсотковий вміст у ґрунті фракцій розміром більше ніж 1 мм, %.

Результати реєструють у журналі (таблиця 1.12).

3) Визначивши сумарний відсотковий вміст фракцій ґрунту за допомогою вимірювання ареометром, обчислюють відсотковий вміст кожної фракції ґрунту послідовним відніманням від більшої величини меншої.

*Відсотковий вміст фракції від 0,1 мм до 0,05 мм* ($A_{10}$) знаходять як різницю - із 100% віднімають суму всіх фракцій, визначених за допомогою ареометра й ситовим методом (див. табл. 1.8, табл. 1.11 та табл. 1.12):

$$A_{10} = 100 - (A_k + A_4 + A_5 + A_6 + A_7), \qquad (1.11)$$

*Відсотковий вміст фракції від 0,05 мм до 0,01 мм* ($A_{11}$) знаходять як різницю (див. табл. 1.10):

$$A_{11} = A_7 - A_8, \qquad (1.12)$$

*Відсотковий вміст фракції від 0,01 мм до 0,005 мм* ($A_{12}$) знаходять як різницю (див. табл. 1.10):

$$A_{12} = A_8 - A_9, \qquad (1.13)$$

**Таблиця 1.12**

**Журнал лабораторного визначення ваги фракцій ґрунту > 0,05 мм; 0,01 мм та 0,005 мм**

| **Спосіб диспергації – кип'ятіння з $NH_4OH$** | | | | | | | **Поправка на диспергатор $R_d$** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Поправка на нульове показання ареометра $R_0$** | | | | | | | **Вага середньої проби ґрунту, із поправкою $W_g$ або $W$** | |
| **Результати аерометричного аналізу** | | | | | | | **Результати гранулометричного аналізу** | |
| **Час взяття відліку** | **Час відстоювання суспензії від початку досліду** | **Спрощені відліки за ареометром (R-1)×1000** | **Температура суспензії °С** | **Поправка на температуру $R_t$** | **Відлік за ареометром з поправками $R_p$** | **Вміст фракцій ґрунту $A_G$, %** | **Вміст фракцій, мм** | **Вміст фракцій %** |
| | **1 хв.** | | | | | | **> 0,05** | $A_7$ |
| | **30 хв.** | | | | | | **> 0,01** | $A_8$ |
| | **180 хв.** | | | | | | **> 0,005** | $A_9$ |

4) Підсумкові результати випробування реєструють у журналі (таблиця 1.13), в якому вказують відсотковий вміст у ґрунті фракцій розміром > 5 мм; від 5 мм до 2 мм; від 2 мм до 1 мм; від 1 мм до 0,5 мм; від 0,5 мм до 0,25 мм; від 0,25 мм до 0,1 мм; від 0,1 мм до 0,05 мм; від 0,05мм до 0,01 мм; від 0,01 мм до 0,005 мм та < 0,005 мм, а також спосіб підготовки ґрунту до випробування.

Результати випробування супроводжують вказівкою про відсотковий вміст гігроскопічної (або природної) вологості та хімічної речовини, що була застосована для стабілізації суспензії.

**Таблиця 1.13**

**Журнал лабораторного визначення гранулометричного (зернового) складу ґрунту аерометричним аналізом**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Вага зразка, г _____**
**№ виробки та глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **АЕРОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Спосіб підготовки проби ґрунту до випробування: кип'ятіння з $NH_4OH$** | | | | | | | | | | |
| **Вміст хімічної речовини, що була застосована для стабілізації суспензії: 25%** | | | | | | | | | | |
| **Щільність часток ґрунту $\rho_s$: ___ г/см$^3$** | | | | | | | | | | |
| **Гігроскопічна $W_g$ (або природна вологість $W$) проби ґрунту: __ %** | | | | | | | | | | |
| **Вміст фракцій ґрунту (%) розміром, мм** | | | | | | | | | | **Σ** |
| **гравійної** | | **піщаної** | | | | | **пилуватої** | | **глинистої** | |
| **> 5** | **5 – 2** | **2 – 1** | **1 – 0,5** | **0,5 – 0,25** | **0,25 – 0,1** | **0,1 – 0,05** | **0,05 – 0,01** | **0,01 – 0,005** | **< 0,005** | |
| $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_9$ | **100** |
| | | | | | | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

5) За даними результатів обчислення гранулометричного складу ґрунту необхідно:

- побудувати циклограму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.3);
- побудувати трикутну діаграму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.4);
- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у звичайному масштабі (див. рис. 1.5);

- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у напівлогарифмічному масштабі (див. рис. 1.6);
- для характеристики неоднорідності ґрунту розрахувати показник неоднорідності гранулометричного складу $C_u$ (див. формулу 1.3).

***7. Підсумки.***

На основі результатів гранулометричного аналізу необхідно зробити висновки про ступінь неоднорідності ґрунту та виконати класифікацію ґрунтів (див. табл. 1.5 та табл. 1.6).

**Лабораторна робота 3. Визначення гранулометричного (зернового) складу глинистих ґрунтів піпеточним методом.**

*Методика піпеточного аналізу* була вперше запропонована у 1912 році В.Г. Глушковим. В Україні та країнах СНД піпеточний метод застосовується у варіанті М.А. Качинського.

*Піпеточний метод* використовують для визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів у комбінації із ситовим. Цей метод заснований на поділі часток ґрунту за швидкістю їхнього падіння у спокійній воді (рис. 1.12).

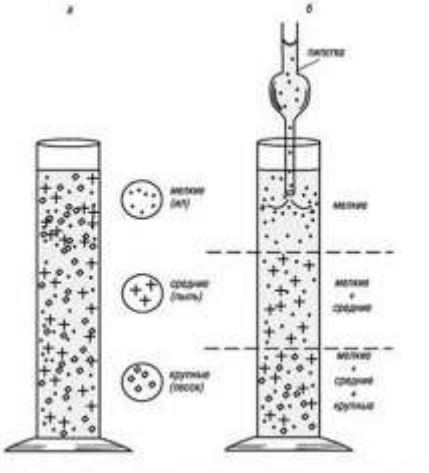



**Рис. 1.12. Схема визначення фракцій глинистих ґрунтів за допомогою осадження у спокійній воді та відбору проб за допомогою піпетки**

Відбір проб здійснюють за допомогою спеціальної піпетки, конструкцію якої розробляли й удосконалювали вчені у багатьох країнах світу - тому вона носить загальну назву «*піпетка Качинського-Робінсона-Кехля*». Піпетка має триходовий кран, що при відповідному його положенні з'єднує піпетку з аспіратором або з колбою з дистильованою водою для промивання піпетки, або зі шлангом для продування піпетки повітрям. Зазвичай, застосовують піпетку із запаяним нижнім кінцем із 4-ма бічними отворами, крізь які суспензія надходить всередину піпетки.

*Піпеточний метод* застосовують для аналізу глинисто-алевритових фракцій у породах, що містять більше 10% часток, менших за 0,01 мм. Цей метод дозволяє визначити вміст у глинистому ґрунті фракцій 0,05÷0,01; 0,01÷0,005; 0,005÷0,001 та менше 0,001 мм.

**Мета роботи:** визначити вміст у ґрунті різних фракцій з розмірами часток менше 0,1 мм.

Визначення гранулометричного (зернового) складу глинистих ґрунтів піпетковим методом проводять *відповідно до ДСТУ Б В.2.1-19:2009* [24] шляхом взяття з різних глибин піпеткою стовпа суспензії ґрунту через певний час відстоювання. Проби потім випарюють і зважують та за допомогою розрахунків визначають вміст фракцій.

**Засоби випробування та матеріали (рис. 1.13):** секундомір; набір сит із розміром отворів: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм; колба конічна плоскодонна ємністю 750-1000 см$^3$; мірний літровий циліндр із внутрішнім діаметром 60±2 мм; лійки скляні діаметром від 4 до 5 см і висотою 14 см (згідно ГОСТ 25336-82 [5]); мішалка; чашки порцелянові (згідно ГОСТ 9147-80 [4]) для зважування фракцій; промивалка; скляні стаканчики (згідно з ГОСТ 25336-82 [5]); порцелянова ступка й товкачик із гумовим наконечником (згідно ГОСТ 9147-80 [4]); ваги лабораторні аналітичні з точністю зважування до 0,001 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); термометр із похибкою до 0,5$^o$С (згідно ГОСТ 28498-90 [13]); піщана баня; піпетка на 25 мл; 4% або 6,7% пірофосфорнокислий натрій (згідно ГОСТ 342-77 [3]); 25% розчин аміаку (згідно ГОСТ 3760-79 [2]); ніж; сушильна шафа;

аспіратор; колба ємністю 250 см$^3$; штатив; піпетка всмоктуючого типу ємністю 25 см$^3$.

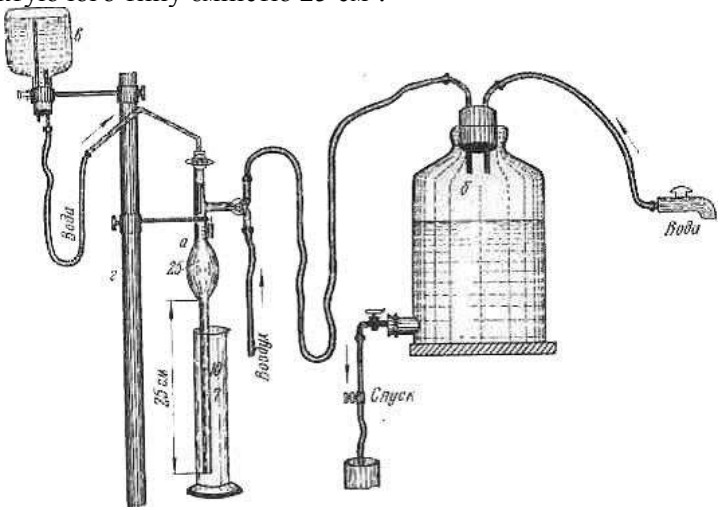



**Рис. 1.13. Схема приладу для визначення гранулометричного складу ґрунту методом піпетки:**
*а* - піпетка; *б* - аспіратор для всмоктування дисперсії;
*в* - колба з дистильованою водою для промивання піпетки;
*г* - штатив для кріплення

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування.***

1) Перед початком виконання роботи зразок ґрунту доводять до повітряно-сухого стану. Грудки ґрунту розтирають товкачиком із гумовим наконечником у порцеляновій ступці. Методом квартування відбирають середню пробу ґрунту вагою 200 г.

***2. Визначення гігроскопічної (або природної) вологості та щільності часток ґрунту*** виконують відповідно до операцій, викладених у лабораторній роботі 2, пункт 2.

***3. Визначення вмісту часток крупніше 1 мм*** виконують відповідно до операцій викладених у лабораторній роботі 2, пункт 3.

***4. Піпеточний аналіз.***

***4.1. Підготовка до аналізу.***

1) Методом квартування відбирають середню пробу із ґрунту, що пройшов крізь сито з розміром отворів 1 мм, у заздалегідь зважену порцелянову чашку та знову зважують її.

Вага середньої проби для глин має бути близько 10 г, для суглинків - близько 15 г, для супісків - близько 20 г.

Зважування середньої проби виконують на лабораторних технічних вагах з точністю зважування до 0,01.

2) Середню пробу ґрунту поміщують у колбу ємністю 250 $см^3$, змиваючи залишок проби із порцеляновій чашці струменем води з промивалки, та доливають у колбу води не більше ніж 200 $см^3$.

Потім додають у колбу 25 $см^3$ 4% або 6,7% пірофосфорнокислого натрію (4% - з розрахунку на безводний пірофосфорнокислий натрій ($Na_4P_2O_7$); 6,7% - з розрахунку на водний пірофосфорнокислий натрій ($Na_4P_2O_7 \times 10H_2O$)).

Колбу закривають пробкою зі зворотним холодильником або лійкою діаметром від 4 до 5 см та кип'ятять суспензію протягом 1 години (кип'ятіння не повинне бути бурхливим).

3) Охолоджену суспензію зливають у скляний циліндр ємністю 1 л крізь сито із розміром отворів 0,1 мм, вставлене у лійку діаметром 14 см; при цьому частки ґрунту, що залишилися на внутрішній поверхні колби, змивають водою із промивалки.

4) Частки ґрунту, що затрималися на ситі, змивають струменем води у порцелянову чашку, де їх ретельно розтирають товкачиком із гумовим наконечником.

Завісь із чашки зливають через сито з розміром отворів 0,1 мм, встановлене у лійку діаметром 14 см, у циліндр (розтирання осаду в чашці та зливання зависі триває до повного освітлення води над частками, що залишилися на дні чашки).

Частки ґрунту, що затрималися на ситі, додають до часток, що залишились на дні порцелянової чашки, переносять їх у заздалегідь зважений порцеляновий тигель, випарюють на піщаній бані та висушують у сушильній шафі до постійної ваги.

Висушені до постійної ваги частки ґрунту просіюють крізь сита з розміром отворів 0,5; 0,25 та 0,1 мм.

5) Частки ґрунту, що пройшли крізь сито з розміром отворів 0,1 мм, переносять у циліндр із суспензією.

Фракції ґрунту, що затрималися на ситах, зважують.

Суспензію у мірному циліндрі доводять до об'єму 1 л.

***4.2. Проведення аналізу.***

1) Перед відбором кожної проби обов'язково вимірюють температуру суспензії.

2) Приготовлену суспензію перед відбором проби збовтують протягом 1 хвилини до повного зкаламутнення осаду із дна циліндра, не допускаючи вихлюпування суспензії, та залишають циліндр у спокої до моменту відбору проби.

3) Час відбору проб суспензії (із розмірами часток менше ніж 0,05 мм; 0,01 мм; 0,005 мм та 0,001 мм) з початку відстоювання визначають залежно від щільності часток ґрунту та температури згідно з таблицею 1.14.

4) При відборі проби піпетку в закритому положенні необхідно підняти по штативу й опустити по центру в циліндр із суспензією. Після закінчення відведеного часу поворотом крана, що з'єднує піпетку з аспіратором, всмоктують суспензію у піпетку до вимірювальної позначки.

Тривалість наповнення піпетки суспензією при відборі проб наведена у таблиці 1.15.

5) Кран закривають, піпетку виймають та відводять її убік від циліндра, опускають долілиць до упорного кільця й переносять суспензію у заздалегідь зважений порцеляновий тигель.

6) Піпетку промивають невеликими порціями дистильованої води, зливаючи її в той же тигель із колби, розміщеної у верхній частині штатива, що з'єднується з піпеткою за допомогою гумового шланга й одноходового крана.

7) Проби у порцелянових тиглях випарюють на піщаній бані, висушують до постійної ваги за температури (105±2)°С та зважують на лабораторних аналітичних вагах із точністю зважування до 0,001.

**Таблиця 1.14**

**Інтервали часу відбору проб суспензії глинистих ґрунтів при визначенні гранулометричного (зернового) складу піпеточним методом**

| Діаметр часток, мм | Щільність часток ґрунту $\rho_s$, г/см$^3$ | Глибина взяття проб, см | Інтервали часу взяття проб суспензії після збовтування залежно від температури | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 17,5 °С | 20 °С | 22,5 °С |
| < 0,05 | 2,60 | 25 | 2 хв. 02 с | 1 хв. 56 с | 1 хв. 49 с |
| < 0,01 | | 10 | 20 хв. 25 с | 19 хв. 14 с | 18 хв. 06 с |
| < 0,005 | | 10 | 1 год. 21 хв. 37 с | 1 год. 16 хв. 55 с | 1 год. 12 хв. 24 с |
| < 0,002 | | 7 | 5 год. 57 хв. 10 с | 5 год. 36 хв. 29 с | 5 год. 16 хв. 49 с |
| < 0,001 | | 7 | 23 год. 48 хв. 41 с | 22 год. 25 хв. 57 с | 21 год. 07 хв. 17 с |
| < 0,05 | 2,65 | 25 | 1 хв. 59 с | 1 хв. 52 с | 1 хв. 45 с |
| < 0,01 | | 10 | 19 хв. 48 с | 18 хв. 39 с | 17 хв. 33 с |
| < 0,005 | | 10 | 1 год. 19 хв. 08 с | 1 год. 14 хв. 34 с | 1 год. 10 хв. 12 с |
| < 0,002 | | 7 | 5 год. 46 хв. 21 с | 5 год. 26 хв. 17 с | 5 год. 07 хв. 15 с |
| < 0,001 | | 7 | 23 год. 05 хв. 26 с | 21 год. 45 хв. 09 с | 20 год. 28 хв. 59 с |
| < 0,05 | 2,70 | 25 | 1 хв. 55 с | 1 хв. 49 с | 1 хв. 42 с |
| < 0,01 | | 10 | 19 хв. 13 с | 18 хв. 06 с | 17 хв. 02 с |
| < 0,005 | | 10 | 1 год. 16 хв. 50 с | 1 год. 12 хв. 24 с | 1 год. 08 хв. 10 с |
| < 0,002 | | 7 | 5 год. 36 хв. 10 с | 5 год. 16 хв. 36 с | 4 год. 58 хв. 12 с |
| < 0,001 | | 7 | 22 год. 24 хв. 42 с | 21 год. 06 хв. 44 с | 19 год. 52 хв. 47 с |
| < 0,05 | 2,75 | 25 | 1 хв. 52 с | 1 хв. 45 с | 1 хв. 39 с |
| < 0,01 | | 10 | 18 хв. 40 с | 17 хв. 35 с | 16 хв. 33 с |
| < 0,005 | | 10 | 1 год. 14 хв. 38 с | 1 год. 10 хв. 19 с | 1 год. 06 хв. 13 с |
| < 0,002 | | 7 | 5 год. 26 хв. 35 с | 5 год. 07 хв. 38 с | 4 год. 49 хв. 40 с |
| < 0,001 | | 7 | 21 год. 46 хв. 19 с | 20 год. 30 хв. 38 с | 19 год. 18 хв. 40 с |

**Таблиця 1.15**

**Тривалість наповнення піпетки суспензією при відборі проб**

| Розмір часток, мм | Глибина відбору проби, см | Тривалість відбору проби, с |
|---|---|---|
| < 0,05 | 25 | 10 |
| < 0,01 | 10 | 15 |
| < 0,005 | 10 | 20 |
| < 0,001 | 7 | 30 |

***5. Обробка результатів випробування.***

1) Вагу середньої проби ґрунту обчислюють відповідно до операцій, викладених у лабораторній роботі 2, пункт 3, формула 1.7.

2) Відсотковий вміст фракцій ґрунту, що затрималися на ситах, обчислюють відповідно до операцій, викладених у лабораторній роботі 2, пункт 3, формула 1.6.

3) Вміст фракцій ґрунту менше ніж 0,05 мм, менше ніж 0,01 мм, менше ніж 0,005 мм та менше ніж 0,001 мм $A_{C_i}$ у відсотках обчислюють за формулою:

$$A_{C_i} = \frac{g_i \times 1000}{g_0 \times V} \times (100 - A_k), \qquad (1.14)$$

де $g_i$ – вага даної фракції ґрунту в об'ємі піпетки, висушеної до постійної ваги, г; $g_0$ – вага середньої проби ґрунту, із поправкою на гігроскопічну або природну вологість, взятої для випробування, г; $V$ - об'єм піпетки, см$^3$; $A_k$ - сумарний відсотковий вміст у ґрунті фракцій розміром більше ніж 1 мм, %.

4) Вміст фракцій від 0,05 мм до 0,01 мм обчислюють за різницею між відсотковим вмістом фракцій менше ніж 0,05 мм та менше ніж 0,01 мм.

Аналогічно обчислюють відсотковий вміст фракцій ґрунту від 0,01 мм до 0,005 мм та від 0,005 мм до 0,001 мм.

5) При розрахунку фракції ґрунту менше ніж 0,001 мм вноситься поправка на вміст введеного диспергатора, для чого від ваги даної фракції ґрунту віднімається вага введеного сухого диспергатора в об'ємі піпетки.

6) Фракцію ґрунту від 0,1 мм до 0,05 мм знаходять як різницю - від 100% віднімають суму всіх фракцій, визначених за допомогою піпетки (з урахуванням поправки на введення диспергатора), і даними, отриманими ситовим методом.

7) Підсумкові результати випробування реєструють у журналі (таблиця 1.16), в якому вказується відсотковий вміст у ґрунті фракцій розміром більше ніж 10 мм; від 10 мм до 5 мм; від 5 мм до 2 мм; від 2 мм до 1 мм; від 1 мм до 0,5 мм; від 0,5 мм до 0,25 мм; від 0,25 мм до 0,1 мм; від 0,1 мм до 0,05 мм; від 0,05 мм до 0,01 мм; від 0,01 мм до 0,005 мм; від 0,005 мм до 0,001 мм і менше ніж 0,001 мм.

Результати випробування супроводжують вказівкою про відсотковий вміст гігроскопічної (або природної) вологості та питомої ваги застосованого диспергатора.

**Таблиця 1.16**

**Журнал лабораторного визначення гранулометричного (зернового) складу ґрунту піпеточним аналізом**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Вага зразка, г _____**
**№ виробки та глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ПІПЕТОЧНИЙ АНАЛІЗ** | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Спосіб підготовки проби ґрунту до випробування: кип'ятіння з $Na_4P_2O_7 \times 10H_2O$** | | | | | | | | | | | | |
| **Вміст хімічної речовини, що була застосована для стабілізації суспензії: 6,7%** | | | | | | | | | | | | |
| **Щільність часток ґрунту $\rho_s$: ___ г/см$^3$** | | | | | | | | | | | | |
| **Гігроскопічна $W_g$ (або природна вологість $W$) проби ґрунту: __ %** | | | | | | | | | | | | |
| **Вміст фракцій ґрунту (%) розміром, мм** | | | | | | | | | | | | **Σ** |
| **гравійної** | | | **піщаної** | | | | | **пилуватої** | | **глинистої** | | |
| **> 10** | **10 - 5** | **5 - 2** | **2 – 1** | **1 – 0,5** | **0,5 – 0,25** | **0,25 – 0,1** | **0,1 – 0,05** | **0,05 – 0,01** | **0,01 – 0,005** | **0,005 – 0,001** | **< 0,001** | |
| $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | $A_{12}$ | **100** |
| | | | | | | | | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

8) За даними результатів обчислення гранулометричного складу ґрунту необхідно:

- побудувати циклограму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.3);
- побудувати трикутну діаграму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.4);
- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у звичайному масштабі (див. рис. 1.5);
- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у напівлогарифмічному масштабі (див. рис. 1.6);
- для характеристики неоднорідності ґрунту розрахувати показник неоднорідності гранулометричного складу $C_u$ (див. формулу 1.3).

***6. Підсумки.***

На основі результатів гранулометричного аналізу необхідно зробити висновки про ступінь неоднорідності ґрунту та виконати класифікацію ґрунтів (див. табл. 1.5 та табл. 1.6).

## Глава 1.2. Визначення хімічного складу твердої компоненти ґрунтів

При виконанні інженерно-геологічної оцінці ґрунтів, особливо глинистих, дуже важливо мати уявлення про їхній хімічний склад і, зокрема, про склад *водорозчинних сполук*.

Як відомо, абсолютно нерозчинних ґрунтів не існує. Розчинність деяких мінералів і речовин у воді при температурі 20°С показана у табл. 1.17. За ступенем розчинності мінерали можна розділити на 4 групи – *легкорозчинні*, *слаборозчинні*, *важкорозчинні* та *практично нерозчинні*. Однак, при інженерно-геологічних вишукуваннях дуже важливо вивчити, насамперед, найбільш розчинні різновиди, до яких відносяться галоїдні ґрунти, що містять галіт, сильвін тощо, деякі типи карбонатних ґрунтів (вапняк, доломіт, крейда, мергель), а також сульфатні ґрунти, що містять гіпс, ангідрит тощо. У всіх випадках домішка в ґрунтах добре розчинних у воді мінералів класу простих солей

з іонним типом зв'язків, що мають порівняно невисоку енергію кристалічних решіток, суттєво підвищує їхню розчинність.

**Таблиця 1.17**

**Розчинність деяких мінералів у воді (за В.С. Самаріною) [37]**

| Ступінь розчинності | Мінерал | Розчинність, г/дм$^3$ |
|---|---|---|
| Легкорозчинні (> 2 г/дм$^3$) | $CaCl_2$ | 745 |
| | $MgCl_2$ | 545 |
| | NaCl | 360 |
| | KCl | 340 |
| | $Na_2CO_3$ | 215 |
| | $Na_2SO_4$ | 194 |
| | $K_2SO_4$ | 111 |
| Слаборозчинні (2 – 0,1 г/дм$^3$) | $CaSO_4$ | 2,0 |
| | $MgCO_3$ | 0,27 |
| | $ZnCO_3$ | 0,20 |
| | $SrSO_4$ | 0,11 |
| Важкорозчинні (0,1 – 0,0001 г/дм$^3$) | $CaCO_3$ | 0,00694 |
| | $SrCO_3$ | 0,00591 |
| | $Fe(OH)_2$ | 0,00045 |
| Практично нерозчинні (<0,0001 г/дм$^3$) | Сульфіди | --- |
| | Самородні метали | --- |
| | Силікати | --- |
| | Глинисті мінерали | --- |

Наявність у ґрунті водорозчинних солей суттєво впливає на його фізичні властивості та здатність опиратися навантаженням. Цей вплив проявляється у зміні меж пластичності, оптимальної вологості та максимальної щільності при стандартному ущільненні, стисливості, опору зсуву та інших показників фізико-механічних властивостей при одній і тій же вологості. Ступінь цих змін залежить від кількості й складу солей у ґрунті.

Вміст водорозчинних солей у ґрунтах зони аерації залежить від багатьох факторів, насамперед від кліматичних умов, які визначають кількість опадів, що випадають, здатних вимивати солі. Найбільш часто водорозчинні сполуки зустрічаються у глинистих ґрунтах у районах з арідним кліматом. Засолені ґрунти приурочені до пустельних і напівпустельних зон, (зрідка - до степових), тобто до районів з від'ємним водним балансом, а також до ділянок, що розташовані у зонах гіпергенезу гірських порід, які містять нестійкі компоненти (сульфатні, галоїдні

тощо). Вони складають солончаки, солонці, такири, які розрізняються складом і вмістом легкорозчинних солей та формуються на знижених елементах рельєфу - шлейфах схилів, западинах, берегах солоних озер і лиманів, у западинах на заплавах, у днищах «степових блюдець», де мінералізовані води виходять близько до земної поверхні (1-3 м).

*Процес засолення ґрунтів проявляється за наступних умов*:

1) при горизонтальній міграції солей й осадженні їх із підземних вод у районах гір і передгір'їв, у субаеральних дельтах і передгірних рівнинах;

2) у результаті вертикальної міграції солей при випаруванні порових розчинів;

3) внаслідок вивітрювання гірських порід, що містять нестійкі компоненти (карбонатні, сульфатні, галоїдні гірські породи);

4) при фільтрації крізь ґрунти рідких відходів зі шламонакопичувачів, сольовідвалів, комунікацій промислових підприємств тощо.

*До засолених ґрунтів* доцільно відносити ґрунти, в яких вміст легко- і середньорозчинних (водорозчинних) солей перевищує величини, зазначені у таблиці 1.18 [31].

**Таблиця 1.18**

**Мінімальний вміст легко - і середньорозчинних солей у ґрунтах**

| Назва засолених ґрунтів | Мінімальний сумарний вміст солей у % від ваги повітряно-сухого ґрунту |
|---|---|
| **Великоуламковий:** | 3 |
| при вмісті піщаного заповнювача 40% та більше | |
| при вмісті заповнювача у вигляді суглинку 30% та більше | 10 |
| при вмісті заповнювача у вигляді супіску 30% та більше | 5 |
| **Пісок** | 3 |
| **Супісок** | 5 |
| **Суглинок** | 10 |

*До легкорозчинних солей* відносяться: хлориди - $NaC1$, $KCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$; бікарбонати - $NaHCO_3$, $Ca(HCO_3)$, $Mg(HCO_3)$;

карбонат натрію $Na_2CO_3$ та сульфати магнію й натрію $MgSO_4$, $Na_2SO_4$. *До середньорозчинних солей* відносяться гіпс $CaSO_4 \times 2H_2O$ та ангідрит $CaSO_4$.

*Засолені ґрунти характеризують наступні показники* [31]:

- ступінь розчинності у воді скельних ґрунтів ($q_{sr}$);
- ступінь засоленості ($D_{sal}$);
- ступінь вилуговування солей ($\beta$);
- абсолютний суфозійний стиск ($\Delta h_{sf}$);
- відносний суфозійний стиск ($\varepsilon_{sf}$);
- початковий тиск суфозійного стиску ($p_{sf}$).

*Ступінь розчинності у воді скельних ґрунтів* $q_{sr}$, г/дм$^3$ – це характеристика, що відображає здатність скельних ґрунтів розчинятися у воді та виражається у кількості водорозчинних солей. За ступенем розчинності ґрунти поділяються згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96 [20] та ГОСТ 25100-2011 [14] (таблиця 1.19).

**Таблиця 1.19**

**Класифікація скельних ґрунтів за ступенем розчинності у воді**

| **Різновид ґрунтів** | **Кількість водорозчинних солей $q_{sr}$, г/дм$^3$** |
|---|---|
| Нерозчинний | $q_{sr} \leq 0{,}01$ |
| Важкорозчинний | $0{,}01 < q_{sr} \leq 1$ |
| Середньорозчинний | $1 < q_{sr} \leq 10$ |
| Легкорозчинний | $10 < q_{sr} \leq 100$ |
| Сильнорозчинний | $q_{sr} > 100$ |

*Ступінь засоленості* ($D_{sal}$), % - це відношення маси водорозчинних солей у певному об’ємі ґрунту до маси сухого ґрунту даного об’єму. За ступенем засоленості дисперсні ґрунти поділяються згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96 [20] та ГОСТ 25100-2011 [14] (таблиця 1.20-1.21).

**Таблиця 1.20**

**Класифікація дисперсних ґрунтів за ступенем засоленості легкорозчинними солями**

| **Різновид ґрунтів** | **Ступінь засоленості ґрунтів легкорозчинними солями ($D_{sal}$), %** | |
|---|---|---|
| | **хлоридне, сульфатно-хлоридне засолення** | **сульфатне, хлоридно-сульфатне засолення** |
| Незасолений | $D_{sal} < 0,5$ | $D_{sal} < 0,5$ |
| Слабозасолений | $0,5 \leq D_{sal} < 2,0$ | $0,5 \leq D_{sal} < 1,0$ |
| Середньозасолений | $2,0 \leq D_{sal} < 5,0$ | $1,0 \leq D_{sal} < 3,0$ |
| Сильнозасолений | $5,0 \leq D_{sal} < 10,0$ | $3,0 \leq D_{sal} < 8,0$ |
| Надмірнозасолений | $D_{sal} > 10,0$ | $D_{sal} > 8,0$ |

*Ступінь вилуговування солей* ($\beta$) - це відношення маси вилужених із ґрунту солей до їхньої початкової маси.

*Абсолютний суфозійний стиск* ($\Delta h_{sf}$), мм - це зменшення початкової висоти зразка ґрунту за рахунок хімічної суфозії при постійному вертикальному тиску й безперервній фільтрації води або розчинів, фільтрація яких можлива у основі інженерної споруди.

**Таблиця 1.21**

**Класифікація дисперсних ґрунтів за ступенем засоленості середньорозчинними солями**

| **Різновид ґрунтів** | **Ступінь засоленості ґрунтів середньорозчинними солями (гіпс, ангідрид) ($D_{sal}$), %** | | |
|---|---|---|---|
| | **суглинок** | **супісок** | **пісок** |
| Незасолений | $D_{sal} \leq 5$ | $D_{sal} \leq 5$ | $D_{sal} \leq 3$ |
| Слабозасолений | $5 < D_{sal} \leq 10$ | $5 < D_{sal} \leq 10$ | $3 < D_{sal} \leq 7$ |
| Середньозасолений | $10 < D_{sal} \leq 20$ | $10 < D_{sal} \leq 20$ | $7 < D_{sal} \leq 10$ |
| Сильнозасолений | $20 < D_{sal} \leq 35$ | $20 < D_{sal} \leq 30$ | $10 < D_{sal} \leq 15$ |
| Надмірнозасолений | $D_{sal} > 35$ | $D_{sal} > 30$ | $D_{sal} > 15$ |

*Відносний суфозійний стиск* ($\varepsilon_{sf}$), % - це відношення абсолютного суфозійного стиску до висоти зразка ґрунту природної вологості при природному тиску.

*Початковий тиск суфозійного стиску* ($p_{sf}$), МПа - це мінімальний тиск, при якому проявляється суфозійний стиск ґрунту.

Останні три характеристики - абсолютний суфозійний стиск ($\Delta h_{sf}$), відносний суфозійний стиск ($\varepsilon_{sf}$) та початковий тиск суфозійного стиску ($p_{sf}$) *визначають за результатами випробувань зразків ґрунту в компресійно-фільтраційних приладах* [31], що виключають можливість бічного розширення зразка ґрунту при навантаженні його вертикальним навантаженням. Для детального вивчення окремих ділянок будівельного майданчика показники визначають польовими випробуваннями статичним навантаженням із тривалим замочуванням основи. При наявності результатів польових випробувань і досвіду будівництва в аналогічних інженерно-геологічних умовах зазначені характеристики допускається визначати тільки лабораторними методами.

При проведенні інженерно-геологічних вишукувань у районах поширення засолених ґрунтів варто встановлювати якісний склад і кількісний вміст водорозчинних солей та їхню здатність до розчинення.

При дослідженні складу й вмісту водорозчинних солей у ґрунтах необхідно визначати наступне:

1. Загальний вміст солей, що дає можливість судити про ступінь засоленості.

2. Склад водної витяжки з метою визначення вмісту легкорозчинних солей (хлоридів).

3. Склад солянокислої витяжки з метою визначення середньорозчинних солей (гіпсу).

Ґрунти також містять компоненти, що можуть проявляти властивості *кислот*, *основ* і *амфотерних* (здатних проявляти подвійні властивості – як кислотні, так і основні, залежно від природи другого компонента, що бере участь у кислотно-основній взаємодії) *сполук*. Кислотно-основні властивості ґрунтів визначають їхню агресивність. Всі ґрунти

характеризуються певною кислотністю, під якою розуміють властивість ґрунту, яка обумовлена його хімічним складом, активністю й розподілом іонів $H^+$. Універсальним показником кислотно-основних властивостей ґрунту (або реакції середовища) є величина *pH*, що являє собою десятковий логарифм активності водневих іонів $a_{H+}$, взятий зі зворотнім знаком, тобто - $pH = lga_{H+}$. Символ *pH* дозволяє виразити $a_{H+}$ у кислому та лужному середовище, тобто представити $a_{H+}$ у межах від $10^0$ до $10^{-14}$.

Загальна кислотність ґрунту обумовлена сумою дісоційованих іонів $H^+$ (*актуальна кислотність*) і фіксованих іонів $H^+$ (*потенційна кислотність*). Збільшення концентрації водневих іонів призводить до зниження величини *pH*, й навпаки, коли концентрація іонів $H^+$ зменшується, величина *pH* зростає.

*Актуальна (активна або реальна) кислотність ґрунту* обумовлена вільними іонами $H^+$ порового розчину ґрунту, що перебувають у рівновазі з іншими іонами. Зазвичай її вимірюють потенціометричне після тривалої (кілька годин) взаємодії системи «ґрунт-вода» у співвідношенні 1:2,5. Позначають актуальну кислотність як $pH(H_20)$.

*Потенційна кислотність ґрунту* обумовлена іонами $H^+$, що перебувають у його поглинальному комплексі й здатними заміщатися металами при титруванні ґрунту основою. Вона залежить від здатності мінералів і органічних колоїдів ґрунту фіксувати іони $H^+$.

Аналогічно виділяють *актуальну лужність ґрунту*, яка обумовлена вільними іонами $OH^-$. Її визначають у поровому розчині, ґрунтовій пасті, суспензії, витяжці тощо. Вона також характеризується величиною *pH* ($pOH^-$=14 - *pH*). Крім того, необхідно розрізняти *загальну лужність ґрунту* - показник лужності, що характеризує загальну кількість основних компонентів у даному ґрунті. Крім загальної лужності також визначають конкретні види лужності, обумовлені карбонатними, боратними, сульфідними та іншими іонами, а також органічними компонентами.

Величина *pH* у ґрунтах формується під впливом багатьох факторів, вона залежить від складу обмінних катіонів, хімічного

й мінералогічного складу ґрунту, вмісту й складу водорозчинних солей, від характеру мінералізації ґрунтових вод, кліматичних умов, техногенних впливів тощо.

У різних ґрунтах, включаючи ґрунти рослинного шару, величина *pH* змінюється у дуже широких межах від 3,0-3,5 до 8,0-9,5 та вище. Наприклад, у кислих болотних ґрунтах *pH*=3,0-4,0, а в солонцях і солончаках *pH*=8,0-9,0. Найбільші коливання *pH* спостерігаються у лесових ґрунтах, що перебувають у різних фізико-географічних зонах. При цьому у лесів лісової зони, в яких карбонати повністю вилужені або вміщуються в незначній кількості, *pH*=4,5-7,0. Леси степової й більш південних зон звичайно вміщують карбонат кальцію й їхній *pH*=7,0-8,0. За величиною *pH* ґрунти поділяються згідно класифікації наведеної у таблиці 1.22.

Встановлено, що ґрунти, які мають у складі вільний карбонат кальцію, як правило, мають лужну реакцію середовища. У ґрунтах рослинного шару та інших ґрунтах зони аерації у зв'язку з інфільтраційним вилуговуванням лужність їхнього середовища зазвичай зростає зверху до низу.

**Таблиця 1.22**

**Класифікація ґрунтів за величиною *pH***

| Різновид ґрунтів | $pH_{KCl}$ | Різновид ґрунтів | $pH_{H2O}$ |
|---|---|---|---|
| Дуже сильнокислі | < 4,0 | Слаболужні | 7,5-8,0 |
| Сильнокислі | 4,1-4,5 | Середньолужні | 8,1-8,5 |
| Середньокислі | 4,6-5,0 | Сильнолужні | 8,6-10,0 |
| Слабокислі | 5,1-5,5 | Різколужні | 10,1-12,0 |
| Нейтральні | 5,6-7,4 | | |

Відзначається й прямий зв'язок *pH* ґрунтів зони аерації з кількістю опадів - з їхнім зростанням *pH* знижується. У межах однієї кліматичної зони величина *pH* ґрунтів зони аерації також залежить від елементів рельєфу території, що визначають тип її промивного режиму. Тому зазвичай на височинах, де випадає більше опадів й інтенсивніше йде інфільтрація, вилуговуваність ґрунтів вища, ніж у сусідніх із ними зниженнях.

Величина *pH* ґрунтів залежить не тільки від природних, але й від техногенних факторів. У районах інтенсивного техногенного

впливу (наприклад, території міст, промислових і сільськогосподарських комплексів тощо) величина *pH* ґрунтів залежить від умов техногенної геохімічної міграції різних елементів і може зміщуватися від нейтрального середовища, як у кислу, так і лужну область.

*Визначення карбонатності карбонатно-глинистих ґрунтів* необхідне з метою їхньої правильної класифікації, прогнозу властивостей, оцінки придатності в якості сировини у різних галузях промисловості, вирішення генетичних питань тощо. Крім того, карбонатність лесових ґрунтів, зокрема вміст вторинних карбонатів, що відіграють роль цементу в їхній структурі, може виступати в якості опосередкованого якісного показника їхньої *просідності*. Для переважної більшості просідних лесових ґрунтів є характерним високий, іноді до 15-20%, вміст карбонатів, здебільш $CaCO_3$.

Головними породоутворюючими мінералами карбонатних порід є кальцит, доломіт і теригенні мінерали, зрідка – магнезит та інші карбонатні мінерали. Залежно від кількісного вмісту карбонатів кальцію ($CaCO_3$) та магнію ($CaMg(CO_3)_2$), карбонатно-глинисті ґрунти поділяються згідно класифікації, наведеній у таблиці 23.

Склад і вміст легкорозчинних солей варто визначати за результатами аналізів водних витяжок за наступними стандартами: сухий залишок і *pH* - за ГОСТ 26423 [6], іонів карбонатів і бікарбонатів - за ГОСТ 26424 [7], іона хлориду - аргентометричним методом або іонометричним титруванням за ГОСТ 26425 [8], іона сульфату - ваговим способом за ГОСТ 26426 [9], іонів кальцію й магнію - комплексометричним методом за ГОСТ 26428 [11], іонів калію й натрію - за ГОСТ 26427 [10] із застосуванням полум’яного фотометра.

**Таблиця 1.23**

**Класифікація карбонатно-глинистих порід (вапняково-доломітова група) (за С.Г. Вишняковим)**

| Вміст глинистого матеріалу, % | Вапняковий ряд | | Доломітовий ряд | |
|---|---|---|---|---|
| | породи | $CaCO_3$, % | породи | $CaMg(CO_3)_2$, % |
| 0-5 | вапняк | 95-100 | доломіт | 95-100 |
| 5-25 | вапняк глинистий | 75-95 | доломіт глинистий | 75-95 |
| 25-50 | мергель | 50-75 | мергель доломітовий | 50-75 |
| 50-75 | мергель глинистий | 25-50 | мергель глинистий доломітовий | 25-50 |
| 75-95 | глина вапнякова | 5-25 | глина доломітова | 5-25 |
| 95-100 | глина | 0-5 | глина | 0-5 |

**Лабораторна робота 4. Визначення загального вмісту водорозчинних солей у ґрунтах методом аналізу водної витяжки.**

Для вивчення водорозчинних солей у ґрунтах широке застосування набув *метод аналізу водної витяжки* при різних співвідношеннях «ґрунт–вода» (найбільш часто застосовують співвідношення «ґрунт–вода» = 1:5). Водна витяжка може бути використана для рішення різних завдань, але у першу чергу вона застосовується при вивченні засолених ґрунтів, для яких є одним з основних видів аналізу.

Водна витяжка характеризує сумарний і компонентний вміст водорозчинних солей ґрунту й використовується при класифікації ґрунтів за ступенем і характером їхнього засолення, оцінці хімічної суфозійної стійкості й корозійної активності. Аналіз водної витяжки дозволяє визначати широко розповсюджені аніони й катіони, що становлять водорозчинні сполуки ґрунту, щільний залишок та *pH*. Результати аналізу

виражаються у мг-екв на 100 г абсолютно сухого ґрунту та у відсотках.

Для аналізу водної витяжки можуть бути використані *об'ємний*, *ваговий*, *фотоколориметричний* та *спектральний* методи визначення речовини. Найбільше широко при вивченні водорозчинних солей ґрунту застосовуються *об'ємний* та *ваговий* методи.

*Сутність вагового методу* полягає у тому, що готується водна витяжка ґрунту при відношенні ґрунту до води як 1:5, після висушування якої визначають загальну кількість, а після прожарення - мінеральну частину розчинних сполук.

**Мета роботи:** визначити загальний вміст у ґрунті розчинних у воді органічних і мінеральних сполук, шляхом визначення сухого (щільного) та прожареного залишку у водній витяжці.

Визначення загального вмісту водорозчинних сполук у глинистих ґрунтах ваговим методом проводять *відповідно до ГОСТ 26423-85* [6].

**Засоби випробування та матеріали**: сито з розміром отворів 1 мм; порцелянова ступка й товкачик із гумовим наконечником (згідно ГОСТ 9147-80 [4]); ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); колби конічні плоскодонні ємністю 500 та 750 см$^3$; лійки скляні діаметром від 15 до 20 см і висотою 14 см (згідно ГОСТ 25336-82 [5]); чашки порцелянові (згідно ГОСТ 9147-80 [4]) для зважування сухого залишку; піпетки на 50 та 100 мл; водяна баня; ексикатор; сушильна та муфельна шафа.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування.***

1) Перед початком виконання роботи зразок ґрунту доводять до повітряно-сухого стану. Грудки ґрунту розтирають товкачиком із гумовим наконечником у порцеляновій ступці. Методом квартування відбирають середню пробу ґрунту вагою 300-500 г і просівають крізь сито з отворами 1 мм.

***2. Визначення гігроскопічної вологості ґрунту*** виконують відповідно до операцій, викладених у лабораторній роботі 2, пункт 2.

***3. Ваговий метод аналізу водної витяжки.***

***3.1. Підготовка до аналізу.***

1) На лабораторних технічних вагах зважують 50 або 100 г повітряно-сухого розтертого ґрунту та переносять його в колбу з притертою пробкою ємністю 500 або 750 мл.

2) В колбу з ґрунтом наливають п'ятикратну стосовно маси ґрунту (250 або 500 мл) кількість прокип'яченої протягом 30 хв. і охолодженої дистильованої води. Вода не повинна містити $CO_2$, тому що при його наявності розчиняються карбонати.

3) Колбу із ґрунтом закривають гумовою пробкою, збовтують протягом 3-5 хв., після чого витяжку профільтровують крізь сухий складчастий щільний фільтр (із синьою стрічкою). Фільтр поміщають у лійку діаметром 15-20 см таким чином, щоб він знаходився на 0,5-1 см нижче краю лійки. Не можна допускати, щоб фільтр був вище лійки, тому що у цьому випадку по краю фільтра утворяться «вицвіти» солей, й їхня концентрація у фільтраті знижується.

4) Перед тим як виливають витяжку на фільтр, вміст колби струшують, щоб скаламутити наважку, і на фільтр переносять якомога більше ґрунту.

5) Фільтрат перефільтровують доти, поки він не буде йти зовсім прозорим. Прозорий фільтрат збирають у чистий приймач, в якості якого використовують конічну колбу ємністю 250-500 мл.

6) Після закінчення фільтрування колбу з фільтратом закривають пробкою для попередження випаровування витяжки та зменшення її забруднення різними газами ($NH_3$, випари $HCl$ тощо).

7) Аналіз витяжки проводять зразу ж після закінчення фільтрування, оскільки через 1-2 дні вона легко загниває.

***3.2. Проведення аналізу.***

1) *Для визначення сухого (щільного) залишку* беруть піпеткою 50 мл водної витяжки й переносять у завчасно висушену і зважену на лабораторних технічних вагах порцелянову чашку. При роботі з витяжкою із незасолених ґрунтів об'єм проби збільшують до 100 мл та більше.

2) Вміст порцелянової чашки випарюють досуха на водяній бані.

3) Після закінчення випаровування порцелянову чашку ззовні витирають, а потім просушують у сушильній шафі при температурі 100-105°С протягом 6 годин.

4) Чашку із сухим (щільним) залишком охолоджують в ексикаторі та зважують на лабораторних технічних вагах.

5) *Для визначення прожареного залишку* порцелянову чашку з сухим (щільним) залишком після висушування у сушильній шафі й зважування прожарюють у муфельній печі протягом 30 хв. при температурі не вище 600°С (темно-червоне розжарення), охолоджують в ексикаторі та зважують на лабораторних технічних вагах. Прожарювання та зважування повторюють до встановлення сталої маси.

***4. Обробка результатів випробування.***

1) Вагу наважки абсолютно сухої проби ґрунту (з поправкою на гігроскопічну вологість) $g_0$ обчислюють відповідно до операцій, викладених у лабораторній роботі 2, пункт 3, формула 1.7.

2) Вміст водорозчинних речовин у водній витяжці, що характеризується величиною сухого (щільного) залишку ($M_1$), розраховують за формулою 1.15:

$$M_1 = \frac{g_1 V_0}{V_1 g_0} \times 100\%, \qquad (1.15)$$

де $g_1$ - вага сухого (щільного) залишку, г; $V_1$ - об'єм водної витяжки, взятої на визначення, мл; $V_0$ – загальний об'єм водної витяжки, мл; $g_0$ - вага наважки абсолютно сухого ґрунту, г.

3) Вміст мінеральних солей у водній витяжці, що характеризується величиною прожареного залишку ($M_2$), обчислюють за формулою для сухого (щільного) залишку. Різниця між вагою сухого (щільного) і прожареного залишків дає величину втрати при прожарюванні, тобто суму органічних водорозчинних речовин ($M_3$).

4) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 1.24).

***5. Підсумки.***

На основі результатів аналізу водної витяжки та визначення загального вмісту водорозчинних солей, необхідно зробити висновки про ступінь засоленості ґрунту та виконати класифікацію ґрунтів (див. табл. 1.18, табл. 1.20 та табл. 1.21).

**Таблиця 1.24**

**Журнал лабораторного визначення загального вмісту водорозчинних солей у ґрунтах методом аналізу водної витяжки**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Вага наважки зразка, г _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **Показники** | **АНАЛІЗ ВОДНОЇ ВИТЯЖКИ** | |
|---|---|---|
| | **Гігроскопічна вологість проби ґрунту, $W_g$: ___ %** | |
| | **Вміст водорозчинних речовин у водній витяжці** | **Вміст мінеральних солей у водній витяжці** |
| **Загальний об'єм водної витяжки $V_0$, мл** | **500** | **500** |
| **Об'єм водної витяжки, взятої на визначення $V_1$, мл** | **50** | **50** |
| **Номер тари (порцелянової чашки)** | | |
| **Вага тари, г** | | |
| **Вага тари з ґрунтом, г** | | |
| **Вага залишку ґрунту, г** | | |
| **Вміст солей у водній витяжці, %** | ***$M_1$*** | ***$M_2$*** |
| **Вміст органічних водорозчинних речовин ($M_3$): _____ %.** | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Лабораторна робота 5. Визначення показника кислотно-основних властивостей ґрунту (або реакції середовища) *pH* потенціометричним методом.

Найбільш поширеними методами визначення показника кислотно-основних властивостей ґрунту (або реакції середовища) *pH* є потенціометричні методи.

*Потенціометричні методи* засновані на залежності рівноважного потенціалу електрода від активності (концентрації) обумовленого іона.

Для вимірів необхідно скласти гальванічний елемент із потрібного індикаторного електрода й електрода порівняння, а також мати прилад для виміру потенціалу індикаторного електрода в умовах, близьких до термодинамічних, тобто без помітного відводу струму від гальванічного елемента при замиканні ланцюга. *Потенціометричні* методи, де індикаторним електродом служить іоноселективний електрод, називають *іонометричними.*

*Головні переваги потенціометричних методів:*

1) можливість проведення аналізу в польових умовах;

2) аналіз є *не деструктивним* – проба, що аналізується в ході аналізу не витрачається й не змінює своїх властивостей;

3) відносно висока відтворюваність методу.

*Головна відмінна риса потенціометричних методів* від усіх інших - вимір активності, а не концентрації іонів.

Потенціометричні методи дозволяють вести виміри у каламутних і пофарбованих розчинах, пастах і навіть у живих біологічних об'єктах. Причому можна досліджувати багатокомпонентні суміші речовин без попереднього їхнього поділу. Ефективний робочий діапазон становить 5-7 порядків, а для визначення *pH* - близько 16. Точність визначень - 0,1%.

Електрод, потенціал якого залежить від активності (концентрації) певних іонів у розчині називають *індикаторним*. Для виміру потенціалу індикаторного електрода у розчин занурюють другий електрод, потенціал якого не залежить від концентрації обумовлених іонів. Такий електрод називають електродом *порівняння* або *допоміжним* електродом.

*Сутність потенціометричного методу* полягає у кількісному обліку вільних іонів водню у розчині, що досліджується, шляхом вимірювання електрорушійної сили (*ЕРС*) елементу, який складається із електрода порівняння з відомим потенціалом та індикаторного електрода, потенціал якого залежить від концентрації іонів водню у розчині.

Активність іонів у розчинах визначають за допомогою різних переносних і стаціонарних (лабораторних) іонометрів. Найпоширеніші універсальні іонометри типу *ЕВ-74*, а також мікропроцесорні іонометри (наприклад, *І-135*, *І-150*, *І-500* тощо)

та більш складні іонометри, що мають цифрову індикацію величини, яку вимірюють, інтегратор середніх значень, інтерфейс для зв'язку з комп'ютером, енергонезалежну пам'ять для зберігання каліброваних параметрів і результатів. Всі вони можуть бути використані для визначення *pH*, активності різних іонів, а також для визначення окислювально-відновного потенціалу.

У лабораторній практиці використовують іонометри (*pH-метри*) 2-х типів: *аналогові стрілочні* й більш сучасні *цифрові.*

Калібрування приладів обох типів має свої особливості. Електроди виймають зі скляного стаканчика з водою, ретельно промивають дистильованою водою й осушують фільтрувальним папером, потім їх занурюють у стаканчик із першим стандартним розчином. В якості першого стандартного розчину рекомендується використовувати розчин, що має значення *pH*, найбільш близьке до 7,00 (наприклад, 6,86). При вимірі *pH* кислих проб другим стандартним розчином повинен бути розчин, що має значення *pH* нижче 7, при вимірі *pH* лужних проб другим стандартним розчином повинен бути лужний буферний розчин.

Для аналогових приладів використовують два стандартних розчини, а для цифрових досить 1 стандартного розчину (як правило, з *pH* = 6,86-7,00).

Після досягнення рівноваги (показання приладу перестають змінюватися), що зазвичай настає протягом 2-3 хв., на аналоговому приладі, обертаючи ручку потенціометра, підводять стрілку до потрібного розподілу шкали.

На цифровому приладі після встановлення рівноваги до пам'яті приладу вводять показання, що відповідає одному стандартному розчину. На цьому калібрування цифрового приладу закінчується. Електроди виймають зі скляного стаканчика із стандартним розчином, промивають, осушують і занурюють у стаканчик з розчином, що досліджують.

При проведенні вимірів після роботи з кожною аналітичною пробою електроди обов'язково *промивають* дистильованою водою й *осушують* фільтрувальним папером. Зняття показань для кожної проби необхідно робити через однакові й досить

*великі проміжки часу* (у середньому 2 хвилини після занурення електродів до розчину, що аналізується), щоб зменшити похибку, пов'язану з тим, що у системі може не встигнути встановитися рівновага. У перервах між вимірами не рекомендується залишати електроди у сухому стані, їх варто опустити у стаканчик з дистильованою водою.

**Мета роботи:** визначити величину показника кислотно-основних властивостей ґрунту (або реакції середовища) *pH* потенціометричним методом.

Визначення величини показника *pH* проводять *відповідно до ГОСТ 26423-85* [6].

**Засоби випробування та матеріали**: ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); *pH*-метр; буферні розчини *pH* 4,01; 6,86; 9,18; скляні стаканчики ємністю 50 та 100 мл (згідно з ГОСТ 25336-82 [5]); піпетки на 5 мл.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовку до випробування*** виконують відповідно до операцій викладених у лабораторній роботі 4, пункт 1.

***2. Визначення гігроскопічної вологості ґрунту*** виконують відповідно до операцій викладених у лабораторній роботі 2, пункт 2.

***3. Потенціометричний метод визначення величини pH.***

***3.1. Підготовку до аналізу*** виконують відповідно до операцій викладених у лабораторній роботі 4, підпункт 3.1.

***3.2. Проведення аналізу.***

1) Для проведення потенціометричного аналізу готують *pH*-метр до роботи згідно з інструкцією та настроюють його за допомогою буферних розчинів. Ретельно промивають дистильованою водою електроди й скляний стаканчик та просушують фільтрувальним папером.

2) У скляний стаканчик ємністю 50 мл відбирають 10-20 мл нефільтрованої суспензії розчину, що досліджується.

3) Потім у скляний стаканчик з суспензією обережно, щоб її не збовтати, занурюють електроди *pH*-метра та через 2-3 хв. беруть відлік за шкалою приладу й встановлюють *pH* водного розчину ґрунту, що досліджується.

### *4. Обробка результатів випробування.*

1) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 1.25).

**Таблиця 1.25**

**Журнал лабораторного визначення показника кислотно-основних властивостей ґрунту (або реакції середовища) *pH* потенціометричним методом**

**Лабораторний номер зразка _______**
**Вага наважки зразка, г _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **Показники** | **ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ВОДНОЇ СУСПЕНЗІЇ ГРУНТУ** |
|---|---|
| | **Гігроскопічна вологість проби ґрунту, $W_g$: ___ %** |
| **Загальний об'єм водної суспензії $V_0$, мл** | **500** |
| **Об'єм водної суспензії, взятої на визначення $V_1$, мл** | **20** |
| **Відношення ґрунту до води** | **1:2,5** |
| **Актуальна кислотність ґрунту $pH_{H2O}$** | |
| **Актуальна лужність ґрунту $pOH = (14 - pH)$** | |
| **Величина активності іонів $H^+$ $lga_{H+} = - pH$** | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

### *5. Підсумки.*

На основі результатів аналізу водної витяжки та визначення величини показника кислотно-основних властивостей ґрунту (або реакції середовища) *pH*, необхідно зробити висновки про ступінь кислотності ґрунту та виконати класифікацію ґрунтів (див. табл. 1.22).

**Лабораторна робота 6. Визначення карбонатів у ґрунтах газометричним методом за допомогою кальциметра.**

На жаль, у наш час іще не існує спеціального стандарту, відповідно до якого слід визначати кількісний вміст карбонатів у ґрунтах.

*Існує три основних методи* визначення мінерального складу, зокрема, карбонатів у ґрунтах:

1) імерсійний;

2) метод фарбування;

3) газометричний (за допомогою кальциметра).

*Імерсійний метод* ґрунтується на вивченні орієнтованих часток глинистої складової зв'язних ґрунтів у спеціально підготовлених препаратах. Пробу ґрунту, занурену в імерсійні рідини, досліджують за допомогою поляризаційного мікроскопа, з метою підрахунку кількості зерен тих або інших мінералів, визначення форми агрегатів та оцінки їхніх оптичних властивостей.

*Метод фарбування* застосовують з метою вивчення мінерального складу глинистих ґрунтів. Він ґрунтується на використанні органічних барвників і здатності глинистих часток фарбуватися у різні кольори залежно від будови. Фарбуванню, як правило, переважно піддають світлі ґрунти (глинисті, піщано-глинисті, карбонатні тощо).

*Газометричний метод* ґрунтується на фіксації за допомогою приладу – *кальциметра* (рис. 1.14) кількості (об'єму) $CO_2$, яка була виділена при розкладенні наважки ґрунту соляною кислотою:

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2.$$

Кількість $CO_2$ перераховують на $CaCO_3$ ґрунту у %. У доломітових ґрунтах кількість вуглекислоти, що була виділена, слід перераховувати на карбонати кальцію та магнію $CaMg(CO_3)_2$.

У виробничих геотехнічних лабораторіях найбільш широко використовується газометричний метод за допомогою кальциметра, тому що 2 інших методи потребують

специфічного обладнання, допоміжних матеріалів і фахівців із певними навичками.

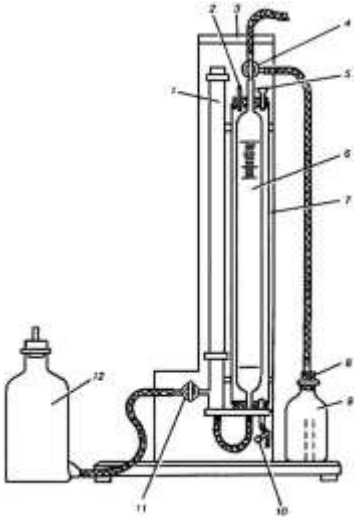



**Рис. 1.14. Кальциметр ТУ 25-11-1106-75:**
*1* – зрівнювальний циліндр; *2* - відвідна трубка;
*3* – підставка; *4* – кран; *5* – лійка; *6* – бюретка; *7* – мантія;
*8* – пробка; *9* – реакційна колба з пробкою; *10* – затискач;
*11* – кран; *12* – склянка з тубусом

*Сутність газометричного методу* полягає у отриманні за допомогою приладу (кальциметра) об'єму $CO_2$, який було виділено із перетертої наважки ґрунту при обробці її 10% соляною кислотою.

Метод забезпечує отримання якісних, достовірних результатів, є технічно достатньо простим, легко засвоюється співробітниками виробничих лабораторій тощо.

**Мета роботи:** визначити карбонатність ґрунтів газометричним методом за допомогою кальциметра.

**Засоби випробування та матеріали**: кальциметр ТУ 25-11-1106-75 (рис. 1.14); сито з розміром отворів 1 мм; порцелянова ступка й товкачик із гумовим наконечником (згідно ГОСТ 9147-80 [4]); ваги лабораторні аналітичні з точністю зважування до

0,001 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); термометр із похибкою до 0,5°С (згідно ГОСТ 28498-90 [13]); піпетка на 25 мл; 10% розчин соляної кислоти; сушильна шафа.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування.***

1) На лабораторних аналітичних вагах, після квартування, зважують наважку повітряно-сухого розтертого ґрунту, висушеного при температурі 102-105$^0$С: від 0,5 г (для вапняків, мергелів, доломітів) до 4 г (для пісків, пісковиків, глин, що слабо взаємодіють з соляною кислотою) та переносять її у реакційну колбу *9*. Колба, попередньо, має бути ретельно вимита та просушена.

2) З метою запобігання зміни об'єму вуглекислого газу у бюретці *6* під впливом випадкових змін температури, у мантію *7*, що відіграє роль термостата, через лійку *5* заливають воду.

3) Заміряють температуру води у мантії бюретки *7* (температура досліду) та атмосферний тиск за допомогою барометра.

***2. Газометричний метод визначення карбонатів у ґрунтах за допомогою кальциметра.***

***2.1. Проведення аналізу.***

1) За допомогою піпетки у впаяну пробірку, в середині реакційної колби *9*, обережно вливають 10-20 мл 10% соляної кислоти.

2) Реакційну колбу *9* закривають пробкою *8*, що має відвідну гумову трубку, та з'єднують її, за допомогою обертання крана *4* у вертикальне положення, з бюреткою *6* та з атмосферою.

3) Кран *11* повертають на з'єднання зрівнювального циліндра *1* зі склянкою з тубусом *12* та перевіряють герметичність кальциметра. Постійність рівня у бюретці *6* свідчить про герметичність приладу.

4) Реакційну колбу *9* нахиляють до повного виливання соляної кислоти із впаяної пробірки на наважку ґрунту. З метою забезпечення повного розкладання карбонатів у наважці ґрунту, реакційну колбу необхідно періодично струшувати.

5) Газ, що виділяється, буде витісняти з бюретки *6* рідину у зрівнювальний циліндр *1* та у склянку з тубусом *12*.

6) Після закінчення реакції взаємодії карбонатів з соляною кислотою та вирівнювання температур газу у реакційній колбі *9* і навколишньому повітрі (приблизно через 10 хвилин) заміряють об'єм газу, що виділився. Про вирівнювання температур газу у реакційній колбі й навколишньому середовищі свідчить припинення зміни рівня рідини у бюретці *6*.

7) З метою виміру об'єму газу, що виділився, встановлюють однаковий рівень замикаючої рідини у склянці з тубусом *12*, циліндрі *1* та бюретці *6*. Потім знімають відлік газу, що виділився, за нижнім меніском рідини у бюретці.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Вміст карбонатів у ґрунтах, в перерахунку на $CaCO_3$, за отриманим об'ємом $CO_2$, (у %) визначають за формулою 1.16:

$$K = \frac{V \times b \times 10}{44 \times a}, \qquad (1.16)$$

де $K$ – вміст $CaCO_3$ у ґрунті, що досліджується, %; $V$ – об'єм $CO_2$, витіснений із ґрунту, см$^3$; $b$ – маса 1 см$^3$ $CO_2$ при фіксованій температурі та барометричному тиску під час проведення досліду (визначається за таблицею 1.26), мг; 44 – молекулярна маса $CO_2$; $a$ – маса наважки ґрунту, що досліджується, г.

2) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 1.27).

***4. Підсумки.***

На основі результатів визначення вмісту карбонатів, необхідно зробити висновки про ступінь карбонатності ґрунту та виконати його класифікацію (див. табл. 1.23).

**Таблиця 1.26**

**Маса 1 см$^3$ $CO_2$ залежно від температури та барометричного тиску, г**

| Температура $T$, $^0$C | Барометричний тиск $p$, мм ртутного стовпчика | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 747 | 749 | 751 | 753,5 | 756 | 758 | 760 | 762,5 | 765 | 767 |
| 26 | 1,803 | 1,809 | 1,816 | 1,822 | 1,829 | 1,835 | 1,840 | 1,845 | 1,848 | 1,854 |
| 25 | 1,810 | 1,816 | 1,823 | 1,829 | 1,836 | 1,842 | 1,847 | 1,852 | 1,856 | 1,861 |
| 24 | 1,816 | 1,822 | 1,829 | 1,835 | 1,842 | 1,848 | 1,853 | 1,858 | 1,862 | 1,867 |
| 23 | 1,822 | 1,828 | 1,835 | 1,841 | 1,848 | 1,854 | 1,859 | 1,864 | 1,868 | 1,873 |
| 22 | 1,828 | 1,834 | 1,841 | 1,847 | 1,854 | 1,860 | 1,865 | 1,870 | 1,875 | 1,880 |
| 21 | 1,835 | 1,841 | 1,848 | 1,854 | 1,861 | 1,867 | 1,872 | 1,877 | 1,882 | 1,887 |
| 20 | 1,841 | 1,847 | 1,854 | 1,860 | 1,867 | 1,873 | 1,878 | 1,883 | 1,888 | 1,893 |
| 19 | 1,847 | 1,853 | 1,860 | 1,866 | 1,873 | 1,879 | 1,884 | 1,889 | 1,894 | 1,899 |
| 18 | 1,853 | 1,859 | 1,866 | 1,872 | 1,879 | 1,885 | 1,890 | 1,895 | 1,900 | 1,905 |
| 17 | 1,860 | 1,866 | 1,879 | 1,879 | 1,886 | 1,892 | 1,897 | 1,902 | 1,907 | 1,912 |
| 16 | 1,866 | 1,873 | 1,879 | 1,886 | 1,892 | 1,898 | 1,903 | 1,913 | 1,918 | 1,923 |

**Таблиця 1.27**

**Журнал лабораторного визначення карбонатів у ґрунтах газометричним методом за допомогою кальциметра**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Маса наважки зразка, г _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| Показники | ГАЗОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КАРБОНАТІВ У ҐРУНТАХ |
|---|---|
| | Температура, $T$:_ ___ $^0$C |
| | Барометричний тиск, $p$:_____ мм рт. ст. |
| Маса 1 см$^3$ $CO_2$, ($b$) г | |
| Об'єм $CO_2$, витіснений із ґрунту, ($V$), см$^3$ | |
| Вміст $CaCO_3$ у ґрунті, що досліджується, ($K$),% | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

# Розділ 2. ВИВЧЕННЯ ВМІСТУ РІДКОЇ КОМПОНЕНТИ ҐРУНТІВ

***Рідка компонента*** є найважливішою складовою частиною переважної більшості ґрунтів. Просторово вода та інші рідини знаходяться у ґрунтах завдяки наявності у них всіляких порожнин (тріщин, пор, каналів тощо), які займає вода або інші рідини завдяки своїй високій рухливості.

Встановлено, що нижче рівня ґрунтових вод до глибин близько 4-5 км і більше практично усі порожнини гірських порід (за винятком вуглеводневих покладів) заповнені водними розчинами, що утворюють у межах літосфери регіональні нерозривні макроскопічні системи гідросфери. У гірських породах літосфери сконцентровано понад 0,8 млрд. км$^3$ води, ще більша кількість води зосереджена у глибших надрах мантії Землі - 13-15 млрд. км$^3$. У земній корі значна кількість води знаходиться у зв'язаному стані, входячи до складу деяких мінералів і гірських порід (гіпс, гідратовані форми кремнезему, гідросилікати тощо).

Формування рідкої компоненти у ґрунтах може відбуватися як природним, так і штучним шляхом. *За хімічним складом* рідини можна поділити на неорганічні, органічні та суміші, включаючи також і емульсії (таблиця 2.1) [17].

**Таблиця 2.1**

**Склад рідин у ґрунтах**

| Неорганічні рідини | Органічні рідини | Суміші та емульсії |
|---|---|---|
| 1. Вода та водні неорганічні розчини:<br>а) електролітів<br>б) неелектролітів | 1. Рідкі вуглеводні (нафтопродукти) | 1. Нафта |
| | 2. Синтетичні смоли та полімери | 2. Водні органічні розчини |
| | | 3. Воднонафтові емульсії |
| | 3. Бітуми | 4. Водномастильні емульсії |

Серед ***неорганічних рідин у ґрунтах*** найбільше значення має вода – найбільш розповсюджена речовина на Землі. Вода завжди містить ти чи інші розчинені неорганічні або органічні речовини, тому в ґрунтах її слід розглядати як відповідні *водні розчини*. Для інженерно-геологічних вишукувань слід виділяти водні розчини електролітів і неелектролітів, які можуть формуватися природним і техногенним шляхом.

*Водні розчини неорганічних електролітів* (солей, кислот, лугів) характеризуються електролітичною дисоціацією розчиненої речовини з утворенням іонів (аніонів та катіонів). Ступінь дисоціації залежить від природи та сили зв'язку між іонами і молекулами води, їхньої гідратуючої здатності, а також від діелектричної проникності води.

*Водні розчини неорганічних неелектролітів* характеризуються відсутністю електричної дисоціації розчиненої речовини та, відповідно, відсутністю у розчині іонів.

***Органічні речовини у ґрунтах*** – це рідкі вуглеводні (бензин, керосин тощо), бітуми та смоли, що формуються техногенним шляхом як у результаті спрямованої діяльності (наприклад, під час проведення технічної меліорації ґрунтів при їхньому закріпленні смолами або бітумами), так і неконтрольовано (аварійні викиди, витікання тощо).

***Суміші рідин у ґрунтах,*** в основному, представлені нафтою, яка є складною сумішшю рідин, газоподібних вуглеводнів і твердих речовин – парафінів і церезинів.

***Емульсії у ґрунтах*** становлять собою суміші двох та більше рідин, що не змішуються. Це своєрідні дисперсні системи з рідким дисперсійним середовищем і рідкою дисперсійною фазою. У ґрунтах найбільшого розповсюдження набули воднонафтові емульсії, що формуються на контакті нафти і водоносних горизонтів або при нафтовому забрудненні ґрунтів (витікання нафти, нафтопродуктів тощо).

У ґрунтах виділяють різні ***категорії води***, що відрізняються за своєю природою і умовами формування, за структурою, властивостями тощо. Перші уявлення про категорії води виникли понад сто років тому, однак їхні систематичні дослідження розпочалися лише у 20-30-х роках XX сторіччя.

Величезний внесок у дослідження категорій води внесли такі вчені, як О.Ф. Лебедєв, С. Маттсон, А.А. Роде, В.А. Приклонський, Є.М. Сергєєв, Ф.Д. Овчаренко, О.К. Ларіонов, Ю.І. Тарасевич, Р.І. Злочевська, В.А. Корольов, Л.І. Кульчицький, А.Д. Воронін та інші.

З середини 30-х років XX сторіччя й до теперішнього часу було запропоновано велику кількість класифікацій води у ґрунтах, але найбільш обґрунтованою і сучасною є класифікація Р.І. Злочевської (1988) [17], згідно з якою вода у ґрунтах поділяється на *зв'язану*, *перехідного типу* та *вільну* (таблиця 2.2).

**Таблиця 2.2**

**Класифікація води у ґрунтах**

| **Категорія (тип) води** | **Вид і різновиди води** |
|---|---|
| Зв'язана | 1. Вода кристалічної решітки мінералів (конституційна, кристалізаційне зв'язана) |
| | 2. Адсорбційна вода (острівної, мономолекулярної й полімолекулярної адсорбції) |
| Перехідного типу (від зв'язаної до вільної) | 1. Осмотично поглинена вода |
| | 2. Капілярна вода (капілярної конденсації та капілярного всмоктування) |
| Вільна | 1. Замкнена у великих порах (іммобілізована) |
| | 2. Текуча |

***Зв'язана вода*** утримується у гірській породі завдяки хімічним і фізичним силам зв'язку (з енергією від 0,1 до 800 кДж/моль), які діють з боку поверхні мінералів та змінюють структуру і властивості води. Сумарний вміст зв'язаної води у літосфері Землі налічує 0,31-0,35 млрд. км$^3$, що складає приблизно 42% від загальної кількості води у земній корі.

*Зв'язана вода* буває двох видів. До *першого виду* відноситься вода, що входить до складу кристалічних решіток різних мінералів. Це конституційна, не молекулярна форма води типу ОН-груп, кристалізаційна вода різних кристалогідратів (якщо вони є у цій гірській породі), а також вода, «зв'язана»

координаційно-ненасиченими атомами й іонами кристалічної решітки мінералів.

До *другого виду* відноситься адсорбційна вода, що утворюється за рахунок адсорбційного «тяжіння» молекул води до активних адсорбційних центрів поверхні мінералів.

Зв'язана вода утворює адсорбційні плівки завтовшки в один або декілька молекулярних шарів і міститься в ґрунтах у порах або мікротріщинах розміром менше 0,001 мкм. Серед неї виділяються два різновиди: з найбільшою енергією тяжіння до поверхні (близько 40-120 кДж/моль) - *вода острівної або мономолекулярної адсорбції*, з меншою енергією зв'язку (менше 40 кДж/моль) – *вода полімолекулярної адсорбції*. У цього типу води фізичні властивості найбільшою мірою відрізняються від вільної.

Тверді поверхні мінералів мають гідрофільні властивості, що обумовлює орієнтацію молекул води, які є диполями (рис. 2.1). Встановлено, що молекули води орієнтовані нормально до твердої поверхні, що викликано дією електростатичного тяжіння.

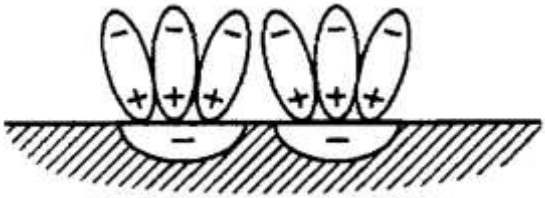


**Рис. 2.1. Орієнтація диполів молекул води на твердій поверхні мінералів [17]**

Аномальні особливості зв'язаної води були встановлені для таких її властивостей, як густина, в'язкість, діелектрична проникність тощо [17]. З'ясовано, що *густина зв'язаної води* у тонких плівках завтовшки близько 5 нм (нанометрів) підвищена на 1,5% у порівнянні з вільною водою і складає, в середньому, близько 1,02 г/см$^3$. Раніше вважалося, що густина зв'язаної води 1,2-1,4 г/см$^3$ (за деякими даними 1,8-2,4 г/см$^3$).

Прямі виміри в'язкості води у дуже тонких кварцових капілярах показали, що *в'язкість зв'язаної води* підвищується

при зменшенні товщини плівки менше 1 мкм - від 1,1 до 1,6 разів. При підвищенні температури в'язкість зв'язаної води знижується і при температурі 65-70°С стає такою ж, як і у вільної води, тобто при нагріванні відбувається теплове руйнування структури зв'язаної води, зменшення товщини її граничної фази із спотвореною структурою і перехід у вільну воду. При зниженні температури, навпаки, відбувається зворотне явище - структуризація зв'язаної води.

Встановлено, що зв'язаної воді у ґрунтах притаманна знижена у порівнянні з вільною водою *розчинювальна здатність*; зв'язана вода здатна розчиняти менше солей, ніж звичайна (вільна) вода.

Інша аномальна властивість зв'язаної води – зниження у декілька разів у порівнянні з вільною водою її *діелектричної проникності*. Якщо для звичайної води діелектрична проникність дорівнює 81, то для зв'язаної вона зменшується залежно від товщини водної плівки до 3-40.

У ґрунтах, де є зв'язана вода, а вона практично завжди має місце, необхідно дуже обережно використовувати *закон Архімеда*. Виштовхувальна дія води була визначена Архімедом для відкритої вільної води. У ґрунтах, де немає явно вираженого рівня підземних вод, все дуже ускладнюється. У суглинках і особливо у глинах зважуюча дія води, у більшості випадків не проявляється повною мірою.

***Вода перехідного типу*** *(від зв'язаної до вільної)* у меншій мірі піддається дії поверхневих сил, вона утримується поблизу поверхні мінералів за рахунок більш слабкіших зв'язків. Тому її структура менш спотворена, а відмінності між фізичними властивостями у порівнянні з вільною водою менш значні. У межах цього типу виділяється два види води: *осмотично поглинена* та *капілярна*.

*Перший вид - осмотично поглинена вода* – утворюється у ґрунтах за рахунок процесів вибіркової дифузії молекул води у напрямку до мінеральної поверхні, що обумовлено наявністю в останньої «іонної атмосфери», так званого «подвійного електричного шару» (*ПЕШ*), якій складається зазвичай з

катіонів порового розчину, що «концентрують» негативний заряд мінеральних часток (рис. 2.2).

*Подвійний електричний шар* (див. рис. 2.2) складається з двох частин: внутрішнього адсорбційного шару (*c*), і зовнішнього - дифузного шару (*d*).

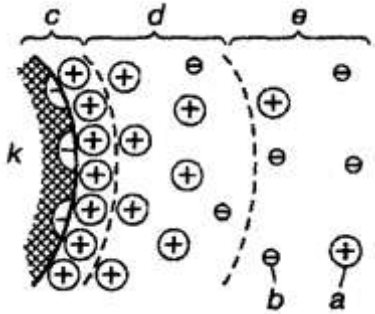



**Рис. 2.2. Створення осмотично поглиненої води поблизу негативно зарядженої мінеральної частки [17]:**
*a* – катіони; *b*- аніони; *c* - область адсорбційного шару, зайнята зв'язаною водою; *d* – дифузна частина *ПЕШ*, зайнята осмотично поглиненою водою; *e* – область за межами *ПЕШ*, зайнята вільною водою; *k* - негативно заряджена мінеральна частка

Концентрація катіонів експоненціальне збільшується за нормаллю до мінеральної поверхні, і це обумовлює наявність градієнта концентрації, що викликає «осмотичне» пересування молекул води з об'єму вільного порового розчину (*e*) у межі подвійного електричного шару (*d*) (див. рис. 2.2). Осмотична вода, що утворюється таким чином, займає зовнішню частину подвійного електричного шару - дифузний шар. Цю воду назвали «осмотичною» тому, що її утворення пов'язано з явищем мікроскопічного поверхневого осмосу, що нагадує звичайний *осмос* - рух води крізь напівпроникну мембрану (що пропускає відносно невеликі за розміром молекули води, але не пропускає більші катіони). У ґрунтах роль цієї напівпроникної мембрани виконує зовнішня межа подвійного електричного шару.

*Другий вид води перехідного типу - капілярна вода* - утворюється у порах капілярного розміру (діаметром від$10^{-3}$ до

$10^3$ мкм) за рахунок капілярного тиску і утримується у гірській породі капілярними силами водних менісків (силами поверхневого натягнення), що утворюються на межі фаз вода-повітря-тверда поверхня (рис. 2.3).

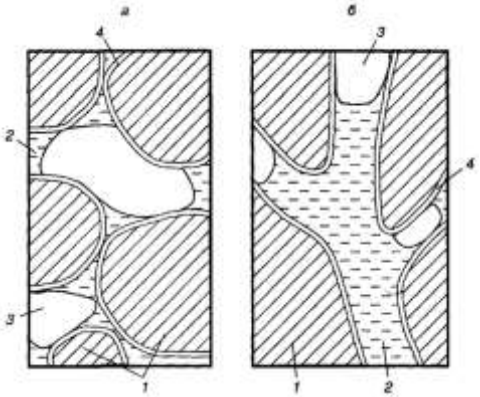



**Рис. 2.3. Стан капілярної води у ґрунтах [17]:**
*а* – капілярно конденсована вода; б – власне капілярна вода;
*1 – мінеральна частка; 2 – капілярна вода; 3 – повітря;*
*4 – адсорбована вода*

У цьому випадку на кожній межі газу з водою також утворюються меніски, які викликають розтягуюче напруження (негативні тиски) у воді та стискаюче напруження в твердій фазі ґрунту, інтенсивність яких залежить від кривизни менісків, тобто значною мірою від розмірів пор або часток ґрунту. В результаті сухий сипкий пісок при його невеликому зволоженні набуває зв'язаність і може тримати хоча і порівняно невеликі, але вертикальні укоси. При висиханні або значному зволоженні меніски і сили внутрішнього капілярного тиску зникають, і пісок знову стає сипким. Капілярні сили практично не міняють структури води і тому капілярна вода за своїми основними фізичними властивостями практично не відрізняється від вільної.

*Капілярна вода у ґрунтах може формуватися*:

1) за рахунок явища капілярної конденсації, коли молекули води поступово конденсуються на поверхні плівки адсорбованої вологи, що огортає частки породи, і, зливаючись у місцях

контакту (на стику часток), утворюють водні меніски (див. рис. 2.3, *а*);

2) за рахунок капілярного всмоктування води під дією сил поверхневого натягнення з пор, що сполучаються, тріщин і каналів при контакті породи з вільною водою (див. рис. 2.3, *б*).

*Воду капілярного всмоктування* іноді поділяють за її положенням у ґрунтовому масиві на дві категорії:

1) *власне капілярну* (що піднімається вгору від дзеркала ґрунтових вод і формує так звану «капілярну облямівку»);

2) *капілярно-підвішену*, яка утворюється, наприклад, при інфільтрації опадів, не має контакту з поверхнею ґрунтових вод і поширюється на всі боки від джерела зволоження.

Вода у капілярі піднімається або опускається на таку висоту, при якій тиск стовпа рідини (гідростатичний тиск) врівноважується надлишковим капілярним тиском. Висота підняття води у капілярі обернено пропорціональна його радіусу. В тонких капілярах вода піднімається досить високо. Так, при повному змочуванні вода у капілярі діаметром 10 мкм піднімається на висоту 3 м.

*Висотою капілярного підняття у ґрунті* ($h_c$) називається висота стовпа води, який можуть утримувати капілярні сили (поверхневе натягнення, що розвивається у порах гірської породи на межі розділу вода-повітря). Висота капілярного підняття пропорційна діаметру капілярів ґрунту:

$$h_c = \pm\, 2T\cos\alpha \,/\, r\rho_W g, \qquad (2.1)$$

де $T$ - поверхневе натягнення, $\alpha$ - кут змочування, $\rho_W$ - густина рідини.

Висота капілярного підняття для деяких ґрунтів надана у таблиці 2.3.

*За висотою капілярного підняття* $h_c$ *(у см) виділяють ґрунти:*

- з малою висотою $h_c < 1{,}0$;
- з середньою висотою $1{,}0 < h_c < 2{,}5$;
- з великою висотою $h_c > 2{,}5$.

**Таблиця 2.3**

**Висота капілярного підняття у дисперсних ґрунтах**

| Ґрунти | Капілярне підняття $h_c$, см |
|---|---|
| Пісок крупнозернистий | 2,0 ÷ 3,5 |
| Пісок середньозернистий | 12,0 ÷ 35,0 |
| Пісок дрібнозернистий | 35,0 ÷ 120,0 |
| Супісок | 120,0 ÷ 350,0 |
| Суглинок | 350,0 ÷ 650,0 |
| Глина | 650,0 ÷ 1200,0 |
| Лесоподібні ґрунти | 400 та більше |
| Мули та торфи | до 2500 та більше |

***Вільна вода***, що має фізичні властивості звичайної води, у ґрунтах поділяється на два види:

1) *вода замкнена* у крупних порах породи (іммобілізована) – [від лат. «*immobilis*» - нерухомий], і тому не має можливості брати участь у процесах фільтрації та руху підземних вод;

2) *текуча вільна вода* (вода ґрунтового потоку), яка рухається під дією сили тяжіння або напору.

Вільна вода рухається у ґрунтах по великих порах і тріщинах шляхом фільтрації під дією сили тяжіння або напору, вона створює горизонти підземних вод, має фізичні властивості звичайної води та неспотворену структуру.

Кількісний вміст рідкої компоненти ґрунтів може оцінюватися ***об'ємною*** та ***ваговою вологістю***.

***Вологістю*** називають кількість води, що міститься у порах і тріщинах ґрунту в природному стані. Величина ***природної вологості*** є важливою характеристикою фізичного стану ґрунту, яка визначає його міцність та поведінку під дією навантажень від інженерних споруд. Виняткове значення має вологість для глинистих ґрунтів, які різко змінюють свої властивості залежно від ступеня їхньої зволоженості. Природна вологість є дуже важливим опосередкованим показником, який використовують при розрахунках щільності ґрунту, його пористості, ступеня вологості та інших характеристик.

Максимальний вміст рідкої компоненти (значення природної вологості) притаманний торфам – до 33 ч. од. (або 3300%) та більше.

***Об'ємна вологість ($W_n$)***, або об'ємний вміст рідини, що чисельно дорівнює відношенню об'єму води (рідини) у ґрунті ($V_W$) до об'єму всього ґрунту *($V_{tot}$)*, включаючи об'єми води та газу:

$$W_n = \frac{V_w}{V_{tot}}, \qquad (2.2)$$

Величина об'ємної вологості вимірюється у відсотках (*%*) або у частинах одиниці (*ч. од.*) й може змінюватись від нуля для абсолютно сухого ґрунту до 100% (до 1 *ч. од.*) для повністю водонасиченого ґрунту.

***Вагова вологість (W)***, або ваговий (масовий) вміст рідини, що чисельно дорівнює відношенню маси води (рідини) у ґрунті ($m_W$) до маси сухого ґрунту *($m_d$)*:

$$W = \frac{m_w}{m_d}, \qquad (2.3)$$

Величина вагової вологості також вимірюється у відсотках (*%*) або у частинах одиниці (*ч. од.*), але на відміну від об'ємної вологості *має лише нижню границю - 0%* (для абсолютно сухого ґрунту). Вагова та об'ємна вологість пов'язані між собою таким співвідношенням:

$$W_n \times \rho_W = W \times \rho_d, \qquad (2.4)$$

де $\rho_d$ – щільність скелету ґрунту, г/см$^3$; $\rho_W$ густина води, г/см$^3$.

Важливою характеристикою є ***відносна вологість*** або ***ступінь вологості (або коефіцієнт водонасичення) ґрунту $S_r$,*** яка характеризує відносну частину заповнення пор водою (рідиною) у даному ґрунті. Її величина чисельно дорівнює відношенню об'єму води або рідини ($V_W$) до об'єму пор ґрунту ($V_n$):

$$S_r = \frac{V_w}{V_n} = \frac{m_w}{\rho_w \times V_n} = \frac{W \times \rho_s}{e \times \rho_w}, \qquad (2.5)$$

де $e$ – коефіцієнт пористості, ч. од.; $\rho_s$ – щільність часток ґрунту, г/см$^3$; $\rho_W$ – густина води, г/см$^3$.

Величина ступеня вологості ґрунту $S_r$ вимірюється у частинах одиниці (*ч. од.*) або у відсотках (*%*) і може змінюватись від 0 (у випадку абсолютно сухого ґрунту) до 1 (або 100%) при повному насиченні пор ґрунту. В окремих випадках значення $S_r$ може бути більше 1 за рахунок того, що при визначенні вагової вологості при температурі 105 ÷ 107 $^0$С з ґрунту видаляється не тільки вода, що знаходиться в його порах, але й частина води, що входить до складу породоутворюючих мінералів (монтморилоніт, гіпс тощо), а також деяких органічних домішок.

*Ступінь вологості (або коефіцієнт водонасичення) ґрунту* $S_r$ є класифікаційним показником для дисперсних незв'язних ґрунтів (таблиця 2.5) [20]:

**Таблиця 2.5.**

**Класифікація дисперсних незв'язних ґрунтів за коефіцієнтом водонасичення (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96)**

| **Різновид ґрунтів** | **Коефіцієнт водонасичення $S_r$, ч. од.** |
|---|---|
| Малого ступеню водонасичення (маловологі) | 0 ÷ 0,50 |
| Середнього ступеню водонасичення (вологі) | 0,50 ÷ 0,80 |
| Насичені водою | 0,80 ÷ 1,0 |

*Категорії води у ґрунтах* є енергетично неоднорідними – шари різних видів і різновидів води утримуються поблизу твердої мінеральної поверхні часток з різною силою. Найскладнішим завданням завжди було визначення вмісту *зв'язаної води* (це потребувало використання досить тонких методів, наприклад, ядерно-магнітного резонансу, інфрачервоної спектроскопії, молекулярної динаміки тощо), але для практичних цілей інженерної геології краще

використовувати більш простіші методи досліджень, що не потребують складного устаткування.

У ґрунтознавстві виділення вмісту різних категорій води у ґрунтах відбувається на основі визначення різноманітних показників характеристики вологості, що достатньо просто визначаються за допомогою нескладних лабораторних аналізів та адсорбційних способів. Найбільш широкого розповсюдження в інженерної геології набули такі показники – *максимальна гігроскопічна вологість ($W_{mq}$), гігроскопічна вологість ($W_q$), капілярна вологоємність ($W_c$), повна вологоємність ґрунту ($W_0$), вологість максимальної «молекулярної вологоємності» ($W_{mmw}$)* (за О.Ф. Лебедєвим) тощо.

***Максимальна гігроскопічна вологість ($W_{mq}$)*** характеризує загальну кількість води полімолекулярної адсорбції у ґрунтах. За значеннями $W_{mq}$ оцінюють загальну кількість зв'язаної води у різних ґрунтах, яка безпосередньо залежить від їхніх адсорбційних здатностей. Адсорбційна здатність ґрунтів обумовлюється мінеральним складом ґрунту та пов'язаною з ним дисперсністю. Найбільші значення величин максимальної гігроскопічної вологості характерні для ґрунтів із високодисперсними глинистими мінералами – смектитами, іллітові глини займають проміжне положення, а каолінітові й хлоритові глини мають найменші значення $W_{mq}$.

Величина максимальної гігроскопічної вологості визначається двома основними методами – методом А.В. Ніколаєва та методом Е.А. Мітчерлиха, який є більш обґрунтованим та надійним [17].

***Гігроскопічна вологість ($W_q$)*** або вологість повітряно-сухого зразка ґрунту – це здатність часток ґрунту притягати з повітря пароподібну вологу. Гігроскопічна вологість не є константою для ґрунту тому, що її величина залежить від відносного тиску пари у повітрі, який перебуває у рівновазі з даним ґрунтом. Завдяки цьому при зміні зовнішніх умов величина $W_g$ може змінюватися у дуже широких межах.

***Капілярна вологоємність ($W_c$)*** – це максимальна кількість води, що утримується у капілярних порах ґрунту. Величина $W_c$ характеризує категорію води перехідного типу. Капілярна

вологоємність ґрунту чисельно дорівнює вологості ґрунту (ваговій або об'ємній) при його капілярному насиченні, тобто при наявності всіх форм капілярної води.

Капілярна вологоємність визначається тільки для тих ґрунтів, котрі здатні вміщувати капілярну воду – тонкотріщинуватих і пористих скельних, крупноуламкових та піщаних. У глинистих ґрунтах (глини, суглинки, частково супіски) капілярна вода може взагалі бути відсутньою або мати підпорядковане значення у порівнянні з осмотичною та іншими видами зв'язаної води. Капілярну воду дуже важко визначити окремо тому, що вона формується одночасно з осмотичною та зв'язаною водою.

Найбільшу капілярну вологоємність мають ґрунти з максимальним вмістом мезо- та мікропор (0,001 ÷ 1 мм) – піски, супіски, пісковики, алевроліти, високопористі скельні ґрунти тощо.

***Повна вологоємність ґрунту ($W_0$)*** чисельно дорівнює вологості ґрунту (ваговій або об'ємній) при повному насиченні всіх пор водою. *Повна вологоємність* визначається для всіх типів ґрунтів (скельних та дисперсних) і характеризує вміст у ґрунті всіх категорій води, в тому числі й вільної. Найбільшу величину $W_0$ мають ґрунти, які мають найвищі значення відкритої пористості. Для *ненабухаючих ґрунтів* повна вологоємність є постійною величиною й вимірюється у частинах одиниці (*ч. од.*), збігається з їхньою пористістю або максимальним значенням об'ємної вологості. Для *набухаючих ґрунтів* повна вологоємність є змінною величиною, яка залежить від ступеня набухання ґрунту, завдяки тому, що під час набухання відбувається збільшення його порового простору.

***Вологість максимальної «молекулярної вологоємності» ($W_{mmw}$)*** (за А.Ф. Лебедєвим) – це здатність часток ґрунту утримувати на своїй поверхні максимальну кількість гігроскопічної та плівкової води. При $W_{mmw}$ у ґрунтах створюється максимальна кількість капілярних менісків. Приблизно при цієї вологості у глинистих ґрунтах починає формуватися осмотична вода.

Різниця між різноманітними характеристиками вологості дозволяє оцінити кількісний вміст різних категорій рідкої компоненти у даному ґрунті.

**Лабораторна робота 7. Визначення вологості ґрунту методом висушування до постійної маси.**

Існують різні лабораторні методи визначення вагової вологості ґрунту. Є *прискорені методи*, які застосовуються при масових визначеннях, оскільки дозволяють відмовитися від тривалого висушування зразків ґрунту. До них належать методи визначення вологості за допомогою вологоміра ВЛ- 20, шляхом висушування проб ґрунту спалюванням пігулок сухого спирту (метод В.М. Радіонова) або денатурованого спирту, яким насичується ґрунт, що досліджується.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23] вологість ґрунту рекомендується визначати *методом висушування до постійної маси*. Цим методом виконуються дослідження ґрунтів для різних видів будівництва, на всіх стадіях вишукувань, за винятком тих випадків, коли ґрунти містять значну кількість рослинних залишків. Недоліком цього методу визначення вологості ґрунту є значні витрати праці, часу й електроенергії, що пов’язано з багатократним зважуванням зразка ґрунту та його тривалим висушуванням у сушильній шафі впродовж 12-14 годин до постійної ваги.

**Мета роботи:** визначити величину вагової вологості ґрунту методом висушування до постійної маси *відповідно до* ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23].

**Засоби випробування та матеріали**: скляні стаканчики (згідно ГОСТ 25336-82 [5]) або алюмінієві бюкси ВС-1 з кришками; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); ексикатор; сушильна шафа.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) На лабораторних технічних вагах зважують два заздалегідь висушених бюкси з кришками. Похибка зважування не повинна перевищувати 0,01 г.

2) Зразки ґрунту для визначення вагової вологості відбирають масою від 15 до 50 г, поміщають у бюкси і щільно закривають кришкою.

***2. Визначення вагової вологості ґрунту методом висушування до постійної маси.***

***2.1. Проведення аналізу.***

1) Зразки ґрунту в закритих бюксах зважують на лабораторних технічних вагах. Похибка зважування не повинна перевищувати 0,01 г.

2) Бюкси відкривають і разом із кришкою (кришка переноситься до низу й на неї ставлять бюкс) поміщають у нагріту сушильну шафу. Ґрунт висушують до постійної маси за температури $105 \pm 2^0$С. Піщані ґрунти висушують протягом 3 год., а інші – протягом 5 год. Наступні висушування піщаних ґрунтів виконують протягом 1 год., інших – протягом 2 год.

3) Загіпсовані ґрунти висушують за температури $80 \pm 2^0$С протягом 8 год., наступні висушування – протягом 2 год.

4) Після кожного висушування ґрунт у бюксах охолоджують у ексикаторі із хлористим кальцієм до температури приміщення та потім зважують. Висушування виконують до одержання різниці мас ґрунту з бюксом при двох наступних зважуваннях не більше ніж 0,02 г.

5) Якщо при повторному зважуванні ґрунту, що містить органічні речовини, спостерігається збільшення маси, то за результат зважування приймають найменшу масу.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Вагову вологість ґрунту $W$ у відсотках розраховують за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_0) \times 100}{m_0 - m}, \qquad (2.6)$$

де $m$ – маса порожнього бюкса з кришкою, г; $m_1$ – маса вологого ґрунту з бюксом і кришкою, г; $m_0$ - маса висушеного ґрунту з бюксом і кришкою, г.

При обробці результатів розраховують вагову вологість до 30% - з точністю до 0,1%, вологість 30% й більше - з точністю до 1%.

Допускається подавати вологість ґрунту в частинах одиниці.

2) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 2.6).

**Таблиця 2.6**

**Журнал лабораторного визначення вологості ґрунту методом висушування до постійної маси**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Вага наважки зразка, г _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВОЇ ВОЛОГОСТІ ГРУНТУ МЕТОДОДОМ ВИСУШУВАННЯМ ДО ПОСТІЙНОЇ МАСИ** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Показники** | | **Маса висушеного ґрунту з бюксом та кришкою $m_0$, г** | | **Вагова вологість $W$, %** | |
| | | **перше зважування** | **друге зважування** | **окремі проби** | **середня** |
| **Маса бюкса з кришкою $m$, г** | | | | | |
| **Маса вологого ґрунту з бюксом та кришкою $m_1$, г** | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Лабораторна робота 8. Визначення гігроскопічної вологості ґрунту методом висушування до постійної маси.

*Гігроскопічна вологість* $W_q$ – це вологість повітряно-сухого зразка ґрунту, що перебуває у рівновазі з вологістю й температурою навколишнього повітря. Відповідно до ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23] гігроскопічну вологість ґрунту рекомендується визначати методом висушування до постійної маси.

**Мета роботи:** визначити величину гігроскопічної вологості ґрунту методом висушування до постійної маси *відповідно до* ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23].

**Засоби випробування та матеріали**: скляні стаканчики (згідно ГОСТ 25336-82 [5]) або алюмінієві бюкси ВС-1 з

кришками; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); ексикатор; сушильна шафа.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) На лабораторних технічних вагах зважують два заздалегідь висушених бюкси з кришками. Похибка зважування не повинна перевищувати 0,01 г.

2) Зразки ґрунту для визначення гігроскопічної вологості масою від 10 до 20 г відбирають способом квартування (див. лабораторну роботу 1) із ґрунту в повітряно-сухому стані, поміщають у бюкси і щільно закривають кришкою. Ґрунт попередньо необхідно розтерти, просіяти крізь сито з отворами 1 мм та витримати відкритим не менше ніж 2 год. за даної температури і вологості повітря.

***2. Визначення гігроскопічної вологості ґрунту методом висушування до постійної маси.***

***2.1. Проведення аналізу.***

1) Зразки ґрунту в закритих бюксах зважують.

2) Бюкси відкривають і разом із кришкою (кришка переноситься до низу й на неї ставлять бюкс) поміщають у нагріту сушильну шафу. Ґрунт висушують до постійної маси за температури 105±2 $^0$С. Глинисті ґрунти висушують протягом 5 год., піщані – протягом 3 год. Наступні висушування глинистих ґрунтів виконують протягом 2 год., піщаних – протягом 1 год.

3) Після кожного висушування ґрунт у бюксах охолоджують у ексикаторі із хлористим кальцієм до температури приміщення та потім зважують. Висушування виконують до одержання різниці мас ґрунту з бюксом при двох наступних зважуваннях не більше ніж 0,02 г.

4) Якщо при повторному зважуванні ґрунту, що містить органічні речовини, спостерігається збільшення маси, то за результат зважування приймають найменшу масу.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Гігроскопічну вологість ґрунту $W_g$ у відсотках розраховують за формулою:

$$W_g = \frac{(m_1 - m_0) \times 100}{m_0 - m}, \qquad (2.7)$$

де $m$ – маса порожнього бюкса з кришкою, г; $m_1$ – маса вологого ґрунту з бюксом і кришкою, г; $m_0$ - маса висушеного ґрунту з бюксом і кришкою, г.

Допускається подавати гігроскопічну вологість ґрунту в частинах одиниці.

2) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 2.6).

**Таблиця 2.7**

**Журнал лабораторного визначення гігроскопічної вологості ґрунту методом висушування до постійної маси**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Вага наважки зразка, г _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ГІГРОСКОПІЧНОЇ ВОЛОГОСТІ ГРУНТУ МЕТОДОДОМ ВИСУШУВАННЯМ ДО ПОСТІЙНОЇ МАСИ** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Показники** | | **Маса висушеного ґрунту з бюксом та кришкою $m_0$, г** | | **Гігроскопічна вологість $W_g$, %** | |
| | | **перше зважування** | **друге зважування** | **окремі проби** | **середня** |
| **Маса бюкса з кришкою $m$, г** | | | | | |
| **Маса вологого ґрунту з бюксом та кришкою $m_1$, г** | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

# Розділ 3. ВИВЧЕННЯ ВМІСТУ ГАЗОВОЇ КОМПОНЕНТИ ҐРУНТІВ

Роль газової компоненти при виконанні комплексних досліджень властивостей ґрунтів, як трьохфазних систем, є надзвичайно вагомою. Фізичні характеристики газів різко відрізняються від аналогічних параметрів твердої й рідкої компоненти ґрунту, тому гази у будь-якому їхньому стані істотно впливають на властивості ґрунтів. Найбільш суттєво від вмісту газової компоненти залежать фізичні властивості – щільність, проникність, теплофізичні параметри (теплопровідність, теплоємність тощо), а також фізико-механічні властивості.

**За умовами та особливостями генезису** газова компонента ґрунтів може бути *природного* та *антропогенного (техногенного) походження*. Серед природних газів виділяють три генетичних типи – *геологічного, атмосферного* та *біологічного походження*.

**Природні гази** можуть бути *сингенетичними* (утворилися одночасно з формуванням гірської породи) та *епігенетичними* (надійшли у ґрунт за рахунок газообміну з сусідніми товщами або з атмосферою).

***Гази геологічного походження*** (ендогенного та екзогенного) формуються під час магматичних (вулканічних), метаморфічних, радіогенних та осадових процесів. Вони є продуктом різноманітних хімічних реакцій, що відбуваються під час формування мінералів і порід на різних етапах літогенезу. Серед природних газів геологічного походження виділяють чотири генетичних групи (*вулканічні, катагенетичні, метаморфічні та радіогенні гази*).

*Вулканічні гази*, що надходять разом із магмою з глибоких надр Землі, пов’язані з дегазацією мантії та виділяються в атмосферу. Головними в їхньому складі є пара води (до 90-95%), потім $CO_2$, $H_2$, $SO_2$, $H_2S$, $HCl$, $HF$, у вигляді домішок у них містяться $N_2$, $NH_3$, $Ar$, $He$ та органічні сполуки.

В спонтанних газах гідротермальних джерел у районах сейсмічної активності встановлено понад 60 неорганічних та

органічних сполук - останні представлені вуглеводнями, легколеткими карбонільними сполуками, спиртами, галогенвуглеводнями.

*Катагенетичні гази* утворюються за рахунок катагенетичного перетворення органічної речовини. При зануренні осадових порід на глибину та одночасному збільшенні тиску від 10 до 200÷250 МПа й температури від 25÷30$^0$С до 250÷300$^0$С органічна речовина, що міститься у цих породах, перетворюється на вугілля. Це супроводжується виділенням газу, в основному метану та інших вуглеводнів. Газовиділення метану у гірничі виробки завжди супроводжує видобуток вугілля. Газовиділення може траплятися або повільно та рівномірно по всій товщі, що розкривається, із пор породи; або може бути локальним і відбуватися лише в одному місці товщі з тріщин або у вигляді газового фонтану та струменів; або може бути раптовим у вигляді інтенсивного прориву та різкого викиду великої кількості газу.

В осадовій товщі гірських порід катагенетичні гази або утворюють скупчення (*райони нафтових, газових і кам'яновугільних родовищ*), або розсіяні у породах. *Для нафтових родовищ* характерними є $CH_4$, важкі вуглеводневі гази, $N_2$ та $CO_2$, а в якості домішок – $H_2S_2$, $H_2$ та благородні гази. *Для газових родовищ* набір газів такий самий, але важкі вуглеводневі гази зазвичай присутні в якості домішок. Такий самий газовий склад є типовим і *для районів родовищ кам'яного вугілля*, але серед основних газів необхідно назвати лише катагенетичний метан, всі інші утворюють домішки.

*Метаморфічні гази* утворюються на наступних за катагенезом стадіях метаморфізму гірських порід аж до самого їхнього розплавлення, при якому виділяються так звані «гази відродження». Найбільші газопрояви на поверхні Землі зазвичай пов'язані з зонами тектонічних порушень. До складу таких газів входить пара води, а також $CO_2$, $N_2$, $H_2S_2$ та $H_2$; основним компонентом є $CO_2$, за ним за величиною середньої концентрації та частотою знаходження йде $N_2$.

*Радіогенні гази* представлені благородними газами (гелій, ксенон, аргон, радон тощо). Вони є продуктами розкладення

природних радіоактивних елементів (урану, торію, калію) та несуть важливу інформацію про надра Землі, масиви верхньої частини земної кори та їхній геоекологічний стан. Гелій, радон та аргон-40 складають основну частину радіогенних газів у ґрунтах.

***До газів атмосферного походження відносяться*** *гази порід зони аерації* та *гази ґрунтів рослинного шару*. *Гази порід зони аерації* представлені $CO_2$, $H_2$, $O_2$, найбільш важливі домішки – *Ar* (та інші благородні гази), $CH_4$, $N_2$. Переважно повітряними за походженням (тобто проникаючими у зону аерації безпосередньо із атмосфери) є азот, кисень та благородні гази. *Гази ґрунтів зони аерації* частіш за все є епігенетичними, тому що вміщують домішки, які надходять із атмосфери.

У *породах ґрунтово-рослинного шару* кисню та азоту, як правило, міститься менше, ніж в атмосфері. Це пояснюється тим, що у ґрунтово-рослинному шарі відбуваються процеси їхнього поглинання та виділення вуглекислоти. Важливою складовою газової компоненти атмосферного походження є водяна пара. Загальна кількість водяної пари у ґрунтово-рослинному шарі не перевищує 0,001% від ваги ґрунту. Однак, не дивлячись на це, вода у вигляді пари відіграє дуже важливу роль у процесах, що відбуваються у породах ґрунтово-рослинного шару, тому що вона, по-перше, є єдиною формою води, що пересувається у породах при їх незначній вологості, а по-друге, тому, що шляхом конденсації пари на поверхні ґрунтових часток утворюються інші види води.

***Біогенні гази*** формуються за рахунок життєдіяльності у ґрунтах різноманітних організмів – від одноклітинних бактерій до вищих рослин та тварин. *Біогенні гази у ґрунтах*, головним чином, представлені органічними сполуками. Природні горючі гази складаються з метану (до 98%), а також із суміші етану, пропану, бутану, ізобутану та пентану. Шахтний метан виникає за рахунок трансформації органічних решток у вугілля під впливом високих тисків і температур. Інтенсивність виділення метану з боліт змінюється у досить широких межах. Наприклад, величина емісії метану в західносибірських болотах коливається від 0,1 до 40 мг/(м$^2$год.) [17].

Крім метану, біохімічним шляхом (в основному за рахунок бактеріального розкладення, рідше – за рахунок відновлення мінеральних солей) утворюється вуглекислий газ, сірководень та водень. При цьому найбільше значення має вуглекислий газ, кількість якого у повітрі ґрунтово-рослинного шару сягає від 0,2 до 2% (за об'ємом).

**Техногенні гази** є результатом господарської діяльності людини. Найбільша кількість техногенних газів утворюється на урбанізованих територіях. На територіях міст у ґрунтах міститься широкий спектр органічних газів. Поховані відходи виділяють у навколишній товщі сірковмісні газоподібні сполуки (наприклад, діметилсульфід, діметилдісульфід, сірковуглець тощо), ароматичні вуглеводні, терпени, спирти та карбонільні сполуки, а у найбільших кількостях – метан. Найбільш небезпечними є довготривкі газоподібні забрудники ґрунтів типу діоксинів.

***За своїм хімічним складом*** за переважаючим компонентом всі гази у ґрунтах поділяються на три групи – *вуглеводневі*, *азотні* та *вуглекислотні*. Завдяки здатності газів легко змішуватися один з одним, у «чистому» вигляді гази у ґрунтах практично ніколи не зустрічаються, частіш за все вони являють собою газові суміші складного складу [17].

**Гази у порах ґрунтів** можуть знаходитись у *вільному*, *адсорбованому* та *защемленому стані*; *вони можуть знаходитись у воді, що заповнює пори, у вигляді дрібних пухирців або у розчинному стані*. На зміну фізичних і фізико-механічних характеристик ґрунтів впливає вміст як адсорбованих, так і вільних і защемлених газів.

***Вільні гази*** знаходяться у порах ґрунту, які сполучаються між собою, тобто їхня кількість прямо залежить від відкритої пористості ґрунту та від ступеня його водонасичення $S_r$. Вільне повітря може знаходитись у ґрунтах лише при невеликому ступені вологості – при $S_r < 0{,}5 \div 0{,}6$. При збільшенні $S_r$ до $0{,}8 \div 0{,}9$ вільні гази поступово затискаються у порах капілярною водою та переходять у категорію затиснених. Вільні гази у ґрунтах зони аерації перебувають під впливом атмосферного тиску, а у ґрунтах, відокремлених від атмосфери

малопроникними породами, вони можуть перебувати під високим тиском, навіть до створення зріджених газів.

***Адсорбовані гази*** утримуються на поверхні ґрунтових часток під впливом молекулярних сил тяжіння. Завдяки цім силам у сухому ґрунті на поверхні часток утворюються полімолекулярні газові «плівки», нижні шари яких перебувають під тиском у декілька десятків й навіть сотень МПа; нижні шари менш міцно пов'язані з ґрунтовими частками (тиск, що на них впливає, близький до атмосферного). Кількість адсорбованих газів у ґрунтах залежить від їхнього мінерального складу, наявності гумусу та інших органічних речовин, від дисперсності та пористості ґрунтів. Зазвичай вміст адсорбованих газів у ґрунтах рослинного шару підзолистої зони коливається від 2 до 7 $см^3$ на 100 г ґрунту, а для чорнозему – в межах 8÷15 $см^3$ на 100 г ґрунту. Зі збільшенням дисперсності ґрунту кількість адсорбованих газів у ньому зростає. Інтенсивність адсорбції елементів, які складають газову компоненту, на поверхні мінеральних часток змінюється у вигляді такого ряду: $CO_2 > N_2 > O_2 > H_2$, тому адсорбовані гази за своїм складом відрізняються від газів, що перебувають у вільному стані.

При зволоженні ґрунту відбувається поступове витискання адсорбованих газів водяною плівкою. Наприклад, було встановлено, що у лесоподібних суглинків і глинистих ґрунтів кількість адсорбованих газів зі збільшенням вологості зменшується [17]. Природні вологі ґрунти взагалі не містять у собі адсорбованих газів. Найбільша кількість адсорбованих газів міститься в абсолютно сухих ґрунтах; при вологості, що перевищує максимальну гігроскопічну вологість, тобто при максимальному вмісті у них зв'язаної води, адсорбовані гази в ґрунтах також відсутні.

***Затиснуті гази*** утворюються на окремих ділянках ґрунту при одночасному надлишковому зволоженні знизу та зверху. Затиснуті гази можуть займати значні ділянки у середині ґрунтів або знаходитися в невеликих кількостях у надтонких мікропорах (рис. 3.1). На відміну від адсорбованих, максимальна кількість защемлених газів утворюється при оптимальній вологості ґрунту. Затиснуті гази можуть займати в глинистих ґрунтах до

20÷25% від об'єму пор. Тиск у пухирцях затисненого повітря залежить від поверхневого натягу води на контакті з повітрям. Він перевищує тиск в навколишній капілярній воді на величину капілярного тиску $P_{кап}$, який визначається за допомогою рівняння Лапласа:

$$P_{кап} = \frac{2\sigma}{r}, \qquad (3.1)$$

де $\sigma$ – коефіцієнт поверхневого натягу води; $r$ – радіус пухирця затисненого повітря.

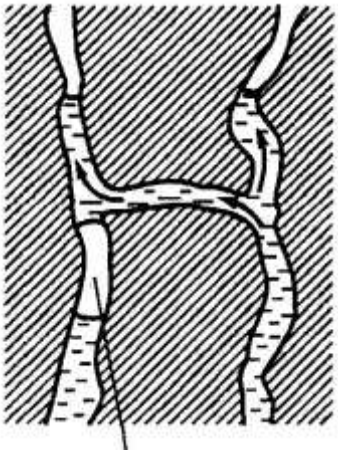



**Рис. 3.1. Положення затиснених газів у порах ґрунтів**

***Розчинені гази*** утворюються за рахунок розчинення у поровому розчині. При цьому, залежно від складу газу й розчинника, можуть формуватися порові розчини, які обумовлюють їхню різну хімічну агресивність (наприклад, вуглекислотну – при розчиненні $CO_2$ у воді, сірчанокислу тощо). Згідно закону Генрі, відношення мольного об'єму розчиненого газу до об'єму рідини при даній температурі й тиску є постійною величиною, яка має назву *коефіцієнт розчинності* або *коефіцієнт Генрі (Н)*. Значення *коефіцієнт Генрі* для деяких газів у воді наведені у таблиці 3.1. У той же час, слід мати на

увазі, що велика кількість газів (наприклад, $HNO_2$, $NH_4$, $CH_2O$, $SO_2$ тощо) може мати здатність підвищеної розчинності за рахунок утворення в розчині інших хімічних форм.

**Таблиця 3.1.**

**Значення коефіцієнтів Генрі (*H*) для деяких газів у воді при температурі 25$^0$С [17]**

| Газ | Н, моль/л×атм | Газ | Н, моль/л×атм |
|---|---|---|---|
| $O_3$ | $9{,}4\times10^{-3}$ | $H_2S$ | $9{,}9\times10^{2}$ |
| $O_2$ | $1{,}6\times10^{-3}$ | $SO_2$ | 1,23 |
| NO | $1{,}9\times10^{-3}$ | $H_2O_2$ | $1\times10^{5}$ |
| $NO_2$ | $7\times10^{3}$ | $HO_2$ | $1\times10^{5}$ |
| $HNO_2$ | 48,6 | HCl | 2,0 |
| $HNO_3$ | $2{,}1\times10^{5}$ | $CH_2O$ | 30 |
| $NH_3$ | 57,9 | | |

На утворення розчинених газів суттєво впливають температура й тиск – зі збільшенням тиску розчинність переважної більшості газів зростає, тому їхня кількість у земної корі збільшується з глибиною. Але у той же час, в міру нагрівання води кількість розчинених газів у ній зменшується.

*Інженерно-геологічне значення газової компоненти* зводиться до того, що її перевага у порах обумовлює значну міцність та невисоку деформаційну здатність ґрунту. Навпаки, зменшення вмісту газової компоненти означає підвищення вмісту рідкої компоненти і деяке зниження фізико-механічних властивостей ґрунтів. Присутність газів певною мірою обумовлює пружні властивості ґрунтів, особливо молодих геологічних утворень – *торфу* та *мулу*. Гази затримують природне ущільнення цих порід, а також ущільнення під навантаженням - тим самим створюють певні труднощі при будівництві, ускладнюють проектування і збільшення терміну зведення інженерних споруд.

Защемлені гази у порах ґрунту часто знаходяться під тиском ($P_г$), якій виникає завдяки дії різних факторів, наприклад, рух фронту промерзання, капілярне просочування товщі порід, збільшення гідростатичного тиску, збільшення температури тощо. У стані рівноваги цей тиск дорівнює тиску у рідкої фазі

($P_в$), що контактує з газом і обумовлює так званий «поровий тиск» ($P_п$): $P_г = P_в = P_п$. Величина *порового тиску* впливає на фізико-механічні властивості ґрунтів, наприклад, на міцність та стисливість під навантаженням. Стискаючись, пухирці защемлених газів зменшують свій об'єм, та при певному співвідношенні діаметру і розміру пор вони можуть переходити із защемленого у вільний стан. Це може супроводжуватися різким *проривом газів* із пор ґрунту та скиданням порового тиску. Таке явище може викликати руйнування земляних насипів, дамб, укосів шляхів тощо.

*У гірничій промисловості* кількість газів, що містяться у ґрунтах, визначає *газозбагаченість гірничих виробок*, під якою розуміють об'єм газу, що надходить у гірничу виробку за одиницю часу (*абсолютна газозбагаченість* гірничої виробки) або об'єм газу, що виділяється, віднесений до маси або об'єму гірських порід, вугілля або руди, що розробляються (*відносна газозбагаченість*). За газовим режимом гірничі виробки поділяють на шість категорій. Так, вугільні шахти за вмістом метану в повітрі поділяють на I, II та III категорії при вмісті метану відповідно 5; 5÷10 та 10÷15 м$^3$/т; IV – (понад категорійні) – більше 15 м$^3$/т або з суфлярним виділенням газу [від фр. «*soufflard*» - дути, дихати; це інтенсивне виділення метану у вигляді напірного струменя, з характерним шумом із видимих тріщин і пустот у бічних породах і вугільних пластах]; V – небезпечні або загрозливі раптовим викидом вугілля або газу; VI – шахти з викидом породи та з виділенням метану.

Зі збільшенням тиску газів у гірських породах пов'язані й так звані *газодинамічні явища*. До них відноситься руйнування газоносних пластів вугілля, руд і гірських порід у призабійних частинах гірничих виробок, що швидко відбуваються і супроводжуються підвищеним виділенням газу та переміщенням або викидом мас зруйнованих гірських порід. Крім того, стисливість порового защемленого газу може надавати газу своєрідні «демпфіруючі» [від нім. «*dämpfen*» - заглушати, знижати] властивості при дії на ґрунт зовнішнього тиску. При цьому зі збільшенням тиску ґрунт буде стискатися та зменшуватися в об'ємі, а при скиданні тиску ґрунт буде

розширятися, відновлюючи свій об'єм. Стисливість защемлених газів також може обумовлювати довготривале осідання інженерних споруд.

Розчинені у поровому розчині гази залежно віх їхнього складу формують ту або іншу *хімічну агресивність*. Гази $CO_2$ та $H_2S$ добре розчиняються у воді та збільшують її агресивність по відношенню до будівельних матеріалів підземних конструкцій інженерних споруд. У карбонатних породах розвиток *процесу карстоутворення* різко підсилюється зі збільшення вмісту в порах розчиненого вуглекислого газу. Окислення сірководню сприяє зростанню вмісту сульфат-іона та зниженню величини *pH* підземних вод нижче 4, що викликає *корозію* металу та бетону.

**Вміст газової компоненти у ґрунті** оцінюється його *газоносністю* та *повітряємністю*.

***Газоносністю*** називають загальну кількість вільних і адсорбованих газів, що містяться в одиниці маси або об'ємі ґрунту в природних умовах. Вона залежить від багатьох факторів, насамперед від пористості й сорбованої здатності ґрунту, а також від виду газу та зовнішнього тиску. Наприклад, 1 см$^3$ вугілля при нормальних умовах може сорбувати 7-8 см$^3$ метану або до 18 см$^3$ вуглекислого газу. Виділяють два показники газоносності: *об'ємну* та *масову*.

***Об'ємна газоносність*** **($\Gamma_v$)** характеризує загальний вміст вільних і адсорбованих газів в одиниці об'єму ґрунту ($V_{tot}$) та чисельно дорівнює об'єму газу, що міститься в 1 см$^3$ ґрунту за даних умовах (при температурі 20$^0$С та тиску 1 атм):

$$\Gamma_v = \frac{V_\Gamma}{V_{tot}}, \qquad (3.2)$$

де $V_\Gamma$ – об'єм газу, що знаходиться у порах ґрунту; $V_{tot}$ – об'єм ґрунту. Величина $\Gamma_v$ вимірюється у см$^3$/см$^3$ або м$^3$/м$^3$.

***Масова газоносність*** **($\Gamma_m$)** характеризує загальний вміст вільних і адсорбованих газів в одиниці маси ґрунту ($m$) та чисельно дорівнює об'єму газу, що міститься в 1 г ґрунту за даних умов (при температурі 20$^0$С та тиску 1 атм):

$$Г_m = \frac{V_Г}{m}, \qquad (3.3)$$

де $V_Г$ – об'єм газу, що міститься у порах ґрунту; $m$ – маса ґрунту. Величина $Г_m$ вимірюється у см$^3$/г або м$^3$/т.

***Газовміст ґрунту* (*Г*)** характеризує відносний об'єм газу, який знаходиться у порах ґрунту. Він чисельно дорівнює відношенню об'єму газу, що знаходиться у порах ґрунту, до об'єму всього ґрунту:

$$Г = \frac{V_Г}{V_{tot}} \times 100\%, \qquad (3.4)$$

де $V_Г$ – об'єм газу, що міститься у порах ґрунту; $V_{tot}$ – об'єм ґрунту. Величина $Г$ вимірюється у %, вона залежить від вологості й змінюється від нуля (при відсутності газів і повному водонасиченні) до величини, що відповідає пористості даного ґрунту (при повному заповненні пор повітрям).

***Повітряємністю ґрунту* (*В*)** називається величина максимального газовмісту даного ґрунту, яка відповідає його пористості та яка визначається при повному заповненні всіх пор газом (відсутність вологи). Величина $B$ вимірюється у %, чисельно вона дорівнює пористості ґрунту.

Для оцінки ступеня заповнення пор газом використовують ***коефіцієнт повітрявмісту*** або ***коефіцієнт аерації* (*$G_Г$*)**, що дорівнює об'єму газу, що знаходиться у порах ґрунту ($V_Г$), до загального об'єму пор ґрунту ($V_n$):

$$G_Г = \frac{V_Г}{V_n}, \qquad (3.5)$$

Величина $G_Г$ вимірюється в частинах одиниці й змінюється від нуля (при відсутності газів у порах ґрунту) до 1 (при повному насиченні пор газом). Якщо у порах ґрунту крім повітря знаходиться ще й вода, то коефіцієнт аерації $G_Г$ розраховують, використовуючи значення ступеня вологості ґрунту $S_r$ за формулою:

$$G_Г = 1 - S_r, \qquad (3.6)$$

**Лабораторна робота 9. Визначення газової компоненти зв'язних ґрунтів газометричним методом.**

Лабораторні дослідження вмісту газової компоненти у ґрунті до теперішнього часу все ще являє собою досить складне завдання. Визначення вільного і защемленого повітря у зв'язних породах, як правило, виконують за допомогою *газометра* (рис. 3.2).

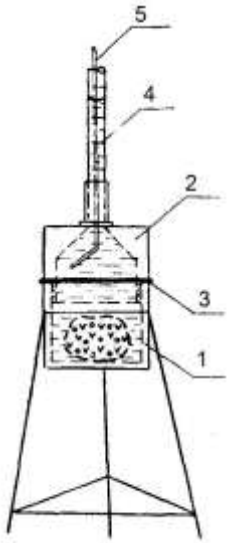



**Рис. 3.2. Газометр конструкції І.І. Молодих [44]:**
*1* – стакан з органічного скла; *2* – верхня кришка стакана;
*3* – гумова прокладка; 4 – бюретка; 5 – сталевий щуп

*Газометричний метод* рекомендується використовувати для зв'язних глинистих і суглинистих різновидів ґрунтів, що розмокають у воді. Особливо ефективним є його використання для лесових порід, що характеризуються високою пористістю, яка у значної мірі відображає ступінь природної недоущільненості цих своєрідних просадних відкладів.

*Сутність газометричного методу* полягає у визначенні за допомогою газометра об'єму повітря, який було одержано на

основі прямого виміру рівнів води за меніском у тарованій бюретці приладу.

Метод забезпечує отримання якісних, достовірних результатів, є достатньо технічно простим, легко засвоюється співробітниками виробничих лабораторій тощо.

**Мета роботи:** визначити величину газовмісту ґрунту *газометричним методом І.І. Молодих* [44].

**Засоби випробування та матеріали**: газометр, полівінілацетатна емульсія, казеїновий клей, скляні стаканчики (згідно ГОСТ 25336-82 [5]) або алюмінієві бюкси ВС-1 з кришками; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); ексикатор; сушильна шафа.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Із моноліту вирізають зразок круглої або овальної форми об'ємом 80÷100 см$^3$.

2) Відібраний зразок зважують на лабораторних технічних вагах. Похибка зважування не повинна перевищувати 0,01 г.

3) Зважений зразок покривають спеціальним водним розчином, що складається з 20% полівінілацетатної емульсії та 20% казеїнового клею таким чином, щоб цей розчин утворив на поверхні зразка тонку водонепроникну плівку. Після повного затвердіння плівки виконується повторне зважування зразка.

4) Зі шламу, що утворився при вирізанні, відбирають зразки ґрунту для визначення вагової вологості, масою від 15 до 50 г (див. лабораторну роботу 7).

5) Перед проведенням досліду здійснюють тарування газометра - визначають об'єм води, що заповнює стакан приладу та бюретку до нульової поділки.

***2. Визначення газової компоненти зв'язних ґрунтів газометричним методом.***

***2.1. Проведення аналізу.***

1) Зразок ґрунту поміщають до стакана газометра, куди заливають дистильовану воду.

2) Після герметичного з'єднання кришки зі стаканом газометра бюретку заповнюють водою до нульової поділки.

3) Зігнутим кінцем щупа видаляють пухирці повітря зі стінок і внутрішньої поверхні кришки та перевіряють герметичність приладу.

4) За різницею рівня води у бюретці газометра із завантаженим зразком ($V_2$) та без нього ($V_1$) визначають об'єм зразка ґрунту ($V_3$).

5) Опісля розчинення емульсійної плівки зразок повністю руйнують до стану суспензії через бюретку за допомогою щупа.

6) Після остаточного видалення пухирців повітря виконують вимір кінцевого рівня води у бюретці. Різниця між початковим – $V_4$ (після розчинення емульсійної плівки на поверхні зразка) і кінцевим рівнем води у бюретці – $V_5$ (після повного руйнування зразка) й відповідає об'єму повітря у зразку ґрунту, що досліджується – $V_6$.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) *Газовміст ґрунту Г* (%) розраховують за формулою:

$$Г = \frac{V_4 - V_5}{V_2 - V_1} = \frac{V_6}{V_3} \times 100\%, \qquad (3.7)$$

де $V_1$ – об'єм води у газометрі без зразка, мл; $V_2$ – об'єм води у газометрі зі зразком, мл; $V_3$ - об'єм зразка ґрунту, мл; $V_4$ – початковий рівень води у бюретці (після розчинення емульсійної плівки на поверхні зразка), мл; $V_5$ - кінцевий рівень води у бюретці (після повного руйнування зразка), мл; $V_6$ - об'єм повітря у зразку, мл.

2) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 3.1).

**Таблиця 3.1**

**Журнал лабораторного визначення газовмісту ґрунтів газометричним методом**

**Лабораторний номер зразка _____**
**Вага зразка, г _____**
**Вага зразка з покриттям, г _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОВМІСТУ ҐРУНТІВ ГАЗОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Об'єм води у приладі без зразка до нульової поділки бюретки ($V_1$), мл** | **Об'єм води у приладі зі зразком до нульової поділки бюретки ($V_2$), мл** | **Виміри за поділками бюретки** | | **Об'єм повітря у зразку ґрунту ($V_6$), мл** | **Об'єм зразка ґрунту ($V_3$), мл** | **Газовміст ґрунту *Г*, %** |
| | | **на початку досліду ($V_4$)** | **на при кінці досліду ($V_5$)** | | | |
| ***1.*** | ***2.*** | ***3.*** | ***4.*** | ***5.*** | ***6.*** | ***7.*** |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

# Частина ІІ. ВИВЧЕННЯ СТАНУ, ФІЗИЧНИХ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

**Властивістю** називають притаманну даному ґрунту особливість, яка відображає його поведінку під дією зовнішніх факторів – силових і енергетичних взаємодій (полів) різної природи та речовин (речовинних полів), що викликають зміну яких-небудь якостей ґрунту. Характеристику, що дозволяє кількісно оцінити відповідну властивість ґрунту, називають ***показником*** або ***параметром***. У ґрунтознавстві вивчення властивостей ґрунтів являє собою основу пізнання їхніх якостей.

До теперішнього часу **класифікація властивостей ґрунтів** остаточно ще повністю не розроблена. Класична класифікація Є.М. Сергєєва (1983), що була покладена в основу ДСТУ Б В.2.1-2-96 [20] та яка широко застосовується у будівельних і науково-дослідницьких організаціях зводиться до виділення ***фізичних властивостей*** (щільності, проникності, теплофізичних, електричних і магнітних властивостей), ***фізико-хімічних властивостей*** (адсорбційних, електрокінетичних, осмотичних, корозійних і капілярних властивостей, розчинності, липкості, пластичності, набуханню, зсіданню та водоміцності) та ***фізико-механічних властивостей*** (деформаційних, міцністних, реологічних і динамічних властивостей) ґрунтів. У такій систематизації існує ряд протиріч, відсутні великі групи важливих властивостей (наприклад, радіаційні, біохімічні тощо). У зв’язку з цім, В.А. Корольовим (1996) [29] була запропонована нова систематика властивостей ґрунтів. В її основу покладено два основних принципово нових положення: 1) найбільш крупні таксономічні одиниці систематики властивостей ґрунтів (**класи**) виділяються за природою цих властивостей – *хімічні*, *фізико-хімічні*, *фізичні* та *біотичні*; 2) у таксономічному ряду властивостей також виділяються **підкласи**, **типи** та **групи** *властивостей ґрунтів*.

***Клас хімічних властивостей*** поєднує властивості ґрунтів, що відображають або характеризують хімічні зміни мінерального складу, рідких або газових компонент, які у них відбуваються. ***Клас фізико-хімічних властивостей*** включає

властивості ґрунтів, які визначаються різноманітними фізико-хімічними взаємодіями на межі поділу компонент і фаз ґрунту та в його об'ємі, що не супроводжуються хімічними перетвореннями або реакціями. ***Клас біотичних властивостей*** охоплює властивості, що відображають біотичні взаємодії у ґрунтах із участю живої (біотичної)т компоненти.

***Підкласи*** *властивостей ґрунтів* виділяються за особливостями різних полів, в яких виявляються дані властивості ґрунту. Наприклад, у *класі фізико-хімічних властивостей* виділяють підклас поверхневих властивостей, що проявляються у ґрунтах завдяки дії поверхневих полів різного походження, а також підклас об'ємних властивостей, що проявляються у всьому об'ємі ґрунту. ***Типи*** *властивостей ґрунтів* встановлюють за особливостями зміни поля у часі, а також за конкретними характерними особливостями властивостей. У межах ***груп*** відокремлено ряд властивостей, які характеризуються конкретними показниками (параметрами), що використовуються при інженерно-геологічних вишукуваннях.

У ***класі фізичних властивостей ґрунтів*** було виділено вісім підкласів: 1) *пов'язані зі щільністю* (вагові), які проявляються у гравітаційному полі; 2) *теплові* – у тепловому полі; 3) *електричні* – в електричному полі; 4) *магнітні* - у магнітному полі; 5) *радіаційні* - у радіаційному полі; 6) *газофізичні* - у газодинамічному (пневматичному) полі 7) *гідрофізичні* - у гідравлічному полі; 8) *механічні* - у полі механічних напружень.

Але, не дивлячись на певні переваги такого нового підходу до систематики властивостей ґрунтів, ***у розробці В.А. Корольова є і деякі суперечливі позиції*** - просідність і тиксотропія розглядаються як фізико-хімічні властивості, а не як фізико-механічні; пластичність характеризується як фізико-механічна властивість, а не як фізико-хімічна тощо.

Тому, ***даний посібник, в основному, базується*** на *класифікації Є.М. Сергєєва* та *ДСТУ Б В.2.1-2-96* [20] (які досі застосовують у науково-дослідницьких, проектних, виробничих і будівельних організаціях), з врахуванням деяких положень *класифікації В.А. Корольова* та *власних уявленнях автора про нові підходи до систематики властивостей ґрунтів* - вологість

розглядається як кількісний вираз вмісту рідкої компоненти (в якості складової ґрунту), а не як фізична (гідрофізична) властивість; максимальна гігроскопічна вологість, гігроскопічна вологість, капілярна вологоємність, повна вологоємність ґрунту, вологість максимальної «молекулярної вологоємності» розглядаються як кількісні характеристики вмісту різних категорій води у ґрунтах, а не як фізичні, гідрофізичні або фізико-хімічні властивості тощо.

# Розділ 4. ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

**Фізичні властивості ґрунтів** – це характеристики їхнього фізичного стану в природному заляганні та при взаємодії з інженерними спорудами, які дозволяють якісно оцінювати їхню міцність та деформування. Фізичні властивості виявляються в результаті дії на ґрунти різноманітних фізичних полів – гравітаційного, теплового, магнітного, електричного тощо. Основні фізичні властивості, таки як щільність і пористість, характеризують стан ґрунту та є основою прогнозування фізико-механічних показників властивостей ґрунтів, які використовують під час проектування інженерних споруд.

## Глава 4.1. Визначення щільності ґрунтів

**Щільність** – це фізична властивість ґрунтів, яка кількісно оцінюється величиною відношення їхньої маси до об’єму, що вони займають. Вона є постійною величиною для даного ґрунту (матеріалу, речовини). Щільність використовують як прямий розрахунковий показник при характеристиці фізичних властивостей ґрунту, при розрахунках стійкості зсувних схилів і укосів, при динамічних розрахунках основ інженерних споруд, при визначенні об’єму земляних робіт під час будівництва тощо. Під час проведення інженерних вишукувань використовують такі основні характеристики щільності - *щільність ґрунту, щільність твердих часток ґрунту, щільність скелету ґрунту*.

**Щільність ґрунту $\rho$**, (г/см$^3$, кг/м$^3$), або *щільність вологого ґрунту* – це маса одиниці об'єму ґрунту з природною вологістю та з непорушеною будовою:

$$\rho = \frac{m}{V}, \tag{4.1}$$

де $m$ – маса ґрунту, г; $V$ – об'єм ґрунту, см$^3$.

*Величина щільності ґрунту* залежить від мінерального складу, вологості та характеру будови (пористості) ґрунту:

1) зі збільшенням вмісту важких мінералів щільність ґрунту збільшується, а при збільшенні вмісту органічної речовини зменшується;

2) зі збільшенням вологості щільність ґрунту зростає – максимальною при даній пористості вона буде у випадку повного заповнення пор водою ;

3) зі збільшенням пористості щільність ґрунту зменшується.

*Щільність переважної більшості осадових порід* (піщаних, глинистих, карбонатних тощо) значною мірою залежить від їхньої пористості й вологості та в меншої мірі - від мінерального складу. Це пояснюється широкими межами зміни пористості (тобто вологості та газонасиченості) цих порід, суттєвою відмінністю щільності твердої, рідкої й газоподібної складових та порівняно постійною щільністю найбільш розповсюджених породоутворюючих мінералів. *Величина щільності магматичних, метаморфічних й, значною мірою, хемогенних порід*, в основному, визначається їхнім мінералогічним складом, тому що пористість цих порід, зазвичай є незначною.

*Величина щільності дисперсних ґрунтів* (глинистих, лесових, піщаних і крупноуламкових) коливається у межах від 1,30 до 2,20 г/см$^3$. Ґрунтам, які характеризуються наявністю жорстких кристалізаційних зв'язків між частками, притаманна більша щільність, величина якої при малій пористості наближається до значень щільності твердих часток. Так, *щільність магматичних порід* змінюється у межах 2,50÷3,40 г/см$^3$ (зростає від кислих до основних і ультраосновних порід); аргілітів і алевролітів - 2,20÷2,55 г/см$^3$; вапняків - 2,40÷2,65 г/см$^3$; мергелів - 2,10÷2,60 г/см$^3$; пісковиків - 2,10÷2,40 г/см$^3$ (таблиця 4.1). Щільність

обводнених торфів, завдяки невеликій щільності їхнього скелету, змінюється від 1,02 до 1,10 г/см$^3$.

**Таблиця 4.1.**

**Щільність різних типів осадових, магматичних і метаморфічних порід [17]**

| Порода | Щільність, г/см$^3$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | від | до | найбільш імовірні значення | |
| | | | від | до |
| Діатоміт | 0,40 | 0,90 | --- | --- |
| Опока | 1,00 | 2,00 | 1,30 | 1,40 |
| Леси | 1,15 | 2,05 | 1,30 | 1,60 |
| Пісок | 1,30 | 2,20 | 1,40 | 1,70 |
| Глина | 1,30 | 2,50 | 1,75 | 2,30 |
| Крейда | 1,30 | 2,60 | --- | --- |
| Пісковик | 1,50 | 3,00 | 2,10 | 3,40 |
| Вапняк | 1,50 | 3,00 | 2,40 | 2,65 |
| Алевроліт | 1,75 | 2,97 | 2,20 | 2,55 |
| Мергель | 1,85 | 2,75 | 2,10 | 2,60 |
| Доломіт | 1,95 | 3,05 | 2,30 | 2,75 |
| Аргіліт | 2,05 | 2,70 | 2,30 | 2,50 |
| Ангідрит | 2,10 | 2,98 | 2,85 | 2,95 |
| Гіпс | 2,15 | 2,40 | 2,25 | 2,30 |
| Граніт | 2,50 | 2,70 | 2,62 | 2,65 |
| Кварцит | 2,50 | 2,80 | 2,60 | 2,65 |
| Діорит | 2,70 | 2,90 | 2,80 | |
| Базальт | 2,70 | 3,30 | --- | --- |
| Перидотит | 2,80 | 3,30 | 3,20 | 3,30 |
| Габро | 2,98 | 3,15 | --- | --- |

При розрахунках тиску на підпірні стінки, побутового тиску, осідання інженерних споруд, розподілу напружень у ґрунтах основ та несучої здатності основ під фундаментами використовують поняття **питома вага**. Під час проведення інженерних вишукувань використовують такі основні характеристики питомої ваги: *питома вага ґрунту, питома вага твердих часток ґрунту*, *питома вага сухого ґрунту*.

**Питома вага ґрунту** $\gamma$ (Н/м$^3$, кН/м$^3$, МН/м$^3$) – це фізична властивість ґрунтів (матеріалу, речовини), яка кількісно оцінюється величиною відношення їхньої ваги до об'єму, що вони займають. Вона залежить від прискорення вільного падіння - $g$ = 9,81 м/с$^2$:

$$\gamma = \rho g, \tag{4.2}$$

де $\rho$ – щільність ґрунту, кг/м$^3$; $g$ – прискорення вільного падіння, м/с$^2$.

Питома вага переважної більшості ґрунтів змінюється у межах від 13 до 22 кН/м$^3$.

Нижче рівня підземних вод ґрунти знаходяться у зваженому стані, й розрахунок питомої ваги виконується за формулою:

$$\gamma = (\rho - \rho_w)g, \tag{4.3}$$

де $\rho_W$ – густина води, що дорівнює 1 г/см$^3$.

Питома вага ґрунтів, що залягають нижче рівня підземних вод, має розглядатись із врахуванням зважучої дії води при коефіцієнті фільтрації шару ґрунту більше 1 × 10$^{-5}$ м/добу та *консистенцією* (індексом текучості) $I_L$ > 0,25 (для глинистих ґрунтів).

При коефіцієнті фільтрації шару ґрунту менше 1 × 10$^{-5}$ м/добу та *консистенцією* (індексом текучості) $I_L$ < 0,25 (для глинистих ґрунтів) питома вага ґрунтів приймається без врахування зважуючої дії води. При визначенні побутового тиску $\sigma_{zg}$ у цьому шарі ґрунту та нижче його, необхідно враховувати тиск стовпа води, якій розташовано вище цього шару ґрунту.

**Щільність твердих часток ґрунту** $\boldsymbol{\rho_s}$, (г/см$^3$, кг/м$^3$) – це відношення маси твердої компоненти ґрунту до об'єму, який вона займає:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}, \tag{4.4}$$

де $m_s$ – маса твердої компоненти ґрунту, г; $V_s$ – об'єм твердої компоненти ґрунту, см$^3$.

***Величина щільності твердих часток ґрунту*** визначається мінеральним складом, наявністю органічної й органо-мінеральної речовини та являє собою середньозважену щільність цих компонент ґрунту за відсутністю порожнин і вологи.

У відповідності зі щільністю найбільш розповсюджених породоутворюючих мінералів щільність твердих часток більшості ґрунтів змінюється від 2,50 до 2,80 г/см$^3$ (таблиця 4.2).

**Таблиця 4.2.**

**Щільність твердих часток різних типів осадових, магматичних і метаморфічних порід [17]**

| Порода | Щільність часток, г/см$^3$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | від | до | найбільш імовірні значення | |
| | | | від | до |
| Мергель | 2,37 | 2,92 | 2,65 | 2,80 |
| Алевроліт | 2,40 | 3,04 | 2,63 | 2,73 |
| Пісковик | 2,40 | 3,20 | 2,60 | 2,70 |
| Вапняк | 2,41 | 2,98 | 2,70 | 2,75 |
| Доломіт | 2,55 | 3,19 | 2,77 | 2,88 |
| Граніт | 2,63 | 2,75 | 2,64 | 2,67 |
| Крейда | 2,63 | 2,73 | --- | --- |
| Аргіліт | 2,63 | 2,86 | --- | --- |
| Мармур | 2,64 | 2,82 | 2,68 | 2,72 |
| Кварцит | 2,65 | 2,80 | 2,66 | 2,70 |
| Ангідрит | 2,72 | 2,99 | 2,87 | 2,98 |
| Доломітове борошно | 2,81 | 2,91 | --- | --- |
| Габро і доцит | 3,00 | 3,20 | --- | --- |
| Перидотит | 3,30 | 3,40 | --- | --- |
| Піски | 2,50 | 2,80 | 2,63 | 2,67 |

Щільність твердих часток збільшується зі зростанням вмісту у ґрунтах важких мінералів, тому в основних і ультраосновних породах щільність часток значно вища (3,00÷3,74 г/см$^3$), ніж у кислих (наприклад, у гранітів 2,63÷2,75 г/см$^3$).

Щільність твердих часток окремих гранулометричних типів дисперсних ґрунтів, що не вміщують водорозчинних солей та

органічної речовини, є доволі постійною величиною. У таблиці 4.3 наведені орієнтовні середні значення, які зазвичай використовують за відсутністю прямих визначень щільності твердих часток ґрунту з метою розрахунків деяких показників властивостей ґрунтів, зокрема пористості та коефіцієнта пористості.

**Таблиця 4.3.**

**Щільність твердих часток дисперсних ґрунтів, що не вміщують водорозчинних солей та органічної речовини [17]**

| Тип ґрунту | Середнє значення щільність часток, г/см$^3$ |
|---|---|
| Піски | 2,65 |
| Супіски | 2,70 |
| Суглинки | 2,71 |
| Глини | 2,74 |
| Торф | 1,50 |

Наявність органічної речовини суттєво знижує щільність твердих часток ґрунту, оскільки їхня щільність невелика у порівнянні з мінеральною компонентою (щільність гумусу складає 1,25÷1,40 г/см$^3$). Тому щільність твердої компоненти торфів, заторфованих порід і ґрунтів рослинного шару значно нижча, ніж у мінеральних ґрунтів. У торфів щільність часток змінюється від 1,20 до 1,89 г/см$^3$, у заторфованих ґрунтів – до 2,08 г/см$^3$; найбільш часто зустрічаються значення у межах від 1,4 до 1,6 г/см$^3$. Мінімальні значення щільності твердих часток зустрічаються у торфів деревинної групи, максимальні – у торфів мохової групи.

Зі зростанням вмісту солей у засолених дисперсних ґрунтах щільність твердих часток зменшується. Приклад зміни значень щільності часток ґрунту залежно від характеру та типу засолення наведені у таблиці 4.4.

**Щільність скелету ґрунту $\rho_d$**, (г/см$^3$, кг/м$^3$) - це маса твердої компоненти ґрунту в одиниці об’єму з природною (непорушеною) будовою. У науковій, виробничій та навчальній літературі в якості синоніму часто використовують термін «*щільність сухого ґрунту*», але краще його не застосовувати

тому, що виникає плутанина з терміном «*щільність скелета висушеного ґрунту*».

**Таблиця 4.4.**

**Зміна значень щільності твердих часток ґрунтів залежно від характеру та типу засолення [31]**

| **Вміст солей, %** | **Щільність часток ґрунту $\rho_s$, г/см$^3$, за типом засолення:** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **NaCl** | **$Na_2SO_4$** | **$Na_2CO_3$** | **$MgCl_2$** | **$MgSO_4$** | **$CaCl_2$** | **NaCl + $MgSO_4$** |
| 0 | 2,67 | | | | | | |
| 3 | 2,66 | 2,67 | 2,65 | 2,65 | 2,67 | 2,67 | 2,67 |
| 5 | 2,66 | 2,67 | 2,64 | 2,64 | 2,65 | 2,65 | 2,65 |
| 7 | 2,64 | 2,64 | 2,62 | 2,62 | 2,64 | 2,63 | 2,63 |
| 10 | 2,64 | 2,61 | 2,59 | 2,59 | 2,52 | 2,61 | 2,61 |

Значення *щільності скелета ґрунту* змінюються у більш вузьких межах порівняно зі значеннями *щільності ґрунту*, тому що вона залежить тільки від мінерального складу та характеру будови (пористості) ґрунту. Чим нижча пористість і вищий вміст важких мінералів у ґрунті, тим вища щільність його скелету. В дисперсних ґрунтах, які не містять значних домішок органічної речовини, щільність скелета ґрунту залежить практично лише від характеру його будови.

Величину щільності скелета ґрунту використовують для розрахунків пористості, коефіцієнта пористості, а також з метою характеристики ступеня ущільнення глинистих ґрунтів у насипних спорудах.

*Щільність скелета ґрунту ($\rho_d$)* визначають експериментально або найчастіше розраховують за величинами щільності ґрунтів та вагової вологості за формулою:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W},, \qquad (4.5)$$

де $\rho$ – щільність ґрунту, г/см$^3$; $W$ – вагова вологість ґрунту, ч. од.

**Щільність скелету висушеного ґрунту $\rho_d$**, (г/см$^3$, кг/м$^3$) – це маса одиниці об’єму ґрунту висушеного за температурою 105 $^0$С. Вона характеризує максимально щільну будову ґрунту, що

може бути досягнуто в процесі його висушування до постійної маси. *Для глинистих ґрунтів*, які під час висушування стискаються, щільність скелету висушеного ґрунту більша за щільність скелету ґрунту з природною (непорушеною) будовою. *Для піщаних ґрунтів*, пористість яких не змінюється під час висушування, значення цих двох параметрів однакове.

При будівництві насипів, дамб обвалування, земляних гребель та інших насипних земляних інженерних споруд необхідно знати *величину щільності ґрунтів у пухкому та щільному станах*. Піщані ґрунти можуть суттєво розрізнятися за ступенем їхньої щільності або характером будови. Наприклад, залежно від характеру укладання шарів однакового розміру пористість системи може змінюватися від 47,64% (при найбільш пухкій кубічній будові) до 25,95% (при найбільш щільній тетраедричній будові) (рис. 4.1).

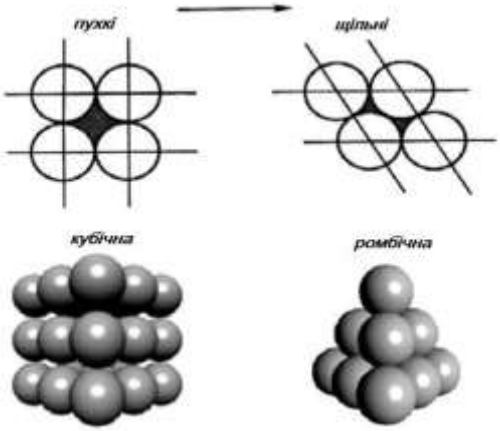



**Рис. 4.1. Ідеальні моделі укладання часток пухких і щільних піщаних ґрунтів**

У реальних піщано-пилуватих ґрунтах завдяки різниці у розмірі їхніх часток пористість змінюється у більш широких межах від 8÷10 до 80%.

Для піщаних ґрунтів не завжди є можливість визначення щільності скелету з природною (непорушеною) будовою, тому найчастіше її визначення виконують на повітряно-сухих зразках

із порушеною будовою *при двох станах*: гранично-пухкому та гранично-щільному.

З метою кількісної оцінки щільності будови пісків використовують **показник відносної щільності** або **ступінь щільності ($I_D$)**, якій визначають за формулою:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}, \qquad (4.6)$$

де $e$ – коефіцієнт пористості в стані природної або штучної будови; $e_{max}$ - коефіцієнт пористості у гранично-щільному стані; $e_{min}$ - коефіцієнт пористості у гранично-пухкому стані.

Для розрахунку $I_D$ необхідно мати дані результатів польових визначень величини $e$ й для цього ж ґрунту у лабораторних умовах визначити $e_{max}$ та $e_{min}$. З метою знаходження $e_{min}$ зазвичай використовують пухке насипання ґрунту у мірну посудину, а для визначення $e_{max}$ – динамічні методи ущільнення ґрунту у мірній посудині.

*За ступенем щільності* $I_D$ піски поділяються згідно таблиці 4.5 [20].

**Таблиця 4.5.**

**Значення ступеня щільності піщаних ґрунтів**

| **Різновид пісків** | **Ступень щільності $I_D$, ч. од.** |
|---|---|
| Слабоущільнені | $0 < I_D \leq 0{,}33$ |
| Середньоущільнені | $0{,}33 < I_D \leq 0{,}66$ |
| Сильноущільнені | $0{,}66 < I_D \leq 1{,}00$ |

Ґрунти, які мають різний зерновий склад, мають суттєво розбіжні значення $e_{max}$ та $e_{min}$, причому зі збільшенням крупності вони зменшуються. Суттєвого впливу на граничні значення коефіцієнтів пористості надає також форма часток. Зі збільшенням окатаності й сферичності вони зменшуються, тому використання в якості характеристики щільності будови величини відносної щільності $I_D$, що враховує як зерновий склад, так і форму часток, надає найбільш неупереджений критерій щільності будови.

**З метою визначення характеристик щільності ґрунтів** використовують *прямі* та *опосередковані* методи.

***До* прямих** відносять методи, що ґрунтуються на безпосередньому вимірі маси та об'єму ґрунту, як правило, невеликих його зразків. Методи визначення характеристик щільності ґрунтів у лабораторних і польових умовах наведені у таблиці 4.6.

**Таблиця 4.6.**

**Методи визначення характеристик щільності ґрунтів [23]**

| **Характеристика ґрунту** | **Метод визначення** | **Ґрунти (галузь застосування методу)** |
|---|---|---|
| Щільність ґрунту | Ріжучим кільцем | Ґрунти, що легко піддаються вирізанню або не зберігають своєї форми без кільця, сипкомерзлі та з масивною кріогенною текстурою |
| | Зважування у воді парафінованих зразків | Пилувато-глинисті немерзлі, схильні кришитися або ті, що важко піддаються вирізанню |
| | Зважування зразків у нейтральній рідині | Мерзлі |
| | Об'ємні методи | Мерзлі, скельні та крупноуламкові ґрунти |
| | Гамма-променеві методи | Всі ґрунти |
| Щільність скелета ґрунту | Розрахунковий | Всі ґрунти |
| Щільність часток ґрунту | Пікнометричний з водою | Всі ґрунти, крім засолених і набухаючих |
| | Пікнометричний з нейтральною рідиною | Засолені та набухаючі |
| | Метод двох пікнометрів | Засолені |

Існують різні ***прямі методи*** визначення щільності ґрунтів: метод ріжучого кільця, метод зважування у воді парафінованих

зразків, метод зважування зразків у нейтральній рідині, метод витискування рідини, метод обміру зразків правильної геометричної форми та метод лунки.

***Метод витискування рідини*** (рис. 4.2) ґрунтується на визначенні об'єму парафінованого зразка ґрунту, занурюючи його у мірний контейнер з водою та вимірі об'єму витиснутої води, що дорівнює об'єму зразка. Визначив об'єм зразка ґрунту та знаючи його масу, розраховують щільність ґрунту.

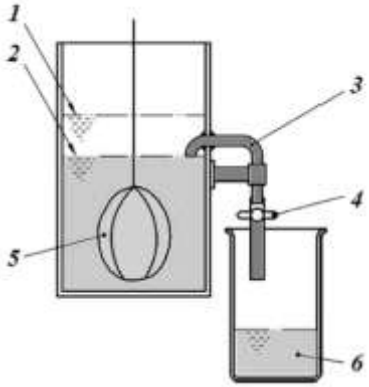



**Рис. 4.2. Метод визначення щільності ґрунтів витискуванням рідини:**

*1* – рівень води, яку було витиснуто із контейнера; *2* – рівень води у контейнері; *3* – трубка сифона; *4* – кран; *5* – парафінований зразок підвішений на дроті; *6* – приймальник з витисненою водою

***Метод зважування зразків у нейтральній рідині*** використовують з метою визначення щільності мерзлих тонкодисперсних ґрунтів. Нейтральна рідина, яку використовують для визначення об'єму зразка ґрунту, повинна мати температуру замерзання нижче температури замерзання цього ґрунту, не реагувати з ґрунтом та не розчиняти льоду. Як правило, в якості нейтральної рідини використовують гас, гліцерин, толуол та лігроїн. Густину цих рідин встановлюють за допомогою ареометра.

***Метод обміру зразків правильної геометричної форми (об'ємний метод)*** використовується з метою визначення щільності скельних і мерзлих ґрунтів. При відборі моноліту

йому придають форму куба або паралелепіпеда, що дозволяє встановити об'єм ґрунту з непорушеною будовою. Для визначення щільності ґрунтів моноліт зважують, а після висушування до постійної ваги визначають щільність скелета ґрунту. Для монолітів, які було відібрано зі свердловин, виконують вимірювання їхніх діаметрів, висоти та маси.

***Метод лунки (об'ємний метод)*** використовують з метою визначення щільності мерзлих дисперсних ґрунтів та крупноуламкових порід (рис. 4.3).

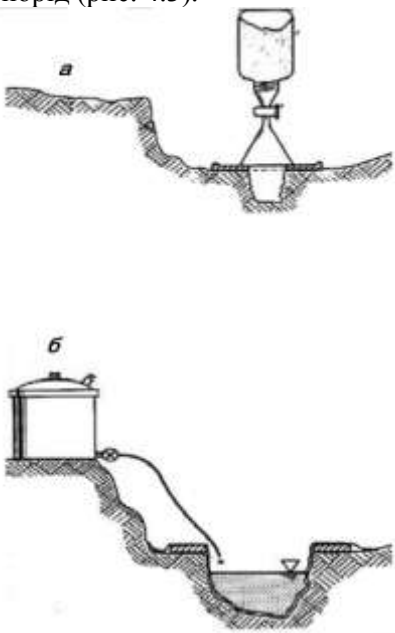



**Рис. 4.3. Визначення щільності ґрунтів методом заміщення об'єму:**
*а* – за допомогою завантаження піску;
*б* – за допомогою наливу води.

Метод використовують під час роботи у відкритих гірничих виробках (шурфах). У дні шурфу роблять лунку розміром 30 × 30 × 30 см. Відібраний ґрунт зважують з точністю 1,0 г. Після відбору ґрунту дно лунки застилають синтетичною плівкою (поліетиленом), потім лунку засипають сухим піском з розміром

зерен 0,5÷3,0 мм (див. рис. 4.3, *а*) або заповнюють водою (див. рис. 4.3, *б*). Вимірюючи об'єм піску або об'єм води, необхідний для заповнення лунки, встановлюють об'єм ґрунту, що було вилучено із лунки. Визначив масу ґрунту та його об'єм розраховують щільність ґрунту.

Найбільш розповсюдженими лабораторними методами визначення характеристик щільності ґрунтів, які регламентовані діючим ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23], є *метод ріжучого кільця* та *метод зважування у воді парафінованих зразків* (пряме та зворотне зважування). Суттєвим недоліком цих лабораторних методів є невеликий об'єм ґрунту в зразках, що досліджуються (отримання «точкових» значень), та необхідність їхнього виділення із масиву.

**Опосередковані методи** ґрунтуються на визначенні щільності ґрунту без прямих вимірювань маси і об'єму ґрунтів. До них, у першу чергу, слід віднести *пенетраційні* й *радіоізотопні методи*, що дозволяють визначати щільність ґрунтів безпосередньо у масиві ґрунтів. Ці методи досить продуктивні, мають достатню для практичних цілей точність, можуть використовуватись як при одноразових, так і багаторазових визначеннях, що дуже важливо при стаціонарних спостереженнях.

Найбільшого розповсюдження набули *радіоізотопні методи* визначення характеристик щільності ґрунтів.

***Радіоізотопні методи***, як правило, використовуються для виміру щільності ґрунтів в умовах їхнього природного залягання. Існує два методи вимірювання щільності з використанням гамма-випромінювання: гаммаскопічний метод та метод розсіяного гамма-випромінювання. В якості джерел гамма-випромінювання використовують, головним чином, ізотопи цезію-137 та кобальту-60.

*Гаммаскопічний метод* ґрунтується на послабленні інтенсивності пучка гамма-квантів залежно від щільності речовини, крізь яку проходить пучок. Використовують три варіанти гаммаскопічного методу:

1) джерело і детектор гамма-випромінювання розташовують у паралельних свердловинах у товщі ґрунтів;

2) детектор випромінювання розташовують на поверхні, а джерело випромінювання – у ґрунті;

3) джерело і детектор випромінювання знаходяться по обидва боки від об’єкту, що досліджується (зразка, моноліту тощо).

Гаммаскопічний метод використовують з метою визначення щільності ґрунтів до глибини 1,5÷2,0 м.

*Метод розсіяного гамма-випромінювання* використовують для виміру щільності ґрунтів у свердловинах. Якщо у свердловину помістити джерело гамма-квантів та на деякій відстані від нього детектор, то частина гамма-квантів, що надходить зі свердловини у ґрунт за рахунок розсіяння на електронах атомів ґрунту, буде повертатися у свердловину та реєструватися датчиком.

Для виміру щільності ґрунтів радіоізотопними методами використовують радіоізотопний вологощільномір *УР-70* та поверхнево-глибинний щільномір *ППГР-1*, які використовують при вимірах у свердловинах до глибини 30 м. Точність вимірювання щільності, залежно від типу приладу, коливається у межах ±(0,02÷0,04) г/см$^3$. Час вимірювання на одній точці виміру не перевищує 3 хвилини.

**Лабораторна робота 10. Визначення щільності ґрунтів методом ріжучого кільця.**

***Метод ріжучого кільця*** (рис. 4.4) ґрунтується на безпосередньому вимірюванні щільності ґрунту – за допомогою визначення маси зразка та його об’єму.

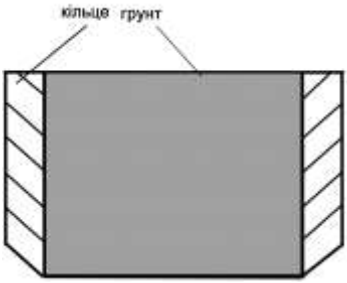



**Рис. 4.4. Ріжуче кільце-пробовідбірник**

Ріжучі кільця-пробовідбірники виготовляють зі сталі з антикорозійним покриттям.

Метод ріжучого кільця використовують для зв'язних ґрунтів (глин, суглинків, супісків та лесів), які легко ріжуться та не кришаться, а також для незв'язних ґрунтів, якщо об'єм зразка певної форми може бути збережено при наявності жорсткої тари.

Метод забезпечує отримання якісних, достовірних результатів та є достатньо технічно простим.

**Мета роботи:** визначити величину щільності ґрунту методом ріжучого кільця *відповідно* до ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23].

**Засоби випробування та матеріали** (рис. 4.5): моноліт ґрунту; ніж із прямим лезом; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); кільце-пробовідбірник; штангенциркуль (згідно ДСТУ 166:2009 [25]); сушильна шафа; пластинки металеві гладкі; вазелін технічний.

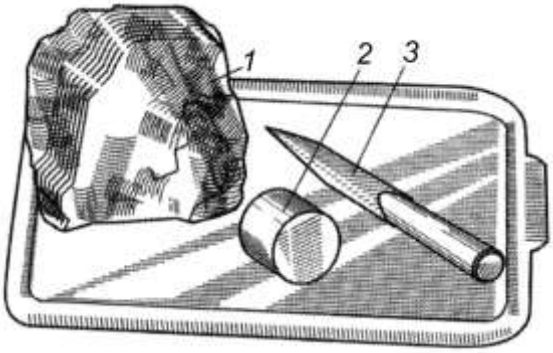



**Рис. 4.5. Основне обладнання для визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця:**
*1* – моноліт ґрунту; *2* – кільце-пробовідбірник;
*3* – ніж із прямим лезом

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Згідно до вимог наведених у таблиці 4.7 обирають ріжуче кільце-пробовідбірник.

**Таблиця 4.7.**

**Визначення розміру кільця-пробовідбірника (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009) [23]**

| Найменування та стан ґрунту | Розмір кільця-пробовідбірника | | | |
|---|---|---|---|---|
| | товщина стінки, мм | діаметр внутрішній *d*, мм | висота *h*, мм | кут заточки зовнішнього краю, що ріже |
| Немерзлі пилувато-глинисті ґрунти | 1,5-2,0 | ≥ 50 | $0{,}8\,d \geq h > 0{,}3\,d$ | не більше ніж $30^0$ |
| Немерзлі та сипкомерзлі піщані ґрунти | 2,0-4,0 | ≥ 70 | $d \geq h > 0{,}3\,d$ | те саме |
| Мерзлі пилувато-глинисті ґрунти | 3,0-4,0 | ≥ 80 | $h = d$ | $45^0$ |

2) Кільце нумерують, вимірюють внутрішній діаметр (*d*) і висоту (*h*) із похибкою не більше 0,1 мм. За результатами вимірювань вираховують об'єм кільця (*V*) з точністю до 0,1 см$^3$:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h, \qquad (4.7)$$

3) Металеві пластинки із гладкою поверхнею нумерують та зважують.

4) Кільце-пробовідбірник змащують із внутрішньої сторони тонким шаром технічного вазеліну та зважують.

***2. Визначення щільності ґрунтів методом ріжучого кільця.***

***2.1. Проведення випробування.***

1) Верхню зачищену площину моноліту ґрунту вирівнюють, зрізаючи надлишки ґрунту ножем, встановлюють на ній ріжучий край кільця та через насадку злегка вдавлюють кільце у ґрунт (рис. 4.6).

2) Ґрунт зовні кільця обрізають на глибину від 5 мм до 10 мм нижче ріжучого краю кільця, формуючи стовпчик діаметром на 1÷2 мм більше, ніж зовнішній діаметр кільця (див. рис. 4.6, *а*). Періодично, в ході зрізання ґрунту, легким натиском насадки

насаджують кільце на стовпчик ґрунту, не дозволяючи перекосів.

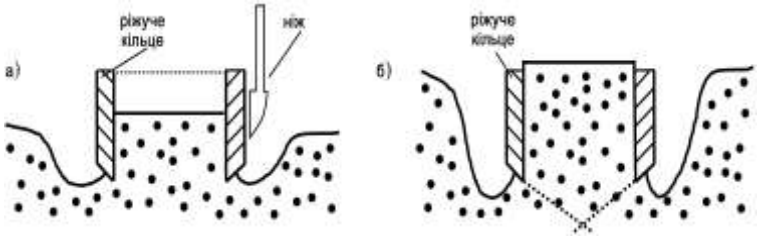



**Рис. 4.6. Відбір проб ґрунту методом ріжучого кільця**

3) Після заповнення кільця ґрунт підрізають у вигляді конусу (див. рис. 4.6, *б*) від 8 мм до 10 мм нижче ріжучого краю кільця та відокремлюють його.

4) Ґрунт, що виступає за край ріжучого кільця, підрізають ножем, зачищають поверхню ґрунту на рівні з краями кільця та закривають торці пластинками.

5) Кільце із ґрунтом і пластинками зважують.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Щільність ґрунту $\rho$ (у г/см$^3$) розраховують за формулою:

$$\rho = \frac{(m_1 - m_0 - m_2)}{V}, \qquad (4.8)$$

де $m_1$ – маса ґрунту з кільцем і пластинками, г; $m_0$ – маса кільця, г; $m_2$ – маса пластинок, г; $V$ – внутрішній об’єм кільця, см$^3$.

2) При обробці результатів випробувань щільність ґрунту обчислюють з похибкою до 0,001 г/см$^3$.

3) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 4.8).

**Таблиця 4.8**

**Журнал лабораторного визначення щільності ґрунтів методом ріжучого кільця**

**Лабораторний номер зразка** _____
**№ виробки і глибина відбору зразка, м** _____
**Дата визначення** _____ **20**____ **рік**
**Виконавець** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТІВ МЕТОДОМ РІЖУЧЕГО КІЛЬЦЯ** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Номер кільця** | **Номер пластинок** | | **Маса кільця з грунтом та пластинками $m_1$, г** | **Маса кільця $m_0$, г** | **Маса пластинок $m_2$, г** | | **Маса ґрунту, г** | **Об'єм ґрунту $V$, см$^3$** | **Щільність ґрунту $\rho$, г/см$^3$** | |
| | **верхньої** | **нижньої** | | | **верхньої** | **нижньої** | | | **зразка** | **середня** |
| *1.* | *2.* | *3.* | *4.* | *5.* | *6.* | *7.* | *8.* | *9.* | *10.* | *11.* |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

**Перевірив** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Лабораторна робота 11. Визначення щільності зв'язних ґрунтів методом зважування у воді (пряме та зворотне зважування).

***Метод зважування у воді*** також ґрунтується на безпосередньому вимірюванні щільності ґрунту – за допомогою визначення маси зразка та його об'єму. Його використовують при необхідності визначення об'єму дуже невеликих зразків зв'язних ґрунтів (глин, суглинків, супісків та лесів) у лабораторних умовах.

**Мета роботи:** визначити величину щільності глинистого ґрунту методом зважування у води *відповідно* до ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23].

**Засоби випробування та матеріали** (рис. 4.7): моноліт ґрунту; ніж із прямим лезом; ваги лабораторні технічні з коромислами і гирями та ваги лабораторні технічні настільні

циферблатні із точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); термометр зі шкалою від $0^0$С до $50^0$С, з ціною поділки $0,5^0$С (згідно ГОСТ 28498-90 [13]); сушильна шафа; тонка міцна нитка; посудина з водою; ємність для розігрівання парафіну; парафін; папір фільтрувальний.

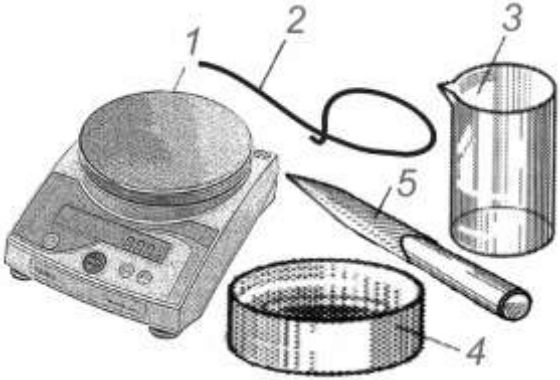



**Рис. 4.7. Основне обладнання для визначення щільності ґрунту методом зважування у воді:**
*1* – ваги лабораторні технічні; *2* – нитка; *3* - посудина з водою; 4 - ємність для розігрівання парафіну; *5* – ніж

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Вирізають зразок ґрунту об'ємом не менше 50 см$^3$ та надають йому округлої форми, зрізаючи гострі частини.

2) Зразок обв'язують тонкою міцною ниткою з вільним кінцем завдовжки 15÷20 см та петлею для підвішування до серги ваг.

***2. Визначення щільності зв'язних ґрунтів методом прямого та зворотного зважування у воді.***

***2.1. Проведення випробування прямим зважуванням.***

1) Обв'язаний ниткою зразок ґрунту зважують на циферблатних вагах та парафінують, занурюючи його на 2-3 секунди у нагрітий до температури 57-$60^0$С парафін. Бульбашки повітря, виявлені у застиглій парафіновій оболонці, видаляють, проколюючи їх та загладжуючи місця проколів нагрітою голкою. Цю операцію повторюють 2-3 рази до утворення

щільної парафінової оболонки товщиною 0,5-1,0 мм. Для того, щоб уникнути розтріскування парафіновій оболонки, парафін має накладатися як тільки він розтане. Парафінування зразка необхідно виконувати обережно, а всі заглиблення у поверхні зразка, включаючи порожнини від каменів, що випали, мають покриватися розплавленим парафіном за допомогою пензлика.

2) Охолоджений парафінований зразок знов зважують на циферблатних вагах.

3) Парафінований зразок зважують у посудині з водою (рис. 4.8). Для цього над чашею ваг встановлюють підставку для посудини з водою так, щоб унеможливити її дотик до чаш ваг (або знімають підвіс із чашею з серги, зрівноваживши ваги додатковим вантажем). До серги коромисла підвішують зразок і опускають у посудину з водою. Об'єм посудини й довжина нитки мають забезпечувати повне занурення зразка у воду. При цьому зразок не повинен торкатися дна і стінок посудини.

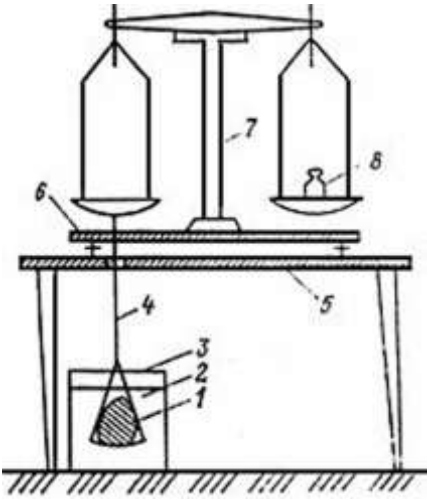



**Рис. 4.8. Схема зважування парафінованого зразка у воді:**
*1* – зразок у парафіновій оболонці; *2* – вода; *3* – посудина; *4* – підвіска (міцна нитка); *5* – стіл із проріззю; *6* – підставка з проріззю; *7* – ваги лабораторні технічні; *8* – гирі технічні

***2.2. Проведення випробування зворотним зважуванням.***

1) На чашу циферблатних ваг встановлюють посудину з водою і зважують її. Потім у воду занурюють зразок, підвішений до штатива, і знову зважують посудину з водою й зануреним у неї зразком.

2) Ваги мають підтримуватися підставкою або платформою над посудиною таким чином, щоб була достатня відстань між підставкою і верхом посудини (рис. 4.9). Посудина має бути заповнена водою майже до верху, а зразок повністю має бути занурений у воду, щоб підвіска знаходилась у воді, не торкаючись дна і стінок посудини.

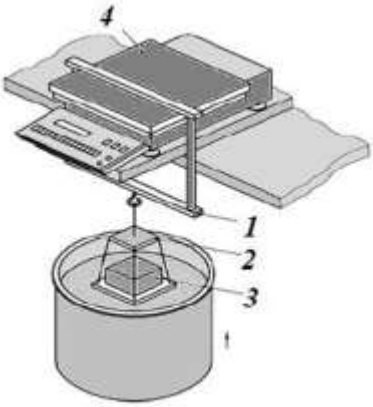



**Рис. 4.9. Схема зворотного зважування зразка у воді:**
*1* – підтримуюча рама; *2* – підставка; *3* – парафінований зразок;
*4* – ваги лабораторні технічні настільні циферблатні

3) Зважений зразок виймають із води, промокають фільтрувальним папером і зважують для перевірки герметичності оболонки. Якщо маса зразка збільшилася більш ніж на 0,02 г у порівнянні з первісною масою, зразок слід забракувати та повторити випробування з іншим зразком.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Щільність ґрунту $\rho$ (у г/см$^3$) розраховують за формулою:

$$\rho = \frac{m \times \rho_p \times \rho_w}{\rho_p \times (m_1 - m_2) - \rho_w \times (m_1 - m)}, \qquad (4.9)$$

де $m$ – маса зразка ґрунту до парафінування, г; $m_1$ – маса парафінованого зразка ґрунту, г; $m_2$ – результат зважування зразка у воді – різниця мас парафінованого зразка і витиснутої ним води, г; $\rho_p$ – щільність парафіну, прийнята 0,900 г/см$^3$ (щільність парафіну уточнюють для кожної партії парафіну); $\rho_w$ – густина води за температури випробувань, г/см$^3$ (таблиця 4.9).

**Таблиця 4.9**

**Густина води при різних температурах**

| **Температура, $^0$С** | **Густина, г/см$^3$** |
|---|---|
| 0-12 | 1,000 |
| 12-18 | 0,999 |
| 19-23 | 0,998 |
| 24-27 | 0,997 |
| 29-30 | 0,996 |
| 31-33 | 0,995 |

2) При застосуванні методу зворотного зважування щільність ґрунту $\rho$ (у г/см$^3$) розраховують за формулою:

$$\rho = \frac{m \times \rho_p \times \rho_w}{\rho_p \times (m_4 - m_3) - \rho_w \times (m_1 - m)}, \qquad (4.10)$$

де $m_1$, $\rho_p$ та $\rho_w$ – ті самі, що й у формулі 4.9; $m_3$ – маса посудини з водою, г; $m_4$ – маса посудини з водою та зануреним у неї парафінованим зразком, г.

3) При обробці результатів випробувань щільність ґрунту обчислюють з похибкою до 0,01 г/см$^3$.

4) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 4.10).

**Таблиця 4.10**

**Журнал лабораторного визначення щільності зв'язних ґрунтів методом зважування у воді парафінованих зразків**

**Лабораторний номер зразка _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ МЕТОДОМ ЗВАЖУВАННЯ У ВОДІ ПАРАФІНОВАНИХ ЗРАЗКІВ** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Маса,г** | | | | **Щільність ґрунту $\rho$, г/см$^3$** | |
| **ґрунту до парафінування** | **парафінованого ґрунту** | **парафінованого ґрунту у воді** | **контрольне зважування парафінованого ґрунту** | **зразка** | **середня** |
| ***1.*** | ***2.*** | ***3.*** | ***4.*** | ***5.*** | ***6.*** |
| | | | | | |
| | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Лабораторна робота 12. Визначення щільності часток ґрунтів пікнометричним методом.

***Пікнометричний метод*** ґрунтується на тому, що масу твердих часток ґрунту знаходять безпосередньо прямим зважуванням, а їхній об'єм – через масу рідини, яка займає об'єм, що дорівнює об'єму твердих часток. Цей метод є одним із найточніших методів визначення щільності ґрунтів. Друга його перевага – малий об'єм зразка, необхідного для визначення (від 0,5 до 10 см$^3$).

*Метод заснований* на вимірюванні відношення маси певного об'єму зразка до маси води, взятої у тому ж об'ємі й при тій же температурі. Точність його може бути доведена до 0,0001 г/см$^3$. Єдиний недолік методу – відносно велика тривалість визначення.

***Пікнометр*** [від гр. «*pyknós*» - щільний та «*metreo*» вимірюю] – спеціальний фізико-хімічний прилад, скляна посудина спеціальної форми і певної ємності, вживана для виміру щільності (або густини) речовин у газоподібному, рідкому та твердому станах. Пікнометр вперше був винайдений Аль-Біруні в XI столітті, а у сучасному вигляді його було запропоновано Д.І. Менделєєвим в 1859 році.

Найбільшого поширення набув тип пікнометра, що має вигляд колби з вузькою шийкою, на якій нанесена мірна позначка (рис. 4.10). Рідина наливається піпеткою до вказаної мітки. Це контролює постійність об'єму рідини, яку наливають.

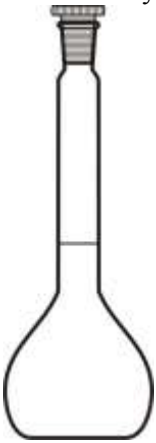


**Рис. 4.10. Пікнометр**

***Сутність пікнометричного методу*** полягає у визначенні об'єму наважки ґрунту за об'ємом витисненої води.

**Мета роботи:** визначити величину щільності часток ґрунту пікнометричним методом *відповідно* до *ДСТУ Б В.2.1-17:2009* [23].

**Засоби випробування та матеріали** (рис. 4.5): моноліт ґрунту; пікнометри ємністю 100 мл (згідно ГОСТ 22524 [1]); ваги лабораторні технічні із точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); ступка порцелянова та товкачик (згідно ГОСТ 9147 [4]); сито із сіткою № 2; термометр зі шкалою від $0^0$С до $50^0$С, з ціною поділки $0,5^0$С (згідно ГОСТ 28498-90 [13]); баня піщана; піпетка; вода дистильована; лійка скляна, гумова груша.

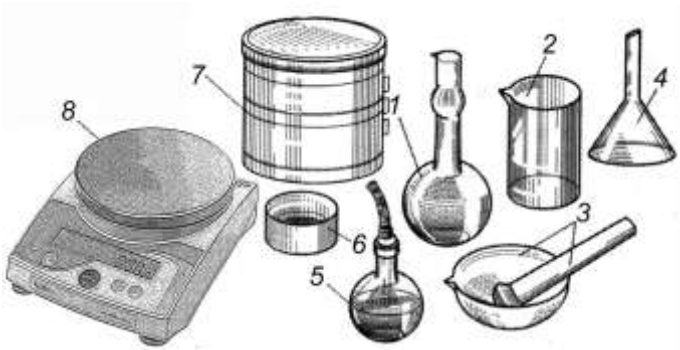



**Рис. 4.10. Обладнання для визначення щільності часток ґрунту пікнометричним методом:**

*1* – пікнометр; *2* – лабораторна склянка; *3* – ступка порцелянова та товкачик; *4* – лійка скляна; *5* – промивалка; *6* – бюкс або порцелянова чашка; *7* - сито із сіткою № 2; *8* - ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Пробу ґрунту в повітряно-сухому стані подрібнюють у порцеляновій ступці, відбирають методом квартування середню пробу масою від 100 до 200 г і просівають крізь сито із сіткою № 2, залишок на ситі розтирають у ступці й просівають крізь те ж сито.

2) Із перемішаної середньої проби беруть наважку ґрунту з розрахунку 15 г на кожні 100 мл ємності пікнометра і висушують до постійної маси. Наважку заторфованого ґрунту

або торфу відбирають із середньої проби з розрахунку 5 г сухого ґрунту на кожні 100 мл ємності пікнометра, яка у цьому випадку повинна бути не менше ніж 200 мл.

Допускається використовувати ґрунт у повітряно-сухому стані, визначивши його гігроскопічну вологість.

3) До попередньо висушеного та зваженого пікнометра $m_1$ через лійку засипають наважку ґрунту і зважують пікнометр із ґрунтом $m_2$ (рис. 4.11). Таким чином визначають точну масу сухого ґрунту $m_0$:

$$m_0 = m_2 - m_1, \qquad (4.11)$$

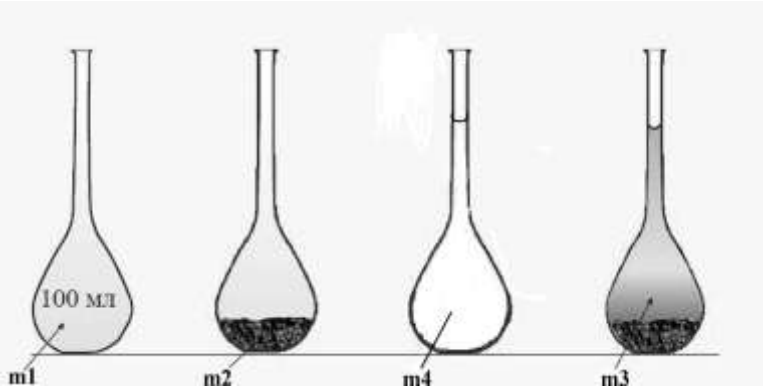



**Рис. 4.11. Визначення щільності часток ґрунту пікнометричним методом:**

$m_1$ – маса висушеного пікнометра, г; $m_2$ - маса пікнометра із ґрунтом, г; $m_3$ – маса пікнометра з дистильованою водою та ґрунтом після кип'ятіння, г; $m_4$ – маса пікнометра з дистильованою водою, г

У випадку використання ґрунту у повітряно-сухому стані точну масу сухого ґрунту $m_0$ розраховують за формулою:

$$m_0 = \frac{m}{1 + 0{,}01 \times W_g}, \qquad (4.12)$$

де $m$ – маса проби повітряно-сухого ґрунту, г; $W_g$ – гігроскопічна вологість ґрунту, у %.

4) Дистильовану воду кип'ятять протягом 1 години і зберігають у закупореному бутлі.

***2. Визначення щільності часток ґрунтів пікнометричним методом.***

***2.1. Проведення випробування.***

1) Пікнометр наповнюють на 1/3 дистильованою водою. Потім через лійку всипають у нього висушений ґрунт.

2) Пікнометр із водою та ґрунтом ретельно збовтують і ставлять кип'ятити на піщану баню. Тривалість спокійного кип'ятіння повинна становити: для пісків і супісків – 0,5 год., для суглинків і глин - 1 год.

3) Після кип'ятіння пікнометр охолоджують та доливають дистильовану воду до мірної позначки на горлечку.

4) Пікнометр охолоджують до кімнатної температури у ванні з водою. Температуру пікнометра визначають за температурою води у ванні, яку вимірюють термометром із точністю до ± 0,5 $^0$С.

5) Після охолодження пікнометра виправляють положення меніска води у ньому, додаючи із піпетки дистильовану воду. У пікнометрі низ меніска повинен збігатися з мірною позначкою. Можливі краплі води вище позначки видаляють фільтрувальним папером. Пікнометр витирають зовні й зважують ($m_3$) (див. рис. 4.10).

6) Далі виливають вміст пікнометра, ополіскують його та наливають у нього дистильовану воду й витримують у ванні з водою за тієї самої температури. Потім виконують операції відповідно до 5) і зважують пікнометр із водою ($m_4$) (див. рис. 4.10).

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Щільність часток ґрунту $\rho_s$ (у г/см$^3$) розраховують за формулою:

$$\rho_S = \frac{m_0 \times \rho_W}{m_0 + m_4 - m_3}, \qquad (4.13)$$

де $m_0$ – маса сухого ґрунту, г; $m_3$ – маса пікнометра з дистильованою водою та ґрунтом після кип'ятіння за

температури випробування, г; $m_4$ – маса пікнометра з дистильованою водою за тієї самої температури, г; $\rho_w$ – густина води за тієї самої температури, г/см$^3$ (див. табл. 4.9).

2) При обробці результатів випробувань щільність часток ґрунту обчислюють з похибкою до 0,01 г/см$^3$.

3) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 4.11).

**Таблиця 4.11**

**Журнал лабораторного визначення щільності часток ґрунту пікнометричним методом**

**Лабораторний номер зразка** _____
**№ виробки і глибина відбору зразка, м** _____
**Дата визначення** _____ **20**____ **рік**
**Виконавець** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ ПІКНОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Номер пікнометра** | **Маса, г** | | | | | **Температура води, $^0$C** | **Щільність часток ґрунту $\rho_s$, г/см$^3$** | |
| | **висушеного порожнього пікнометра $m_1$** | **пікнометра з ґрунтом $m_2$** | **сухого ґрунту $m_0$** | **пікнометра з дистильованою водою та ґрунтом після кип'ятіння $m_3$** | **пікнометра з дистильованою водою $m_4$** | | **зразка** | **середня** |
| *1.* | *2.* | *3.* | *4.* | *5.* | *6.* | *7.* | *8.* | *9.* |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

**Перевірив** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

**Лабораторна робота 13. Визначення щільності часток засолених ґрунтів пікнометричним методом.**

*При визначенні щільності часток ґрунту $\rho_s$ необхідно враховувати:*

1) можливість сильного стискання шару води навколо колоїдальних часток глин, що відбувається внаслідок дії молекулярних сил тяжіння, за рахунок чого отримують завищенні значення $\rho_s$. Для попередження цього явища необхідно використовувати рідини з невеликим поверхневим натягом (наприклад, толуол або ксилол);

2) можливість неповного видалення адсорбованого на поверхні часток повітря, що призводить до отримання занижених значень $\rho_s$;

3) можливість розчинення під час проведення випробувань простих солей, що призводить до отримання занижених значень $\rho_s$. Для попередження цього явища при визначенні щільності часток засолених ґрунтів необхідно використовувати нейтральні рідини (наприклад, гас, бензин, толуол).

В Інституті «Укрдіпроводгосп» (зараз ПАТ «Укрводпроект») було запропоновано більш просту методику визначення щільності часток засолених ґрунтів [36]. Було пораджено під час випробувань використовувати дистильовану воду, але при розрахунку $\rho_s$ вводити поправку на величину простих солей, що розчинились під час кип'ятіння.

**Мета роботи:** визначити величину щільності часток засоленого ґрунту пікнометричним методом *відповідно* до *ДСТУ Б В.2.1-17:2009* [23] та методиці *ПАТ «Укрводпроект»* [36].

**Засоби випробування та матеріали**: подібні тім, що у лабораторній роботі 12.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***: підготовка зразків ґрунту подібна наведеній у лабораторній роботі 12.

***2. Визначення щільності часток засолених ґрунтів пікнометричним методом.***

***2.1. Проведення випробування*:** виконання операцій в цілому подібне наведеним у лабораторній роботі 12, але є деякі особливості.

1) Підготовка ґрунтової суспензії проводиться паралельно у двох пікнометрах.

2) Після зважування пікнометри залишають у спокої на добу, до стану повної прозорості води над осадом.

3) Після цього за допомогою піпетки обережно відсмоктують освітлену рідину з верхньої частини двох пікнометрів та наповнюють до мірної позначки третій пікнометр.

4) Пікнометр з освітленою рідиною витирають насухо та зважують ($m^1_1$).

5) Потім сольовий розчин з пікнометра виливають, прополіскують його дистильованою водою, знов наливають у нього дистильовану воду та зважують ($m^1_2$).

Різниця за масою й дає масу водорозчинних солей в об'ємі третього пікнометра:

$$m = m^1_1 - m^1_2, \qquad (4.14)$$

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Щільність часток засоленого ґрунту $\rho_s$ (у г/см$^3$) розраховують за формулою:

$$\rho_S = \frac{m_0 - m}{m_0 + m_4 - m_3} \times \rho_W, \qquad (4.15)$$

де $m_0$ – маса сухого ґрунту, г; $m$ - маса водорозчинних солей в об'ємі пікнометра, г; $m_3$ – маса пікнометра з дистильованою водою та ґрунтом після кип'ятіння за температури випробування, г; $m_4$ – маса пікнометра з дистильованою водою за тієї самої температури, г; $\rho_w$ – густина води за тієї самої температури, г/см$^3$ (див. табл. 4.9).

2) При обробці результатів випробувань щільність часток засоленого ґрунту обчислюють з похибкою до 0,01 г/см$^3$.

3) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 4.12).

**Таблиця 4.12**

**Журнал лабораторного визначення щільності часток засоленого ґрунту пікнометричним методом**

**Лабораторний номер зразка** _____
**№ виробки і глибина відбору зразка, м** _____
**Дата визначення** _____ **20**____ **рік**
**Виконавець** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЗАСОЛЕНОГО ҐРУНТУ ПІКНОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Номер пікнометра** | **Маса, г** | | | | | **Температура води, $^0$C** | **Щільність часток засоленого ґрунту $\rho_s$, г/см$^3$** | |
| | **висушеного порожнього пікнометра $m_1$** | **пікнометра з ґрунтом $m_2$** | **сухого ґрунту $m_0$** | **пікнометра з дистильованою водою та ґрунтом після кип'ятіння $m_3$** | **пікнометра з дистильованою водою $m_4$** | | **зразка** | **середня** |
| ***1.*** | ***2.*** | ***3.*** | ***4.*** | ***5.*** | ***6.*** | ***7.*** | ***8.*** | ***9.*** |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

**Перевірив** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Лабораторна робота 14. Визначення щільності піщаних ґрунтів.

**Мета роботи:** визначення щільності піщаних ґрунтів у гранично-пухкому та гранично-щільному стані.

**Засоби випробування та матеріали**: металева склянка об'ємом 250 см$^3$ і діаметром 5 см; сито №5; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); лійка; дерев'яна трамбівка; розпушувач; лінійка.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***:

1) Пробу ґрунту в повітряно-сухому стані просівають крізь сито із сіткою 5.

2) Зважують суху пусту металеву склянку ($m_0$).

***2. Визначення щільності піщаних ґрунтів у гранично-пухкому та гранично-щільному стані.***

***2.1. Проведення випробування*:**

1) Для *визначення щільності у гранично-пухкому стані* встановлюють у склянку розпушувач і поступово через лійку наповнюють його піщаним ґрунтом. Після заповнення склянки обережно виймають розпушувач, який при цьому повільно обертають. За допомогою лінійки («на ребро») вирівнюють поверхню піску у склянці. Отримують об'єм піску ($V$), що дорівнює внутрішньому об'єму склянки. Склянку з піском зважують ($m_1$).

2) Для *визначення щільності у гранично-щільному стані* склянку наповнюють піском поступово, невеликими порціями, при постійному ущільненні шляхом постукування по бічних стінках та трамбуванням дерев'яною трамбівкою. Коли рівень піску буде вищій за край склянки, за допомогою лінійки («на ребро») вирівнюють поверхню піску у склянці. Склянку з піском зважують ($m_2$).

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Щільність піщаного ґрунту у гранично-пухкому стані $\rho_{min}$ (г/см$^3$) розраховують за формулою:

$$\rho_{\min} = \frac{m_1 - m_0}{V}, \qquad (4.16)$$

де $m_0$ – маса пустої склянки, г; $m_1$ – маса склянки з піском у пухкому стані, г; $V$ – об'єм склянки, г/см$^3$.

2) Щільність піщаного ґрунту у гранично-щільному стані $\rho_{max}$ (г/см$^3$) розраховують за формулою:

$$\rho_{\max} = \frac{m_2 - m_0}{V}, \qquad (4.17)$$

де $m_0$ – маса пустої склянки, г; $m_2$ – маса склянки з ущільненим піском, г; $V$ – об'єм склянки, г/см$^3$.

3) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 4.13).

**Таблиця 4.13**

**Журнал лабораторного визначення щільності піщаних ґрунтів у гранично-пухкому та гранично-щільному стані**

**Лабораторний номер зразка _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ПІЩАНИХ ҐРУНТІВ У ГРАНИЧНО-ПУХКОМУ ТА ГРАНИЧНО-ЩІЛЬНОМУ СТАНІ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Об'єм склянки, г/см$^3$ | Маса, г | | | Щільність піщаного ґрунту, г/см$^3$ | |
| | пустої склянки, $m_0$ | склянки з піском у пухкому стані, $m_1$ | склянки з піском у ущільненому стані, $m_2$ | у гранично-пухкому стані, $\rho_{min}$ | у гранично-щільному стані, $\rho_{max}$ |
| *1.* | *2.* | *3.* | *4.* | *5.* | *6.* |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

### *4. Підсумки.*

На основі безпосередньо отриманих результатів та даних визначення коефіцієнта пористості піщаного ґрунту (лабораторна робота 15), необхідно розрахувати ступінь щільності його будови (формула 4.6) та виконати його класифікацію (див. табл. 4.5).

## Глава 4.2. Визначення пористості ґрунтів

Під ***пористістю ґрунтів*** розуміють наявність у них дрібних порожнин. Показники, що характеризують пористість ґрунтів, є одними із найважливіших для них, тому що дозволяють прогнозувати їхні міцністні й деформаційні властивості, а також часто є класифікаційними показниками. Пористість використовують в якості допоміжної характеристики під час вибору розрахункового опору ґрунту, при побудові компресійної кривої, при розрахунку характеристик стисливості, при обчисленні водопроникності та багатьох інших показників властивостей ґрунтів.

Пористість також визначає фізичні властивості ґрунтів – швидкість розповсюдження пружних хвиль, міцність та стисливість, електричні, теплофізичні та інші параметри.

Кількісно ***пористість ґрунтів n*** (%) виражають як відношення об'єму порожнин (пор) ґрунту ($V_n$) до загального об'єму ґрунту ($V$):

$$n = \frac{V_n}{V}, \tag{4.18}$$

Величина пористості ґрунтів також може бути виражена як відношення ваги води, що повністю заповнює пори ґрунту, до ваги абсолютно сухого ґрунту (*вагова пористість*).

Крім того, пористість ґрунту може характеризуватися відношенням об'єму порожнин (пор) ґрунту ($V_n$) до об'єму твердої фази ґрунту ($V_s$) – ця величина носить назву ***коефіцієнт пористості ґрунту e*** й вимірюється у ч. од.:

$$e = \frac{V_n}{V_s}, \tag{4.19}$$

*Коефіцієнт пористості* також можна розрахувати через характеристики щільності ґрунту:

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1, \tag{4.20}$$

Через *коефіцієнт пористості* можна виразити пористість і об'єм твердої компоненти ґрунту в одиниці об'єму ґрунту:

$$n = \frac{e}{1+e}; V_s = \frac{1}{1+e}, \qquad (4.21)$$

Теоретично пористість ґрунту може змінюватися від нуля (пори відсутні) до одиниці (скелет відсутній). Відповідно коефіцієнт пористості ґрунту змінюється від нуля (пори відсутні) до нескінченності (скелет відсутній). Пористість не може бути більшою від одиниці, в той же час як коефіцієнт пористості може бути більшим від одиниці (наприклад, для торфу). Коефіцієнт пористості дорівнює одиниці, якщо об'єм пор дорівнює об'єму, що займають тверді частки ґрунту.

Згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96 [20] за величиною коефіцієнта пористості піщані ґрунти класифікують за щільністю їхньої будови (табл. 4.14).

**Таблиця 4.14**

**Класифікація піщаних ґрунтів за щільністю їхньої будови (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96)**

| **Різновид пісків** | **Коефіцієнт пористості *e*, ч. один.** | | |
|---|---|---|---|
| | **піски гравіюваті, крупні та середньої крупності** | **піски дрібні** | **піски пилуваті** |
| Щільний | < 0,550 | < 0,600 | < 0,600 |
| Середньої щільності | 0,550 – 0,700 | 0,600 – 0,750 | 0,600 – 0,800 |
| Пухкий | > 0,700 | > 0,750 | > 0,800 |

При величіні коефіцієнта пористості більше 0,700 – 0,800 ґрунти відносяться до пухких і вони є несприятливою основою для інженерних споруд. Таки ґрунти витримують доволі велике статичне навантаження, але у водонасиченому стані під впливом динамічного навантаження вони втрачають свою структуру й переходять у пливунний стан.

Пористість і коефіцієнт пористості є показниками ємнісних властивостей ґрунту, тому що пори є простором, ємностями (за рахунок впливу капілярних сил) для інших компонентів ґрунту (рідкої та газоподібної). До пористості не слід відносити ємність

каверн і тріщин, що характеризують загальну порожнистість гірських порід (зважаючи на вплив гравітаційних сил).

Розрізняють три види пористості – *загальну* (фізичну) $n$, *відкриту* $n_в$ та *закриту* $n_з$, пов'язані між собою такою залежністю:

$$n = n_в + n_з, \qquad (4.22)$$

*Відкрита пористість ґрунту* обумовлена сполученими порами, *закрита* – ізольованими порами, а *загальна* – враховує обидва види пор. *Відкрита пористість* обумовлює транспортні властивості ґрунту – його здатність пропускати через себе рідини або гази. *Закрита пористість* у процесах перенесення речовини прямої участі не бере.

Загальна і відкрита пористість залежать від глибини залягання ґрунтів (зі збільшенням глибини зменшується), від щільності ґрунту, від кількості цементу тощо.

Величина пористості коливається у дуже широких межах залежно від типу ґрунтів. Найбільшою пористістю наділені пухкі дисперсні утворення. Пористість торфів складає в середньому 60-90%, глинистих відкладів 35-50%, крупноуламкових і піщаних порід 30-45%. Відносно висока пористість є характерною для добре відсортованих пісковиків (25-30%), крейди (30-45%), опок (35-50%), туфів (25-60%), трахітів (15-40%), андезитів і базальтів (2-30%). Пористість карбонатних порід, залежно від їхньої глинистості й характеру цементації, коливається у межах від 0,5 до 30%. Низька пористість (0,1-3%) притаманна для незмінених вивітрюванням метаморфічних і магматичних (в основному інтрузивним) порід.

*Для скельних і напівскельних ґрунтів* загальна пористість визначається *методом насичення будь-якою рідиною* (наприклад, гас, дистильованою водою тощо). Сутність цього методу полягає у визначенні об'єму порожнистого простору зразка (за різницею мас сухого і насиченого рідиною зразка), його зовнішнього об'єму (за різницею мас насиченого рідиною зразка у повітрі та у рідині, якою його насичували) та обрахуванні пористості шляхом ділення першого об'єму на другій.

*Для глинистих ґрунтів* ще досі не існує способів безпосереднього лабораторного визначення пористості. Для її розрахунків зазвичай використовують залежність, що зв'язує пористість зі щільністю твердих часток ($\rho_s$), щільністю ґрунту ($\rho$) або щільністю скелету ґрунту ($\rho_d$):

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}, \qquad (4.23)$$

*Для піщаних ґрунтів* використовують *метод насичення дистильованою водою за допомогою бюретки*.

**Лабораторна робота 15. Визначення пористості пісків методом насичення дистильованою водою за допомогою бюретки.**

***Сутність методу*** полягає у поступовому заповненні пор піщаного ґрунту дистильованою водою та визначенні об'єму пор ґрунту за об'ємом поглинутої води, що встановлюється за допомогою бюретки.

***Бюретка*** - тонка градуйована скляна трубка, відкрита на одному кінці та обладнана скляним або тефлоновим крановим затискачем на іншому. Призначена для вимірювання певної кількості рідини.

**Рис. 4.11. Бюретка**

**Мета роботи:** визначити величину пористості піщаного ґрунту методом насичення дистильованою водою.

**Засоби випробування та матеріали:** градуйована лабораторна склянка об'ємом 250 см$^3$ (згідно з ГОСТ 25336-82 [5]); бюретка на штативі; трамбівка; розпушувач; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); сито із сіткою № 5; вода дистильована.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Пробу піщаного ґрунту в повітряно-сухому стані просівають крізь сито із сіткою № 2.

***2. Визначення пористості піщаних ґрунтів методом насичення дистильованою водою.***

***2.1. Проведення випробування.***

1) Зважують градуйовану лабораторну склянку ($m_1$).

2) Наповнюють склянку повітряно-сухим піском невеликими порціями до певного об'єму ($V$) зі щільністю, при якій необхідно визначити пористість (якщо необхідно визначити пористість у щільному стані використовують трамбівку, якщо у пухкому стані - розпушувач). Зважують склянку з піском ($m_2$).

3) Склянку з піском ставлять на штатив під бюретку. Бюретку наповнюють водою до нульової відмітки. Потім періодично потроху відкриваючи крановий затискач у бюретці, повільно насичують пісок до появи плівки води на поверхні піску. Після цього беруть відлік по бюретці й отримують об'єм води ($V_в$), який було витрачено на насичення піску (тобто на заповнення його пор).

4) Склянку з насиченим водою піском зважують ($m_3$). Збільшення маси насиченого піску (г) повинно приблизно дорівнювати об'єму води (см$^3$), що була витрачена на насичення піску.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Пористість піщаного ґрунту $n$ (у %) розраховують за формулою:

$$n = \frac{V_в}{V} \times 100\%, \qquad (4.24)$$

2) Коефіцієнт пористості піщаного ґрунту *e* (у ч. од.) розраховують за формулою:

$$e = \frac{n}{1-n}, \qquad (4.25)$$

3) Одночасно за результатами досліджень розраховують щільність (у г/см$^3$) повітряно–сухого ($\rho$) та водонасиченого піску ($\rho_{вн}$) за формулами:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}; \ \rho_{вн} = \frac{m_3 - m_1}{V}, \qquad (4.26)$$

4) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 4.15).

**Таблиця 4.15**

**Журнал лабораторного визначення пористості піщаного ґрунту методом насичення дистильованою водою**

**Лабораторний номер зразка** _____
**№ виробки і глибина відбору зразка, м** _____
**Дата визначення** _____ **20**____ **рік**
**Виконавець** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ПОРИСТОСТІ ПІЩАНОГО ҐРУНТУ МЕТОДОМ НАСИЧЕННЯ ДИСТИЛЬОВАНОЮ ВОДОЮ** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Маса, г** | | | | | **Об'єм, см$^3$** | | **Пористість, %** | **Коефіцієнт пористості, ч. один.** | **Щільність, г/см$^3$** | |
| **пустої склянки, $m_1$** | **склянки з сухим піском, $m_2$** | **склянки з водонасиченим піском, $m_3$** | **сухого піску, $m_2 - m_1$** | **водонасиченого піску, $m_3 - m_1$** | **піску, $V$** | **води, $V_в$** | | | **повітряно-сухого піску, $\rho$** | **водонасиченого піску, $\rho_{вн}$** |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

**Перевірив** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

***4. Підсумки.***

На основі результатів визначення коефіцієнта пористості піщаного ґрунту, необхідно зробити висновки про щільність його будови та виконати його класифікацію (див. табл. 4.14).

# Розділ 5. ВИВЧЕННЯ СТАНУ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

**До фізико-хімічних** відносять властивості ґрунтів, які проявляються за рахунок різноманітних фізико-хімічних взаємодій та явищ, що відбуваються на границях розділу фаз (компонентів) або в об'ємі всього ґрунту.

Серед фізико-хімічних властивостей виділяють *групу фізико-хімічних поверхневих властивостей ґрунтів*, де значну роль відіграють взаємодії на поверхнях або границях розділу фаз ґрунту, що володіють поверхневою енергією, й обумовлюють різноманітні поверхневі фізико-хімічні явища, такі як адсорбція, іонний обмін, капілярність тощо.

Інші фізико-хімічні властивості, хоча й також пов'язані з поверхневими процесами і явищами, але проявляються у всьому об'ємі ґрунту, це наприклад, процеси дифузії, осмосу, водоміцності, пластичності, набухання, зсідання тощо. Цю групу фізико-хімічних властивостей називають *фізико-хімічними об'ємними властивостями ґрунтів.*

Обидві ці групи фізико-хімічних властивостей, поділ між якими насить дуже умовний характер, відіграють дуже важливу роль при виконанні оцінки інженерно-геологічних особливостей дисперсних ґрунтів, особливо це стосується групи фізико-хімічних об'ємних властивостей ґрунтів.

## Глава 5.1. Визначення водоміцності ґрунтів

**Водоміцністю (*або водостійкістю*) ґрунтів** називають їхню здатність зберігати свою механічну міцність та стійкість у водному середовище. У водоміцності ґрунтів проявляються як їхні фізико-хімічні, так й фізико-механічні особливості.

Умови взаємодії ґрунту з водою можуть бути статичними (спокійна вода) або динамічними (потік води рухається). У першому випадку результатом цієї взаємодії у дисперсних ґрунтах є їхнє розмокання, у скельних – розм'якшення, у другому випадку – розмивання ґрунтів. У відповідності з цім водоміцність ґрунтів характеризує їхнє *розмокання*, *розм'якшення* та *розмивання*.

***Розм'якшення ґрунтів*** - це здатність скельних ґрунтів знижувати свою міцність при взаємодії з водою без наявних ознак їхнього руйнування. *Механізмом розм'якшення* є ослаблення структурних зв'язків між частками, зернами та кристалами за рахунок проникнення у проміжки між ними молекул води та зниження при цьому поверхневої енергії. Оскільки скельні ґрунти мають високу начальну міцність, то під дією гідратації вони повністю не втрачають свою несучу здібність та не розмокають у воді.

Для характеристики розм'якшення використовують ***коефіцієнт розм'якшення у воді*** $k_{sof}$ (ч. од.) – це відношення меж міцності ґрунту при одноосьовому стисканні у водонасиченому та повітряно-сухому стані. Чім вище значення коефіцієнта розм'якшення ($0 << k_{sof} << 1$), тім менше розм'якшується цей ґрунт.

Розм'якшення ґрунтів залежіть від їхнього мінерального складу, міцності зв'язків між структурними елементами, тріщинуватості, пористості тощо.

***Розмивання ґрунтів*** – це їхня здібність руйнуватись під впливом води, що рухається та діє на ґрунтову товщу. Ця властивість ґрунтів, поряд із динамікою водного впливу, визначає розмивання ґрунтового масиву. Невелике розмивання є причиною утворення й розвитку щільної яружної мережі (ерозія) та явищ, що утворюються завдяки механічної суфозії.

*Залежно від характеру та напрямку водного впливу розрізняють* (рис. 5.1):

1) лобове (хвильове) розмивання ґрунту, що обумовлено фронтальною дією води на ґрунт;

2) поверхневе розмивання ґрунту, що обумовлено дотичною дією текучих вод вздовж поверхні ґрунту;

3) суфозійне розмивання ґрунту, що обумовлено винесенням із масиву часток ґрунту водним потоком.

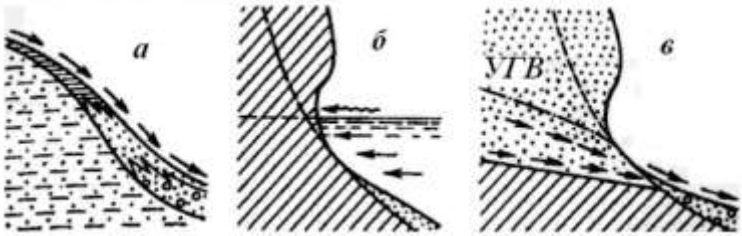



**Рис. 5.1. Розмивання ґрунтів:**
*а – поверхневе; б – хвильове; в - суфозійне*

***Хвильове розмивання ґрунтів*** широко розповсюджено у зоні дії прибою на берегах морів, озер і водосховищ. У цьому випадку на ґрунт періодично впливає ударна дія енергії хвиль, можливе періодичне стискання повітря у порах і порожнинах та вплив вакуумних явищ. Хвильове розмивання являє собою руйнування структурних зв'язків ґрунту за рахунок удару хвиль та супроводжується відривом часток, подоланням їхнього зчеплення та подальшим віднесенням від місця відриву.

Інтенсивність хвильового розмивання ґрунту залежить від таких самих внутрішніх факторів, що й поверхневе розмивання, але серед зовнішніх факторів головне місце посідають енергія хвилі, кут підходу хвилі до поверхні ґрунту, що розмивається.

***Поверхневе розмивання ґрунтів*** відбувається під дією текучих вод на схилах (площина ерозія), а також вздовж постійних водотоків (бічна та донна ерозія). Поверхневе розмивання залежіть від великої кількості взаємодіючих і взаємопов'язаних факторів, головними з яких є склад і характер структурних зв'язків у ґрунтах. Розмивання нерозчинних ґрунтів з жорсткими кристалізаційними зв'язками обумовлено, головним чином, їхнім тектонічним порушенням та дією процесів вивітрювання. Розмивання розчинних ґрунтів визначається міцністю структурних зв'язків іонного типу, що під дією води розчиняються, сприяючи при цьому виносу слаборозчинної її частини. Щільні глини й суглинки, що не

розмочуються у воді, під тривалим впливом текучої води завдяки їхньої слабої літіфікації розмиваються. Зв'язні ґрунти, що розмочуються у воді, розмиваються найбільш швидко. Їхнє розмивання залежить від дисперсності, хіміко-мінералогічних особливостей, пористості, пластичності, розмокання, вологості, твердості, зчеплення тощо.

***Суфозійне розмивання ґрунту*** (механічна суфозія) – це процес переміщення дрібних часток ґрунту по порах, що утворили більш крупні частки, під дією фільтраційного потоку. *Механізмом цього розмивання* є гідромеханічний вплив на частки, послаблення структурних зв'язків, відрив та переміщення окремих часток, агрегатів і цілих об'ємів ґрунту разом з фільтраційним потоком всередині пор або тріщин масиву.

***Розмокання*** - це здатність ґрунтів при зволоженні у спокійної воді втрачати свою зв'язність та перетворюватися у пухку масу із повною втратою міцності. Розмокання ґрунтів відбувається за рахунок поступового послаблення неводостійких структурних зв'язків між елементарними частками або агрегатами ґрунту під час їхньої гідратації. Здібність до розмокання мають дисперсні ґрунти, а також слабозцементовані осадові та штучні ґрунти, з розчинним, неводостійким або глинистим цементом.

Показниками розмокання ґрунтів є:

1) ***час розмокання*** ($t_p$) – проміжок часу, протягом якого зразок ґрунту, що поміщений до води, втрачає зв'язність та розпадається;

2) ***швидкість розмокання*** ($v_p$), яку оцінюють за відносною втратою маси $\Delta m/m_0$ зразка за час $\Delta t$, де $m_0$ – початкова маса зразка (таблиця 5.1);

3) ***характер розмокання***, що оцінюють візуально та який відображає якісну картину розпаду ґрунту (див. табл. 5.1 та 5.2).

Величина показника розмокання у ґрунтах залежіть від їхнього хіміко-мінералогічного складу (мінералогії часток, наявності водорозчинних солей, складу обмінних катіонів), структурно-текстурних особливостей (характеру структурних

зв'язків, дисперсності, текстури тощо), вологості, щільності та концентрації водного розчину, що взаємодіє з ґрунтом.

**Таблиця 5.1.**

**Критерії розмокання ґрунту**

| **Час розмокання зразка ($t_p$)** | **Характер розмокання** |
|---|---|
| Повне розмокання за 1 хв. | Миттєве |
| Більше 80-90% об'єму за 30 хв. | Дуже швидке |
| Більше 50% об'єму за 1 год. | Швидке |
| Більше 50% об'єму за 6 год. | Повільне |
| Менше 25% об'єму за 24 год. | Дуже повільне |
| Менше 10% об'єму за 48 год. | Ґрунт практично не розмокає |

Склад ґрунтів визначає їхні структурні особливості, характер структурних зв'язків і, відповідно, впливає на розмокання. При цьому великого впливу на характер і швидкість розмокання надає природний цемент, що вміщується у ґрунтах, наприклад водорозчинні солі, карбонати, гіпс, гумус тощо. Розчинення солей на контактах часток призводить до руйнування агрегатів і, відповідно, до розмокання.

**Таблиця 5.2.**

**Поведінка зразка ґрунту при розмоканні у воді**

| **Термін** | **Опис ґрунту через 24 години розмокання у воді** | **Ступінь** |
|---|---|---|
| Стійкий | Змін не відбулося | 1 |
| Достатньо стійкий | Утворилось декілька тріщин або поверхня зразка злегка кришиться | 2 |
| | Утворилось багато тріщин, кришиться на дрібні шматки, поверхня зразка сильно кришиться | 3 |
| Нестійкий | Зразок розпадається або майже уся поверхня зразка кришиться | 4 |
| | Зразок перетворюється у суспензію або розпадається до стану піску | 5 |

Розмокання також залежіть від складу і характеру будови ґрунтів. Переважна більшість скельних ґрунтів практично не

розмокають і тільки розм'якшуються при насиченні водою. На швидкість і характер розмокання дисперсних ґрунтів чималий вплив має гранулометричний склад, що у великій мірі визначає характер їхньої пористості й, відповідно, їхню водопроникність. Макропористі, легководопроникні та володіючи зазвичай слабим структурним зчепленням ґрунти мають велику швидкість розмокання. Навпаки, тонкопористі, маловодопроникні й щільні ґрунти з підвищеною величиною структурного зчеплення відрізняються більшою водоміцністю та повільним розмоканням. Наявність у ґрунтах макро- і мікротріщин сприяє їхньому розмоканню. Ґрунти з порушеною будовою характеризуються набагато більшою швидкістю розмокання у порівнянні з ґрунтами, що мають непорушену будову, оскільки перші відрізняються від других меншою зв'язністю.

Сухі ґрунти або ґрунти з незначною вологістю, як правило, розмокають значно швидше, ніж недонасичені різновиди.

Певного впливу на розмокання надає й защемлене повітря у порах ґрунту. При швидкій гідратації ґрунту значна частина повітря защемляється у порах водою. Якщо тиск стисненого у порах повітря перевищує міцність контактів на розрив, то стиснене повітря руйнує ґрунт і пухирці повітря виходять назовні. Такій процес є характерним для розмокання лесів і лесоподібних ґрунтів.

Величину розмокання ґрунтів використовують при виконання оцінки явищ переробки берегів водосховищ, стійкості укосів каналів, стінок котлованів та інших земляних інженерних споруд.

**Лабораторна робота 16. Визначення показників розмокання ґрунтів порушеної та непорушеної будови за допомогою приладу ПРГ-1.**

**Мета роботи:** визначити час, швидкість і характер розмокання ґрунту.

**Засоби випробування та матеріали:** моноліт ґрунту; прилад ПРГ-1 (рис. 5.2); ніж; ріжуче кільце; ступка порцелянова та товкачик (згідно ГОСТ 9147 [4]); сито №05; секундомір.

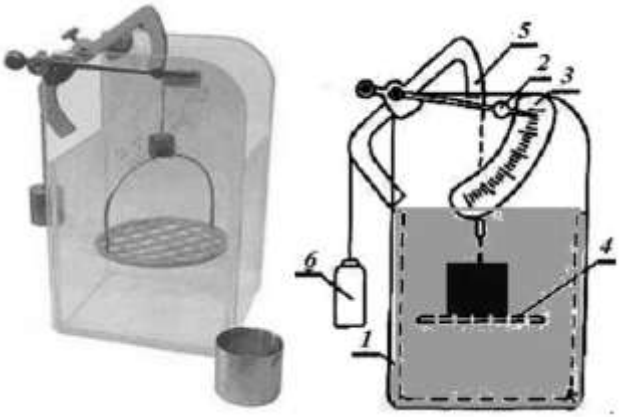



**Рис. 5.2. Прилад ПРГ-1:**
*1 – корпус; 2 – стрілка; 3 – шкала; 4 – сітка;*
*5 – важіль; 6 - противага*

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Для визначення розмокання ґрунту непорушеної будови із моноліту ґрунту ножем вирізають кубик розміром 30×30×30 мм. Одночасно відбирають проби ґрунту з метою визначення його початкової вологості.

2) Для визначення розмокання ґрунту порушеної будови пробу ґрунту в повітряно-сухому стані подрібнюють у порцеляновій ступці та просівають крізь сито із сіткою 0,5 мм. Просіяний ґрунт заливають водою та готують тісто такої консистенції, щоб воно не прилипало до рук. Із ґрунтового тіста ріжучім кільцем відбирають циліндр діаметром і висотою 30 мм.

***2. Визначення показників розмокання ґрунту за допомогою приладу ПРГ-1.***

***2.1. Проведення випробування.***

1) Корпус приладу ПРГ-1 заповнюють дистильованою водою (або близькою за складом до тієї, що буде впливати на ґрунт у природних умовах) до позначки (на 10 мм нижче верхнього краю корпусу).

2) Кубик або циліндр ґрунту встановлюють на сітку приладу з отворами 10 мм, яку потім плавно занурюють у воду та фіксують початковий відлік. Зразок, що було занурено у воду, починає розмокати.

3) При описі характеру розмокання зразка приводять опис форми та розміру часток (великі або дрібні грудочки, лусочки, пил), а також послідовність їхнього розпаду. Записи до журналу заносять за таки проміжки часу: 1, 5, 10 та 30 хв.; 1, 6, 24 та 48 год., користуючись термінами із таблиць 5.1 та 5.2.

4) Дослід вважається закінченим, якщо зразок розмокне і повністю провалиться крізь сітку на дно приладу або зразок зберігає свій стан без зміни протягом тривалого часу.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Відсоток розпаду ґрунту $P$ (у %) за будь-який проміжок часу розраховують за формулою:

$$P = \frac{H - H_p}{H} \times 100\%, \qquad (5.1)$$

де $P$ – розпад ґрунту, %; $H$ – початкова числова відмітка шкали приладу; $H_p$ – числова відмітка шкали приладу в процесі розмокання.

2) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 5.3).

***4. Підсумки.***

На основі результатів показників розмокання ґрунту, необхідно виконати його класифікацію (див. табл. 5.1 та 5.2).

**Таблиця 5.3**

**Журнал лабораторного визначення показників розмокання ґрунту за допомогою приладу ПРГ-1**

**Лабораторний номер зразка _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОЗМОКАННЯ ҐРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ПРГ-1 | | | |
|---|---|---|---|
| **Дата спостереження** | **Час спостереження** | **Характер розмокання** | **Примітки** |
| | 0 | | |
| | 1 хв. | | |
| | 5 хв. | | |
| | 10 хв. | | |
| | 30 хв. | | |
| | 1 год. | | |
| | 6 год. | | |
| | 24 год. | | |
| | 48 год. | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Глава 5.2. Визначення консистенції (стану) й пластичності ґрунтів

**Під консистенцією ґрунту** розуміють його стан, що характеризує здатність ґрунту зберігати свою форму як без діє зовнішнього механічного навантаження, так і при його наявності. Розрізняють *ряд консистенцій* (*станів*) при переході від рідких до твердих тіл - текучу, текуче-пластичну, м’якопластичну, тугопластичну, тверду та сипку (для піщаних ґрунтів) консистенції ґрунту.

Показники консистенції визначаються для глинистих ґрунтів і мулів. Для торфів отримувати ці характеристики ні є доцільним тому, що їхня пластичність має зовсім інакшу

природу й обумовлена наявністю у їхньому складі бітумів і воску.

Наявність у ґрунтах води різних категорій призводить до зміни їхнього фізико-хімічного стану і консистенції. Вплив зв'язаної води на консистенцію найбільше проявляється у дисперсних ґрунтах, глинистих і особливо лесових тому, що вони мають велику питому поверхню і, відповідно, мають більшу кількість зв'язаної води. При наявності у глинах зв'язаної води вони набувають властивості текучості та поводять себе як рідиноподібні тіла. Якщо у глинах присутня тільки адсорбційна вода, то вони являють собою доволі міцні ґрунти твердої консистенції. При наявності у них осмотичної й капілярної води вони легко деформуються, різко втрачають свою міцність за рахунок зволоження та набувають властивості *пластичності*.

**Під пластичністю ґрунту** розуміють його здатність деформуватись без розриву суцільності під дією зовнішніх механічних зусиль та зберігати отриману форму після їхнього зняття. У наш час існує декілька гіпотез, що пояснюють природу пластичності ґрунтів. Найбільшого поширення набули *колоїдна гіпотеза* (запропонована П.А. Зємятченським) та *гідратна гіпотеза* (запропонована П.А. Рединдером).

*Колоїдна гіпотеза* ґрунтується на тому, що колоїди, які містяться у глинах, є «змазкою» між частками при їхньому відносному переміщенні. *Гідратна гіпотеза* передбачає наявність тонкого прошарку рідкого дисперсного середовища, потужність якого відповідає мінімуму вільної енергії системи. Наявність цього прошарку рідини на ділянках коагуляційного зчеплення заважає подальшому зближенню часток, тому коагуляційні системи є пластичними.

У 1911 році шведським фахівцем з механіки ґрунтів А. Аттербергом були розроблені основні положення оцінювання пластичності ґрунтів, шляхом введення поняття меж для їхніх різних станів. Межі А. Аттерберга являють собою встановленні дослідним шляхом значення вологості, при яких відбуваються зміни поведінки ґрунту. До меж А. Аттерберга, крім межі текучості $\boldsymbol{W_L}$ (***LL*** – ***L****iquid* ***L****imit*) та межі пластичності $\boldsymbol{W_p}$ (***PL*** –

***P**lastik **L**imit*), відноситься також межа зсідання $W_{sh}$ (***SL*** – ***S**hrinkage **L**imit*).

*Параметрами пластичності ґрунтів*, що широко застосовуються в інженерно-геологічної практиці, є:

1) ***нижня ($W_p$) та верхня ($W_L$) межа пластичності***, являючи собою опосередковані показники, що визначають вагову вологість ґрунту, при перевищенні якої він переходить у першому випадку з напівтвердої консистенції в пластичну, у другому – з пластичної у текучу;

2) ***число пластичності ($I_p$)*** – це різниця між верхньою і нижньою межею пластичності:

$$I_p = W_L - W_p, \tag{5.2}$$

З метою кількісної характеристики консистенції ґрунтів визначають ***показник текучості ($I_L$)*** – це відношення різниці вологості ($W$) й вологості на межі пластичності до показника пластичності:

$$I_L = \frac{W - W_L}{I_p}, \tag{5.3}$$

*Показник текучості* $I_L$ (або індекс текучості) – це міра консистенції ґрунту в порушеному стані при природній вологості. За числом пластичності $I_p$ та показником текучості $I_L$ глинисті ґрунти поділяються згідно рисунку 5.3 та таблиць 5.4 та 5.5, а також прогнозуються їхні фізико-механічні властивості.

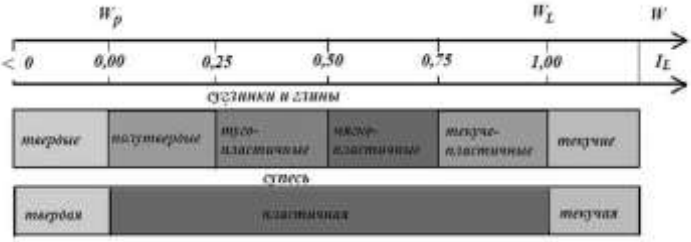



**Рис. 5.3. Підрозділ глинистих ґрунтів за показником текучості $I_L$**

Показник $I_L$ характеризує стан глинистого ґрунту, лінійно залежіть від природної вологості, може бути як від'ємним (тверді ґрунти), так і додатним, у тому числі й більше одиниці (ґрунти текучої консистенції). При зміні $I_L$ у межах від нуля до одиниці ґрунти мають пластичну консистенцію.

**Таблиця 5.4.**

**Класифікація глинистих ґрунтів за числом пластичності $I_p$ (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96) [20]**

| Різновид ґрунтів | Число пластичності $I_p$ |
|---|---|
| Супісок | 1 - 7 |
| Суглинок | 7 - 17 |
| Глина | > 17 |

***Показником консистенції $I_C$*** (або індексом консистенції) називають відношення різниці вологості на межі текучості ($W_L$) і вологості ($W$) до числа пластичності ($I_p$). Показник консистенції, як й показник текучості, є мірою консистенції ґрунту порушеної будови та визначається за формулою:

$$I_C = \frac{W_L - W}{I_p}, \qquad (5.4)$$

**Таблиця 5.5.**

**Класифікація глинистих ґрунтів за показником текучості $I_L$ (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96) [20]**

| Різновид ґрунтів | Показник текучості $I_L$ |
|---|---|
| **Супісок:** | |
| твердий | < 0 |
| пластичний | 0 - 1 |
| текучий | > 1 |
| **Суглинки та глини:** | |
| тверді | < 0 |
| напівтверді | 0 – 0,25 |
| тугопластичні | 0,25 – 0,50 |
| м'якопластичні | 0,50 – 0,75 |
| текучопластичні | 0,75 – 1, |
| текучі | > 1 |

Діапазон вологості, в якому проявляються пластичні властивості ґрунтів, значною мірою визначаються їхнім мінералогічним складом. У ґрунтів, що складаються з мінералів групи монтморилоніту, як правило, цей діапазон у декілька разів є вищим, ніж у ґрунтів, у складі яких переважають мінерали групи каолініту. Збільшення пластичності у випадку присутності в ґрунті мінералів групи монтморилоніту пов'язано, з одного боку, зі значним зростанням дисперсності ґрунту, з іншого – з кристалохімічними особливостями та високою гідрофільністю мінералів цієї групи. Вплив кристалохімічних особливостей на пластичність глинистих ґрунтів стає ще більш суттєвим залежно від того, є чи немає в обмінному комплексі одно-, двох- або трьохвалентних катіонів. Чім вище валентність обмінних іонів, тім менше у ґрунті вміщується осмотичної вологи і менше його пластичність.

Вплив дисперсності на пластичність ґрунтів визначається величиною активної адсорбційної поверхні – ***колоїдною активністю ґрунту.*** У 1953 році Скемптон запропонував *показник активності ґрунту A* – це відношення показника пластичності до вмісту глинистої фракції ґрунту, якій визначається за такою формулою:

$$A = I_p \text{ / вміст глинистої фракції (ваговий, \%)}, \qquad (5.5)$$

Показник активності в основному залежіть від кількості й типу глинистих мінералів і органічних колоїдів, а також від вмісту електролітів у поровому розчині. Функцією активності є набухання та зсідання ґрунтів. Якщо $A < 0{,}75$ глини не активні (потенціал набухання є слабким), при $0{,}75 < A < 1{,}25$ глини відносяться до нормальних (потенціал набухання є середнім), а якщо $A > 1{,}25$, то ґрунт відноситься до активного (потенціал набухання є високим). У таблиці 5.6 приведені значення показника активності глин з різним мінеральним складом. Для активних глин характерним є значні зміни об'єму при зволоженні та зсіданні.

**Таблиця 5.6.**

**Активність глинистих мінералів**

| **Мінерал** | **Показник активності мінералів, *A*** |
|---|---|
| Смектіти | 1,0÷7,0 |
| Іліти | 0,5÷1,0 |
| Каолініт | 0,5 |
| Гідратований галуазит | 0,1 |
| Дегідратований галуазит | 0,5 |
| Атапульгіт | 0,5÷1,2 |
| Алофан | 0,5÷1,2 |

Характеристики пластичності є головними класифікаційними показниками зв'язних ґрунтів в українських і зарубіжних стандартах і за своїм смислом є ідентичними. За ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23] визначається межа текучості ($W_L$) та межа розкочування ($W_p$), за ASTM (США) - межі Аттерберга: ***L**iquid **L**imit* (***LL***) та ***P**lastic **L**imit* (***PL***) [40]. Різність між даними показниками українською мовою носить назву число пластичності ($I_p$), а англійською – ***P**lasticity **I**ndex* (***PI***). Еквівалентом показника текучості ($I_L$) є ***L**iquidity **I**ndex* (*LI*).

Залежно від індексу консистенції $I_C$ (*consistency index*) ґрунти поділяються на 4 групи:

- $I_C \geq 1$ - дуже тверді;
- $1 > I_C \geq 0{,}5$ – тверді;
- $0{,}5 > I_C > 0{,}05$ – м'які;
- $I_C \leq 0{,}05$ – рідкі.

При обробці результатів лабораторних досліджень слід враховувати відмінності, які існують між межами текучості $W_L$ та ***LL***, що пов'язані з гранулометричним складом ґрунтового матеріалу, якій використовується для аналізу, та приладами, що використовуються для визначення цього параметра. Згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23] використовується ґрунтовий матеріал, який було просіяно крізь сито з отворами 1 мм, згідно ASTM та BS (Великобританія) [40] використовується матеріал дрібніше 0,425 мм. Крім того, з метою визначення $W_L$ згідно

ДСТУ використовується занурення конуса Васильєва, а для ***LL*** згідно ASTM – використовується чашка Казагранде. Фізична природа явищ, що відбуваються у ґрунтах при виконанні цих операцій, дуже близька, але не є ідентичною, тому результати, що отримують, різняться між собою.

Численними дослідженнями були встановлені залежності між показниками межі текучості $W_L$ та ***LL***, що характеризуються високими значеннями коефіцієнта кореляції (0,90 та вище). З допустимою для практичних цілей точністю при визначенні цього класифікаційного показника рекомендується, якщо відсутні власні емпіричні данні, використовувати такі залежності [31]:

$$W_L = 0{,}72\boldsymbol{LL} + 5{,}8 \text{ або } W_L = (\boldsymbol{LL}+8{,}3)/1{,}43, \qquad (5.6)$$

З урахуванням цих залежностей обидва показники $W_L$ та ***LL*** можуть використовуватися з метою класифікації глинистих ґрунтів, а також заміняти один одного.

Межі розкочування $W_p$ та ***PL*** визначаються ідентичними методами, але результати аналізів також відрізняються за рахунок відмінності крупності ґрунтового матеріалу, що використовується для досліджень. Для глин ці відмінності досить незначні й проявляються лише для супісків.

В.В. Дмитрієвим [31] були отримані залежності, що дозволяють зіставляти результати аналізів глинистих ґрунтів:

$$\boldsymbol{PL} = 0{,}91W_p + 2{,}2 \text{ або } \boldsymbol{PL} = 0{,}90W_p + 1{,}5, \qquad (5.7)$$

$$W_p = 1{,}10\boldsymbol{PL} - 2{,}4, \qquad (5.8)$$

$$I_p = 0{,}60PI + 2{,}6, \qquad (5.9)$$

**З метою визначення вологості на межі розкочування $\mathbf{W_p}$** використовуються два основних методи – *метод пресування* та *метод розкочування у джгут*.

***Визначення вологості на межі розкочування методом пресування ґрунтової пасти.*** Спеціальний шаблон товщиною 2

мм з отвором діаметром 5 см укладають на бавовняну тканину і заповнюють ґрунтовою пастою. Виступаючу зверху пасту зрізають ножем врівень з поверхнею шаблона. Потім шаблон видаляють, а отриманий зразок покривають такою самою тканиною. Знизу та зверху зразка укладають по 20 аркушів фільтрувального паперу розміром 9×9 см. Підготовлений зразок укладають поміж металевими пластинами та за допомогою преса протягом 10 хвилин створюють тиск на зразок 2 МПа (20 кгс/см$^2$). Потім проводять контроль завершення водовіддачі ґрунту – знімають тиск преса, виймають зразок та, видаливши фільтрувальний папір і тканину, згибають зразок навпіл. Межу розкочування вважають досягнутою, коли зразок на згині дає тріщину. За відсутності тріщини визначення повторюють на новій порції ґрунтової пасти, збільшив тривалість пресування на 10 хвилин у порівнянні з тривалістю попереднього дослідження.

***Визначення вологості на межі розкочування методом розкочування ґрунтової пасти у джут*** (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23]) детально буде розглянуто у лабораторної роботі 17**.**

Крім методів, де дослідження вологості на межі розкочування виконуються вручну, існує *автоматизований метод* формування джутів ґрунту за допомогою автоматичного пристрою германської фірми *Wille Geotechnik*® (рис. 5.4).

**Рис. 5.4. Автоматичний пристрій фірми *Wille Geotechnik*®**

Ця установка складається з трьох сушильних трубок, в яких джути ґрунту формуються автоматично з точним діаметром. Даний метод є дуже продуктивним, завдяки високої швидкості скочування джутів та їхнього просушування повітрям.

**З метою визначення вологості на межі текучості $W_L$** використовуються три основних методи – *метод балансирного конусу*, *метод Казагранде* та *метод падаючого конусу*.

***Визначення вологості на межі текучості методом балансирного конусу*** (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [23]) детально буде розглянуто у лабораторної роботі 17**.**

***Визначення вологості на межі текучості методом Казагранде***. Величина *LL* ($W_L$) визначається за допомогою чашки Казагранде згідно нормативів ASTM (США) та BS (Великобританія) [40]. Процедура цих досліджень відома ще з 1932 року, вона є досить простою та ефективною. Пристрій складається з латунної чашки, що знімається (рис. 5.5), яка за допомогою кулачкового приводу скидається на основу з твердої гуми.

**Рис. 5.5. Визначення межі текучості *LL* ($W_L$) за допомогою чашки Казагранде**

Ґрунт, що знаходиться у чашці, поділяється ножем на дві частини *V*-подібним розрізом, після чого у ньому залишається борозна шириною 1,25 см. Якщо при обертанні ручки приладу (або обертанні за допомогою електроприладу) приблизно після 23-26 падінь чашки з висоти 1 см борозна затягується, то вважається, що вологість ґрунту досягла межі текучості. За результатами досліджень будують графік залежності вологості від кількості падінь чашки, за яким визначається межа текучості, що відповідає 25 падінням чашки.

Досвід показав, що результати, які отримують цім методом є досить суб'єктивними й цілком залежать від виконавця. Більш того, чашка Казагранде і сам метод дослідження піддавалися значним змінам, з того часу як його спочатку було запропоновано Казагранде у 1932 році, й ці зміни призвели до відмінностей отриманих значень межі текучості.

В Європі та Канаді, як альтернатива чашці Казагранде, використовують ***метод падаючого конусу*** з кутом $60^0$ та вагою 60 г [31] (рис. 5.6).

**Рис. 5.6. Визначення межі текучості *LL* ($W_L$) падаючим конусом:**
*а – схема приладу; б – металевий конус; в – загальний вид приладу*

Визначення межі текучості виконують як на зразку природного ґрунту, та і на пробі ґрунту, в якого частки, що залишились на ситі з комірками 0,4 мм, були видалені. Визначення проводиться методом падаючого конусу. Стандарт дозволяє використовувати як конус 60г/$60^0$, так і конус 80г/$30^0$, тому що використання як першого, так і другого конусу, дає однакові значення межі текучості.

*Дослідження ґрунтується* на взаємозв'язку між вмістом вологи та глибиною проникнення конуса в зразок ґрунту. До складу приладу входить лита алюмінієва основа, вимірювальний пристрій з круговою шкалою діаметром 150 мм і ціною поділки 0,1 мм, з автоматичним встановленням нуля та спусковою кнопкою, конус та дві металеві чашки для зразків (див. рис. 5.6). Вологість ґрунту досягає межі текучості, якщо пенетрація конусу в ґрунті досягає 10 мм.

Зв'язок вологості й глибини пенетрації може бути представлений у вигляді графіка з напівлогарифмічною шкалою, де на лінійній осі абсцис відкладається вологість, а на напівлогарифмічній осі ординат – глибина пенетрації конусу (рис. 5.7).

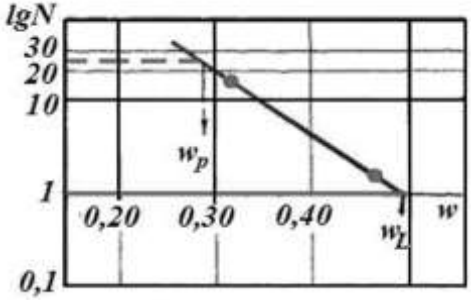



**Рис. 5.7. Визначення межі пластичності ґрунтів методом пенетрації конусу [31]**

*Межі пластичності ґрунтів визначають у такій послідовності* – вимірюють опір втисканню конуса при вологості, що є близькою до межі розкочування $R_{n-1}$ та при вологості, що є близькою до межі текучості $R_{n-2}$; знаходять відповідні вологості ґрунтових паст $W_1$ та $W_2$; розраховують коефіцієнти пенетрації $N_1 = 132 \times R_1$ та $N_2 = 132 \times R_2$; на осі графіка lg$N$–$W$ наносять точки $W_1$, lg$N_1$ та $W_2$, lg$N_2$, через які проводять пряму; при значеннях $N = 1$ та $N = 25$ відповідно знаходять значення $W_L$ і $W_P$ (див. рис.5.7). З отриманого графіка необхідно визначити значення вологості, що відповідає глибині пенетрації в 10 мм для конусу 60г/60$^0$ або 20 мм для конусу 80г/30$^0$. Якщо використовується конус 80г/30$^0$, то напівлогарифмічну шкалу можна замінити лінійною по обох осях.

**Лабораторна робота 17. Визначення меж пластичності пилувато-глинистих ґрунтів методом балансирного конусу А.М. Васильєва та методом розкочування у джут.**

**Мета роботи:** визначити межі та число пластичності, а також показники текучості й консистенції ґрунту.

***Сутність методу балансирного конусу А.М. Васильєва*** полягає в отриманні границі текучості, як вологості приготовленої з досліджуваного ґрунту пасти, коли балансирний конус поринає під дією власної ваги за 5 с на глибину 10 мм.

***Балансирний конус А.М. Васильєва*** (рис. 5.8) складається із полірованого конусу з нержавіючої сталі висотою 25 мм, з кутом на вершині $30^0$ та загальною вагою 76 г (76г/$30^0$).

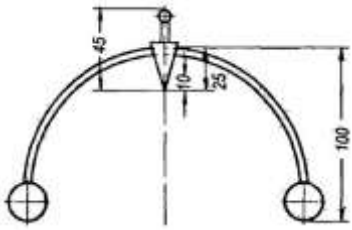



**Рис. 5.8. Балансирний конус А.М. Васильєва**

На відстані 10 мм від вершини на тілі конусу нанесена кругова мітка. Балансирний пристрій складається з двох металевих шарів (або циліндрів), закріплених на кінцях металевого прута, зігнутого у напівокружність, що проходить у верхній частині конусу. Для виконання досліджень також необхідна спеціальна підставка з циліндричною металевою чашкою діаметром не менше 4 см та висотою не менше 2 см (рис. 5.9).

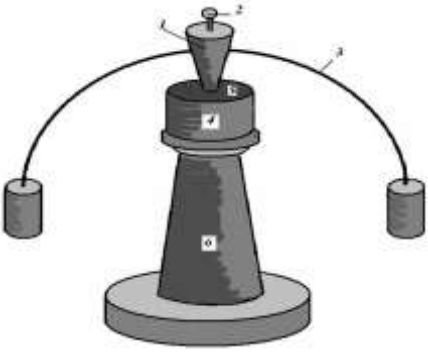


**Рис. 5.9. Загальний вигляд приладу А.М. Васильєва:**
*1 – конус; 2 – ручка; 3 – власне балансирний пристрій; 4 – металева чашка; 5 – ґрунтова паста; 6 - підставка*

***Сутність методу розкочування ґрунту у джут*** полягає в отриманні границі розкочування, як вологості приготовленої з досліджуваного ґрунту пасти, коли паста, що розкочується у джут діаметром 3 мм, починає розпадатися на шматочки завдовжки від 3 до 10 мм (рис. 5.10).

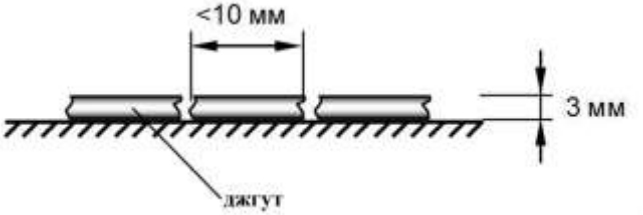



**Рис. 5.10. Розміри джгута при виконанні розкочування**

Визначення меж пластичності пилувато-глинистих ґрунтів проводять *відповідно до ДСТУ Б В.2.1-17:2009* [23].

**Засоби випробування та матеріали:** балансирний конус Васильєва; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); сушильна шафа; ексикатор; бюкси; ступка порцелянова та товкачик (згідно ГОСТ 9147 [4]); сито №1; шпателі металеві; скляна або пластмасова пластинка розміром 10×15 см або 15×20 см; вазелін технічний (рис. 5.11 та 5.12).

**Рис. 5.11. Обладнання, необхідне для визначення вологості на межі текучості:**

*1 – сито №1; 2 – циліндрична металева чашка до конусу; 3 – ваги лабораторні технічні; 4 – шпатель; 5 – порцелянова чашка; 6 – балансирний конус Васильєва*

**Рис. 5.12. Обладнання, необхідне для визначення вологості на межі розкочування:**

*1 – сито №1; 2 – циліндрична металева чашка; 3 – порцелянова чашка; 4 – шпатель; 5 – ваги лабораторні технічні*

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Для визначення меж пластичності ґрунту використовуються моноліти або проби ґрунту порушеної будови, для яких потрібно збереження природної вологості. Для ґрунтів, що містять органічні речовини, межі пластичності визначаються відразу після розкриття проби. Для ґрунтів, що не містять органічні речовини, можливе використання зразків ґрунту в повітряно-сухому стані.

2) *Зразок ґрунту природної вологості* розминають шпателем у порцеляновій чашці, відбирають із подрібненого ґрунту методом квартування зразок масою близько 300 г і протирають крізь сито із сіткою №1. Зразок витримують у закритій скляній посудині не менше ніж 2 години.

3) *Зразок ґрунту в повітряно-сухому стані* подрібнюють у порцеляновій ступці та просівають крізь сито із сіткою 1 мм. Просіяний ґрунт зволожують дистильованою водою та готують густу ґрунтову пасту, перемішуючи шпателем, та витримують у закритій скляній посудині не менше ніж 2 години.

4) Не допускається додавати у ґрунтову пасту сухий ґрунт.

***2. Визначення межі текучості.***

***2.1. Проведення випробування.***

1) Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішують шпателем і невеликими порціями щільно, не допускаючи

повітряних порожнин, укладають у циліндричну металеву чашку. Поверхню пасти загладжують шпателем урівень із краями чашки.

2) Балансирний конус, змащений тонким шаром технічного вазеліну, підводять до поверхні ґрунтової пасти так, щоб його вістря торкалось пасти. Потім плавно відпускають ручку конусу, дозволяючи йому поринати у пасту під дією власної ваги.

Занурення конуса у пасту протягом 5 с на глибину 10 мм показує, що ґрунт має вологість, яка відповідає границі текучості.

3) При зануренні конуса протягом 5 с на глибину менше ніж 10 мм ґрунтову пасту витягають із чашки, приєднують до пасти, що залишилася, додають небагато дистильованої води, ретельно перемішують і знов повторюють відповідні операції.

При зануренні конуса протягом 5 с на глибину більше ніж 10 мм ґрунтову пасту із чашки перекладають у порцелянову чашку, злегка підсушують на повітрі, безупинно ретельно перемішуючи шпателем і знов повторюють відповідні операції.

4) По досягнені границі текучості з пасти відбирають зразки масою 15÷20 г і визначають вологість (табл. 5.7).

***3. Визначення межі розкочування.***

***3.1. Проведення випробування.***

1) Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішують, беруть невеликий шматочок і розкочують долонею на скляній або пластмасовій пластинці до утворення джуту діаметром 3 мм (див. рис. 5.10 та 5.13).

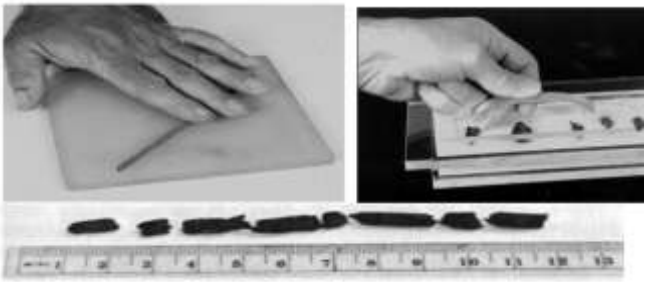


**Рис. 5.13. Визначення вологості на межі розкочування**

Якщо при товщині в 3 мм джут зберігає зв'язність і пластичність, його збирають у грудку і знову розкочують до утворення джуту 3 мм. Розкочувати треба, злегка натискаючи на джут, довжина якого не повинна перевищувати ширини долоні. Розкочування продовжують доти, поки джут не починає розпадатися за поперечними тріщинами на шматочки завдовжки від 3 до 10 мм.

2) Шматочки джуту, що розпадаються, збирають до бюксів, які накриваються кришками. Коли маса ґрунту у бюксах досягне 10÷15 г, визначають вологість (див. табл. 5.7).

**Таблиця 5.7**

**Журнал лабораторного визначення меж текучості та розкочування пилувато-глинистого ґрунту**

**Лабораторний номер зразка** _____

**№ виробки і глибина відбору зразка, м** _____

**Дата визначення** _____ **20**____ **рік**

**Виконавець** _____

(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ТЕКУЧОСТІ ТА РОЗКОЧУВАННЯ ПИЛУВАТО-ГЛИНИСТОГО ҐРУНТУ** | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Межа текучості $W_L$** | | | | | | | **Межа розкочування $W_P$** | | | | | | | **Число пластичності, $I_P = (W_L - W_P) \times 100\%$** |
| **Номер бюкса** | **Маса бюкса $m_0$, г** | **Маса бюкса з вологим ґрунтом $m_1$, г** | **Маса бюкса з висушеним ґрунтом $m_2$, г** | | **Межа текучості $W_L$** | | **Номер бюкса** | **Маса бюкса $m_0$, г** | **Маса бюкса з вологим ґрунтом $m_1$, г** | **Маса бюкса з висушеним ґрунтом $m_2$, г** | | **Межа розкочування $W_P$** | | |
| | | | перше зважування | друге зважування | окремої проби | середня | | | | перше зважування | друге зважування | окремої проби | середня | |
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* | *10* | *11* | *12* | *13* | *14* | *15* |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

**Перевірив** _____

(посада, підпис, прізвище, ініціали)

***4. Обробка результатів випробування.***

1) Підсумкові результати визначення вологості на межі текучості та межі розкочування ґрунту реєструють у журналі (див. табл. 5.7).

2) Використовуючи ці результати розраховують число пластичності:

$$I_P = (W_L - W_P) \times 100\%$$

***5. Підсумки.***

На основі результатів визначення меж та числа пластичності, необхідно визначити показники текучості й консистенції ґрунту та виконати його класифікацію (див. табл. 5.4 та 5.5).

## Глава 5.3. Визначення набухання ґрунтів

**Під набуханням ґрунтів** розуміють їхню здатність збільшувати свій об'єм і створювати тиск набухання в процесі гідратації або при взаємодії з хімічними розчинами. *Властивість набухання* (а також й *зсідання*) притаманна, в основному, ґрунтам з коагуляційними й перехідними типами контактів. До ґрунтів, що набухають, слід відносити глинисті ґрунти, які при замочуванні їх водою або іншою рідиною збільшуються в об'ємі та мають відносну деформацію набухання $\varepsilon_{SW} > 0{,}04$ (таблиця 5.8).

Набухання найбільш яскраво виявляється у представників *групи смектитів* і *в гідрослюдах*, а також *у деяких видів шлаків* (наприклад, шлаків електроплавильного виробництва) та *у звичайних пилувато-глинистих ґрунтах* (що не набухають при водонасиченні), якщо вони замочуються хімічними стоками або технологічними розчинами різних промислових виробництв (особливо розчинами солей, кислот та лугів). У всіх ґрунтах, що набухають, після замочування спостерігається зменшення щільності, перехід із твердої та напівтвердої консистенції у пластичну, зниження у декілька разів міцністних характеристик. При порушенні природної будови ґрунту, що набухає, (наприклад, якщо його використовують в якості ґрунту зворотної засипки) *величина вільного набухання* може збільшуватись до 1,5-2 разів.

***Вільне набухання ґрунтів*** характеризується наступними основними показниками:

- *відносна деформація (або ступінь) набухання* $\varepsilon_{SW}$;
- *вологість вільного набухання* $W_{SW}$;
- *тиск набухання* $p_{SW}$.

***Кінетика набухання ґрунтів*** характеризується *швидкістю набухання* $v_{SW}$ та *періодом набухання* $t_{SW}$.

***Відносна деформація набухання, або ступінь набухання*** **($\varepsilon_{SW}$)** дорівнює відношенню абсолютної деформації зразка, що вільно набух в умовах неможливості бічного розширення ($\Delta h$), до початковій висоті зразка ($h_0$) з природною вологістю $W$; вимірюється у % або ч. од.:

$$\varepsilon_{SW} = \frac{\Delta h}{h_0}, \qquad (5.10)$$

Розрізняють *відносну деформацію набухання при навантаженнях* $\varepsilon_{SWP}$ та *при вільному набуханні* $\varepsilon_{SW}$ *ґрунту*, яку отримують у приладі ПНГ-1, коли нехтують тиском від маси штампа і вимірювального обладнання, що не перевищує 0,006 МПа (0,06 кгс/см$^2$).

Згідно класифікації ДСТУ Б В.2.1-2-96 [20], глинисті ґрунти за величиною *відносної деформації вільного набухання* $\varepsilon_{SW}$ поділяються на 4 різновиди (див. табл. 5.8) – від ґрунтів, що не набухають ($\varepsilon_{SW} < 0{,}04$), до ґрунтів, що сильно набухають ($\varepsilon_{SW} > 0{,}12$).

**Таблиця 5.8**

**Класифікація глинистих ґрунтів за відносною деформацією вільного набухання (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96) [20]**

| **Різновид ґрунтів** | **Відносна деформація набухання $\varepsilon_{SW}$, ч.од.** |
|---|---|
| Ненабухаючий | < 0,04 |
| Слабонабухаючий | 0,04÷0,08 |
| Середньонабухаючий | 0,08÷0,12 |
| Сильнонабухаючий | > 0,12 |

***Вологість вільного набухання*** **($W_{SW}$)** – це кінцева вологість зразка, що повністю набух в умовах неможливості бічного

розширення та будь якого зовнішнього обмеження (без тиску на зразок), вимірюється у %. При набуханні ґрунту під зовнішнім тиском визначається кінцева вологість зразка, що набух, яка відповідає певному тиску.

***Тиск набухання*** **($p_{SW}$)** – це тиск, якій ґрунт чинить на зовнішнє обмеження під час свого набухання. Чисельно він дорівнює протитиску при якому $\varepsilon_{SW} = 0$; вимірюється у МПа.

***Швидкість набухання*** **($v_{SW}$)** визначається як відношення $\Delta\varepsilon_{SW}/\Delta t$ та є перемінною величиною під час набухання. При оцінці $\Delta\varepsilon_{SW}$ у частках одиниці швидкість набухання вимірюється у $с^{-1}$ або $хв.^{-1}$.

***Період набухання*** **($t_{SW}$)** – це час, протягом якого завершується процес набухання зразка ґрунту і швидкість дорівнює нулю; вимірюється в одиницях часу (наприклад, с, хв., год. тощо).

Набухання глинистих ґрунтів є доволі складним процесом. Згідно К. Норришу [17], розрізняють ***дві стадії набухання*** – *внутрікристалічне набухання* та *макронабухання*.

*На стадії внутрікристалічного набухання* зміни об'єму ґрунту не відбуваються, при цьому він лише гідратує до вологості, що є близькою до максимальної гігроскопічної з утворенням міцнозв'язаної води.

*На стадії макронабухання* відбуваються основна зміна об'єму та зростання пористості системи за рахунок «осмотичного тиску», що створюється надлишковою активною концентрацією «віддисоціїваних» з поверхні часток обмінних іонів (катіонів) або протиіонів *ПЕШ* в умовах низької концентрації взаємодіючого з ґрунтом розчину порового електроліту.

*Набухання ґрунтів залежіть від багатьох факторів* – мінерального, гранулометричного та хімічного складу ґрунту, природної вологості й щільності будови, складу і концентрації взаємодіючого з ґрунтом розчину, величини зовнішнього тиску на ґрунт. Набухання обумовлено капілярними, осмотичними й адсорбційними процесами поглинення вологи ґрунтом, серед яких головну роль відіграють осмотичні процеси. Завдяки їм при гідратації поступово збільшується вологість ґрунту, зростає

товщина водних плівок навколо часток і одночасно збільшується товщина *ПЕШ*, що призводить до появи сил розклинюючого тиску між частками, які визивають руйнування структурних зв'язків між ними, їхнє роз'єднання та збільшення об'єму системи у цілому. В ґрунтах, що набухли, переважають коагуляційні контакти.

Мінеральний склад є одним з найважливіших внутрішніх факторів набухання. Вплив складу глинистих ґрунтів на процес набухання пов'язано, головним чином, з величиною їхньої питомої поверхні, а також з кількістю та видом обмінних катіонів (іншими словами, з величинами їхньої поверхневої та іонної активності). Чім більша питома поверхня глинистих мінералів, їхня ємність обміну та «ступінь дисоціації» обмінних катіонів, тім більше набухання таких ґрунтів. Відповідно, *за здатністю глинистих мінералів до набухання* їх можна розташувати у такій ряд:

**монтморилонітові > гідрослюдисті > каолінітові**.

При близьких значеннях величин питомої поверхні та ємності обміну набухання глинистих ґрунтів визначається валентністю обмінних катіонів та величиною їхнього радіусу. Для другої стадії набухання, за ступенем впливу на цей процес, характерним є такій ряд катіонів:

$$\mathbf{Li^{+} > Na^{+} > NH_4^{+} > K^{+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Al^{3+} > Fe^{3+}}$$

Таким чином, чім нижче валентність катіона і менше його радіус при такій самій валентності, тім менш значима його взаємодія з поверхнею мінералу, більша «дисоціація» та вище «осмотичне» набухання ґрунту в цілому.

Структурно-текстурні особливості глинистих ґрунтів також сильно впливають на набухання, перш за все через дисперсність і характер структурних зв'язків. Найбільша величина набухання є характерною для високодисперсних глин, тоді як супіскам і легким суглинкам набухання взагалі не притаманне. Набухання зростає зі збільшення вмісту в ґрунті часток глинистої й

колоїдної фракцій. У таблиці 5.9 наведена класифікація ґрунтів, що набухають, залежно від показників консистенції й вмісту колоїдних часток.

**Таблиця 5.9**

**Класифікація глинистих ґрунтів, що набухають, залежно від показників консистенції й вмісту колоїдних часток [31]**

| Ступінь набухання | Можливе об'ємне набухання, % | Вміст колоїдних часток (< 0,0001 мм), % | Число пластичності $I_P$, ч. од. | Вологість на межі усідання $W_{sh}$, ч. од. |
|---|---|---|---|---|
| Дуже висока | > 30 | > 28 | > 35 | < 11 |
| Висока | 20÷30 | 20÷31 | 25÷41 | 7÷12 |
| Середня | 10÷20 | 13÷23 | 15÷28 | 10÷16 |
| Низька | < 15 | < 15 | < 18 | > 15 |

Міцні структурні зв'язки між частками протидіють набуханню глинистих ґрунтів. Тому серед глин природної будови найбільш сильно набухають ґрунти з коагуляційними і перехідними контактами, а менш сильно – з фазовими. Літіфіковані глини (наприклад, аргіліти, глинисті мергелі тощо), взагалі втрачають здатність до набухання в природному стані.

Встановлено, що початкова швидкість набухання (у перші дві години) вище у менш дисперсних глин (гідрослюдисті, каолінітові), але потім вона падає і стає менше швидкості набухання більш дисперсних глин (монтморилонітові). У відповідності з цім, період набухання більш дисперсних глин більше, ніж у менш дисперсних. Кінетика набухання залежіть й від початкової вологості глинистих ґрунтів. У начальний період (до 1-5 годин) швидше набухають більш вологі глини, але потім швидкість їхнього набухання падає і стає менше швидкості набухання менш вологих глин.

Глинисті ґрунти, що знаходяться у пухкому порушеному стані, мають високу початкову пористість (70÷85%) та низьку вологість (повітряно-сухий стан), при взаємодії з водою не набухають, а навпаки ущільнюються за рахунок гідратації та прояву сил капілярної зв'язності, що «стягує» частки та агрегати

між собою. Глина при початковій пористості близько 60% взагалі практично не набухає та не змінює своєї пористості під час гідратації. У випадку щільної будови (пористість дорівнює 60%) таж сама глина виявляє суттєве набухання, особливо в діапазоні вологості від $W_P$ до $W_L$. Така поведінка при гідратації є характерною для глин каолінітового і частково іллітового складу з невисокою дисперсністю та гідрофільністю. Для високодисперсних монтморилонітових глин набухання відбувається при будь якій початковій щільності (пористості).

***При виконанні інженерно-геологічних вишукувань обов'язково необхідно враховувати такі специфічні особливості ґрунтів, що мають схильність до набухання та зсідання***:

1) до набухання при зволоженні та зсідання при підсушуванні схильні всі глини і суглинки, але ця здатність виявляється лише при певних умовах. Найбільш схильні до зсідання і набухання високодисперсні глини середнього і високого ступеня літіфікації, що володіють зворотними коагуляційними та стабілізаційними зв'язками. Як правило, вміст у них часток < 0,005 мм перевищує 40÷60%, щільність – більше 1,50÷1,70 г/см$^3$, вологість – менше 0,20÷0,30, число пластичності складає 0,28, межі розкочування й текучості перевищують, відповідно, 0,27 та 0,55. До складу цих глин входять мінерали груп гідрослюд, монтморилоніту та бейделіту;

2) набухають ґрунти середньої щільності та щільні, що мають вологість менше вологості повної вологоємності;

3) повне набухання виявляється при порушенні природної будови глинистих ґрунтів, наприклад під час розробки земляних кар'єрів або при укладанні у насипи;

4) переважна маса покривних відкладів має четвертинний вік. Дочетвертинні глинисті породи, які вони переривають, повинні набухати сильніше тому, що вони мають більш високу щільність, меншу вологість, менше розвантаження при розкритті ґрунтів у виїмках та менше руйнування структурних зв'язків при вивітрюванні. Найбільш інтенсивного характеру

процеси набухання-зсідання набувають у зонах перемінного волого-температурного режиму, наприклад в укосах насипів;

5) глини, що вміщують, перекривають та підстеляють шари водоносних пісків, не розм'якшуються підземними водами, а якби «консервуються»; у цьому випадку підземні води не впливають на схильність корінних глин до набухання;

6) більш схильними до зсідання й набухання є морські та озерні глини палеогену, неогену та четвертинної системи, особливо мілководних фацій, а також елювій-делювій цих порід; сильно набухають хвалинські, бакинські, апшеронські, кимерийські, аральські, меотичні, сарматські, майкопські глини та їхній елювій-делювій. В Україні глини, що набухають, зустрічаються у Криму, в районах Керчі та Феодосії.

Набухання ґрунтів є дуже важливою властивістю, яку обов'язково необхідно враховувати при проектуванні та проведенні будівельних робіт. Набухання часто виникає при розкритті ґрунтів, що набухають, виїмками, котлованами тощо, а також при спорудженні гребель і водосховищ, коли суттєво змінюються гідрогеологічні умови місцевості та збільшується вологість ґрунтів за рахунок води, що надходить. Ґрунти, які складають дно та відкоси котлованів і виїмок, під дією атмосферних вод можуть не тільки набухати, а також і розмокати, що призводить до повного порушення їхньої природної будови.

Всі основні показники набухання ґрунтів отримують при проведенні лабораторних досліджень на приладах ПНВ (конструкції А.М. Васильєва, рис. 5.14), ПНЗ (конструкції Д.І. Знаменського), ПНГ-1 (конструкції В.М. Яковлєвої), компресійних приладах або у стабилометрах. У діючому ДСТУ Б В.2.1-11:2009 [22] регламентовано використання приладів для визначення вільного набухання ґрунтів (ПНГ); у компресійних приладах регламентовано визначати показники набухання ґрунту під навантаженням і тиск набухання.

Характеристики вільного набухання визначають за результатами дослідження зразків ґрунту у приладі ПНГ-1 при насиченні ґрунту водою або хімічним розчином. Для досліджень використовують зразки ґрунту непорушеної будови з

природною вологістю або зразки порушеної будови із заданими значеннями щільності й вологості. Зразки ґрунту непорушеної будови з метою визначення вільного набухання, набухання під навантаженням та зсідання слід вирізати з одного моноліту ґрунту. Вільне набухання визначають дослідженням одиночного зразка ґрунту.

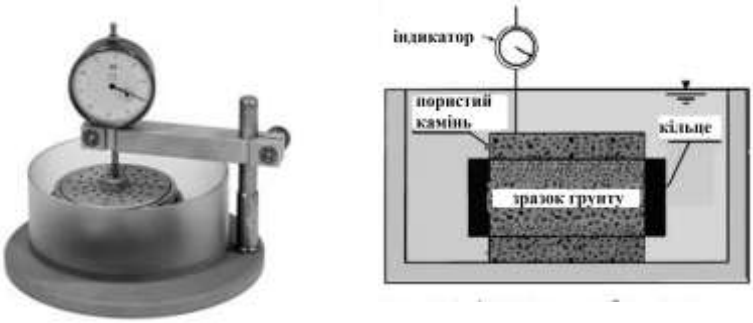



**Рис. 5.14. Прилад для визначення набухання ґрунтів ПНВ (конструкції А.М. Васильєва) та загальна схема приладу**

Зразок ґрунту для визначення вільного набухання повинен мати форму циліндра діаметром не менш ніж 50 мм, заввишки не менш ніж 20 мм. Не припускається використання для досліджень глинистих ґрунтів, що вміщують крупноуламкові включення з розмірами зерен понад 5 мм.

Зразки ґрунту при випробуванні на набухання заливають ґрунтовою водою, взятою з місця відбору проби ґрунту, водною витяжкою або водою питної якості. У випадках, обумовлених програмою досліджень, допускається застосування дистильованої води та штучно приготовлених розчинів заданого хімічного складу. Дослідження з метою визначення характеристик набухання виконують до повного припинення поглинення зразком ґрунту води (або розчину).

*Конструкція приладу ПНГ-1 має забезпечувати*: нерухомість робочого кільця при випробуванні; подачу води до зразка та її відведення; величину вертикального тиску від штампа, вимірювального устаткування, розташованого на ньому, та інших неврівноважених деталей не більше ніж 0,0006 МПА.

**Лабораторна робота 18. Визначення вільного набухання ґрунтів за допомогою приладу ПНГ-1.**

**Мета роботи:** визначити основні характеристики вільного набухання ґрунту за допомогою приладу ПНГ-1 (конструкції В.М. Яковлєвої) (рис. 5.15).

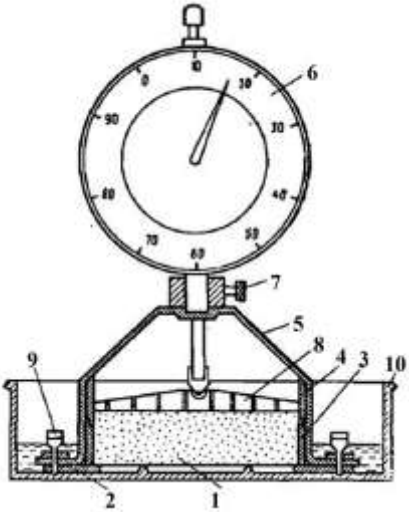



**Рис. 5.15. Загальний вигляд приладу ПНГ-1 (конструкції В.М. Яковлєвої):**

*1 – зразок ґрунту; 2 – перфорований металевий піддон; 3 – робоче металеве кільце; 4 – направляюче металеве кільце; 5 – скоба; 6 – індикатор годинникового типу; 7 – гвинт для закріплення індикатора; 8 – перфорований пластмасовий верхній штамп; 9 – гвинт для закріплення скоби; 10 – ванночка для рідини*

Визначення характеристик вільного набухання ґрунту проводять *відповідно до ДСТУ Б В.2.1-11:2009* [22].

**Засоби випробування та матеріали:** прилад ПНГ-1; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); штангенциркуль (згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009 [25]); сушильна шафа; ексикатор; бюкси; ніж; паперові фільтри.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Прилади для проведення випробувань встановлюють на жорсткій основі, що виключає вібрацію. Горизонтальність установки приладів перевіряють за рівнем. У приміщенні під час випробувань повинна підтримуватись плюсова температура.

2) Для тарування ПНГ-1 у робоче кільце закладають два паперових фільтри, встановлюють індикатор і замочують фільтри. За індикатором фіксують деформацію $\Delta h_r$ . Для даної партії фільтрів тарувальну поправку приймають як середнє арифметичне значення деформації трьох пар фільтрів.

***2. Визначення характеристик вільного набухання ґрунту.***

***2.1. Проведення випробування.***

1) Зважують робоче ріжуче кільце *3* (див. рис. 5.15) з точністю до 0,01 г ($m_1$) та вимірюють за допомогою штангенциркуля його висоту ($h$).

2) Із моноліту за допомогою ріжучого кільця вирізають зразок ґрунту, при цьому зазори між ґрунтом і стінками робочого кільця не допускаються. Кільце ретельно зачищають з обох боків і знову зважують ($m_2$).

3) Ґрунт у кільці покривають із двох сторін паперовими фільтрами та встановлюють до приладу. Зверху на робоче кільце одягають направляюче кільце *4*.

4) Зібраний прилад встановлюють у пластмасову ванночку *10*. На приладі за допомогою гвинта кріплення *7* встановлюють індикатор *6*. При цьому ніжка індикатора має лише торкатися виступу на пластмасовому штампі *8*, а стрілки індикатора виставляються у нульове положення.

5) До ванночки приладу ПНГ-1 наливають воду до середини робочого кільця. Після замочування зразка реєструють деформації через 5; 10; 30 та 60 хв., потім через 2 год. протягом робочого дня, далі на початку та наприкінці робочого дня до досягнення умовної стабілізації деформації. За відсутності набухання замочування роблять протягом трьох діб.

6) За критерій умовної стабілізації деформації вільного набухання ґрунтів приймають деформацію не більше ніж 0,01 мм за 16 годин.

7) Після завершення набухання зразка ґрунту зливають воду (або розчин) з приладу; кільце з вологим ґрунтом (без фільтрів) зважують ($m_3$) та висушують у сушильній шафі й після охолодження в ексикаторі також зважують ($m_4$).

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Початкову (природну) вологість ($W_0$) та вологість вільного набухання ($W_{SW}$) (у %) розраховують відповідно за формулами:

$$W_0 = \frac{m_2 - m_4}{m_4} \times 100, \qquad (5.11)$$

$$W_{SW} = \frac{m_3 - m_4}{m_4} \times 100, \qquad (5.12)$$

де $m_2$ – маса робочого ріжучого кільця з відібраним вологим ґрунтом до досліду, г; $m_3$ – маса робочого кільця з відібраним вологим ґрунтом після досліду, г; $m_4$ – маса робочого кільця з сухим ґрунтом після висушування, г.

2) Абсолютну деформацію зразка ґрунту, що вільно набух в умовах неможливості бічного розширення ($\Delta h$) (у мм) розраховують за формулою:

$$\Delta h = h_к - h_0, \qquad (5.13)$$

де $h_к$ – кінцевий відлік за індикатором, мм; $h_0$ - початковий відлік за індикатором, мм.

3) Відносну деформацію набухання, або ступінь набухання ($\varepsilon_{SW}$) (ч. од.) розраховують за формулою:

$$\varepsilon_{SW} = \frac{\Delta h}{h}, \qquad (5.14)$$

$h$ - початкова висота зразка ґрунту (висота робочого кільця), мм.

4) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 5.10).

***4. Підсумки.***

На основі результатів визначення відносної деформації набухання, або ступеню набухання ґрунту необхідно виконати його класифікацію (див. табл. 5.8).

**Таблиця 5.10**

**Журнал лабораторного визначення вільного набухання ґрунту**

**Лабораторний номер зразка _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____–**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ВІЛЬНОГО НАБУХАННЯ ҐРУНТУ** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Найменування параметрів** | **Величина параметрів** | | | | | | **Примітка** |
| | **до випробування** | **після випробування** | | | | | |
| Маса робочого ріжучого кільця $m_1$, г | | | | | | | |
| Висота робочого ріжучого кільця $h$, мм | | | | | | | |
| Маса робочого ріжучого кільця з відібраним вологим ґрунтом до досліду $m_2$, г | | -- | | | | | |
| Маса робочого кільця з відібраним вологим ґрунтом після досліду $m_3$, г | --- | | | | | | |
| Маса робочого кільця з сухим ґрунтом після висушування $m_4$, г | | | | | | | |
| **Результати випробувань в ПНГ-1** | | | | | | | |
| Дата випробувань | | | | | | | |
| Час (хв., год.) | | | | | | | |
| Показання індикатора | | | | | | | |
| Деформація зразка ґрунту | | | | | | | |
| Набухання зразка ґрунту | | | | | | | |

**Перевірив** _____
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Глава 5.4. Визначення зсідання ґрунтів

**Під зсіданням ґрунтів** розуміють їхню здатність зменшувати свій об'єм при видаленні з них вологи. Властивість зсідання є найбільш притаманною для дисперсних ґрунтів з коагуляційними структурними зв'язками – глин, що набухають; мулів, торфів тощо. Причинами зменшення об'єму ґрунтів при їхньому обезводненні є зменшення товщини водних плівок навколо часток, поступове зближення часток та перетворення при цьому коагуляційних контактів у точкові (перехідні).

***Зсідання ґрунтів характеризується*** наступними основними показниками:

- *відносне лінійне зсідання* $\varepsilon_{Sh}$;
- *відносне об'ємне зсідання* $b_{Sh}$;
- *вологість на межі зсідання* $W_{sh}$ (або межа зсідання *SL* – ***S****hrinkage* ***L****imit*);
- *коефіцієнт зсідання* $\beta_{Sh}$.

***Відносним лінійним зсіданням*** $\boldsymbol{\varepsilon_{Sh}}$ називають відношення абсолютної лінійної деформації зсідання зразка ($\Delta h$) за висотою до його початкової висоти ($h_0$):

$$\varepsilon_{Sh} = \frac{\Delta h}{h_0}, \qquad (5.15)$$

або теж саме по відношенню до будь-якого іншого лінійного розміру зразка; вимірюється у % або ч. од.

***Відносним об'ємним зсіданням*** $\boldsymbol{b_{Sh}}$ називають відношення абсолютної об'ємної деформації зсідання зразка ($\Delta V$) до його початкового об'єму ($V_0$); вимірюється у % або ч. од.:

$$b_{Sh} = \frac{\Delta V}{V_0}, \qquad (5.16)$$

***Вологість на межі зсідання*** $\boldsymbol{W_{sh}}$ – це така вологість ґрунту, нижче якої зсідання ґрунту не відбувається; вимірюється у % або ч. од. (рис. 5.16).

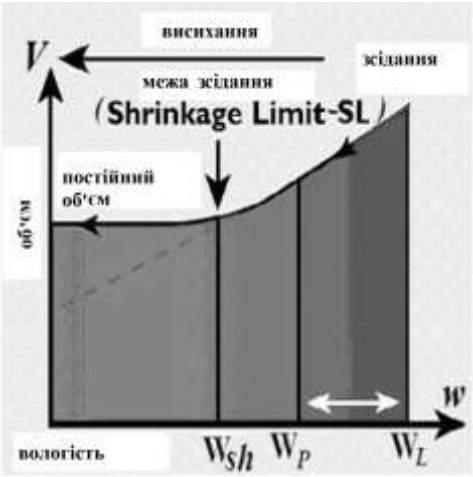



**Рис. 5.16. Зміна об’єму зразка ґрунту під час зсідання [31]**

***Коефіцієнтом зсідання*** $\boldsymbol{\beta_{Sh}}$ називають параметр, що визначають за формулою:

$$\beta_{Sh} = \frac{b_{sh}}{(\Delta W - b_{sh} \times W_0)}, \qquad (5.17)$$

де $\Delta W$ – діапазон зміни вологості зразка ґрунту під час зсідання; $W_0$ – початкова вологість ґрунту.

Цей показник характеризує зміну об’єму ґрунту при зменшенні його вологості на 1%, тому його величина є зворотною значенням величин лінійного й об’ємного зсідання, і таким чином мінімальні значення коефіцієнта зсідання $\beta_{Sh}$ будуть мати ґрунти з максимальним лінійним та об’ємним зсіданням, й навпаки.

Формування зсідання ґрунту по мірі його обезводнення у часі є стадійним процесом. *Виділяють п’ять стадій зсідання*, що відрізняються одна від одної як інтенсивністю зсідання, так й ступенем і характером обезводнення ґрунтів.

На початку дегідратації ґрунтів при їхньому повному водонасиченні відбувається втрата вільної води при осушенні крупних пор. Об’ємне зсідання на цій стадії, що називають

*структурним зсіданням*, є невеликим і спостерігається у більшості ґрунтів (рис. 5.17).

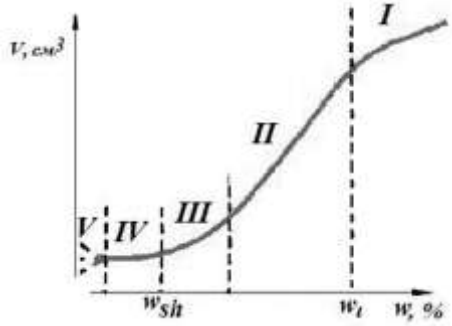



**Рис. 5.17. Стадії зсідання ґрунтів [31]:**
*I – структурне зсідання; II – нормальне (лінійне) зсідання; III – нелінійне зсідання; IV – без зсідання; V – остаточна*

При послідуючому обезводненні ґрунту – *стадія нормального або лінійного зсідання* – відбувається пропорційна і значна зміна вологості й об'єму ґрунту за рахунок випарування вільної води, що залишилась, а також більшої частини води перехідного типу («осмотичної»). Оскільки сумарна кількість цих категорій води у ґрунтах складає найбільшу її частину, тому й об'ємні деформації на цій стадії досягають максимальних значень.

У момент виникнення безпосереднього контакту між частками ґрунту, що відповідає *нелінійної стадії* (див. рис. 5.17, ділянка III), приріст його об'єму починає помітно відрізнятись від зміни вмісту води, якій визначається втратою частини «осмотичної» води, що залишилась, разом з водою відносно крупних (діаметром від 0,1 до 1 мм) капілярів. На цій стадії деформація ґрунту вже не так велика, а процес дегідратації переходить у *стадію без зсідання* (див. рис. 5.17, ділянка IV), коли на фоні триваючої втрати капілярної води тонких мікрокапілярів (діаметр менше 0,1 мм) і води молекулярної адсорбції не відбувається подальшого зменшення об'єму ґрунту завдяки безпосередньої взаємодії одна з одною всіх твердих часток.

Наступна дегідратація іноді призводить до появи «сухого» набухання (див. рис. 5.17, ділянка V), яка характеризується частковим збільшенням об'єму ґрунтів завдяки зняттю капілярного тиску, іноді ця стадія може бути відсутня. Це *стадія остаточного зсідання*, особливості якої багато в чому залежать від розвитку тріщин і остаточних напружень, що викликає зсідання.

Зсідання ґрунтів залежить від початкового співвідношення твердої, рідкої та газоподібної компонент ґрунту. Під час зсідання співвідношення цих компонент закономірно змінюється. Так, зсідання на *першій* та *другій стадіях* відбувається при відсутності газу в порах ґрунту, тобто при його повному водонасиченні ($S_r$ = 1), і здійснюється за рахунок зміни співвідношення об'єму твердої й рідкої компонент (див. рис. 5.17). *Третя стадія* відбувається при збільшенні вмісту в порах газу і закономірному зменшенні $S_r$ аж до моменту досягнення вологості межі зсідання. *Четверта стадія* відбувається коли пористість ґрунту вже не змінюється, а лише за рахунок зміни співвідношення газової й рідкої компонент на *стадії остаточного зсідання*.

Необхідно підкреслити, що різноманіття природних факторів, які впливають на кінетику зсідання глинистих ґрунтів, настільки велике, що іноді одні з розглянутих стадій проявляються особливо чітко, а інші можуть бути взагалі відсутніми, але загальна закономірність завжди зберігається.

Серед факторів, що впливають на зсідання ґрунтів, виділяють внутрішні та зовнішні. *До внутрішніх факторів відносять*: хіміко-мінералогічний склад ґрунту, структурно-текстурні особливості, початкову щільність і вологість, склад і концентрацію електроліту порового розчину, обмінні катіони; *до зовнішніх* – зміну тиску і температури.

Вплив глинистих мінералів на зсідання виявляється через їхню гідрофільність, яка, в свою чергу, визначається кристалохімічними особливостями: ступенем досконалості кристалічних решіток, формою первинних часток і мікроагрегатів, наявністю або відсутністю ізоморфних заміщень, ступенем дисперсності тощо. Помітне зсідання

спостерігається лише у фракцій, які відповідають глинистим часткам. Збільшення зсідання при зростанні ступеня дисперсності ґрунту пояснюється як зростанням загальної поверхні глинистих часток, так і менш досконалою структурою дрібних фракцій кристалів. Ґрунти, для яких притаманні маломіцні й зворотні коагуляційні зв'язки, виявляють найбільшу схильність до зсідання, в той же час як ґрунти з кристалізаційними – найменшу, а ґрунти з коагуляційно-кристалізаційними зв'язками займають у цьому ряду проміжне положення. Як правило, найбільше зсіданням мають ґрунти з мінералами, кристали яких володіють подовженим або волокнистим габітусом, які схильні до утворення більш щільного упакування при дегідратації ґрунту. Так, галуазит, представлений кристалами трубчатої форми, обумовлює незворотне і більше зсідання, ніж каолініт з кристалами пластинчастої форми.

Під час зсідання у ґрунті виникають різні напруження, які діють на контактах часток. Як правило, нерівномірні напруження у ґрунтах виникають там, де проявляються найбільші градієнти вологи, тобто поблизу вільної поверхні ґрунту. Внаслідок нерівномірності їхньої дії у ґрунті виникають тріщини, які називають ***тріщинами зсідання***. В основному, вони формуються з поверхні, а потім просуваються у глиб. При збільшенні циклів зволоження-висушування ширина розкриття тріщин збільшується. Типовим прикладом тріщин зсідання є ***такири*** [від тюркського слова, що має значення «плаский», «оголений»»] – глинисті днища озер, що пересихають, у пустельних або напівпустельних районах (рис. 5.18). У вологій сезон такири покриті тонким шаром води, яка, коли пересихає, оголює шар глинистого мулу. Під час висихання мули дають сильне зсідання, створюючи скорину, яка розбита сіткою полігональних тріщин різної форми і розмірів – від декількох метрів до десятків кілометрів залежно від складу відкладів, засоленості тощо.

**Рис. 5.18. Такир у пустелі Сонора (Північна Америка)**

Зсідання суттєво залежіть від загального вмісту солей у ґрунті. Легко- і середньорозчинні солі ($NaCl$, $Na_2SO_4$, $MgO_4$, $Na_2CO3$, $CaSO_4$) зменшують зсідання, уповільнюють його та знижують тріщинуватість. Значним зсіданням можуть володіти як засолені (наприклад, морські мули), так і незасолені (наприклад, прісноводні мули). Фазові контакти, які створюються за рахунок солей, що випадають з порового розчину, можуть перешкоджати зсіданню ґрунту та впливати на розвиток напружень, що виникають під час зсідання. Зсідання високодисперсних глинистих ґрунтів залежіть від складу обмінних катіонів, оскільки вони впливають на дисперсність і агрегованість ґрунту. За інших однакових умов глинисті ґрунти з одновалентними катіонами потенційно дають більше зсідання, ніж за наявності багатовалентних катіонів в обмінному комплексі.

Вплив зовнішнього тиску на ґрунт під час його зсідання є фактором, що значно збільшує параметри зсідання. Зовнішній тиск, що передається на частки ґрунту, сприяє більш тісному зближенню часток при зсіданні, що в підсумку призводить до його зростання.

Циклічний характер зволоження-зневоднення, що дуже часто зустрічається у природі, призводить до різкого збільшення зсідання ґрунтів. Причому найбільшого відносного значення

зсідання досягає на перших двох циклах, а на наступних поступово знижується. При циклічному набуханні-зсіданні ґрунтів відбувається складна зміна співвідношення твердої, рідкої та газової компонент ґрунту. Якщо вихідний ґрунт знаходиться у пухкому стані, то багаторазове набухання-зсідання призводить до його ущільнення.

***Зсідання суттєво впливає на зміну стану ґрунтів, що обов'язково необхідно брати до уваги при інженерно-геологічних вишукуваннях.*** Зсідання враховують при проектуванні різноманітних гідротехнічних систем й інженерних споруд, що розташовані на ґрунтах з періодичним режимом зволоження-висушування, при проектуванні гарячих цехів, теплотрас, ТЕЦ, АЕС тощо. Зсідання ґрунтів може виникати не тільки при висушуванні, але й при будь-якому механічному зневоднюванні, наприклад при електроосмотичному, термоосмотичному, фільтраційному або іншому зневоднюванню ґрунту.

Зсідання ґрунту визначають в умовах вільної тривісної деформації зразка при висихання ґрунту. Дослідження виконують з метою визначення показників, що характеризують зміну об'єму глинистих ґрунтів при висушуванні. Визначають наступні характеристики зсідання ґрунту – *зсідання за висотою* $\varepsilon_h$, *діаметром* $\varepsilon_d$ та *об'ємом* $\varepsilon_V$, *вологість на межі зсідання* $W_{sh}$. Результати досліджень оформлюють у вигляді графіків зміни об'єму зразка від вологості при зсіданні.

Дослідження для визначення характеристик зсідання ґрунту виконують до повної втрати їм вологості. При зсіданні випаровування води (або розчину) із зразка ґрунту не повинно викликати утворення на ньому тріщин зсідання.

Для визначення характеристик зсідання ґрунту (згідно *ДСТУ Б В.2.1-11:2009* [22]) необхідно мати ***пристрій для виміру зразків ґрунту при зсіданні*** (рис. 5.19): робоче кільце компресійного приладу із внутрішнім діаметром більше ніж 71 мм і заввишки більше ніж 20 мм; предметне скло, покрите тонким і рівним шаром парафіну; ємність з кришкою (скляний ковпак або ексикатор) об'ємом не більше ніж 1 л для сушіння

зразків; штангенциркуль із похибкою вимірювання 0,05 мм та мікрометр.

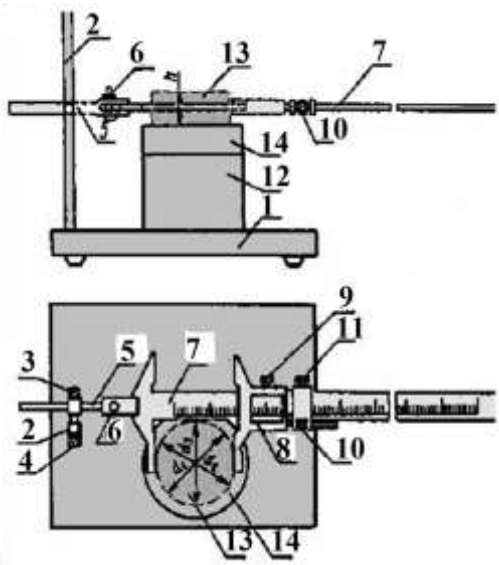



**Рис. 5.19. Пристрій для виміру зразків ґрунту при зсіданні:**
*1 – основа; 2 – стійка; 3 – стопор горизонтального переміщення утримувача; 4 – стопор вертикального переміщення утримувача; 5 – утримувач штангенциркуля; 6 – кріпильний гвинт; 7 – штангенциркуль; 8 – ноніус; 9 – стопор ноніуса; 10 – мікрометричний гвинт; 11 – стопор мікрометричного механізму; 12 – підкладка; 12 – зразок ґрунту; 14 – предметний столик*

Більш точні результати виміру об’єму ґрунту після зсідання дає ***ртутний метод***, якій використовують у США [31]. У скляну ванночку зі ртуттю опускають зразок висушеного ґрунту, що занурюють у рідину за допомогою трьох виступів на кришці (рис. 5.20, а). Завдяки високій густині (13,6 г/см$^3$) ртуть заповнює всі пори і порожнини у ґрунті. За зміною об’єму рідини розраховують об’єм ґрунту. Необхідно відмітити, що використання ртуті є дуже шкідливим для здоров’я.

Для визначення лінійного зсідання також використовують спеціальні форми у вигляді двох половинок циліндра (рис. 5.20, б) діаметром 2,5 мм і довжиною 140 мм [31].

а б

**Рис. 5.20. Вимір зразків ґрунту при зсіданні:**
*а – обладнання для виміру об'єму ґрунту за допомогою ртуті;*
*б – форми для визначення лінійного зсідання ґрунту*

## Лабораторна робота 19. Визначення зсідання ґрунтів.

**Мета роботи:** визначити основні характеристики зсідання ґрунту.

Визначення характеристик зсідання ґрунту проводять *відповідно до ДСТУ Б В.2.1-11:2009* [22].

**Засоби випробування та матеріали** (рис. 5.19)**:** робоче кільце компресійного приладу; ваги лабораторні технічні з точністю зважування до 0,01 г (згідно ГОСТ 24104-88 [12]); штангенциркуль (згідно ДСТУ ГОСТ 166:2009 [25]); сушильна шафа; ексикатор; бюкси; шпатель; технічний вазелін.

**Виконання роботи:**

***1. Підготовка до випробування***.

1) Прилади для проведення випробувань встановлюють на жорсткій основі, що виключає вібрацію. Горизонтальність установки приладів перевіряють за рівнем. У приміщенні під час випробувань повинна підтримуватись плюсова температура.

Не допускається потрапляння прямих сонячних променів на зразки ґрунту під час випробування зсідання.

***2. Визначення характеристик зсідання ґрунту.***

***2.1. Проведення випробування.***

1) Вимірюють за допомогою штангенциркуля висоту ($h$) та діаметр ($d$) робочого кільця компресійного приладу, змащують внутрішню поверхню технічним вазеліном і зважують пусте кільце з точністю до 0,01 г ($m_0$).

2) Із моноліту за допомогою ріжучого кільця вирізають зразок ґрунту, при цьому зазори між ґрунтом і стінками робочого кільця не допускаються. Кільце ретельно зачищають з обох боків і знову зважують ($m_1$).

3) Для визначення характеристик зсідання ґрунту порушеної будови необхідно використовувати зразок ґрунту з вологістю на 5-10% більше вологості ґрунту на межі текучості. Ґрунт витримують в ексикаторі протягом доби. Потім за допомогою шпателя заповнюють ґрунтовою пастою робоче кільце таким чином, щоб не утворювались порожнини. Кільце з ґрунтом також зважують.

4) *Випробування зсідання ґрунту проводять за три етапи*. На першому та другому етапі випробування вимірювання висоти, діаметра й маси зразка ґрунту, розміщеного в ексикаторі, виконують не рідше ніж два рази на добу і результати заносять до журналу. Критерієм умовного завершення випробування на першому етапі є відсутність змін у лінійних розмірах зразка при двох послідовних вимірюваннях.

На другому етапі сушіння зразка ґрунту проводиться на повітрі. Критерієм умовного завершення випробування на другому етапі після 5 або 6 вимірювань є відсутність змін у масі зразка ґрунту.

На третьому етапі сушіння зразка ґрунту виконують у сушильній шафі за температури $(105\pm2)^0$С до постійної маси, зразок зважують ($m_2$), а наприкінці випробування виконують контрольне вимірювання лінійних розмірів зразка ґрунту.

***3. Обробка результатів випробування.***

1) Необхідно визначити об'єм ґрунту на кожний момент виміру ($V_i$) (у см$^3$) за формулою:

$$V_i = \frac{\pi d_i^2 h_i}{4}, \qquad (5.18)$$

де $d_i$ – діаметр зразка на момент виміру, що визначається як середнє арифметичне значення вимірів у трьох напрямках, см; $h_i$ – висота зразка на момент виміру, см.

2) Необхідно визначити вологість ґрунту на кожний момент виміру ($W_i$) (у ч. од.) за формулою:

$$W_i = \frac{m_i - m_2}{m_2}, \qquad (5.19)$$

де $m_i$ – маса зразка ґрунту на момент виміру, г; $m_2$ – маса зразка сухого ґрунту, г.

3) Необхідно визначити відносне зсідання ґрунту за висотою ($\varepsilon_{Shh}$), діаметром ($\varepsilon_{Shd}$) та об'ємом ($\varepsilon_{ShV}$) (ч. од.) розраховують за формулами:

$$\varepsilon_{Shh} = \frac{h - h_k}{h}, \qquad (5.20)$$

$h$ та $h_к$ – відповідно початкова та кінцева висота зразка ґрунту, мм.

$$\varepsilon_{Shd} = \frac{d - d_k}{d}, \qquad (5.21)$$

$d$ та $d_к$ – відповідно початковий та кінцевий діаметр зразка ґрунту, мм.

$$\varepsilon_{ShV} = \frac{V - V_k}{V}, \qquad (5.22)$$

$V$ та $V_к$ – відповідно початковий та кінцевий об'єм зразка ґрунту, см$^3$.

4) За розрахованими значеннями об'єму і вологості на кожний момент часу будують графік залежності зміни об'єму зразка від вологості $V = f(W)$ (рис. 5.17). За вологість на межі зсідання ($W_{Sh}$) приймають вологість, що відповідає точці перегину графіка $V = f(W)$.

5) Підсумкові результати аналізу реєструють у журналі (таблиця 5.11).

***4. Підсумки.***

На основі результатів визначення характеристик зсідання ґрунту необхідно виконати його класифікацію (див. табл. 5.9).

**Таблиця 5.11**

**Журнал лабораторного визначення зсідання ґрунту**

**Лабораторний номер зразка _____**
**№ виробки і глибина відбору зразка, м _____**
**Дата визначення _____ 20____ рік**
**Виконавець _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

| **ВИЗНАЧЕННЯ ЗСІДАННЯ ҐРУНТУ** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Найменування параметрів** | **Величина параметрів** | | | | | | **Примітка** |
| | **до випробування** | **після випробування** | | | | | |
| Маса робочого кільця $m_0$, г | | | | | | | |
| Висота робочого кільця $h$, мм | | | | | | | |
| Об'єм робочого кільця $d$, см$^3$ | | | | | | | |
| Маса робочого кільця з відібраним вологим ґрунтом до досліду $m_1$, г | | | | | | | |
| Маса робочого кільця з сухим ґрунтом після висушування $m_2$, г | | | | | | | |
| Вологість зразка ґрунту $W$, ч. од. | | | | | | | |
| **Результати випробувань** | | | | | | | |
| Дата випробувань | | | | | | | |
| Час (хв., год.) | | | | | | | |
| Маса зразка ґрунту $m_i$, г | | | | | | | |
| Вологість зразка ґрунту $W_i$, ч. од. | | | | | | | |
| Об'єм зразка ґрунту $V_i$, см$^3$ | | | | | | | |
| Зсідання зразка за висотою $\varepsilon_{Shh}$, ч. од. | | | | | | | |
| Зсідання зразка за діаметром $\varepsilon_{Shd}$, ч. од. | | | | | | | |
| Зсідання зразка за об'ємом $\varepsilon_{ShV}$, ч. од. | | | | | | | |

**Перевірив _____**
(посада, підпис, прізвище, ініціали)

## Частина III. КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Виконання контрольних завдань сприяє більш поглибленому самостійному вивченню студентами навчальної дисципліни «Ґрунтознавство», закріплює теоретичні знання, що були отримані під час аудиторних занять, та в той же час є однією з форм перевірки їхніх знань. Під час виконання контрольної роботи студент має навчитись користуватись діючими нормативними документами, довідниками та літературними джерелами.

Варіанти контрольних завдань містять 3 теоретичних питання та 3 практичних завдання. Для вирішення практичних завдань необхідно обрати вихідні дані, що знаходяться у відповідних таблицях даного навчального посібника (табл.. III.1 – III.3). Студенти допускаються до здачі іспиту з навчальної дисципліни, тільки при наявності виконаного контрольного завдання та при умові його позитивного оцінювання викладачем.

Виконана контрольна робота має містити відповіді на теоретичні питання, вихідні дані завдань, розрахунки, рисунки та схеми зі всіма необхідними позначеннями та список використаної літератури.

Текст роботи повинен бути надрукованим на білому папері (формат паперу А4, 210×297) шрифтом *Times New Roman* (Кегль 12) через 1 інтервал з полями: ліве – 30 мм, праве - 10 мм, верхнє – 15 мм, нижнє – 20 мм, верхній колонтитул – 10 мм, нижній колонтитул – 0 мм.

Всі сторінки нумеруються арабськими цифрами в середині її нижнього поля. Нумерація сторінок наскрізна, починаючи з титульного листа й включаючи всі ілюстрації та таблиці (на титульній сторінці номер не позначається).

Зміст розміщується після титульного листа (рис. III.1), у ньому мають бути відображені всі заголовки, що є у роботі.

У тексті контрольної роботи виділяються розділи, підрозділи, пункти та підпункти.

Розділи повинні мати порядкові номери, які позначаються арабськими цифрами з крапкою. Кожний розділ рекомендується

починати з нової сторінки. Підрозділи мають номери у межах розділу. Номери їх складаються з номера розділу та підрозділу, які розділяються між собою крапкою. У кінці номера підрозділу також має бути крапка, наприклад, «2.1.» - перший підрозділ другого розділу.

**Київський національний університет**
**імені Тараса Шевченка**
**ННІ «Інститут геології»**

**Кафедра гідрогеології та інженерної геології**
**Заочна форма навчання**

**КОНТРОЛЬНА РОБОТА**
**з навчальної дисципліни**
**«Ґрунтознавство»**

**Варіант № 1.**

**Виконала: Гребенюк А.А.**
**Перевірив: доц. Корнєєнко С.В.**

**Київ – 2016**

**Рис. III.1. Зразок оформлення титульного листа**

Такі структурні частини роботи як «Зміст» та «Список використаної літератури» не нумеруються.

Текст контрольної роботи викладається державною мовою, має бути коротким та чітким.

Ілюстративний матеріал включає рисунки, схеми та графіки. Ілюстрації в тексті розміщують після першого посилання на них і повинні називатися «Рисунок». Вони нумеруються послідовно у межах розділу арабськими цифрами із вказівкою розділу, наприклад: «Рис. 1.3» - рисунок 3 розділу 1.

Найменування ілюстрації розміщують під самою ілюстрацією.

Заголовок таблиці розташовується над нею, має бути коротким та повністю відображати зміст таблиці.

Таблицю в тексті розміщують після першого посилання на неї. Таблиці послідовно нумеруються у межах розділу арабськими цифрами з позначенням номерів розділу та таблиці через крапку, наприклад: «Таблиця 2.2». Слово «Таблиця» разом із номером розташовується над заголовком таблиці з правого боку.

Якщо таблиця наведена на декількох аркушах, то на кожному наступному аркуші в правому верхньому куті пишеться: «Продовження табл. 2.2».

У кінці роботи надається список використаної літератури: наприклад, посібників, довідників, ДСТУ, інструкцій тощо.

Список використаної літератури складається в алфавітному порядку мовою оригіналу.

На використані в роботі літературні джерела, а також на таблиці, ілюстрації та додатки мають бути посилання у тексті. При посиланні на друковані джерела наводиться порядковий номер у списку літератури у квадратних дужках, наприклад - [25].

Робота обов’язково підписується автором на останній сторінці тексту із зазначенням дати підписання.

Робота подається на перевірку в переплетеному вигляді.

Якщо в контрольної роботі були допущені помилки й вона була повернена викладачем для доопрацювання або переробки, студент має зробити необхідні виправлення на вільних сторінках роботи з приміткою «виправлення помилок». Перекреслення та виправлення тексту роботи не дозволяється.

## Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ

**Варіант № 1.**

1) Ґрунтознавство як одна з основних складових частин інженерної геології.

2) Щільність ґрунтів.

3) Поняття про класифікаційні показники ґрунтів.

**Варіант № 2.**

1) Історія розвитку й сучасний стан ґрунтознавства.

2) Пористість ґрунтів.

3) Нормативні й розрахункові показники ґрунтів.

**Варіант № 3.**

1) Особливості та підрозділ твердої компоненти ґрунту за мінералогічним складом.

2) Теплофізичні властивості ґрунтів.

3) Поняття про інженерно-геологічний елемент.

**Варіант № 4.**

1) Органічна речовина та органо-мінеральні комплекси.

2) Електричні властивості ґрунтів.

3) Основні функціональні й кореляційні залежності між складом і властивостями ґрунтів.

**Варіант № 5.**

1) Гранулометричний склад ґрунтів.

2) Магнітні властивості ґрунтів.

3) Види класифікацій ґрунтів.

**Варіант № 6.**

1) Методи визначення гранулометричного складу дисперсних ґрунтів.

2) Проникність ґрунтів.

3) Загальна характеристика й підрозділ скельних ґрунтів.

**Варіант № 7.**

1) Класифікація видів води у ґрунтах.

2) Адсорбційні (поглинальні) властивості ґрунтів.

3) Уламкові незв'язні ґрунти, їхній підрозділ, склад, властивості та розповсюдження.

**Варіант № 8.**

1) Поняття про гігроскопічність, максимальну гігроскопічність, капілярну й максимальну молекулярну вологоємність ґрунтів.

2) Корозійні властивості ґрунтів.

3) Глинисті ґрунти, їхній підрозділ, розповсюдження, склад, будова та властивості.

**Варіант № 9.**

1) Природна вологість та її вплив на властивості ґрунтів.

2) Капілярні властивості ґрунтів.

3) Лесові ґрунти, їхній підрозділ, розповсюдження, склад, будова та властивості.

**Варіант № 10.**

1) Поняття про вагову, об'ємну та відносну вологість ґрунтів.

2) Пластичність ґрунтів.

3) Торфи, сапропелі й мули, їхнє розповсюдження, будова та властивості.

**Варіант № 11.**

1) Склад і стан газів у ґрунтах.

2) Липкість ґрунтів.

3) Поняття про масиви ґрунтів.

**Варіант № 12.**

1) Макроорганізми (рослинність й тварини) та мікроорганізми (бактерії, гриби, простіші тощо) та їхній вплив на властивості ґрунтів.

2) Набухання ґрунтів.

3) Неоднорідність, анізотропія та тріщинуватість масивів ґрунтів.

## Розділ 2. ВИХІДНІ ДАННІ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ

### 2.1. Завдання до контрольних робіт з розрахунку показників властивостей ґрунтів.

Виконати розрахунки показників властивостей ґрунтів (пористості $n$, коефіцієнта пористості $e$, щільності скелета ґрунту $\rho_d$, а також ступеня вологості $S_r$) для варіантів завдань наведених у таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1.**

| № варіанта | $\rho$, г/см$^3$ | $\rho_s$, г/см$^3$ | $W$, ч. од. |
|---|---|---|---|
| 1 | 1,70 | 2,66 | 0,120 |
| 2 | 1,90 | 2,69 | 0,370 |
| 3 | 2,00 | 2,67 | 0,230 |
| 4 | 2,07 | 2,65 | 0,204 |
| 5 | 1,80 | 2,67 | 0,420 |
| 6 | 1,81 | 2,68 | 0,081 |
| 7 | 1,98 | 2,62 | 0,190 |
| 8 | 1,91 | 2,64 | 0,225 |
| 9 | 1,85 | 2,61 | 0,210 |
| 10 | 1,95 | 2,63 | 0,240 |
| 11 | 1,78 | 2,61 | 0,195 |
| 12 | 1,86 | 2,63 | 0,235 |
| ***Примітка***: $\rho$ – щільність ґрунту; $\rho_s$ – щільність часток ґрунту; $W$ – вологість ґрунту. | | | |

**2.2. Завдання до контрольних робіт з класифікації піщаних ґрунтів.**

Виконати оцінку гранулометричного складу ґрунту, його однорідності, а також щільності будови та ступеня вологості для варіантів завдань наведених у таблиці 2.2, показники фізичних властивостей прийняти згідно таблиці 2.1 (див. стор. 206).

**Таблиця 2.2.**

| № варіанта | Вміст у % (за масою) часток d, мм. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | >2,0 | 2,0÷1,0 | 1,0÷0,5 | 0,5÷0,25 | 0,25÷0,1 | 0,1÷0,05 | 0,05÷0,01 | 0,01÷0,005 | 0,005÷0,001 | <0,001 |
| 1 | 2,0 | 10,0 | 12,0 | 32,0 | 30,0 | 5,0 | 4,0 | 4,0 | 0,5 | 0,5 |
| 2 | 1,0 | 1,0 | 20,0 | 25,0 | 20,0 | 28,0 | 3,0 | 1,5 | 0,5 | 0 |
| 3 | 4,0 | 3,0 | 20,0 | 24,0 | 30,0 | 10,0 | 4,0 | 3,0 | 2,0 | 0 |
| 4 | 0,5 | 1,5 | 18,0 | 27,0 | 18,0 | 26,0 | 4,0 | 3,0 | 2,0 | 0 |
| 5 | 0,0 | 4,5 | 4,7 | 16,7 | 14,0 | 30,0 | 20,0 | 7,5 | 1,4 | 1,2 |
| 6 | 1,2 | 1,3 | 23,0 | 28,0 | 19,2 | 21,1 | 2,5 | 2,0 | 1,2 | 0,5 |
| 7 | 0 | 1,0 | 3,0 | 20,0 | 46,0 | 20,0 | 7,0 | 2,0 | 1,0 | 0 |
| 8 | 2,0 | 10,0 | 12,0 | 32,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | 8,0 | 1,0 | 0 |
| 9 | 5,0 | 3,0 | 25,0 | 27,0 | 20,0 | 8,0 | 8,0 | 3,0 | 1,0 | 0 |
| 10 | 1,0 | 5,0 | 15,0 | 18,0 | 42,0 | 12,0 | 4,0 | 2,0 | 1,0 | 0 |
| 11 | 5,0 | 5,0 | 25,0 | 27,0 | 18,0 | 18,0 | 1,0 | 1,0 | 0 | 0 |
| 12 | 2,0 | 5,0 | 10,0 | 23,0 | 40,0 | 6,0 | 10,0 | 3,0 | 1,0 | 0 |

За даними результатів оцінки гранулометричного складу ґрунту необхідно:

- побудувати циклограму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.3);
- побудувати трикутну діаграму гранулометричного складу ґрунту (див. рис. 1.4);

- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у звичайному масштабі (див. рис. 1.5);
- побудувати інтегральну криву гранулометричного складу ґрунту у напівлогарифмічному масштабі (див. рис. 1.6);
- для характеристики неоднорідності ґрунту розрахувати показник неоднорідності гранулометричного складу $C_u$ (див. формулу 1.3).

## 2.3. Завдання до контрольних робіт з класифікації глинистих ґрунтів.

За даними лабораторних досліджень, наведених у таблиці 2.3, визначити вид і стан глинистого ґрунту.

**Таблиця 2.3**

| Показники властивостей ґрунтів | № варіанта | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| **W, %** | 26,0 | 16,0 | 23,0 | 27,0 | 26,6 | 27,4 | 24,1 | 28,0 | 23,8 | 25,5 | 25,7 | 22,1 |
| **$W_P$, %** | 20,2 | 12,2 | 18,0 | 20,0 | 22,0 | 18,5 | 19,5 | 23,6 | 19,6 | 20,8 | 19,9 | 18,3 |
| **$W_L$, %** | 30,8 | 18,3 | 23,0 | 41,0 | 43,2 | 30,2 | 33,0 | 39,9 | 29,2 | 30,9 | 32,6 | 32,6 |

## СПИСОК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 22524-77. Пикнометры стеклянные. Технические условия. – М., 1978.

2. ГОСТ 3760-79. Аммиак водний. Технические условия. – М., 1980.

3. ГОСТ 342-77. Натрий дифосфат 10-водний. Технические условия. – М., 1978.

4. ГОСТ 9147-80. Посуда и оборудование лабораторне фарфоровые. Технические условия. – М., 1981.

5. ГОСТ 25336-82. Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры. – М., 1983.

6. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. – М., 1986.

7. ГОСТ 26424-85. Почвы. Методы определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке. – М., 1986.

8. ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. – М., 1986.

9. ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке. – М., 1986.

10. ГОСТ 26427-85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке. – М., 1986.

11. ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. – М., 1986.

12. ГОСТ 24104-88. Весы лабораторные общего назначения и образцовые. Общие технические условия. – М., 1989.

13. ГОСТ 28498-90. Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. – М., 1991.

14. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М., 2012.

15. Гриценко В.А., Туякова А.К., Гриценко А.В. Определение состава, показателей физических свойств и состояния грунтов: методические указания к лабораторной работе по инженерной геологии / В.А. Гриценко, А.К. Туякова, А.В. Гриценко.- Омск: СибАДИ, 2010.- 48 с.

16. Грунтоведение / Под ред. Е.М. Сергеева. – М.: МГУ, 1983.– 392 с.

17. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: МГУ, 2005.– 1024 с.

18. Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учебное пособие / В.В. Дмитриев, Л.А. Ярг. – М.: КДУ, 2008.-542 с.

19. ДСТУ Б А.1.1-25-94. Система стандартизації та нормування в будівництві. Ґрунти. Терміни та визначення. – К.: Держкоммістобуд України, 1995.

20. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. – К.: Держкоммістобуд України, 1997.

21. ДСТУ Б В.2.1-3-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення. – К.: Держкоммістобуд України, 1997.

22. ДСТУ Б В.2.1-11:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення властивостей набухання та усадки. – К.: Мінрегбуд України, 2010.

23. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. – К.: Мінрегбуд України, 2010.

24. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу. – К.: Мінрегбуд України, 2010.

25. ДСТУ ГОСТ 166:2009 (ИСО 3599-76). Штангенциркули. Технические условия (ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76), IDT). (Штангенциркулі. Технічні умови). – К.: Мінрегбуд України, 2010.

26. ДСТУ ГОСТ 18481:2009 (ГОСТ 18481-81). Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия. (Ареометри та циліндри скляні. Загальні технічні умови). – К.: Мінрегбуд України, 2010.

27. Игашева С.П., Гейдт Л.В. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Грунтоведение» для студентов дневной и заочной формы обучения специальности АД/ С.П. Игашева, Л.В. Гейдт.- Тюмень: ТюмГАСА, 2002.- 61 с.

28. Корнєєнко С.В. Дослідження фізико-механічних властивостей ґрунтів: навчальний посібник / С.В. Корнєєнко. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2009. – 78 с.

29. Королев В.А. Новые идеи в систематизации свойств грунтов // Новые идеи в инженерной геологии / В.А. Королев. - М.: МГУ, 1996. – с. 42-49.

30. Коротких І.В., Петелько О.Ф. Методи інженерно-геологічних досліджень для будівництва / І.В. Коротких, О.Ф. Петелько. – К.: ДГП «Геоінформ», 1999. – 176 с.

31. Крамаренко В.В. Грунтоведение: учебное пособие / В.В. Крамаренко. – Томск: Томский политехнический университет, 2011. – 431 с.

32. Кудряшов В.П. Руководство к выполнению лабораторних работ по курсу «Механика грунтов, основания и фундаменты» для студентов специальностей 270102 «Промышленное и гражданское строительство», 270105 «Городское строительство и хазяйство» / В.П. Кудряшов. – Новгород: НПИ, 2009.- 129 с.

33. Кушнир С.Я., Пульников С.А. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Механика грунтов, основания и фундаменти» для студентов очной формы обучения по специальности 071100 «Динамика и прочность машин» / С.Я. Кушнир, С.А. Пульников.- Тюмень: «Нефтегазовый университет», 2009.- 32 с.

34. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрологія / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1984.- 511 с.

35. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1990.- 328 с.

36. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Грунтоведение» для студентов специальности 08.04 геологического факультета / Сост. В.С.Шабатин, А.В.Шостак. – К.: КГУ, 1988.- 48 с.

37. Самарина В.С. Гидрогеохимия / В.С. Самарина. – Л.: ЛГУ, 1997. – 300 с.

38. Стасовская К.А. Грунтоведение и механика грунтов. Лабораторные работы / К.А. Стасовская. – К.: Вища школа, 1977. – 128 с.

39. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е.Г. Чаповский. – М.: Недра, 1975. – 304 с.

40. ASTM D 2487-2000. Standard Test Method for Classification of Soil for Engineering Purposes.

41. Booklet on geotechnical testing for railway engineers. Under guidance of Shris. K. Raina, Research Designs & Standards Organization, 2004. – 31 p.

42. ISO 14688-2:2004. Geotechnical investigation and testing. Identification and classification of soil - Part. 2: Classification principles and quantification of descriptive characteristics.

43. ISO/TS 17892-2. Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part. 4: Determination of particle size distribution.

44. http://www.findpatent.ru/patent/60/600415.html.

## Зміст

**ВСТУП** .....**4-6**

**Частина І. ВИВЧЕННЯ СКЛАДУ ТА БУДОВИ ҐРУНТІВ**……....**7-111**

**Розділ 1. Вивчення складу та будови твердої компоненти ґрунтів**…….**9-79**

**Глава 1.1. Визначення розміру та кількісного вмісту структурних елементів твердої компоненти ґрунтів**.....**14-57**

Лабораторна робота 1. Визначення гранулометричного (зернового) складу піщаних ґрунтів ситовим методом.....**31-36**

Лабораторна робота 2. Визначення гранулометричного (зернового) складу глинистих ґрунтів ареометричним методом.....**37-49**

Лабораторна робота 3. Визначення гранулометричного (зернового) складу глинистих ґрунтів піпеточним методом.....**49-57**

**Глава 1.2. Визначення хімічного складу твердої компоненти ґрунтів** ……...**57-79**

Лабораторна робота 4. Визначення загального вмісту водорозчинних солей у ґрунтах методом аналізу водної витяжки.....**66-70**

Лабораторна робота 5. Визначення показника кислотно-основних властивостей ґрунтів (або реакції середовища) *pH* потенціометричним методом……...**70-74**

Лабораторна робота 6. Визначення карбонатів у ґрунтах газометричним методом за допомогою кальціметра.....**75-79**

**Розділ 2. Вивчення вмісту рідкої компоненти ґрунтів**……**80-97**

Лабораторна робота 7. Визначення вологості ґрунту методом висушування до постійної маси.....**93-95**

Лабораторна робота 8. Визначення гігроскопічної вологості ґрунту методом висушування до постійної маси.....**95-97**

.

**Розділ 3. Вивчення вмісту газової компоненти ґрунтів**……**98-111**

Лабораторна робота 9. Визначення газової компоненти зв'язних ґрунтів газометричним методом .....**108-111**

**Частина ІІ. ВИВЧЕННЯ СТАНУ, ФІЗИЧНИХ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ**…….....**112-200**

**Розділ 4. Вивчення фізичних властивостей ґрунтів**……**114-153**

**Глава 4.1. Визначення щільності ґрунтів**.....**114-147**

Лабораторна робота 10. Визначення щільності ґрунтів методом ріжучого кільця .....**127-131**

Лабораторна робота 11. Визначення щільності зв'язних ґрунтів методом зважування у воді (пряме та зворотне зважування).....**131-136**

Лабораторна робота 12. Визначення щільності часток ґрунтів пікнометричним методом.....**136-141**

Лабораторна робота 13. Визначення щільності часток засолених ґрунтів пікнометричним методом.....**142-144**

Лабораторна робота 14. Визначення щільності часток піщаних ґрунтів …….....**144-146**

**Глава 4.2. Визначення пористості ґрунтів**.....**147-153**

Лабораторна робота 15. Визначення пористості пісків методом насичення дистильованою водою за допомогою бюретки…….....**150-153**

**Розділ 5. Вивчення стану і фізико-хімічних властивостей ґрунтів**……**153-200**

**Глава 5.1. Визначення водоміцності ґрунтів**.....**153-161**

Лабораторна робота 16. Визначення показників розмокання ґрунтів порушеної та непорушеної будови за допомогою приладу ПРГ-1 …….....**158-161**

**Глава 5.2. Визначення стану (консистенції) й пластичності ґрунтів**.....**161-177**

Лабораторна робота 17. Визначення меж пластичності пилувато-глинистих ґрунтів методом балансирного конусу А.М. Васильєва та методом розкочування у джут …….....**171-177**

**Глава 5.3. Визначення набухання ґрунтів**.....**177-188**

Лабораторна робота 18. Визначення вільного набухання ґрунтів за допомогою приладу ПНГ-1…….....**185-188**

**Глава 5.4. Визначення зсідання ґрунтів**.....**189-200**

Лабораторна робота 19. Визначення зсідання ґрунтів……..**197-200**

**Частина ІІІ. КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ**……...….**201-208**

**Розділ 1. Теоретичні питання**……...……**204-205**

**Розділ 2. Вихідні данні для розрахункових завдань**……**206-208**

2.1. Завдання для контрольних робіт з розрахунку показників властивостей ґрунтів…….....**206**

2.2. Завдання для контрольних робіт з класифікації піщаних ґрунтів…….....**207-208**

2.3. Завдання для контрольних робіт з класифікації глинистих ґрунтів…….....**208**

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ** .....**209-212**

**Навчальне видання**

**КОРНЄЄНКО** Сергій Віталійович

# ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ, ФІЗИЧНИХ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

Навчальний посібник

*Друкується за авторською редакцією та дизайном*

**Корнєєнко Сергій Віталійович.** Кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент. У 1988 році з відзнакою закінчив геологічний факультет Київського університету імені Тараса Шевченка зі спеціальності «гідрогеологія та інженерна геологія», в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка працює з 1991 року, доцент кафедри гідрогеології та інженерної геології з 1997 року. Наукова діяльність пов'язана з дослідженнями інженерно-геологічних властивостей ґрунтів, вивченням закономірностей еволюції геологічного середовища під впливом техногенного навантаження та вивченням впливу ґрунтового середовища на корозійну стійкість магістральних газопроводів. Керівник навчальної практики з гідрогеологічних та інженерно-геологічних методів польових досліджень, член науково-методичної комісії ННІ «Інститут геології», член робочої групи МОН України від ННІ «Інституту геології» з розробки Галузевих стандартів вищої освіти, член Європейської асоціації з охорони геологічного надбання («ProGEO», Швеція), член ВГО «Спілка геологів України» та член Українського мінералогічного товариства («УМТ»). Автор понад 50 наукових та науково-методичних праць, у тому числі 3 підручників (2 у співавторстві) та 8 навчальних посібників