

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
Навчально-науковий інститут механічної інженерії технологій та транспорту  
Кафедра технологій зварювання та будівництва

## **ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ОСНОВИ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
на засіданні кафедри технологій  
зварювання та будівництва  
№8 від 07.06.2023 р.

Чернігів 2023

Інженерна геологія та основи механіки ґрунтів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" / Укл.: Корзаченко М.М., Прибителько І.О., Ганєєв Т.Р., Руденко М.М. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 102 с.

Укладачі:

Корзаченко Микола Миколайович, доцент Національного університету «Чернігівська політехніка», кандидат технічних наук;

Прибителько Ірина Олександрівна, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка», кандидат технічних наук, доцент;

Ганєєв Тимур Рашитович, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка», кандидат технічних наук, доцент;

Руденко Михайло Миколайович, старший викладач кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка»;

Відповідальний за випуск:

Корзаченко Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент Національного університету «Чернігівська політехніка»

Рецензент:

Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка»

**ЗМІСТ**

ВСТУП.....	4
1. Лабораторна робота №1.....	5
2. Лабораторна робота №2.....	24
3. Лабораторна робота №3.....	35
4. Лабораторна робота №4.....	48
5. Лабораторна робота №5.....	56
6. Лабораторна робота №6.....	69
7. Лабораторна робота №7.....	83
Перелік посилань .....	98

## ВСТУП

Для різних розрахунків при дослідженні та проектуванні основ і фундаментів необхідно знати фізико-механічні характеристики ґрунтів. Їх визначають в основному за допомогою лабораторних досліджень зразків ґрунту, відібраних під час інженерно-геологічних вишукувань. Надійність будівель і споруд залежить від правильного розрахунку інженерно-геологічних умов будівництва. Від точності отриманих значень залежить точність розрахунків, надійність і техніко-економічні показники споруд. Вивченням цих питань займаються геологічні науки.

Під час лабораторних робіт з курсу «Інженерна геологія та основи механіки ґрунтів» здобувачі вивчають породоутворюючі мінерали і гірські породи, методи відбору зразків та визначення фізико-механічних властивостей.

Тематика лабораторних робіт:

Лабораторна робота №1 – Відбір зразків ґрунту для лабораторних досліджень.

Лабораторна робота №2 – Мінерали.

Лабораторна робота №3 – Визначення коефіцієнту фільтрації піщаних ґрунтів. Швидкість руху підземних вод. Приплив підземних вод до свердловин.

Лабораторна робота №4 – Визначення щільності ґрунту та природної вологості ґрунту.

Лабораторна робота №5 – Визначення щільності частинок ґрунту. Визначення виду та стану піщаного ґрунту. Визначення кута природного укосу для піску.

Лабораторна робота №6 – Визначення різновиду глинистих ґрунтів. Визначення величини набухання та розмокання ґрунтів.

Лабораторна робота №7 – Визначення стисливості ґрунту за допомогою компресійних випробувань. Визначення опору ґрунту зсуванню на приладі одноплосинного зрізу.

## **Лабораторна робота №1**

### **ВІДБІР ЗРАЗКІВ ҐРУНТУ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Мета роботи:** ознайомитись з лабораторією та лабораторним обладнанням, ознайомитись з польовою лабораторією Литвинова, навчитись відбирати проби ґрунту для досліджень.

**Завдання роботи:**

- ознайомитися з лабораторією;
- ознайомитись з польовою лабораторією Литвинова;
- навчитись відбирати зразки ґрунту.

**Теоретична частина**

Робота включає два етапи: екскурсійний та лабораторний.

Під час екскурсійного необхідно познайомитися з лабораторією, де будуть проводитися дослідження, пройти техніку безпеки перед початком роботи, ознайомитися з обладнанням яке наявне в лабораторії та колекцією мінералів.

Під час лабораторного необхідно детально ознайомитися з польовою лабораторією Литвинова, приладами, які вона містить та правилами роботи з ними. Ознайомитися з нормативними документами по відбору проб ґрунту та методикою по пакуванню та транспортуванню зразків.

**Корисні посилання:**

- ДСТУ Б В.2.1-8-2001. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків / Держбуд України. – Київ, 2002.

[https://dnaop.com/html/44206/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_%D0%91\\_%D0%92.2.1-8-2001](https://dnaop.com/html/44206/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%92.2.1-8-2001)

- ДБН А.2.1-1-2014. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва / Мінрегіонбуд України. – Київ, 2014. **(не введений в дію)**

[https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_a\\_2\\_1\\_1\\_2014/1-1-0-1167](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a_2_1_1_2014/1-1-0-1167)

- ДБН А.2.1-1-2008 Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва / Мінрегіонбуд України. – Київ, 2008.

<https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/3.1.-DBN-A.2.1-1-2008.-Vishukuvannya-proektuvannya-i-teri.pdf>

- ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей / Мінрегіонбуд України. – Київ, 2010.

[https://verum.org.ua/dstu-doc/pochvyi.metodyi\\_laboratornogo\\_opredeleniya\\_fizicheskikh\\_svoystv.pdf?x94972](https://verum.org.ua/dstu-doc/pochvyi.metodyi_laboratornogo_opredeleniya_fizicheskikh_svoystv.pdf?x94972)

- Інформація про лабораторію Механіки ґрунтів, геотехніки та фундаментобудування - [https://tzb.stu.cn.ua/?page\\_id=316](https://tzb.stu.cn.ua/?page_id=316)

**Необхідне обладнання:** Польова лабораторія Литвинова (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Польова лабораторія Литвинова (загальний вид)

## **Виконання роботи**

### **1. Ознайомитися з лабораторією**

Ознайомитися з лабораторією, при виконанні роботи онлайн переглянути відео про лабораторію Механіки ґрунтів, геотехніки та фундаментобудування за посиланням – [https://tzb.stu.cn.ua/?page\\_id=316](https://tzb.stu.cn.ua/?page_id=316).

### **2. Ознайомитися з процесом відбирання ґрунту**

Відбір, пакування, транспортування і зберігання зразків ґрунту виконується відповідно до вимог норм ДСТУ Б В.2.1-8-2001 [1].

Зразки ґрунту відбирають непорушеної (моноліти) або порушеної структури з зачищених стін і забою гірничих виробок (шурфів, котлованів тощо) і бурових свердловин.

Кількість зразків, що відбираються з кожного шару ґрунту, і їх розміри встановлюються програмою робіт на виробництво вишукувань у відповідності до ДБН А.2.1-1-2008 [2]. Також відбирають зразки ґрунтової води, щоб визначити їх сольовий склад і агресивність. Ці випробування виконують в спеціалізованих лабораторіях.

Загальний об'єм зразків повинен бути достатнім для проведення необхідного комплексу лабораторних досліджень і контрольних визначень. Відбір зразків ґрунту з гірничих виробок проводиться за допомогою ножа, лопати тощо, а зі свердловин - ґрунтоносів різної конструкції.

Моноліт, який зберігає форму без жорсткої тари, необхідно відбирати у вигляді шматка ґрунту, наближеного до паралелепіпеду чи куба розмірами від 100x100 до 300x300 мм, з якого потім вирізаються зразки необхідних розмірів. Моноліти, що відбираються зі свердловин у вигляді циліндрів, мають діаметр від 110 мм. Моноліт, у якого не зберігається форма без жорсткої тари, відбирають методом ріжучого кільця згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [3].

Внутрішній діаметр ріжучого кільця при відборі монолітів крупноуламкових ґрунтів має бути не менше 200 мм, а для інших видів ґрунтів - не менше 90 мм. Висота кільця повинна бути не менше одного і не більше двох діаметрів.

Моноліти піщаних і глинистих ґрунтів відбирають в процесі буріння свердловин без застосування промивної рідини, без підливання води в свердловину, із перекриттям водонасичених шарів ґрунту.

Моноліти ґрунту, відібрані з виробок і бурових свердловин, необхідно негайно ізолювати від впливу зовнішнього повітря та перемінної вологості наступними способами:

- Моноліти, відібрані без жорсткої тари, туго обмотують шаром марлі, попередньо просоченої розплавленим парафіном, змішаним з гудроном. Потім весь моноліт в марлі опускають в розплавлений парафін, виймають і покривають другим шаром марлі і ще раз парафінують. До парафінування на верхню грань моноліту слід покласти загорнуту в кальку і покриту парафіном етикетку. Другий примірник етикетки, змочений розплавленим парафіном, прикріплюють зверху запарафінованого моноліту і покривають тонким шаром парафіну так, щоб можна було прочитати напис на етикетці.

- Моноліти, відібрані в жорстку тару, необхідно упаковувати в цій же тарі. Відкриті торці тари слід закрити жорсткими кришками з гумовими прокладками, місця з'єднання кришки з тарою заливають парафіном або покривають ізоляційною стрічкою. При відсутності жорстких кришок торці тари покривають у 2...4 шари просоченої парафіном марлі.

Парафін, що застосовується для ізоляції монолітів, нагрівають до температури 57...60°C. Для збільшення пластичності парафіну в нього додають 35...50% (по масі) гудрону. Застосовуються також складніші мастики, готові до вживання.

На етикетці моноліту повинні бути зазначені: найменування організації, що виробляє вишукування; назву або номер вишукувальної партії (експедиції); найменування об'єкта і місце його знаходження, назва



виробки та її номер; номер моноліту; глибина відбору; найменування ґрунту по візуальному визначенню; посада та прізвище особи, яка виконувала відбір моноліту, і його підпис; дата відбору моноліту. Етикетки повинні заповнюватися чітко простим графітовим олівцем.

Зразки ґрунту, призначені для транспортування, необхідно упакувати в ящики із заповненням вільного простору між ними вологою тирсою, стружкою або іншими матеріалами з аналогічними властивостями. Усередині ящика під верхню кришку необхідно покласти загорнутий в кальку список зразків з інформацією, зазначеною на етикетці. Ящики слід пронумерувати, забезпечити написами «Верх», «Не кидати» і «Не кантувати», а також адресами одержувача і відправника.

При транспортуванні моноліти ґрунту не повинні піддаватися різким динамічним і температурним впливам, зразки ґрунту слід зберігати в спеціальних приміщеннях з відносною вологістю повітря 50...60% при температурі не нижче 2°C або вище 20°C. Моноліти мерзлого ґрунту зберігають у камерах з відносною вологістю 80...90% при від'ємній температурі. Термін зберігання запарафінованих зразків ґрунту складає до 1,5...3 місяців в залежності від виду і стану ґрунту.

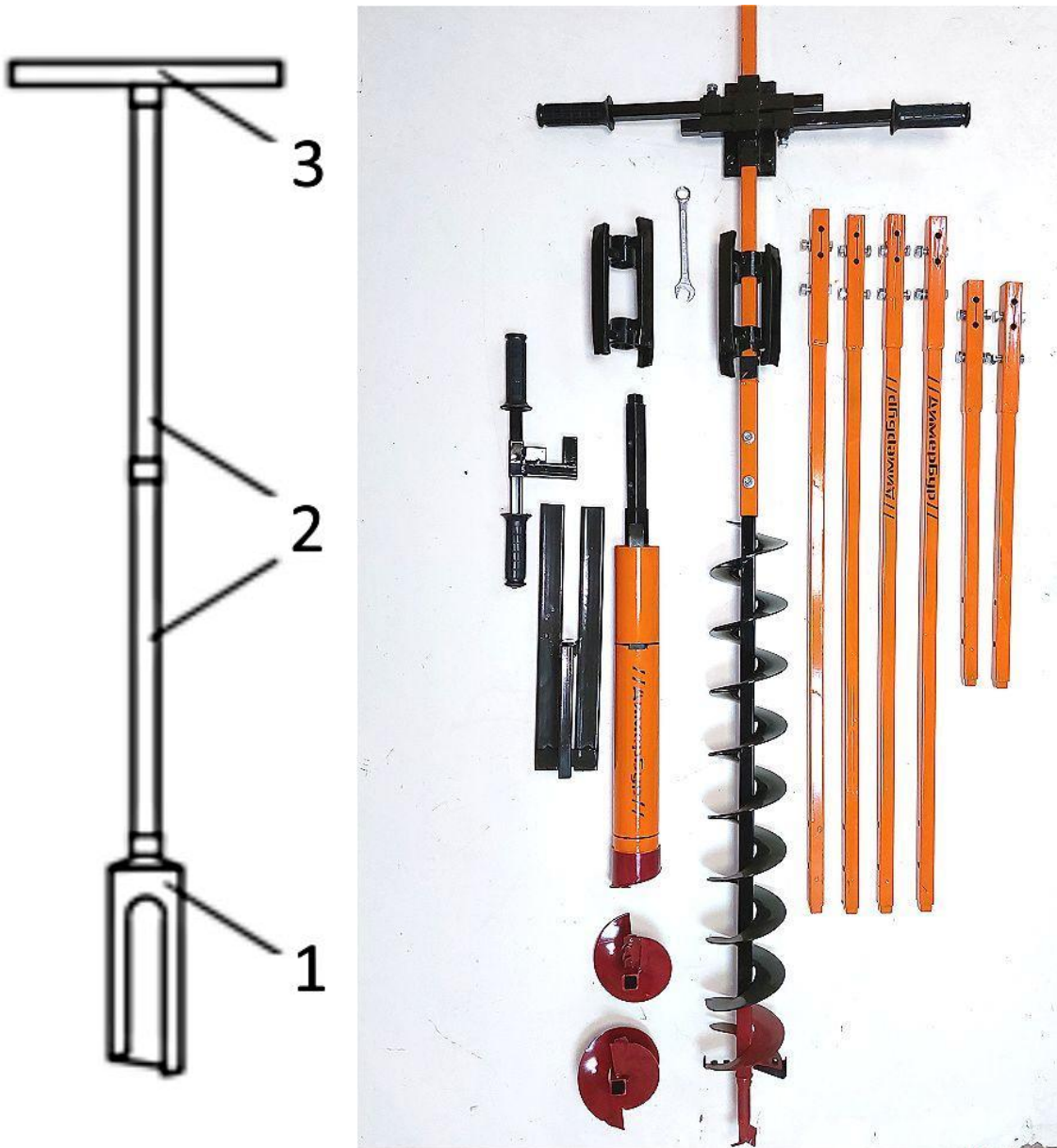
Моноліти ґрунту, що мають пошкодження гідроізоляційного шару і дефекти упаковки або зберігання, приймати до лабораторних випробувань забороняється. Їх необхідно приймати як зразки ґрунту порушеного стану.

При використанні зразків в лабораторії необхідно контролювати стан ґрунту за вологістю та пористістю, які повинні відповідати природним умовам. Розкритий зразок потрібно використовувати відразу в повному обсязі і тільки у необхідних випадках залишати для повторних випробувань з повним відновленням.

### 3. Ознайомлення з обладнанням для відбору проб ґрунту

Буріння свердловин – це основний етап робіт при геологічних дослідженнях, при пошуку і розвідці родовищ.

Для відбору зразків ґрунту використовують бури різної конструкції, в тому числі і ручні (рис. 1.2).



а)

б)

Рисунок 1.2 – Знаряддя для ручного буріння: а) схема: 1 – стакан; 2 – штанга; 3 – рукоятка; б) загальний вигляд буру геологічного шнекового БШГ80/6М [4]

Ударно-канатним називається буріння, при якому руйнівне зусилля створюється під дією ударів породоруйнівного інструменту, що скидається на вибій з деякої висоти – ударного долота.

Обертальне буріння – це спосіб спорудження свердловин шляхом руйнування гірської породи за рахунок обертання притисненого до забою породоруйнівного інструменту (долото, коронка).

Ударно-обертальне буріння – це популярний спосіб розробки свердловин, суть якого полягає в тому, що в процесі роботи з ґрунтів на робочий інструмент подається одночасно обертальне та ударне навантаження.

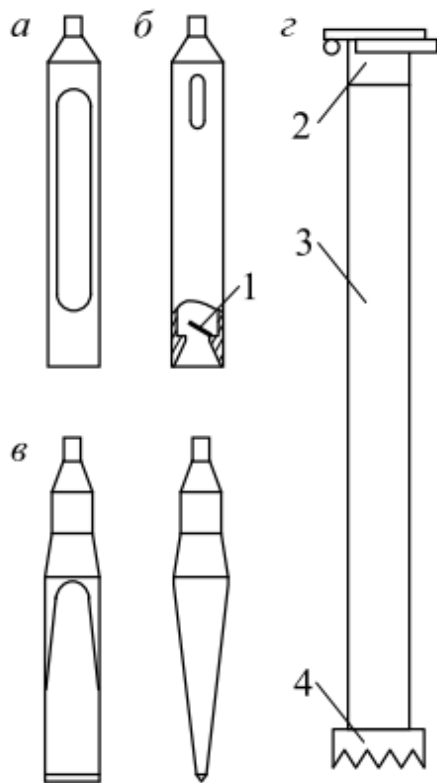


Рисунок 1.3 – Інструмент для ударно-канатного буріння: а) забивний стакан; б) желонка; в) долото; г) обсадна труба; 1 – клапан; 2 – наголовник; 3 – ланка обсадної труби; 4 – фреза

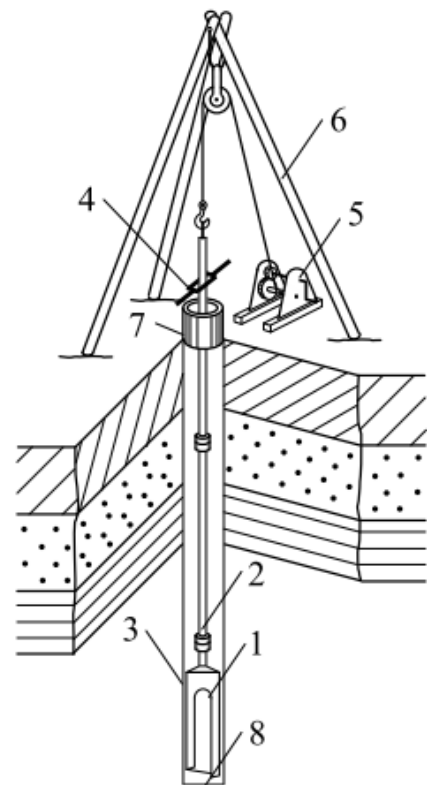
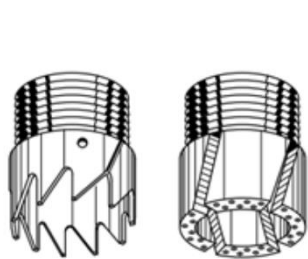
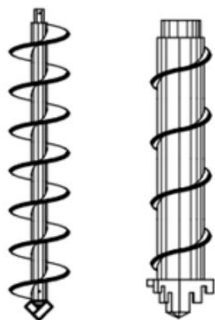


Рисунок 1.4 – Бурова установка для ручного ударно-обертального буріння: 1 – буровий інструмент; 2 – штанга; 3 – обсадна труба; 4 – хомут; 5 – лебідка; 6 – копер; 7 – устя свердловини; 8 - забій

Елементи бурового обладнання, що призначені для обертального буріння геологорозвідувальних свердловин представлені на рис. 1.5.



а)



б)



в)

Рисунок 1.5 – Елементи бурового обладнання: а) види бурових коронок; б) види шнекових колон; в) бурові коронки, що зберігаються в навчальному комбінаті ДП «Чернігівнафтогазгеологія»

18 жовтня 1958 року постановою Ради Міністрів УРСР № 1498 з метою пошуку та розвідки нафтових і газових родовищ в північно-західній частині Дніпровсько-Донецької западини було передбачено створення тресту «Чернігівнафтогазрозвідка». Вже в січні 1959 року розпочалося виконання покладених на нього завдань і в цьому ж році геологи відкрили перше нафтове родовище на Чернігівщині – Гнідинцівське. Згодом трест неодноразово змінював свою назву та підпорядкування: з 1980 року – Виробниче геологічне об'єднання, з 1991 року – Державне геологічне підприємство «Чернігівнафтогазгеологія», а з 2001 року – Дочірнє підприємство Національної акціонерної компанії «Надра України» «Чернігівнафтогазгеологія», але напрямки його діяльності залишаються незмінними [5].

За 60 років роботи на територіях Чернігівської, Полтавської та Сумської областей фахівці підприємства відкрили та розвідали понад 60 родовищ нафти і газу, серед яких значні за запасами: Гнідинцівське, Леляківське, Яблунівське, Андріяшівське та Рудівсько-Червонозаводське.

Передано виробничим підприємствам 41 родовище, 184 продуктивні свердловини. Пробурено понад 900 свердловин загальним метражем — 3 500 000 метрів. Розвідані родовища є важливою складовою сировинної бази для нафтогазовидобувної промисловості України.

Буріння глибоких і надглибоких (до 6 200 м) свердловин проводили 40-42 бурових бригад при найвищій комерційній швидкості в галузі. Щорічно (в період до 2000 року) в буріння вводилось до 22–25 свердловин і така ж їх кількість завершувалась будівництвом.

Район діяльності підприємства охоплює територію понад 30 тис. км<sup>2</sup>. Глибина залягання нафти коливається в залежності від розвідуваних площ і знаходиться в межах 1 800-4 800 м, газу і конденсату 3 000-5 810 м. Найбільше родовище нафти, Леляківське (на 50 млн. т умовного палива), відкрито 1962 року за 8 км від смт. Варва, поблизу села Леляки у Чернігівській області. Того ж року було отримано перший фонтанний приплив нафти дебітом 58,3 т/добу через діафрагму діаметром 7 мм. А найбільше газоконденсатне родовище, Скоробагатьківське, підприємство відкрило 1984 року (на 1 300 млн. т умовного палива) в Лохвицькому районі Полтавської області.

За 60-річну історію ДП «Чернігівнафтогазгеологія» приростило запасів вуглеводнів 466 млн. т умовного палива, в тому числі 273 млрд. м<sup>3</sup> газу, 170 млн. т нафти і 23 млн. т конденсату. За цей же період видобуто 1300 млн. т нафти, 9 млн. т конденсату та 270 млрд. м<sup>3</sup> газу. Станом на 2018 р. на балансі в розвідці знаходилося 12 родовищ із запасами 130 млн. т умовного палива, а також 30 підготовлених до буріння структур з ресурсами понад 100 млн. т умовного палива.

За висновками науковців, на території діяльності підприємства (Чернігівська, Полтавська та Сумська області) прогноуються значні можливості відкриття нових родовищ нафти і газу, ресурсна база яких більше 600 млн. т умовного палива.

Окрім цього на базі ДП «Чернігівнафтогазгеологія» міститься навчальний комбінат (рис. 1.6-1.8).

Про Геологія і нафтогазоносність Голотівщинсько-Мехедівсько-Луценківсько-Свиридівського структурного вузла в Дніпровсько-Донецькій западині можна переглянути в монографії [6].



Рисунок 1.6 – Макет буріння свердловини ДП «Чернігівнафтогазгеологія»



Рисунок 1.7 – Макет розрізу товщі ґрунту при бурінні ДП «Чернігівнафтогазгеологія»



Рисунок 1.8 – Колекція мінералів ДП «Чернігівнафтогазгеологія»

В будівництві буріння свердловин допомагає визначити надійне місце для заbudови, найбільш вдалий фундамент і виключити ймовірність затоплення підвальних приміщень ґрунтовими водами. Матеріалом для вивчення є kern, проба матеріалу з свердловини. Саме за відібраними зразками і виявляють властивості шарів, до яких вони належать.

Проводяться вишукування згідно Державних будівельних норм України ДБН А. 2.1-1- 2008 [2]. Виконання вишукувань здійснюється на основі технічного завдання, яке надається організацією замовником. Згідно з технічним завданням та наданої зйомки території (плану) визначається кількість та глибина свердловин, необхідних для проведення вишукувань, складається кошторис, який погоджується із замовником.

Наступним етапом є проведення бурових робіт, польові роботи (рис. 1.9-1.10) з відбором ґрунтів (рис. 1.11-1.17) для проведення лабораторних досліджень по визначенню їх фізико-механічних властивостей (рис. 1.18).



а)



б)



в)

Рисунок 1.9 – Буріння для відбору проб ґрунту: а) початок буріння [7];  
б) буріння з промивкою [8]; в) загальний вид бурильних машин [9]



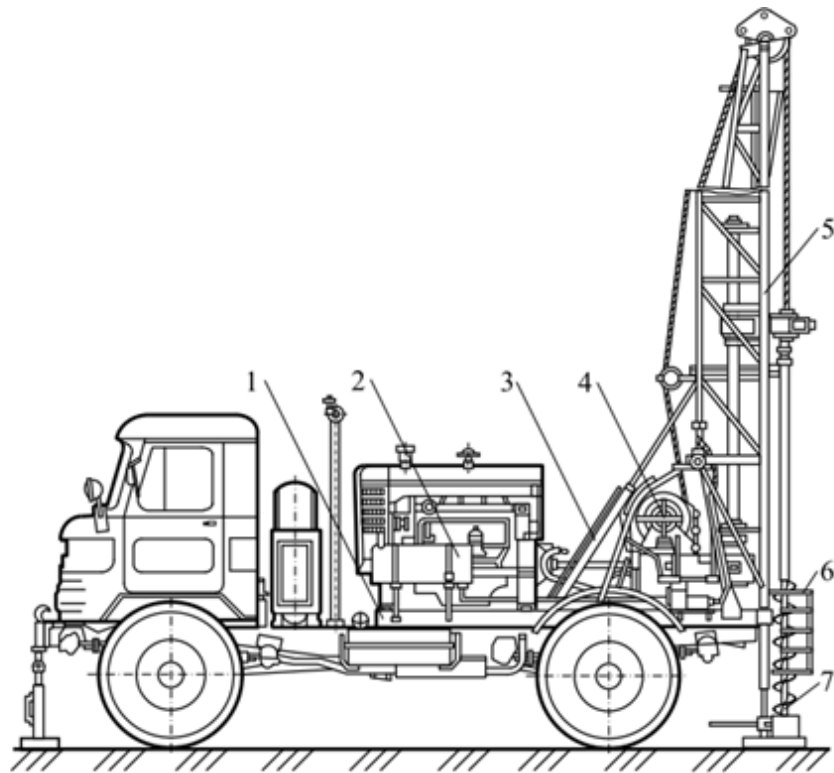


Рисунок 1.10 – Бурова установка УГБ 50-М [10]: 1 – рама; 2 – двигун; 3 – гідроциліндри; 4 – лебідка; 5 – щогла; 6 – огороження; 7 – шнек

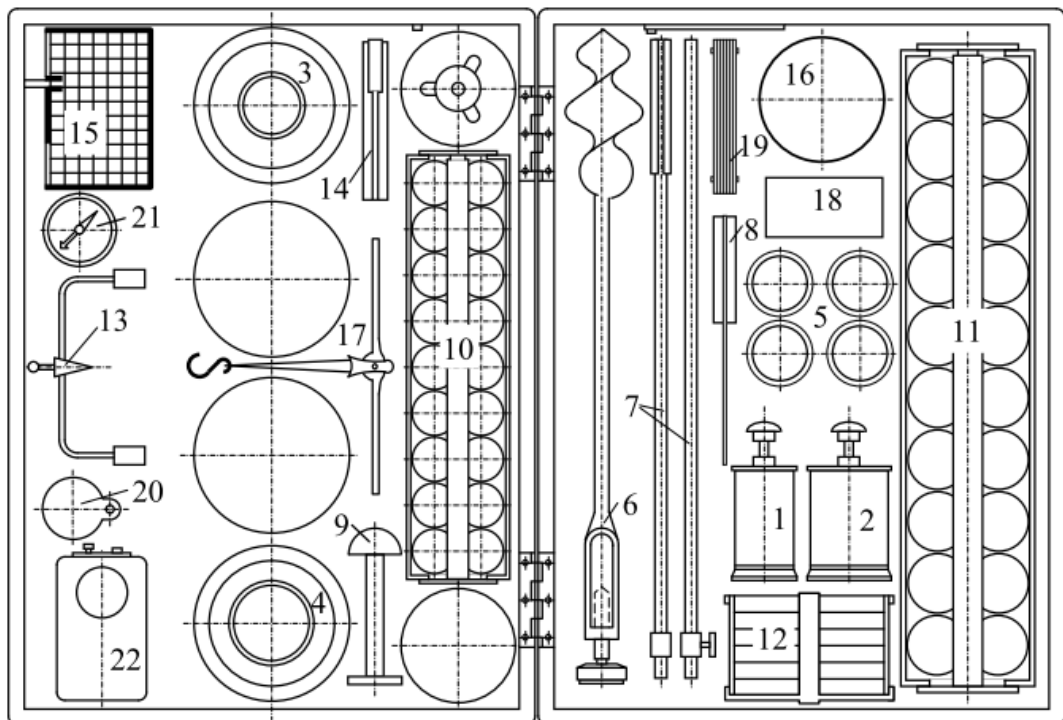
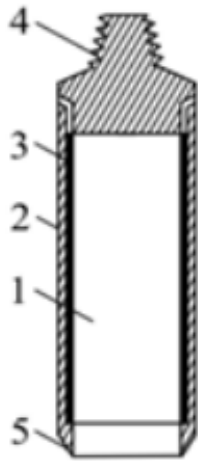


Рисунок 1.11 – Основний комплект польової лабораторії І. М. Литвинова: 1, 2 – прилади для відбору монолітів ґрунту; 3, 4 – опорні кільця; 5 – ґрутовідбірні гільзи; 6 – гвинтовий анкер; 7 – важелі; 8 – ніж; 9 – виштовхувач; 10, 11 – набори бюкс; 12 – компресійні бюкси і гільзи; 13, 14 – прилади для визначення числа пластичності; 15 – прилад для визначення кута природного укосу пісків; 16 – набір сит; 17 – ваги; 18 – набір важків; 19 – метр; 20 – лупа; 21 – компас; 22 – ліхтар



а)

б)

Рисунок 1.12 – Грунтонос: а) схема: 1 – моноліт ґрунту; 2 – корпус; 3 – гільза; 4 – конусна різь; 5 – ніж; б) грунтонос в розібраному стані [11]



а)



б)



в)

Рисунок 1.13 – Відбір проб ґрунту грунтоносом: а) ґрунт в грунтоносі [12]; б) зразок ґрунту відібраний під час буріння [13]; в) відбір зразків під час буріння [14]



а)



б)

Рисунок 1.14 – Відбір проб ґрунту ґрунтоносом: а) ґрунт в ґрунтоносі [11]; б) розкладені зразки та підготовлені для відбору та пакування монолітів [15]



а)



б)

Рисунок 1.15 – Відбір монолітів ґрунту: а) вирізання [16]; б) пакування [17]



Рисунок 1.16 – Відбір і пакування ґрунту з свердловин [18]



Рисунок 1.17 – Пакування ґрунту: а) плівка [19]; б) контейнер



а)



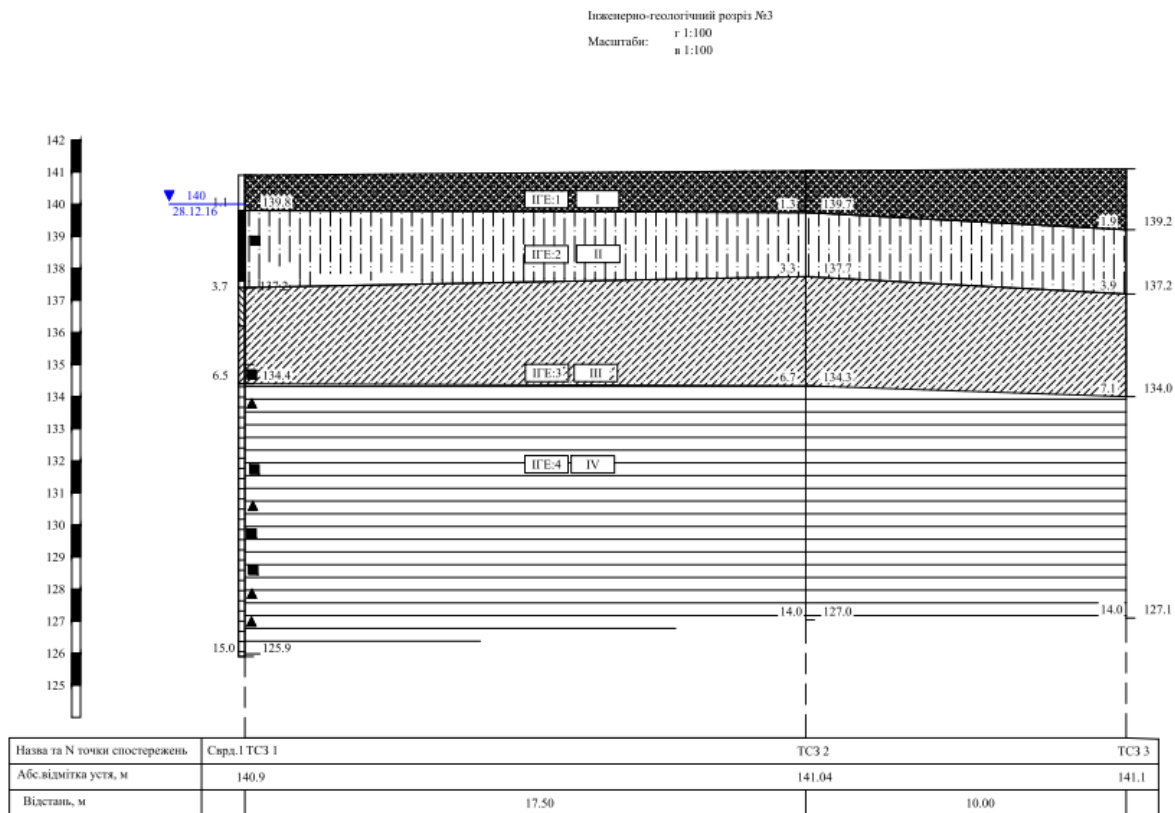
б)

Рисунок 1.18 – Лабораторні дослідження: а) зразки ґрунту в лабораторії Європейських країн [20]; б) розпаковка ґрунту запакованого за національним стандартом [21]

Після лабораторних досліджень геологи проводять камеральну обробку робіт виконаних в польових умовах та лабораторних даних.

Заключним етапом робіт є складання науково технічного звіту інженерно-геологічних вишукувань.

Приклад інженерно-геологічного розрізу і зведеної інженерно-геологічної колонки з таблицею фізико-механічних показників представлено на рис. 1.19.



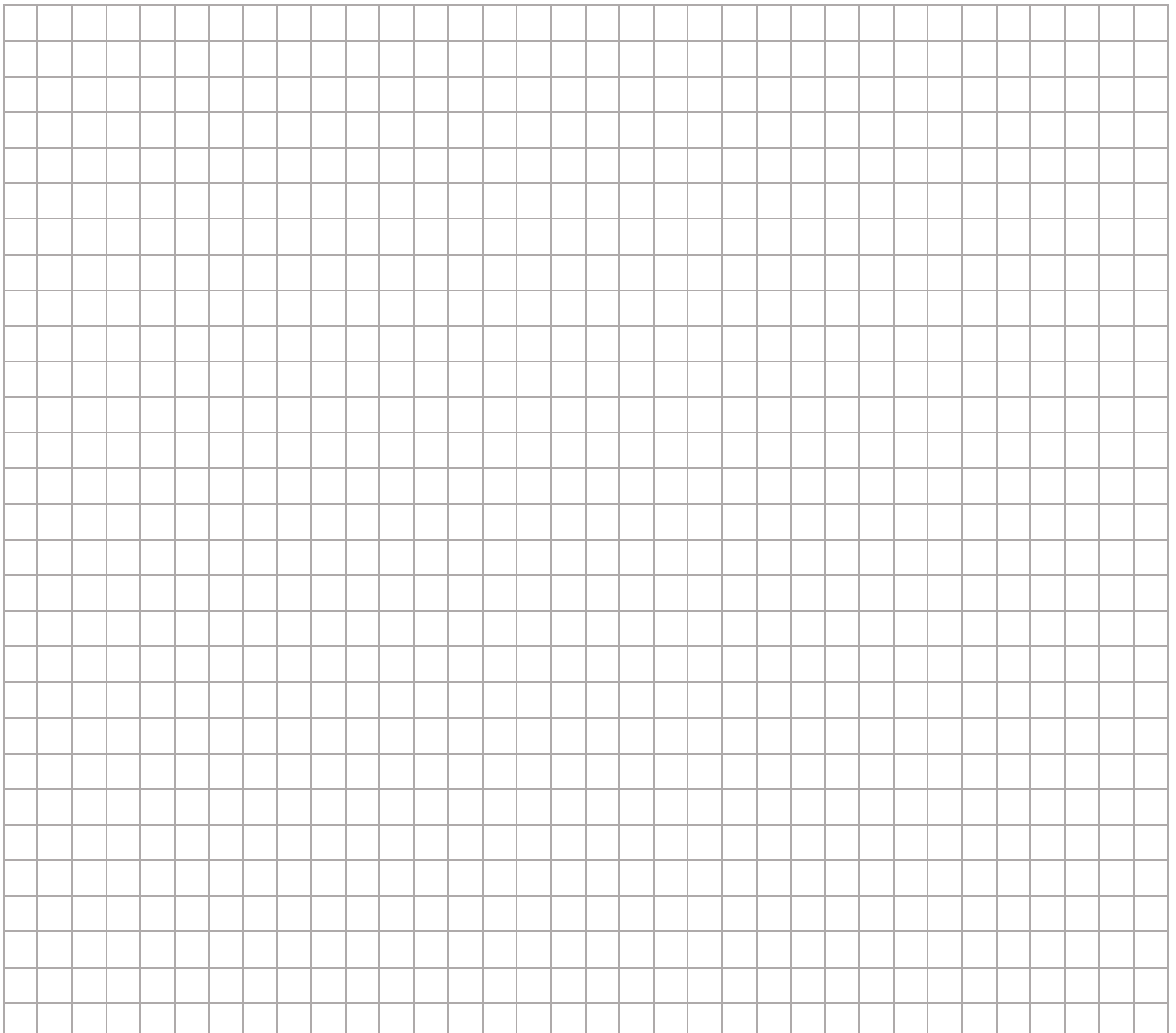
ЗВЕДЕНА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНА КОЛОНКА З ТАБЛИЦЕЮ НОРМАТИВНИХ ТА РОЗРАХУНКОВИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

Індекс ґрунту 1 або ґрунту	Літологічний розріз, номер вершин та лінійно-сегментного сполучення	Назва ґрунту (згідно з ДСТУ Б В.2.1-2:06)	Нормативні значення													Розрахункові значення				Якщо ґрунти ДВН Д.2.2-1:09а в залежності від тривалості робіт
			Прочність вологість	Глибина текучості	Гранична вологість	Число пластичності	Позалиній компресій	Швидкість м'якшення ґрунту	Швидкість ґрунту	Швидкість стиску ґрунту	Виривність	Коефіцієнт пористості	Ступінь вологість	Вологістність лижів	Кут внутрішнього тертя	Пітове зміщення	Модуль деформації	Кут внутрішнього тертя	Пітове зміщення	
			W	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	σ <sub>с</sub>	σ <sub>с</sub> <sup>н</sup>	σ <sub>с</sub> <sup>н</sup>	n	e	S <sub>z</sub>	W <sub>лиж</sub>	φ	e <sup>н</sup>	E <sub>с</sub>	φ <sup>н</sup>	φ <sup>н</sup>	
Доді одиниці			сН/см <sup>2</sup>			Доді одиниці			град		мПа		град		мПа					
пV		Настильний ґрунт					2,70	1,96											26А	
vdIIIpc		асоціований сугілець	0,31		0,04	2,44	2,67	1,93	1,47	0,82	0,99		17	4	3	17	15	4	2	36Б
lg II dn		Сугілець	0,18		0,06	0,39	2,69	2,10	1,78	0,513	0,97		20	10	9	20	17	10	6	36Б
N II		Глина	0,28		0,28	0,02	2,75	1,97	1,56	0,771	1,00		14	36	11	14	12	36	24	8Д

Рисунок 1.19 – Інженерно-геологічний розріз і зведена інженерно-геологічна колонка з таблицею фізико-механічних показників

**Питання для контролю:**

1. Що таке геологія, та що вона вивчає?
2. Що таке моноліт ґрунту?
3. Як відбувається відбір ґрунту та його пакування, транспортування?
4. Яким чином можна відібрати ґрунт для дослідження?
5. Які бури існують? Що таке буріння?
6. Чим відрізняється шурф від свердловини?
7. Що входить в польову лабораторію Литвинова?
8. Що таке ґрунтонос?
9. Що таке інженерно-геологічний розріз?
10. Що визначають під час дослідження ґрунту?

**Для нотаток:**

## Лабораторна робота №2

### МІНЕРАЛИ

**Мета роботи:** дослідити склад ґрунту з різних локацій, використовуючи метод промивання (шліхування), на наявність видимих твердих нерозчинних часточок мінералів, зокрема різновидів групи кварцу; візуально визначити окремі мінерали за допомогою довідника та спеціальних додатків до смартфона; отримати практичний досвід використання цифрового мікроскопа в лабораторних умовах.

#### **Завдання роботи:**

- відібрати зразки ґрунту;
- навчитися відокремлювати крупні часточки мінералів та гірських порід з ґрунту шляхом промивки (шліхування);
- за допомогою цифрового мікроскопа дослідити склад ґрунту після промивки та визначити окремі мінерали, використовуючи довідник та мобільні додатки;
- набути досвіду роботи з цифровим мікроскопом.

#### **Теоретична частина**

Робота включає два етапи: екскурсійний та лабораторний.

Найбільш поширені зерна мінералів, які можуть входити до складу ґрунту, це різновиди кварцу (прозорий різних відтінків від білого, жовтого до брунатного), гранат (прозорий червоний), ільменіт або гематит (непрозорий чорний), але зустрічаються й інші. У місцях відпочинку та інших локаціях, які часто відвідують люди, зустрічаються уламки скла, шматочки пластику, шлаку та металу.

Дана робота запозичена з сайту <https://stemua.science> [22].

#### **Корисні посилання:**

- Пічугін Б. В., Федченко Ю. І. Шкільний визначник мінералів і гірських порід.

<https://www.twirpx.com/file/1184937/>



- Довгий С. О., Павлишин В. І., Квасниця І. В. 100 мінералів України.

<https://www.nas.gov.ua/UA/Book/Pages/default.aspx?BookID=0000011478>

Додатки для смартфонів:

- Smart Mineralogist

[https://play.google.com/store/apps/details?id=org.yakobo.smartmineralogist&hl=en\\_US](https://play.google.com/store/apps/details?id=org.yakobo.smartmineralogist&hl=en_US)

- Name the Rock

[https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai\\_munwaitan.NameTheRock&hl=uk&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_munwaitan.NameTheRock&hl=uk&gl=US)

**Необхідне обладнання:** Пронумеровані паперові пакетики для зразків, ємність для води (склянка, чашка), ґрунт, чайна ложка, проточна вода, серветка, неглибокий судок, скляна пластина, невеликий дерев'яний або пластиковий брусок, пінцет, цифровий мікроскоп або збільшувальна насадка на камеру смартфона, ноутбук або смартфон.

## Виконання роботи

### Частина 2.1.

**Завдання 1.** Відберіть зразки ґрунту в різних місцях, помістіть їх у пронумеровані паперові пакети. Занотуйте в таблицю назву місця, звідки було отримано зразки.

Таблиця 2.1 – Відбір зразків

Пакунок №	Локація
1	Подвір'я
2	Присадибна ділянка
3	Вул. Коцюбинського
.....	

**Завдання 2.** Вміст паперового пакету з ґрунтом пересипте у склянку. Наповніть склянку водою на 2/3 і за допомогою чайної ложки ретельно перемішайте. Злийте 2/3 брудної води. Промивання повторюйте, поки вода не стане прозорою, а на дні не залишиться нерозчинний осад. Підготуйте невеликий судок, наприклад, від харчових продуктів, і накрийте його серветкою так, щоб посередині утворилося невелике заглиблення. Вилийте всю воду з осадом на серветку. На ній має залишитися осад у вигляді нерозчинних часточок різного кольору (рис. 2.1).

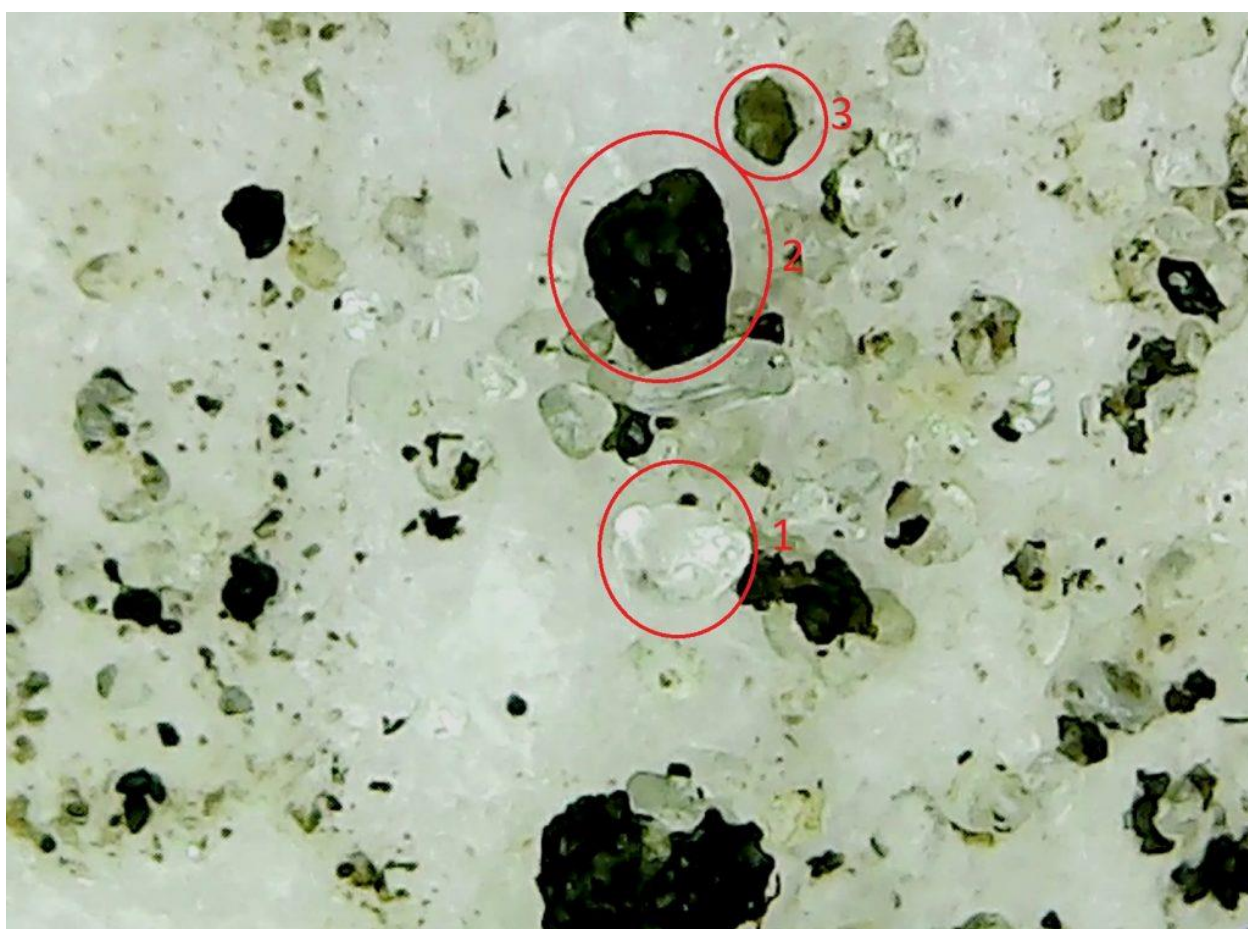


Рисунок 2.1 – Світлина осаду після промивки: 1 – кварц; 2 – фосфорит; 3 – кварц.

Посилання на експеримент:

<https://www.youtube.com/watch?v=HkYd8VjUGJM>

**Завдання 3.** Дослідіть тверді часточки під збільшенням, за можливості сфотографуйте і результати занесіть до таблиці.

### **Інструкція для визначення матеріалів**

Прозорість і колір визначаються візуально. Для визначення твердості візьміть пінцетом одну частинку з осаду і покладіть на скляну пластину. Потім зверху сильно притисніть її шматочком дерева або пластику і порушайте в різні боки. Подивіться уважно на слід, що залишила частинка. Якщо на склі залишилася подряпина (чіпляється нігтем), то твердість висока (>5,5 за Моосом).

*Поміркуйте, чому не варто мити брудною водою з відкритих водойм фарбовані поверхні і скло.*

### **Аналіз отриманих даних**

**Завдання 4.** Користуючись визначником та за допомогою вчителя або лаборанта визначте назву мінералу або гірської породи. Отримані результати запишіть до таблиці 2.2, дотримуючись такої нумерації: перша цифра відповідає номеру зразка ґрунту, друга – номеру частинки, яку визначаємо.

Таблиця 2.2 – Результати дослідів

Зразок №	Залишає подряпину на склі	Колір	Прозорість	Назва мінералу або породи
1.1	–	Чорний	Непрозорий	Ільменіт
1.2	+	Білий	Прозорий	Кварц
....				

Зробіть висновки з дослідження. Яких мінералів і гірських порід ви побачили найбільше? Чи зустрілися серед них сліди забруднення, викликані діяльністю людини?

## Частина 2.2.

### Ознайомлення з колекцією мінералів

Мінерали – це природні хімічні сполуки або самородні елементи, які виникли внаслідок перебігу різноманітних фізико-хімічних процесів у земній корі і на її поверхні (табл. 2.3). Мінерали вивчає мінералогія – розділ геології, який досліджує склад, будову, властивості і походження мінералів [23].

Таблиця 2.3 – Розподіл мінералів у земній корі

Мінерал	Вміст, %
Польові шпати	55,0
Піроксени і амфіболи	15,0
Кварц та його різновиди	12,0
Вода у вільному і зв'язному стані	8,25
Слюди	3,0
Оксиди і гідроксиди	3,0
Глинисті мінерали	1,5
Кальцит	1,5
Фосфати	0,75

Визначення мінералів зручно проводити з твердості як постійної величини для більшості мінералів, що не залежить від розмірів досліджуваних зразків або крупності його зерен в породі [24].

Класифікація мінералів за походженням: магматичні – це мінерали, утворення яких пов'язано з магматичними процесами (пірит, халькопірит, гіпс, кальцит, сфалерит, гетит, цеоліт та ін.); гіпергенні – це мінерали, що утворилися у верхній частині земної кори під впливом води, повітря, живих організмів (монтморилоніт, каолініт, боксит та ін.); метаморфічні – це мінерали, що утворилися у земній корі під впливом високої температури і тиску (рогова обманка, тальк, слюди).

Кристалохімічна класифікація: кисневмісні мінерали – мають іонні та іонно-ковалентні структури (силікати, карбонати, фосфати, нітрати, сульфати, оксиди і гідроксиди); безкисневі мінерали – мають ковалентні, атомні, металеві структури (сульфіди, галоїди, самородні елементи); органічні та штучні мінерали.

За здатністю утворювати гірські породи: породоутворюючі (глинисті мінерали, польові шпати); не здатні утворювати породи (самородні елементи).

Первинні мінерали сформувались безпосередньо з магми одночасно з породою в основному в глибоких шарах земної кори і при виливанні магми на поверхню земної кори. До них належать мінерали магматичного походження – олівін, польові шпати, авгіт, рогова обманка, кварц, слюди тощо. Вторинні мінерали утворились пізніше, ніж первинні, і часто за рахунок первинних, на земній поверхні або біля неї. До них належать мінерали осадового і метаморфічного походження – глинисті, опал, лимоніт, кальцит, доломіт, гіпс, хлорити та ін.

Певні групи мінералів представлені на рис. 2.2-2.8 (фото запозичено з курсу «Геологія з основами геоморфології» Державного університету «Житомирська політехніка» - <https://learn.ztu.edu.ua/>).



Рисунок 2.2 – Самородні елементи



Рисунок 2.3 – Сульфід



Рисунок 2.4 – Галоїди



Найважливіший з оксидів – оксид кремнію, або кварц  $\text{SiO}_2$ , на частку якого припадає 12% маси земної кори.



Гідроксид кремнію – опал  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Рисунок 2.5 – Оксиди та гідроксиди



Кальцит  $\text{CaCO}_3$



Доломіт  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$



Сидерит  $\text{FeCO}_3$



Малахіт  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

Рисунок 2.6 – Карбонати



Рисунок 2.7 – Сульфати



Рисунок 2.8 – Силікати

На фото 2.9 представлено колекції мінералів Національного університету «Чернігівська політехніка»





Рисунок 2.9 – Колекції мінералів університету для вивчення на лабораторній роботі



**Лабораторна робота №3**  
**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ФІЛЬТРАЦІЇ ПІЩАНИХ ГРУНТІВ.**  
**ШВИДКІСТЬ РУХУ ПІДЗЕМНИХ ВОД.**  
**ПРИПЛИВ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДО СВЕРДЛОВИН.**

**Мета роботи:** ознайомитися з коефіцієнтом фільтрації  $k$  та визначити приплив підземних вод (грунтових вод).

В даній лабораторній роботі коефіцієнт фільтрації буде виданий в завданні, виконання дослідження розглядається в теоретичній частині.

**Завдання роботи:**

- ознайомитися з коефіцієнтом фільтрації  $k$ ;
- визначити приплив підземних вод (грунтових вод);

**Корисні посилання:**

Навчальна література [10, 25-29]

**Теоретична частина**

Рух рідини в пористому середовищі називається фільтрацією. Фільтрація має місце, як при русі ґрунтових вод, так і при русі води під гідротехнічними спорудами, крізь земляні греблі, дамби, водовідвідні піщані фільтри, тощо.

Закони руху ґрунтових вод знаходять широке застосування при вирішенні різних інженерних задач, наприклад, при визначенні кількості води, що протікає до колодязів або водонапірних галерей, при визначенні розмірів фільтрів бурових свердловин, при розрахунку зниження горизонту води в колодязях, при відкачуванні ґрунтових вод, тощо.

Досить важливу роль відіграють закони руху ґрунтових вод при розрахунку стійкості гідротехнічних споруд і фільтрації під ними.

Витрата фільтраційного потоку  $Q$  визначається емпіричною формулою, яку називають основним законом фільтрації:

$$Q = k \cdot \omega \cdot J^m \quad (3.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт фільтрації, що залежить від ґрунту і температури води;  
 $J$  – гідравлічний ухил, що представляє собою втрату напору по довжині на одиницю довжини фільтраційного потоку (в деяких джерелах може позначатися як  $I$  або навіть  $i$ ):

$$J = \frac{h_l}{l} \quad (3.2)$$

$m$  – показник степені ( $m=1$  при ламінарній фільтрації,  $m=1...0,5$  – турбулентній).

З формули (3.1) можна визначити швидкість фільтрації:

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = k \cdot J^m \quad (3.3)$$

З формули (3.3) впливає фізичний зміст коефіцієнта фільтрації  $k$ . Він характеризує швидкість фільтрації при гідравлічній ухилі  $J=1$  і має розмірність швидкості.

При ламінарній фільтрації ( $m=1$ ) залежності (3.1) і (3.3) можуть бути представлені формулами Дарсі:

$$Q = \omega \cdot k \cdot J \quad (3.4)$$

$$\vartheta = k \cdot J$$

Коефіцієнт фільтрації  $k$  визначається різними методами:

- 1) польовий;
- 2) лабораторний;
- 3) метод використання емпіричних формул.

Польовий метод використовується геологами в польових умовах, де ґрунт знаходиться в природньому стані, тому цей метод найбільш точний.

Метод використання емпіричних формул – це розрахунок коефіцієнта фільтрації  $k$  по певній формулі для вихідних даних. Як приклад, для різнозернистого піску застосовується формула Хезена (м/добу):

$$k = A \cdot c \cdot d_e^2 \cdot \tau \quad (3.5)$$

де  $A$  – числовий коефіцієнт, що приймають як одиниця, при визначенні коефіцієнта в метрах/добу;

$c$  – постійна для даного ґрунту, що приймають для чистих пісків в межах 1000...700;

$d_e$  – ефективна величина зерна в мм, що приймають рівною розміру такого зерна, менше якого в даному ґрунті міститься всього лише 10% зерен (за вагою);  $d_e$  приймають рівним 0,5 мм;

$\tau$  – коефіцієнт, що враховує в'язкість рідини по Хезену:

$$\tau = 0,7 + 0,03 \cdot T \quad (3.6)$$

де  $T$  – температура в градусах Цельсія.

Формулу Хезена застосовують для пісків, що мають  $d_e = 0,1 \dots 3$  мм.

Існують і інші емпіричні формули для визначення коефіцієнта фільтрації  $k$  (Е.А. Замарина, М.І. Зауербрея і ін.).

В лабораторних умовах коефіцієнт фільтрації визначається на приладі Дарсі.

Прилад Дарсі (рис. 3.1) має вигляд циліндру 1, діаметром  $D$ , заповнений ґрунтом, отриманого з шурфу без порушення структури. Зразок ґрунту розміщують на сітці 2.

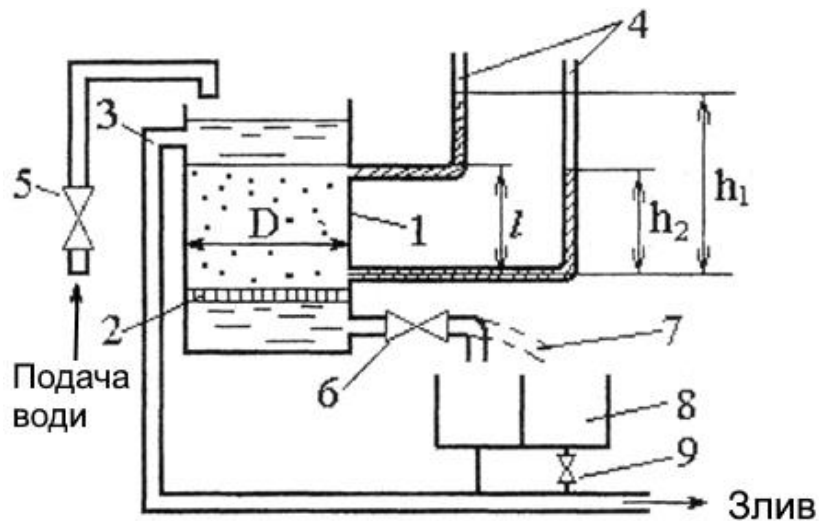


Рисунок 3.1 – Прилад Дарсі

Необхідно підтримувати постійну відмітку поверхні води в приладі шляхом скидування надлишків води через скидну трубу 3. Це необхідно забезпечувати навіть під час постійного режиму руху води під час досліду.

На бічній поверхні циліндру на відстані  $l$  один від одного встановлено п'єзометри 4.

### Виконання роботи

#### Порядок проведення досліду в лабораторних умовах

1. Відкрити кран 5 на водопроводі і наповнити циліндр 1.
2. Плавню відкрити кран 6, встановити певний рівень води в п'єзометрах 4.
3. Виміряти температуру води, що потрапляє в циліндр 1.
4. Зняти показники п'єзометрів  $h_1$  і  $h_2$ .
5. Перекинути шланг 7 в мірний відсік 8, закривши попередньо вентиль 9, і заміряти час  $t$  заповнення мірного об'єму  $W$ .
6. Перекинути шланг 7 в лівий відсік резервуару, що пов'язаний з каналізацією, і злити воду з мірного відсіку 8.
7. Змінити витрату фільтраційного потоку за допомогою крана 6. Повторити п. 4, 5, 6 для трьох різних витрат.
8. Вирахувати витрату фільтраційного потоку об'ємним способом:

$$Q = \frac{W}{t}$$



### Приклад №3.1

Використовуючи отримані дані, визначити напрямок, швидкість фільтрації та дійсну швидкість руху підземних вод трьома свердловинами, що розташовані (у плані) в кутах рівностороннього трикутника.

Для визначення напрямку руху підземних вод необхідно скласти (в масштабі) план розташування свердловин (орієнтація плану довільна). Біля кожної свердловини вказати в чисельнику її номер, а в знаменнику – абсолютну відмітку рівня підземних вод (РПВ). Ця відмітка – різниця між абсолютною відміткою гирла свердловини і глибиною залягання РПВ. На лінії між свердловинами з максимальною і мінімальною відмітками РПВ шляхом лінійної інтерполяції знайти відмітку середньої свердловини. Отриману теоретичним шляхом відмітку з'єднати з фактичною середньою відміткою. На отриману гідроізогіпсу із свердловини з найбільшою відміткою РПВ опустити перпендикуляр. Цей перпендикуляр і покаже напрямок руху підземних вод. Таким чином, напрямок потоку перпендикулярний гідроізогіпси і спрямований у бік зниження РПВ (показати стрілкою).

Швидкість фільтрації вчислити між двома будь-якими точками, що розташовані за напрямком потоку (за формулою Дарсі). На закінчення слід визначити дійсну швидкість руху підземних вод, враховуючи пористість порід, що пускають воду.

Розглянемо приклад вирішення завдання.

Під час буріння трьох свердловин, розміщених (в плані) в кутах рівностороннього трикутника з стороною 160 м, було виявлено водоносні піски, які підстилаються водоупорними глинами. Необхідно побудувати колонку однієї з свердловин та визначити напрямок, швидкість фільтрації і дійсну швидкість потоку ґрунтових вод використовуючі отримані параметри з таблиці 3.2.



Таблиця 3.2 – Вихідні дані

Параметри	№ свердловини		
	1	2	3
Абсолютна відмітка, м			
- гирла свердловини	24,3	22,1	29,4
- рівня води	22,4	19,9	27,3
- покрівлі водоупору	19,5	16,7	24,1
Потужність Н водоносного пласту, м	2,9	3,2	3,2
Глибина залягання d рівня води, м	1,9	2,2	2,1
Коефіцієнт фільтрації k, м/добу	3,4	3,4	3,4
Пористість піску n, %	38	38	38

Розв'язок:

Для визначення потоку складаємо в масштабі (можна використати автокад) план розміщення свердловин, вказуємо їх номери та абсолютні відмітки рівня ґрунтових вод кожної свердловини. Між свердловиною з максимальним рівнем води та мінімальним шляхом інтерполяції знаходимо точку з відміткою 22,4 м (точка А). Через свердловину 1 та точку А проводимо лінію (гідроізогіпса). Напрямок потоку перпендикулярній цій лінії і направлений в бік пониження рівня ґрунтових вод.

Швидкість фільтрації визначаємо між будь-якими двома точками, що розміщені по напрямку потоку за формулою:

$$v = k \cdot i$$

де  $i = \frac{H_1 - H_2}{l}$  – гідравлічний ухил;

$H_1, H_2$  – відповідно напори в двох точках, що розміщені по напрямку руху води;

$l$  – відстань між точками, в яких визначаються напори  $H_1, H_2$ .

Для визначення швидкості фільтрації опускаємо перпендикуляр на гідроізогіпсу і визначають (в масштабі) відстань від свердловини 3 до точки Б;  $l = 104$  м. Напір в будь-якій точці вимірюють від умовної горизонтальної лінії, відповідно в свердловині 3 та точці Б їх можна прийняти рівним абсолютним відміткам рівня ґрунтових вод, тобто  $H_1 = 27,3$  м,  $H_2 = 22,4$  м.

$$\vartheta = 3,4 \cdot \frac{(27,3 - 22,4)}{104} = 0,16 \text{ м/добу}$$

Дійсна швидкість потоку:

$$U = \frac{\vartheta}{n} = \frac{0,16}{0,38} = 0,42 \text{ м/добу}$$

Витрати можна обрахувати по закону Дарсі:

$$q = k \cdot i \cdot h$$

де  $h$  - середня потужність водоносного горизонту.

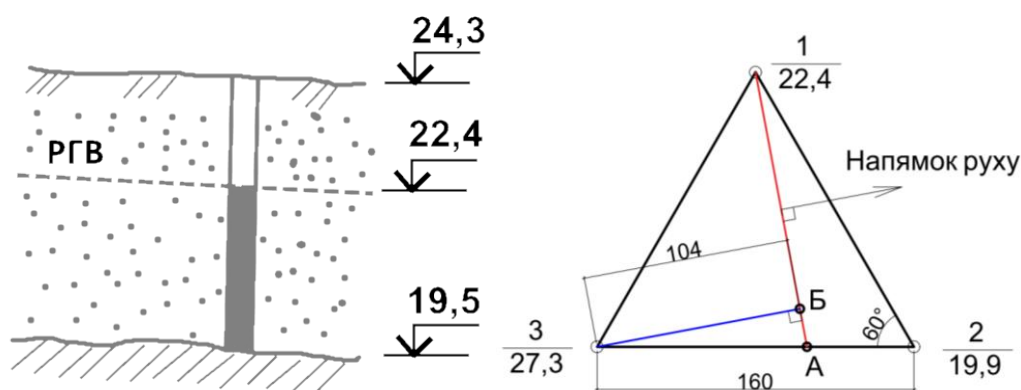


Рисунок 3.2 – Приклад розв'язку

### Приклад 3.2

На основі отриманих даних побудувати схему й визначити приплив підземних вод до досконалої безнапірної свердловини з круговим контуром живлення при горизонтальному водоупорі.

Відповідь на завдання варто супроводжувати схемою припливу води до досконалої ґрунтової свердловини. При цьому літерні позначення на схемі замінити їх числовими значеннями. Приплив води (дебіт) до досконалої безнапірної свердловини слід розраховувати за формулою Дюпюї, попередньо визначивши радіус впливу відкачки за формулою Кусакіна.

Схема для вирішення завдання зображена на рис.3.3. При виконанні завдання буквені значення слід замінити числовими. Приплив води (дебіт) до досконалої безнапірної свердловини з круговим контуром живлення при горизонтальному водоупорі визначити за однією з двох (в залежності від варіанта) формул:

$$Q = 1,366 \cdot K_{\phi} \cdot \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r} \quad \text{при } a \geq R$$

$$Q = 1,366 \cdot K_{\phi} \cdot \frac{H^2 - h^2}{\lg 2a - \lg r} \quad \text{при } a < 0,5R$$

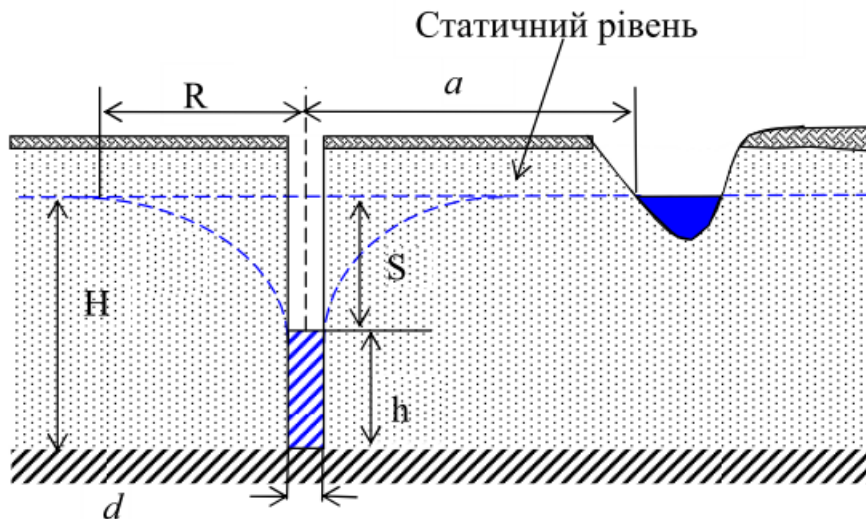


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема

Вчислити абсолютну відмітку статичного рівня ґрунтових вод як різницю між абсолютною відміткою гирла свердловини і глибиною залягання рівня ґрунтових вод.

Потужність водоносного горизонту  $H$  знайти як різницю абсолютних відміток статичного рівня й покрівлі водоупору; висота стовбура води у свердловині при відкачці:

$$h = H - S$$

Радіус впливу:

$$R = 2 \cdot S \cdot \sqrt{H \cdot K_{\phi}}$$

За значенням радіуса впливу ( $R$ ) визначити, яку з двох формул слід застосувати для визначення дебіту досконалої свердловини.

Радіус свердловини  $r = 0,5 \cdot d$  [м].

### Приклад 3.3

На основі отриманих даних побудувати схему і визначити приплив води до досконалої артезіанської або ґрунтово-артезіанської свердловини з круговим контуром живлення і при горизонтальному водоупорі.

Відповідь на завдання слід супроводжувати схемою і літерні позначення на ній необхідно замінити числовими (варіантними) значеннями.

Для визначення радіуса впливу відкачки потрібно користуватися формулою Зіхардта.

Заздалегідь встановити тип свердловини – артезіанська або ґрунтово-артезіанська. В сучасній артезіанській свердловині (рис. 3.4 а) динамічний рівень, тобто рівень води у свердловині не опускається нижче покрівлі водоносного горизонту.

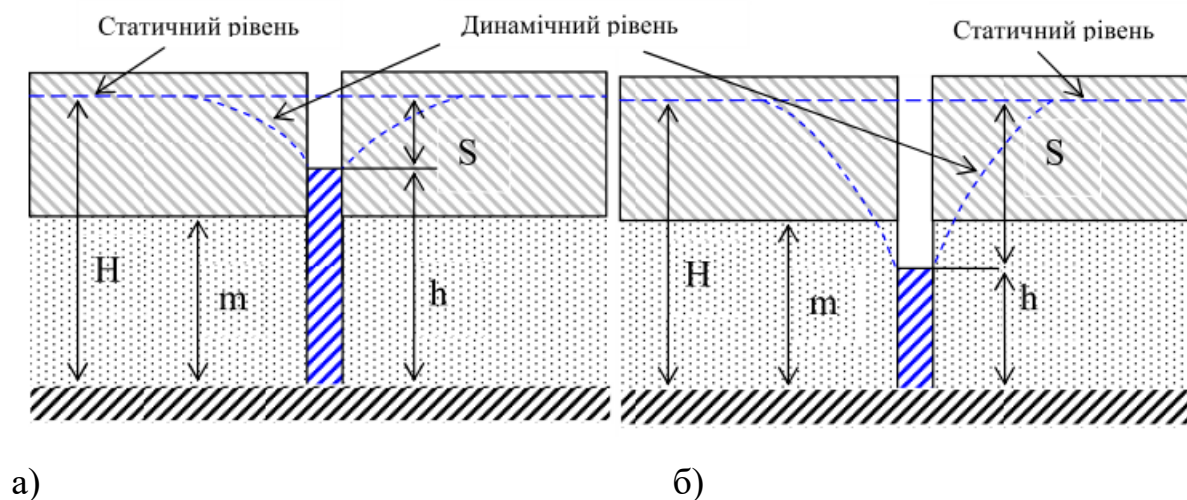


Рисунок 3.4: а) артезіанська свердловина; б) ґрунтово-артезіанська свердловина

У досконалій ґрунтово-артезіанській свердловині (рис. 3.4 б) динамічний рівень опускається нижче водоносного горизонту.

Дебіт досконалої артезіанської свердловини визначається за формулою:

$$Q = 2,73 \cdot K_{\phi} \cdot \frac{m \cdot S}{\lg R - \lg r}$$

а дебіт досконалої ґрунтово-артезіанської свердловини за формулою:

$$Q = 1,366 \cdot K_{\phi} \cdot \frac{(2H - m) \cdot m - h}{\lg R - \lg r}$$

У цих формулах:

- $K_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації [м/добу];
- $m$  – потужність водоносного горизонту, що визначається як різниця між глибиною залягання підшви верхнього водоупору і глибиною залягання по кривлі нижнього водоупору [м];
- $S$  – пониження рівня води в свердловині при відкачці (визначається як різниця між глибиною залягання п'єзометричного рівня і глибиною залягання динамічного рівня [м];
- $H$  – висота п'єзометричного натиску, що визначається як різниця між глибиною залягання п'єзометричного рівня і глибиною залягання по кривлі нижнього водоупору [м];
- $h$  – висота стовбура води в свердловині під час відкачки, що визначається як різниця між глибиною залягання динамічного рівня і глибиною залягання по кривлі нижнього водоупору [м];
- $r$  – радіус свердловини, що дорівнює половині її діаметру [м];
- $R$  – радіус впливу, що визначається за формулою Зіхарда [м].

$$R = 10 \cdot S \cdot \sqrt{K_{\phi}}$$

### Приклад 3.4

Побудувати схему й визначити двосторонній приплив ґрунтових вод до зробленої траншеї (горизонтальній дрени).

Відповідь на завдання потрібно супроводжувати схемою. Буквені позначення на схемі необхідно замінити числовими (варіантними) значеннями.

Заздалегідь вичислити глибину залягання статичного рівня ґрунтових вод як різницю між абсолютною відміткою поверхні землі та абсолютною відміткою статичного рівня.

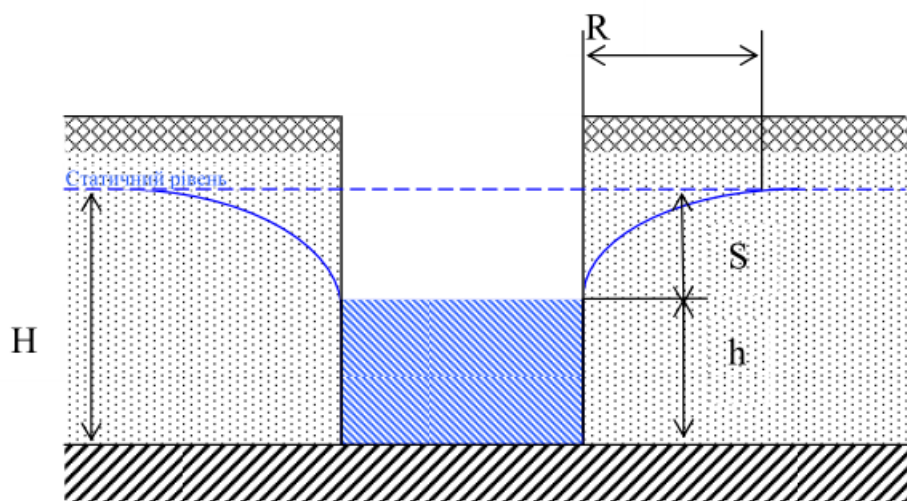


Рисунок 3.5 – Схема розрахунку траншеї

Дебіт розташованого нормально потоку горизонтального безнапірного досконалого водозабору (траншеї, канави, галереї, штольні і т. д.) [м<sup>3</sup>/добу]:

$$Q = l \cdot K_{\phi} \cdot \frac{H^2 - h^2}{R}$$

де  $l$  – довжина траншеї, [м];

$K_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації, [м/добу],



**Лабораторна робота №4**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНІСТЬ ГРУНТУ**  
**ТА ПРИРОДНОЇ ВОЛОГОСТІ ГРУНТУ**

**Частина 4.1. ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ГРУНТУ**

**Мета роботи:** навчитися визначати щільність ґрунту.

**Завдання роботи:** визначити щільність зразків лабораторного ґрунту.

**Теоретична частина.**

Ґрунт – це будь-яка гірська порода чи рослинний ґрунт (а також тверді відходи виробничої та господарської діяльності людини), які становлять багатокomпонентну систему, що змінюється в часі, і використовується як основа, середовище або матеріал для зведення будинків та інженерних споруд [30].

Звичайно на практиці найчастіше в Україні зустрічаються дисперсні ґрунти. Для оцінки параметрів скельових ґрунтів потрібно використовувати інші методи.

За допомогою фізичних характеристик передусім визначають тип, вид і стан ґрунту, що складає ґрунтову основу. Крім того, їх використовують в різних розрахунках несучої здатності, міцності і деформацій основи, стійкості укосів і насипів, при визначенні тиску ґрунту на огорожувальні конструкції тощо.

Щільністю ґрунту називається відношення маси зразка ґрунту, включаючи масу води в його порах, до його об'єму, г/см<sup>3</sup>, т/м<sup>3</sup>:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

де:  $m$  – маса зразка ґрунту;

$V$  – об'єм зразка ґрунту.



Щільність залежить від мінералогічного складу, пористості та вологості ґрунту. Чим важче мінерали і більше вологість, тим більше  $\rho$  і, навпаки, чим більше пористість тим менше  $\rho$ . При повному насиченні пор водою значення  $\rho$  часто перевищує  $2,0 \text{ т/м}^3$ . Щільність ґрунтів, що зустрічаються в будівельній практиці, коливається в межах  $1,4 \dots 2,2 \text{ т/м}^3$  [31].

Найбільш поширений і універсальний – метод ріжучого кільця [3], за допомогою якого виконується дана лабораторна робота [32].

**Необхідне обладнання:** пробовідбірник (ріжуче кільце), штангенциркуль (лінійка), ніж з прямим лезом довжиною більше діаметра кільця, дві пластинки зі скла (або металу), електронні ваги.



Рисунок 4.1 – Пробовідбірники ґрунту [34]



Рисунок 4.2 – Обладнання для визначення щільності ґрунту: 1 – штангенциркуль; 2 – ніж; 3 – ріжучі кільця; 4 – металеві пластинки; 5 – електронні ваги

## Виконання роботи.

Методика визначення:

1. Зважити порожнє ріжуче кільце  $m_1$  (г), а при визначенні  $\rho$  піщаних ґрунтів зважити і масу пластинок  $m_3$  (г).
2. Виміряти внутрішній діаметр і висоту кільця та визначити його внутрішній об'єм:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} \quad (4.2)$$

де:  $d, h$  - відповідно внутрішній діаметр і висота кільця, см.

3. Верхню зачищену площину зразка ґрунту вирівняти, зрізуючи надлишки ґрунту ножем. Встановити на ній ріжучий край кільця та злегка вдавнити кільце в ґрунт. Потім ґрунт зовні кільця обрізати на глибину 5...10 мм нижче ріжучого краю кільця, періодично, у міру зрізання ґрунту, легким натиском вдавлювання кільце в ґрунт, не допускаючи перекосів. Після заповнення кільця ґрунт підрізати знизу на 8...10 мм нижче ріжучого краю кільця й відокремити його від моноліту (рис. 4.3). Для забезпечення надійного відбору зразків ґрунту у виробничих умовах використовується спеціальне пресове обладнання.

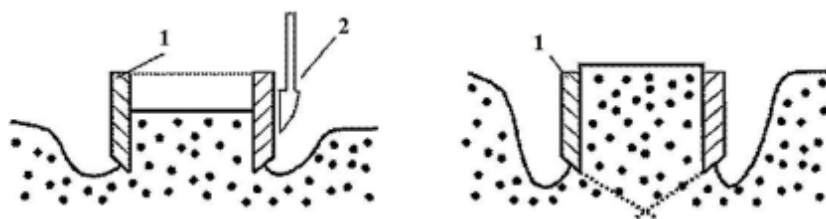


Рисунок 4.3. Відбір зразків ґрунту методом ріжучого кільця: 1 – ріжуче кільце; 2 – ніж [31]

4. Ґрунт, що виступає за краї кільця, підрізати ножем, зачистити поверхню ґрунту на рівні з краями кільця і, якщо випробовується піщаний ґрунт, закрити торці задалегідь зваженими пластинками зі скла (або металу).

5. Зважити кільце з ґрунтом (для піщаного ґрунту з пластинками):  $m_2$  (г).
6. Кільце очистити від ґрунту, а дані занести в журнал випробування (табл. 1.1) і визначити масу зразка ґрунту:

$$m = m_2 - (m_1 + m_3)$$

7. Щільність ґрунту обчислити за формулою (4.1):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

8. Провести паралельно не менше двох визначень. Розбіжність в кінцевих результатах для однорідних ґрунтів більше  $0,03 \text{ г/см}^3$  не допускається. За величину  $\rho$  прийняти середнє арифметичне значення. Результати занести в табл. 4.1. У виробничих умовах з кожного шару ґрунту потрібно отримати в межах 6...15 зразків, що використовуються для визначення нормативних і розрахункових величин при статистичній обробці результатів визначень [33].

Таблиця 4.1 – Результати визначення щільності ґрунту

№ з/п	Маса, г				Розміри кільця, см		Об'єм ґрунту, $\text{см}^3$	Щільність ґрунту, $\text{г/см}^3$
	порожнього кільця	ґрунту з кільцем і пластинкам	пластинок	ґрунту	висота	внутрішній діаметр		
1								
2								
Середнє арифметичне значення:								



## Частина 4.2. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ

**Мета роботи:** навчитися визначати вологість ґрунту.

**Завдання роботи:** визначити вологість зразків лабораторного ґрунту.

### Теоретична частина

Вологість ґрунту – вміст у ньому деякої кількості води. Вологістю ґрунту називають відношення маси води, що міститься в порах зразка ґрунту, до маси сухого ґрунту того ж зразка:

$$w = \frac{m_w}{m_d}, \quad (4.3)$$

де:  $m_d$  – маса сухого ґрунту;

$m_w$  – маса води, що знаходиться в порах ґрунту.

Вологість ґрунту природної будови називається природною. Вологість ґрунту вимірюється у відсотках або долях одиниці і визначається одним зі способів: пікнометричним, прискореним або ваговим. Найбільше поширення отримав ваговий метод, за допомогою якого виконується дана лабораторна робота у відповідності з ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [3].

**Необхідне обладнання:** шпатель, бюкси, електронні ваги, сушильна шафа, ексикатор з хлористим кальцієм (для поглинання вологи) (рис. 4.4).

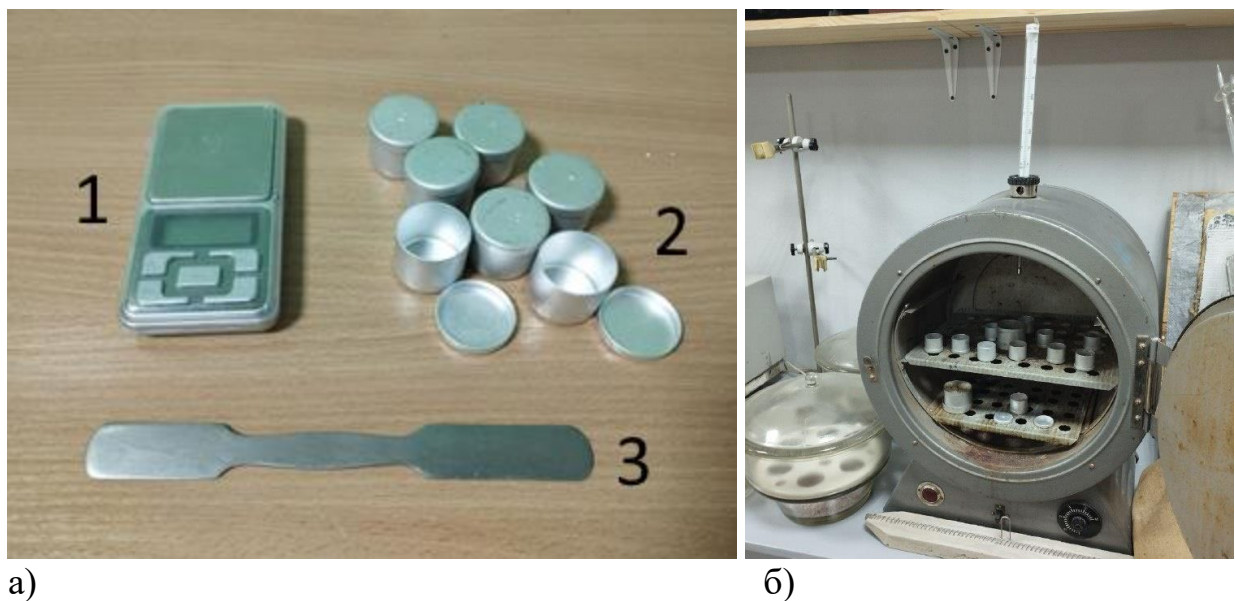


Рисунок 4.4 – Обладнання для визначення природної вологості ґрунту: а) 1 – електронні ваги; 2 – бюкси; 3 – шпатель; б) ексикатор та муфельна піч





## Лабораторна робота №5

### ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЧАСТИНОК ҐРУНТУ.

### ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ТА СТАНУ ПІЩАНОГО ҐРУНТУ.

### ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ ДЛЯ ПІСКУ

#### Частина 5.1. ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЧАСТИНОК ҐРУНТУ

**Мета роботи:** навчитися визначати щільність частинок ґрунту.

**Завдання роботи:** визначити щільність частинок піщаного ґрунту.

#### Теоретична частина

Щільністю частинок ґрунту  $\rho_s$  називається маса одиниці об'єму твердих (скелетних) часток ґрунту:

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_s}, \quad (5.1)$$

де:  $m_d$  – маса сухого ґрунту (твердої фази);

$V_s$  – об'єм частинок ґрунту.

Щільність частинок ґрунту цілком залежить від мінералогічного складу, змінюючись у вузьких межах. Осереднені значення  $\rho_s$  для різних ґрунтів можуть прийматися: для пісків 2,64...2,66 г/см<sup>3</sup>; супісків – 2,68...2,70 г/см<sup>3</sup>; суглинків – 2,70...2,72 г/см<sup>3</sup>; для глин – 2,74...2,76 г/см<sup>3</sup>.

Щільність частинок ґрунту визначають за допомогою пікнометричного методу. Вимірювання щільності пікнометром (рис. 5.1) базується на зважуванні речовини, що знаходиться в ньому (зазвичай в рідкому стані), яка заповнює пікнометр до мітки на горловині або до верхнього краю капіляра, що відповідає номінальній місткості пікнометра.

При цьому слід пам'ятати, що в процесі визначення  $\rho_s$  в деяких засолених ґрунтах можуть розчинитися прості солі, в результаті чого значення будуть заниженими. Тому при проведенні дослідів воду необхідно замінити нейтральною рідиною (гас, толуол тощо). Крім того, в зв'язних ґрунтах навколо глинистих частинок молекулярні сили можуть утворити вельми міцні плівки зв'язаної води, збільшуючи значення  $\rho_s$ . Щоб уникнути цього при



експериментах замість води слід застосовувати рідини з невеликим поверхневим натягом (толуол, ксилол тощо). Адсорбоване на поверхні ґрунтових частинок повітря при зануренні в воду може видалитися не повністю, зменшуючи значення  $\rho_s$ . Тому ґрунт рекомендується попередньо кип'ятити, а в разі його засоленості проводити роботи у вакуумі.

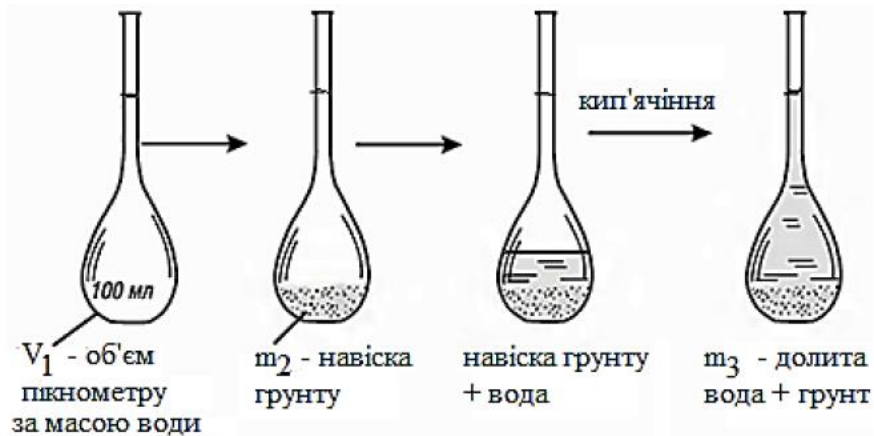


Рисунок. 5.1 Визначення щільності частинок ґрунту пікнометричним методом  
Роботи виконують у відповідності до ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [3].

**Необхідне обладнання:** електронні ваги, пікнометр місткістю не менше  $100 \text{ см}^3$ , воронка, крапельниця, дистильована вода, фільтрувальний папір, шпатель, порцелянова ступка з товкачиком, сито з отворами 2 мм, піщана або водяна баня (рис. 5.2).



Рисунок. 5.2 – Обладнання для визначення щільності частинок ґрунту: 1 – пікнометр ємністю не менше ніж  $100 \text{ см}^3$ ; 2 – лабораторна склянка; 3 – фарфорова ступка з гумовим товкачиком; 4 – воронка; 5 – крапельниця; 6 – порцелянова чашка; 7 – сито з отворами 2 мм; 8 – електронні ваги

### Виконання роботи:

1. Зразок ґрунту довести до повітряно-сухого стану і методом квартування відібрати пробу масою 100 г, просіявши її крізь сито з отворами 2 мм. Залишок на ситі роздрібнити в порцеляновій ступці і з'єднати з просіяним через сито ґрунтом, ретельно перемішавши всю масу.

2. Зважити сухий чистий пікнометр ( $m_1$ , г).

3. З отриманої проби взяти навіску ґрунту масою 15...20 г на кожні 100 см<sup>3</sup> ємності мірної колби-пікнометру.

4. Навіску ґрунту через лійку обережно насипати в пікнометр і визначити масу пікнометра з ґрунтом ( $m_2$ , г).

5. Налити в пікнометр дистильовану воду до половини його об'єму, ґрунт з водою обережно збовтати і кип'ятити на піщаній бані для видалення адсорбованого повітря і розчленування агрегатів глинистого ґрунту (протягом 30 хв. для пісків і 60 хв. для глин). Наявність ґрунтових частинок на внутрішніх стінках пікнометра вище рівня води не допускається (рис. 5.3).

6. Остудити пікнометр до кімнатної температури і долити в нього дистильованої води до мірної риски (на шийці пікнометра) по нижньому рівню менікса, використовуючи крапельницю. Протерти пікнометр фільтрувальним папером і зважити ( $m_3$ , г). Зовнішня поверхня пікнометру і внутрішня поверхня шийки повинні бути сухими і чистими.

7. Пікнометр промити, знову заповнити дистильованою водою до мірної риски і, протерши фільтрувальним папером, зважити ( $m_4$ , г).

8. Вилити воду з пікнометра і поставити його сушити на підставку, а дані занести в журнал (табл. 5.1) і визначити щільність частинок ґрунту:

$$\rho_s = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_w}{(m_4 + m_2) - (m_3 + m_1)}, \quad (5.2)$$

де  $\rho_w$  – щільність води, яка дорівнює 1 г/см<sup>3</sup>.

9. Виконати паралельно не менше двох визначень. Розбіжність більше 0,02 г/см<sup>3</sup> не допускається. За величину  $\rho_s$  прийняти середнє арифметичне значення.



Рисунок 5.3 – Кип'ятіння ґрунту на піщаній бані

Таблиця 5.1 – Результати визначення щільності частинок ґрунту

№ досліду	Маса пікнометру, г				Щільність частинок ґрунту, $\rho_s$	
	порожнього $m_1$	з ґрунтом $m_2$	з ґрунтом і водою $m_3$	з водою $m_4$	із досліду	середня
1						
2						

#### Примітка

Ґрунтова проба може бути взята вже висушена, а при роботі з чистим кварцевим піском середньої крупності досвід можна проводити без кип'ятіння води з ґрунтом, обмежуючись простим збовтуванням протягом 1...2 хв.



## Частина 5.2. ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ТА СТАНУ ПІЩАНОГО ҐРУНТУ

**Мета роботи:** навчитися визначати вид та стан піщаного ґрунту.

**Завдання роботи:** визначити щільність частинок піщаного ґрунту.

### Теоретична частина

Ґрунти складаються з окремих часток різної форми, крупності і мінералогічного складу.

Група часток з приблизно однаковими діаметрами певного діапазону називається фракцією. Найбільш поширена класифікація найменування частинок ґрунту залежно від фракцій представлена в табл. 5.2 у відповідності до ДСТУ Б В.2.1-2-96. [35].

Таблиця 5.2 – Найменування частинок ґрунту залежно від фракцій

Найменування частинок	Розміри частинок, мм
галькові (щебеневі)	100...20
гравійні (дресв'яні)	20...2
піщані	2,0...0,05
пилуваті	0,05...0,005
глинисті	<0,005

Під гранулометричним складом розуміють відносний вміст у породі первинних часток різного розміру. Для різних типів ґрунтів існують відповідні методи визначення гранулометричного складу. Для піщаних ґрунтів – це ситовий метод з промивкою або без промивки (в залежності від розміру часток), для глинистих ґрунтів застосовують ареометричний метод. Ситовий аналіз з промивкою водою застосовується для глинистих пісків, а ситовий аналіз без промивки – для чистих пісків.

Роботи виконують у відповідності до ДСТУ Б В.2.1-19:2009 [36].

**Необхідне обладнання:** електронні ваги, шпатель, набір стандартних сит, чашечки Ø 8...10 см (рис. 5.4).

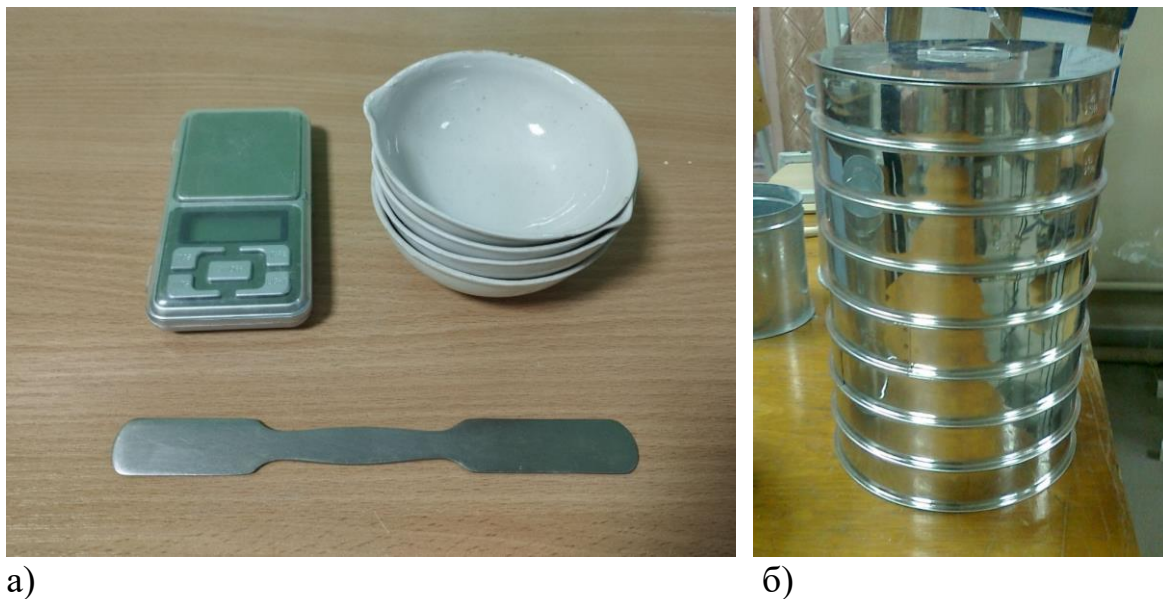


Рисунок 5.4 – Обладнання для визначення виду та стану піщаного ґрунту: а) електронні ваги, фарфорові чашечки, шпатель; б) набір стандартних сит

### **Виконання роботи:**

1. Зразок піщаного ґрунту довести до повітряно-сухого стану і методом квартування відібрати пробу масою 100...200 г (пісок вже приготовлений в лабораторії для аналізу).

2. З отриманої проби взяти наважку ґрунту з точною масою 100 г. Перевірити якість сит та звільнити їх від можливих залишків ґрунту від попереднього визначення. Сита розташувати вертикальної колонкою так, щоб вони були розміщені зверху вниз за зменшенням розміру отворів послідовно: 2, 1, 0.5, 0.25, 0.1 мм і піддон. На верхнє сито висипати підготовлену наважку ґрунту.

3. Легкими круговими рухами в горизонтальній площині протягом 3...5 хв. просіяти пісок через набір сит. Внаслідок цього ґрунт розділиться на фракції, що залишаться на кожному ситі і піддоні

4. Вміст кожного сита і піддону висипати у заздалегідь зважені чашечки і зважити. Отриманий результат (після вирахування маси чашечок) занести в журнал (табл. 5.3). Сума всіх фракцій повинна складати 100 г.

Розбіжність між масою наважки і сумою мас всіх фракцій більше 1г не допускається. Цю різницю необхідно розподілити пропорційно до мас фракцій так, щоб загальна сума дорівнювала початковій, тобто 100 г. Результати кожного зважування записувати в графу «Маса фракції» (рядок 1, табл. 5.3). Визначити з урахуванням поправки вміст кожної фракції у відсотках (рядок 2, табл. 5.3).

5. Послідовним підсумовуванням (рядок 3, табл. 5.3) визначити суму фракцій у відсотках, що мають розмір більший за граничний діаметр (діаметр отворів сит). Визначити різновид піску за гранулометричним складом (табл. 5.4). Висновок записати в журналі (з поясненням).

За даними гранулометричного складу послідовним підсумовуванням визначити суму фракцій у відсотках (рядок 4, табл. 5.3), що мають розмір менше за граничний діаметр (діаметр отворів сит) і побудувати сумарну криву (рис. 5.5). Остання будується в напівлогарифмічному або в лінійному масштабі. За допомогою сумарної кривої знайти  $d_{10}$  і  $d_{60}$  (діаметр часток ґрунту, який відповідає вмісту відповідно 10% та 60%), для чого проводять горизонтальні лінії з позначки 10% та 60% до перетину з кривою і опускають перпендикуляри на горизонтальну вісь. Знайти ступінь неоднорідності (для пісків гравіюватих, крупних і середньої крупності) :

$$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (5.3)$$

де:  $d_{10}$  і  $d_{60}$  – діаметр часток ґрунту, який відповідає вмісту відповідно 10% та 60%.

Визначити стан піщаного ґрунту згідно табл. 5.5. Це додаткове найменування записати у висновки журналу (з поясненням).

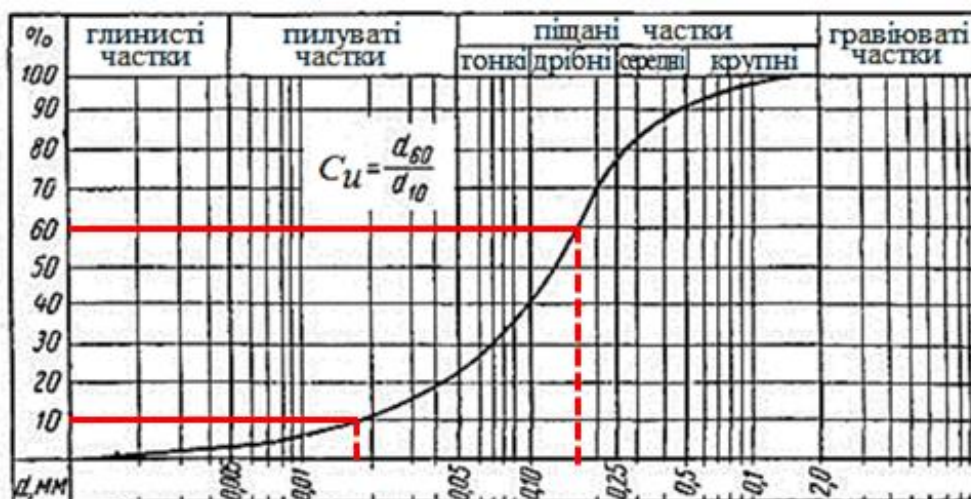


Рисунок – 5.5. Приклад графічного зображення гранулометричного складу – сумарна крива [31]

Таблиця 5.3 – Результати ситового аналізу ґрунту

№ п.п.	Показники	Діаметр отворів сит, мм					Піддон ≈ 0
		2,0	1,0	0,5	0,25	0,1	
1	Маса фракцій, г						
2	Вміст фракцій по масі, %						
3	Сума фракцій у %, що мають розмір > за граничний діаметр						
4	Сума фракцій у %, що мають розмір < за граничний діаметр						

Таблиця 5.4 – Різновид піщаних ґрунтів

Назва різновиду піску	Розмір часток, d, мм	Вміст часток, % за масою
Гравіюватий	> 2,0	> 25
Крупний	> 0,50	> 50
Середньої крупності	> 0,25	> 50
Дрібний	> 0,10	≥ 75
Пілуватий	> 0,10	< 75

Таблиця 5.5 – класифікація піщаних ґрунтів за  $c_u$

Назва різновиду піску за ступенем неоднорідності гранулометричного складу $c_u$	
≤ 3	> 3
однорідний	неоднорідний





### Частина 5.3. ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ ДЛЯ ПІСКУ

**Мета роботи:** навчитися визначати кут природного укосу.

**Завдання роботи:** визначити щільність кута природного укосу піску.

#### Теоретична частина

Кутом природного укосу  $\psi$  називається кут, при якому незакріплений піщаний укіс зберігає граничну рівновагу, або кут, під яким розташовується пісок після вільного обвалення. Кут  $\psi$  використовується при виробництві земляних робіт для призначення безпечних укосів без кріплення. Піски, крім пілуватих, мають кут природного укосу  $\psi$ , що практично дорівнює куту внутрішнього тертя  $\varphi$ . В основному  $\psi < \varphi$ .

**Необхідне обладнання:** сухий сипучий ґрунт, прилад для визначення кута природного ухилу (рис. 5.6).



Рисунок 5.6 – Прилад для визначення кута природного ухилу піску

#### Хід роботи:

1. Впевнитися що прилад справний та немає дефектів. Поставити прилад на стіл. Рухома перегородка при цьому опущена до дна.
2. В прилад до відсіку 1 (рис. 5.7 а) насипати сухий ґрунт (пісок) до позначки.

3. Без поштовхів підняти перегородку вгору притримуючи прилад рукою (рис. 5.7 б), ґрунт при цьому осунеться і займе положення як показано на рис. 5.7 в, утворюючи при цьому кут природного ухилу, який потрібно визначити за допомогою транспортиру або тангенсу:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l}, \quad (5.4)$$

де  $h$  – висота ухилу;

$l$  - основа ухилу.

Для спрощення вимірів на приладі є шкала по висоті та по довжині.

4. Дослід потрібно повторити не менше двох разів. Розходження між повторювальними визначеннями не повинно перевищувати  $2^\circ$ .

5. За кут природного ухилу приймається середнє арифметичне значення результатів окремих визначень, яке виражають в цілих градусах (таблиця 5.6).

Визначення кута природного ухилу піску в підводному стані відрізняється від попереднього дослідження лише тим, що після того як в малий відсік приладу насипають досліджуваний ґрунт, в більший відсік наливають доверху води. Рухому перегородку піднімають на декілька міліметрів, щоб вода могла проникнути в малий відсік. Коли ґрунт весь просочиться водою, піднімають перегородку і дослід продовжують таким же чином як і при дослідженні піску в повітряно-сухому стані.

Таблиця 5.6 – Результати визначень кута природного ухилу ґрунту

№ досліду	Кут в градусах	Середнє значення кута
1		
2		

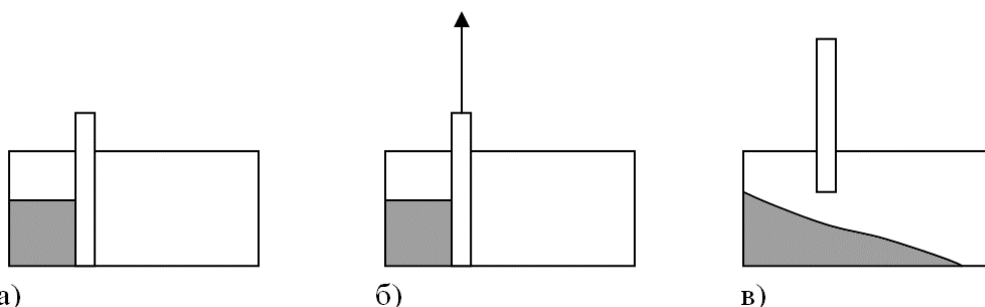


Рисунок 5.7 – Порядок проведення дослідження



**Лабораторна робота №6**  
**ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНОВИДУ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ.**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ НАБУХАННЯ**  
**ТА РОЗМОКАННЯ ҐРУНТІВ**

**Частина 6.1. ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНОВИДУ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ**

**Мета роботи:** навчитися встановлювати назву і стан глинистого ґрунту.

**Завдання роботи:** дослідити глинистий ґрунт, встановити його назву різновиду та стан.

**Теоретична частина**

Властивості глинистих ґрунтів в першу чергу залежать від їх мінералогічного та гранулометричного складу і особливо від вологості. Зі зміною вологості змінюються фізичні характеристики ґрунту, його деформативні показники і міцність, а також консистенція ґрунту, в основному визначає його несучу здатність і поведінку під спорудою (навантаженням).

Під консистенцією розуміється ступінь рухливості частинок ґрунту при механічних впливах, яка змінюється залежно від вологості. Зміна консистенції ґрунту відбувається при певних граничних значеннях вологості. Розрізняють дві границі пластичності – нижня і верхня, звані відповідно вологість на границі розкочування  $w_p$  та вологість на границі текучості  $w_L$ . Це можна зобразити графіком представленим на рис. 6.1 (визначення меж прийнято Аттербергом) :

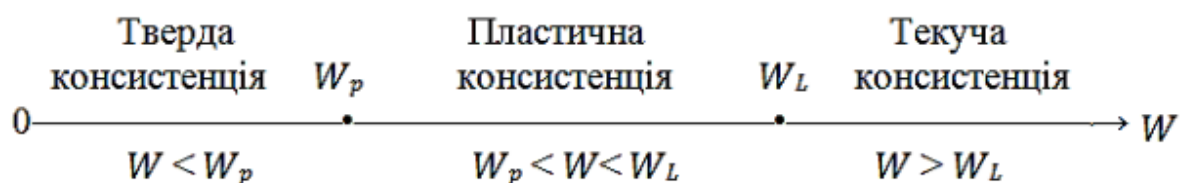


Рисунок 6.1 – Межі вологості на границі розкочування  $w_p$  та вологість на границі текучості  $w_L$

Границею текучості  $w_L$  називається вологість, при збільшенні якої ґрунт переходить з пластичного стану в текучий і навпаки. Границею розкочування  $w_P$  називається вологість, при збільшенні якої ґрунт переходить з твердого стану в пластичний і навпаки.

Величина границь пластичності вимірюється, як і природна вологість, в частках одиниці і залежить від мінералогічного і гранулометричного складу ґрунтів та хімічного складу ґрунтової води.

Різниця граничних вологостей називається числом пластичності:

$$I_p = w_L - w_P, \quad (6.1)$$

Число пластичності показує ступінь глинизації ґрунтів, залежно від якої їх ділять на супіски, суглинки і глини (табл. 4.1), піски мають  $I_p < 1\%$ .

Таким чином, тип глинистих ґрунтів визначається за числом пластичності, а стан - за показником текучості:

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_p}, \quad (6.2)$$

де:  $w$  - природна вагова вологість ґрунту.

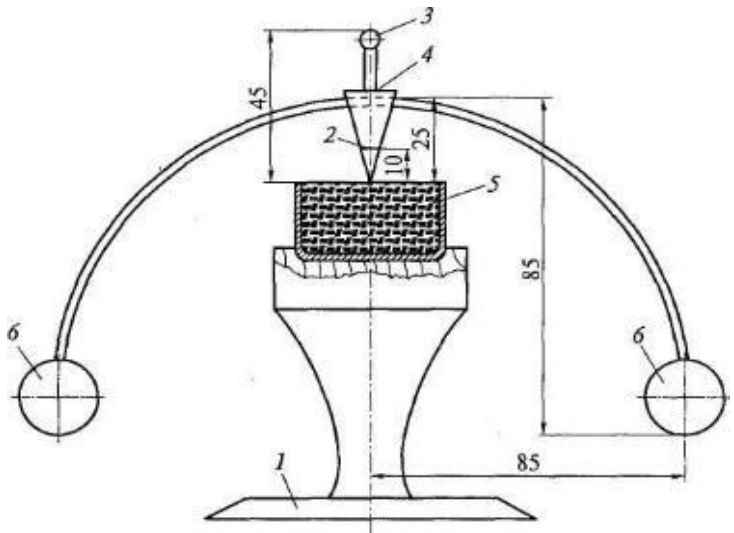
**Необхідне обладнання:** електронні ваги, сушильна шафа, ексікатор з хлористим кальцієм (для збирання вологи), бюкси, шпатель, фарфорова чашка, лист глянцевого паперу або гладка дошка, балансирний конус Василь'єва, тиглі (рисунок 6.2-6.3).



а) Рисунок 6.2 – Обладнання для визначення природної вологості ґрунту: а) 1 – електронні ваги; 2 – бюкси; 3 – шпатель; б) ексікатор та муфельна піч;



а)



б)

Рисунок 6.3 – Обладнання для визначення природної вологості ґрунту: а) фото балансирного конусу Василь'єва та тиглі; б) схема конусу: 1 — підставка; 2 — мітка на конусі; 3 — ручка; 4 — конус; 5 — стаканчик (тиглі) з зразком ґрунту; 6 — балансирні кульки

### Виконання роботи:

1. Зразок ґрунту об'ємом близько  $100 \text{ см}^3$  розім'яти шпателем або подрібнити товкачем в ступці і протерти (або просіяти) крізь сито з отворами 1 мм. Після цього ґрунт помістити в чашку і зволожити до стану густої пасти ретельним перемішуванням. Закрити чашку кришкою і залишити не менше ніж на 2 години для утворення однорідної за вологістю маси.

2. Визначення вологості на границі текучості  $w_L$ .

2.1. Заповнити тигель ґрунтовою пастою врівень з краями без утворення пустот і поставити його на спеціальну підставку.

2.2. На поверхню ґрунту обережно опустити балансирний конус, тримаючи його за ручку, і спостерігати за його вільним зануренням протягом 5 с. Якщо конус зануриться чітко до позначки (на глибину 10 мм), то вологість ґрунту знаходиться на межі текучості  $w_L$ .

2.3. Якщо конус зануриться на меншу або більшу глибину, це свідчить про те, що вологість ґрунту не досягнула або перевищила границю  $w_L$ . У цьому випадку пасту з тигля треба витягти, додати 2-3 краплі води чи навпаки сухого ґрунту та ретельно перемішати пасту. Повторити операції, зазначені в п.2.2.

- 2.4. При досягненні границі текучості  $w_L$  треба взяти навіску ґрунту вагою близько 10...15 г і визначити відповідну вологість ваговим методом, як описано в лабораторній роботі № 4. Тигель очистити від ґрунту, а дані занести в журнал (табл. 6.1)
- 2.5. Провести паралельно не менше двох визначень. Розходження значень вологості в кінцевих результатах більше 0,02 (2%) не допускається. За величину  $w_L$  слід прийняти середнє арифметичне значення.
3. Визначення вологості на границі розкочування  $w_P$ .
- 3.1. Невеликий шматочок ґрунтової пасти розкочати пальцями на скляній або пластмасовій пластинці до утворення джгута діаметром 3...4 мм. Розкочувати джгут з легким натисканням. При цьому надмірна волога буде віджиматися з ґрунту. Якщо при вказаній товщині джгут не кришиться, перемішати його і знову розкочати.
- 3.2. Границя розкочування  $w_P$  вважається досягнутою, коли джгут товщиною 3...4 мм почне кришити по всій довжині на окремі шматочки довжиною 5... 10 мм.
- 3.3. Взяти кілька шматочків джгута загальною масою 10...15 г і визначити їх вологість ваговим способом, як описано в лабораторній роботі № 4. Дані занести в журнал (табл. 6.1).
- 3.4. Провести паралельно не менше двох визначень. Розбіжність більше 0,02 (2%) не допускається. За величину  $w_P$  прийняти середнє арифметичне значення.

Таблиця 6.1 – Результати визначення границь пластичності

№ бюкса	Границя пластичності	Маса бюкса, г					Вологість $w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m}$
		порожнього	з вологим ґрунтом	з сухим ґрунтом			
				m	$m_1$	$m_1'$	
	$w_L$						
	$w_P$						



Таблиця 6.2 – Назва різновиду глинистого ґрунту

Назва різновиду глинистого ґрунту при числі пластичності $I_p$ , д. од.		
0,01...0,07	0,08...0,17	>0,17
супісок	суглинок	глина

Таблиця 6.3 – Стан глинистих ґрунтів за показником текучості

Показник текучості, $I_L$	Назва стану глинистого ґрунту	
	супісок	суглинок, глина
< 0	твердий	
0...0,25	пластичний	напівтвердий
0,26...0,5		тугопластичний
0,51...0,75		м'якопластичний
0,76...1		текучопластичний
> 1	текучий	



а)



б)

Рисунок 6.4 – Проведення дослідження: а) не досягнуто відмітки на конусі, необхідно додати декілька крапель води і ретельно перемішати ґрунт; б) зразки після висушування [7]



## Частина 6.2. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ НАБУХАННЯ ГРУНТІВ

**Мета роботи:** визначити основні характеристики вільного набухання ґрунту за допомогою приладу ПНГ-1.

**Завдання роботи:** ознайомитися з роботою приладу ПНГ-1; дослідити глинистий ґрунт, встановити величину набухання глинистого ґрунту.

### Теоретична частина

Характеристики набухання слід визначати за відносної деформації в умовах, що виключають можливість бічного розширення при насиченні ґрунту водою. Набухання ґрунтів характеризується показниками: відотною деформацією набухання ( $\epsilon_{sw}$ ), вологістю вільного набухання ( $W_{sw}$ ) і тиском набухання ( $P_{sw}$ ); кінетика процесу набухання характеризується швидкістю набухання ( $V_{sw}$ ) і періодом набухання ( $t_{sw}$ ). При визначенні величини набухання ґрунтів застосовується прилад ПНГ конструкції Д.І. Знаменського.

Прилад ПНГ призначений для визначення набухання зв'язних ґрунтів на зразках з природньою структурою, вологістю і на зразках з порушеною структурою.

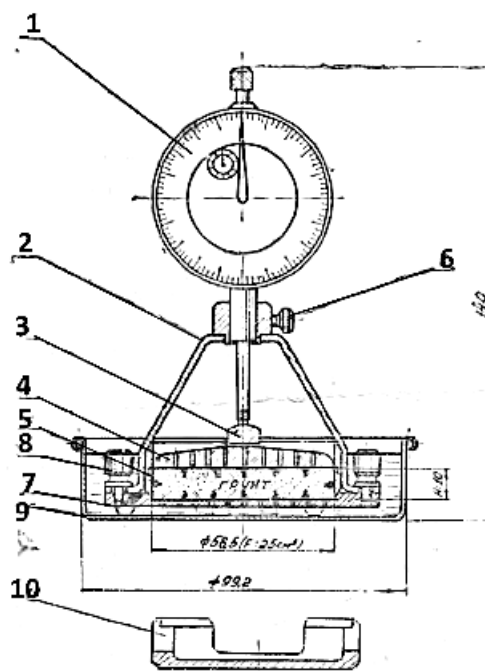
Прилад ПНГ складається з перфорованого диску (7, рис. 6.5), кільця (5) з накладкою (4), з'єднувальної скоби (2), індикатора (1), гвинтів (6), гвинта індикатора (8), поршня (3) і ванночки (9).

Верхня частина перфорованого диску (7) має поглиблення для встановлення кільця і двох отворів з різьбою для гвинтів, за допомогою яких кріпиться з'єднувальна скоба (2), призначена для кріплення кільця з насадкою і установки індикатора.

Всі скріплені між собою деталі встановлюють у ванночку (9).

Кришка (10), що входить в комплект служить для зручності вирізання проби.

**Необхідне обладнання:** прилад набухання ґрунтів (ПНГ), ніж, електронні ваги, сушильна шафа, ексікатор, додаткове кільце (рис. 6.5).



а)

б)

Рисунок 6.5 – Прилад ПНГ: а) фото приладу; б) схема

### Виконання роботи:

1. За допомогою ріжучого кільця приладу, попередньо зваженого на технічних вагах ( $g_1$ ), відбирають з моноліту пробу ґрунту. Кільце з ґрунтом ретельно зачищається, тобто зрізується ножем ґрунт, з обох сторін кільця і знову зважується ( $g_2$ ).

2. Кільце з ґрунтом встановлюється у прилад, який складається з перфорованого піддону з гніздом для кільця і верхнього перфорованого штампа. Знизу і зверху ґрунту прокладається фільтрувальний папір, змочений попередньо водою. Зверху на робоче кільце одягається направляюче кільце.

3. Зібраний таким чином прилад встановлюється в металеву або скляну ванночку. На приладі за допомогою кріпильних гвинтів встановлюють індикатор годинникового типу. При цьому ніжка індикатора повинна торкатися виступу на штампі, а стрілки виставляються у нульове положення.

4. У ванночку наливається вода до середини робочого кільця. Відліки за індикатором беруть через 5, 10, 20, 30 хвилин, далі через 2 години протягом робочого дня, а потім через 24 години до досягнення умовної стабілізації.

Дослід вважається закінченим, якщо приріст показань індикатора за одну добу не перевищує 0,02 мм.

5. Після завершення набухання зразка ґрунту необхідно кільце з вологим ґрунтом (без фільтрів) зважити ( $g_3$ ), а ґрунт з кільця висушити в сушильній шафі і після охолодження в ексикаторі зважити ( $g_4$ ).

Початкова і кінцева вологості розраховуються відповідно за формулами:

$$W_0 = \frac{g_2 - g_1 - g_4}{g_4}, \quad (6.3)$$

$$W_k = \frac{g_3 - g_1 - g_4}{g_4}, \quad (6.4)$$

Визначається також величина абсолютної деформації (набухання) ґрунту ( $\Delta h$ ), мм:

$$\Delta h = h_k - h_0, \quad (6.5)$$

де:  $h_k$  - кінцеве показання індикатора, мм;

$h_0$  - початкове показання індикатора, мм

Величина відносного набухання зразка ( $\varepsilon_{sw}$ ) розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h}, \quad (6.6)$$

де:  $h$  - початкова висота зразка (висота кільця), мм.

Будується графік зміни величини абсолютного набухання в часі



### Частина 6.3. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМОКАННЯ ҐРУНТІВ

**Мета роботи:** навчитись дослідним шляхом визначати показники розмокання глинистих ґрунтів.

**Завдання роботи:** ознайомитися з роботою приладу ПРГ-1; визначити швидкість та характер розмокання глинистого ґрунту, побудувати криву залежності величини розпаду ґрунту від часу.

#### Теоретична частина

Під розмоканням розуміється здатність глинистих ґрунтів при зволоженні втрачати зв'язність і перетворюватися на пухку масу з повною втратою несучої здатності.

Показниками розмокання є:

- 1) час розмокання ( $t_p$ );
- 2) швидкість розмокання зразка,
- 3) характер розмокання:
  - а) час, протягом якого зразок ґрунту, розміщений у воді, втрачає зв'язність і розпадається ;
  - б) характер розпаду.

Залежно від цілей дослідження швидкість і характер розмокання ґрунтів визначають на зразках природного складу і вологості або на зразках порушеного складу, але потім ущільнених до певного стану при відповідній вологості.

Розмокання ґрунтів проводять на приладі ПРГ-1, який призначений для отримання лабораторних даних швидкості і характеру розмокання ґрунтів з порушеною структурою при природній вологості і з порушеною структурою.

Корпус (1, рис. 6.6) приладу виготовлений з прозорого оргскла, на якому нанесена рівномірна шкала (10) з позначками від 0 до 25. На дві опори (2) встановлюють над корпусом вісь (3), що вільно коливається. На осі за допомогою гайки (4) закріплена стрілка (5) і спеціальний скобоподібний важіль (6). Права частина важеля виконана у вигляді дуги кола, а ліва – у вигляді евольвенти, еволюта якої співпадає з центром осі його коливання.

Така конструкція нерівнобічного важеля забезпечує автоматичне урівноваження системи і застосування рівномірної шкали.

До дугової частини важеля підвішено за допомогою гнучкого зв'язку (7) сітку (8) з квадратними отворами 10x10 мм, на яку встановлюють зразок ґрунту. Евольвенту частину важеля полегшує гнучкий зв'язок, на кінці якого закріплено противагу (9).

**Необхідне обладнання:** Прилад для визначення швидкості і характеру розмокання ґрунтів ПРГ-1, ніж, ріжуче кільце, секундомір (рис. 6.6).

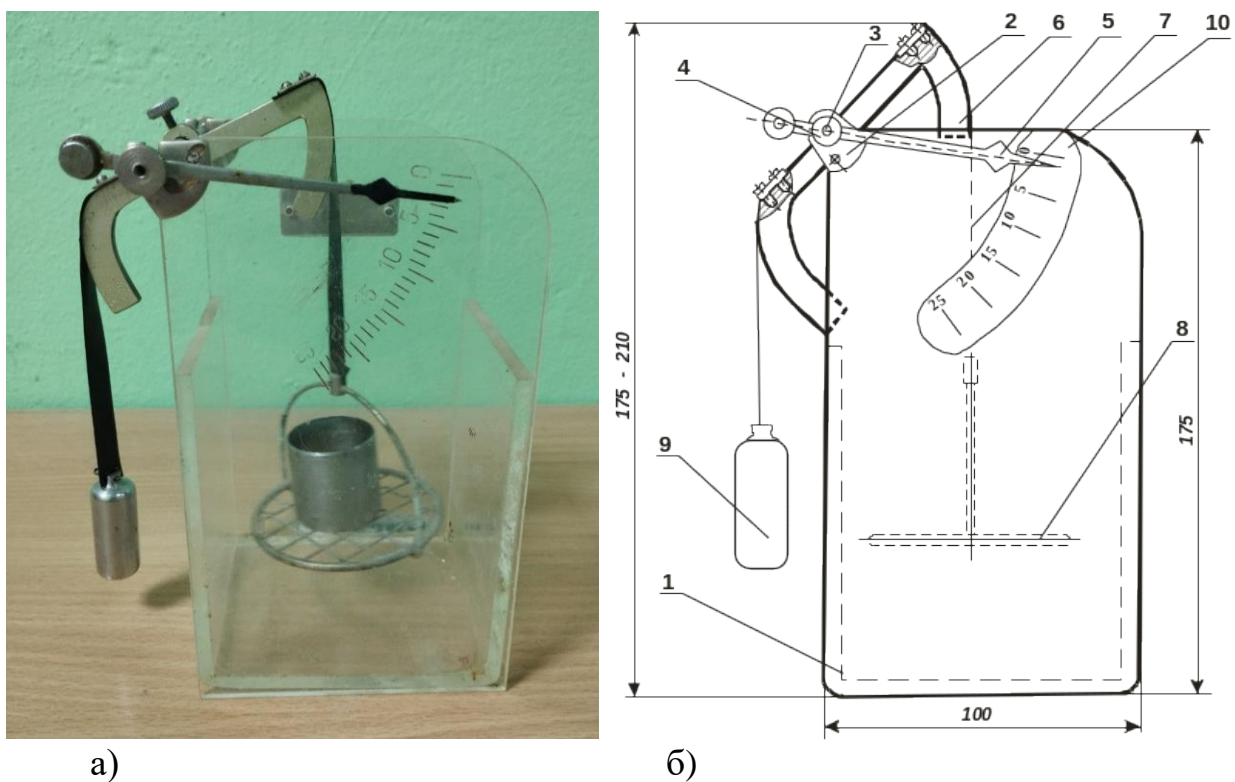


Рисунок 6.6 – Прилад ПРГ-1: а) фото приладу; б) схема

### Виконання роботи:

1. Посудина приладу ПРГ-1 заповнюється водою дистильованою (або близької за складом до неї, впливу якої буде піддаватися ґрунт) на 10 мм нижче верхнього краю корпусу посудини, при цьому стрілка має займати нульове положення.



2. З моноліту вирізують кубики розміром 30 x 30 x 30 мм або циліндрики діаметром 30 мм і висотою 30 мм. Одночасно відбирають пробу для визначення природної вологості ґрунту.

3. Підняти сітку і поставити її на край стінки корпусу. Кубик ґрунту встановлюється на сітку приладу. Притримуючи важіль, сітку з зразком плавно занурюють у воду і записують початковий відлік. Показання шкали знімають у наступні проміжки часу: 1, 5, 10, 30 хвилин, 1, 6, 24 та 48 годин. Пізніше інтервал між спостереженнями змін стану зразку збільшується до одного разу на добу. Дослід вважається закінченим, коли ґрунт повністю провалиться крізь сітку на дно посудини, або коли процес розмочуваності призупиняється і зразок зберігає свій стан без змін тривалий час.

4. Після завершення роботи з приладом вода з корпусу зливається а всі деталі протирають насухо. Шийки осі змащують маслом.

Для описання процесу розмокання іноді обчислюють відсоток розпаду зразка за певний час:

$$P = \frac{H - H_p}{H} \cdot 100\%, \quad (6.7)$$

де: P – відсоток розпаду ґрунту;

H – початкова числова відмітка шкали;

H<sub>p</sub> – позначка шкали в процесі розмокання.

При визначенні швидкості розмокання ґрунту з порушеною структурою розтертий і просіяний через сито (0,5 мм) повітряно-сухий ґрунт заливають водою і готують робочу ґрунтову масу такої консистенції, при якій вона не прилипає до рук при розкочуванні. Після цього відбирають пробу і визначають швидкість розмокання так само, як і з ґрунтом непорушеної структури.

На приладі можна отримати числову характеристику швидкості розпаду ґрунту під водою, а також криву залежності величини розпаду від часу.

Крива може бути побудована за даними числових відміток. Для цього по осі абсцис відкладають час, а по осі ординат – числові дані.



**Лабораторна робота №7**  
**ВИЗНАЧЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ**  
**КОМПРЕСІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ.**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ҐРУНТУ ЗСУВАННЮ НА ПРИЛАДІ**  
**ОДНОПЛОЩИННОГО ЗРІЗУ.**

**Частина 7.1. ВИЗНАЧЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТУ ЗА**  
**ДОПОМОГОЮ КОМПРЕСІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ**

**Мета роботи:** визначити основні характеристики стисливості ґрунту.

**Завдання роботи:** ознайомитися з роботою компресійного приладу КПП-1М з одометром; визначити коефіцієнт ущільнення і модуль деформації ґрунту.

**Теоретична частина**

Ґрунт під фундаментом стискається під дією прикладеного навантаження. Стискаючись, він прагне розширитися в сторони, відчуваючи при цьому протидію з боку навколишнього ґрунту. Якщо розглянути невеликий об'єм ґрунту, що знаходиться під центром фундаменту, то він буде стискатися без бічного розширення за рахунок зменшення об'єму пор тільки за напрямком дії сили, тобто в більшості випадків – у вертикальному напрямку. Таке стиснення ґрунту без можливості його бічного розширення називається компресією і є окремим випадком тривісного стиснення [31].

При компресійних (за міжнародною термінологією – одометричних) випробуваннях (у відповідності до ДСТУ Б В.2.1-4-96. [37]) зразок ґрунту розташовують в обоймі з жорсткими стінками, що виключає його бічне розширення. Прикладається вертикальне навантаження, яке зменшує об'єм зразка за рахунок зменшення об'єму пор, що зовні проявляється у зменшенні його висоти. При цьому визначають залежність коефіцієнта пористості від тиску, яка графічно зображується компресійною кривою (рис. 7.1). Характер компресійної кривої показує ступінь стисливості ґрунту, який може бути виражений коефіцієнтом стисливості  $m_0$  або модулем деформації  $E$ . Таким чином, одна з основних цілей компресійних випробувань – отримати значення

$m_0$ ,  $E$  або  $p_{str}$ , необхідні для розрахунку деформацій основи або осідання фундаментів. Для побудови компресійної кривої необхідно кілька точок, тому завантаження зразка проводиться ступенями. Кожна ступінь навантаження витримується в часі до настання стабілізації осідання ґрунту, щоб його щільність прийшла у відповідність з прикладеним навантаженням. Тільки після цього здійснюється перехід до наступної ступені. Зазвичай значення ступенів навантаження приймається з кроком 0,05 МПа.

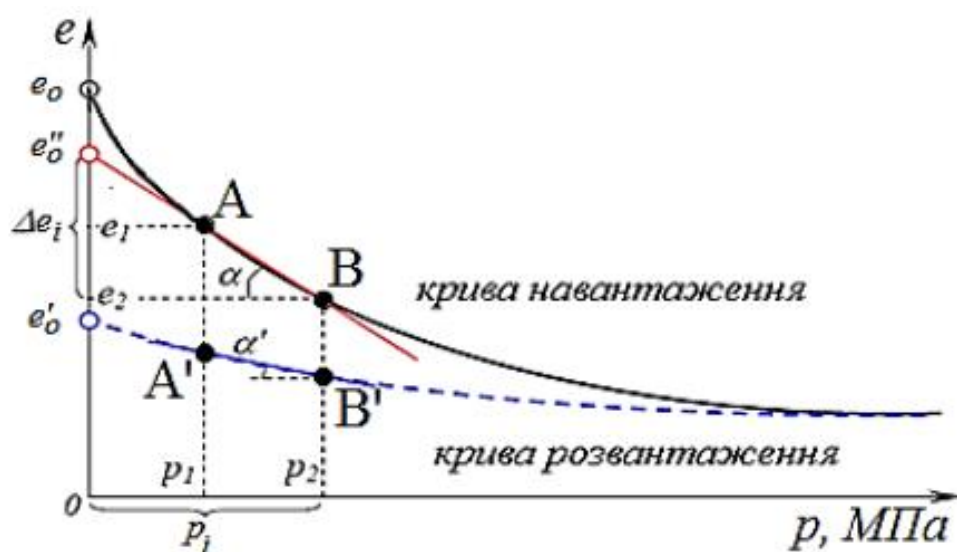


Рисунок 7.1. Компресійна крива за результатами одометричних випробувань

Швидкість стисливості ґрунту (стабілізація деформацій) насамперед залежить від потужності стисливої товщі, вологості ґрунту і його коефіцієнта фільтрації. Стабілізація деформацій для пісків настає порівняно швидко. Деформація глин іноді протікає десятки років. Тому при випробуваннях орієнтуються на умовну стабілізацію деформацій, яка вважається досягнутою, коли приріст деформацій за останні 3 години спостереження для глин і 30 хвилин для пісків не перевищує 0,01 мм. Це призводить до того, що компресійні випробування деяких зв'язних ґрунтів тривають тижнями. Враховуючи навчальний характер даної лабораторної роботи, її виконують з деякими умовними спрощеннями, які полягатимуть в тому, що час витримки кожної ступені навантаження обмежується 2... 3 хв.

Рекомендований нормами (ДБН В.2.1–10–2009 [38]) розрахунок осідання фундаментів ґрунтується на застосуванні закону Гука. Тому для практичного користування ділянку компресійної кривої в певному інтервалі тисків (зазвичай 0,05... 0,25 МПа) замінюють прямою (див. рис.7.1), а шукані характеристики визначають за формулами:

– коефіцієнт стисливості:

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}, \text{ МПа}^{-1} \quad (7.1)$$

– коефіцієнт відносної стисливості:

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0}, \text{ МПа}^{-1} \quad (7.2)$$

– компресійний модуль деформації:

$$E_{0ed} = \frac{1 + e_0}{m_0} \cdot \beta = \frac{\beta}{m_v}, \text{ МПа} \quad (7.3)$$

– модуль деформації:

$$E = E_{0ed} \cdot m_c, \text{ МПа} \quad (7.4)$$

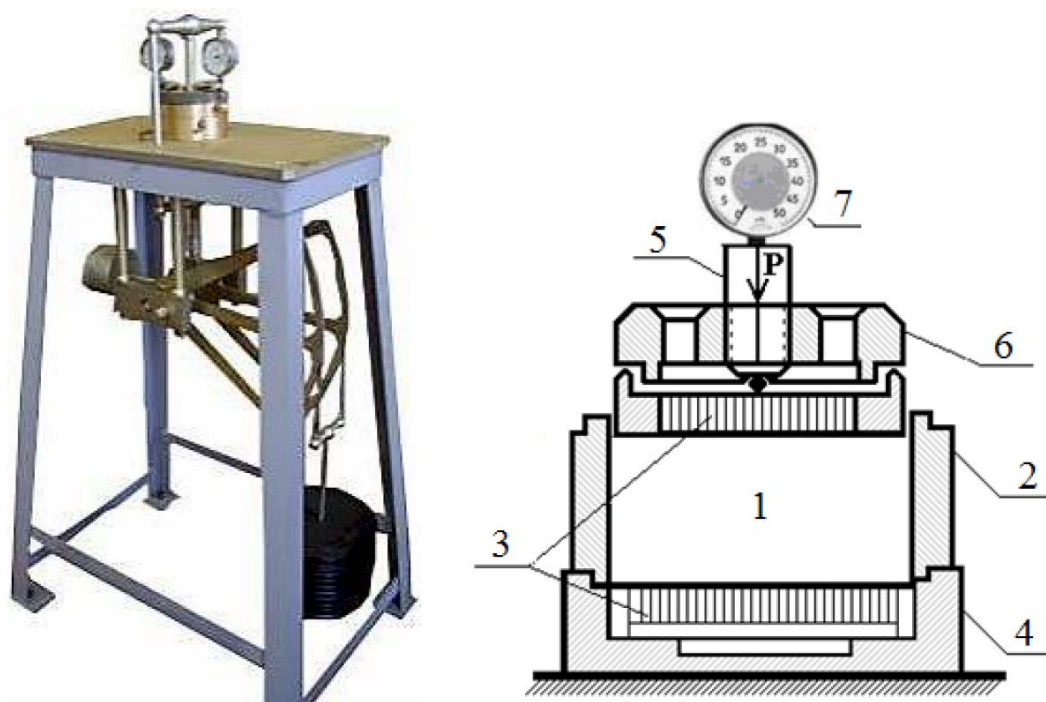
де:  $e_1$  і  $e_2$  – коефіцієнти пористості ґрунту, що відповідають тискам  $p_1$  і  $p_2$  відповідно;  $\beta$  – коефіцієнт, який враховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі і який обчислюють за формулою:

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}, \quad (7.5)$$

$\nu$  – коефіцієнт поперечної деформації, яку визначають за результатами випробувань у приладах тривісного стиску (у разі відсутності експериментальних даних допускається приймати  $\nu$  рівним: 0,30...0,35 – для пісків і супісків; 0,35...0,37 – для суглинків; 0,2...0,3 для глин з  $I_L < 0$  ; 0,3...0,38 при  $0 \leq I_L \leq 0,25$  ; 0,38...0,45 при  $0,25 \leq I_L \leq 1,0$ . При цьому менші значення  $\nu$  приймають при більшій щільності ґрунту);

$m_c$  – коефіцієнт, що враховує невідповідність польових і лабораторних випробувань ґрунту і наближує величину  $E_{0ed}$ , отриману за компресійними випробуваннями, до натурних умов; для навчальної роботи приймається рівним: для пісків – 2, для глин – 3.

Компресійні випробування ґрунтів проводяться в компресійних приладах, званих одометрами. Конструкція їх буває різною залежно від способу прикладання навантаження і цілей дослідження. Але всі вони засновані на загальному принципі, показаному на схемі (рис. 7.2). Одометр складається з металевого кільця, в яке поміщають пробу ґрунту. Кільце встановлюють на піддон. Зверху на кільце опускають штамп – механізм вертикального навантаження з циліндричною обоймою. Вертикально до штампі прикладають навантаження  $p$ , під дією якого штамп переміщується вниз на величину осідання зразка  $\Delta S$ , яке вимірюють за індикатором. Дно і штамп мають отвори для відводу води, що віджимається в процесі випробування. Для цієї ж мети по торцях кільця укладають зволожений фільтраційний папір.



а)

б)

Рисунок 7.2 – Компресійний прилад КПП-1М з одометром [31]: а) – загальний вигляд приладу; б) – принципова схема одометру; 1 – зразок ґрунту; 2 – робоче кільце; 3 – перфорований штамп; 4 – піддон з ємністю для води і перфорованим вкладишем під кільце; 5 – механізм вертикального навантаження; 6 – циліндрична обойма; 7 – індикатор для вимірювання вертикальних деформацій зразка ґрунту

При випробуванні ґрунту попередньо визначають його щільність і щільність частинок ґрунту  $\rho$  і  $\rho_s$ , природну вологість  $w$ , за якими обчислюють початковий (до стиснення) коефіцієнт пористості ґрунту:

$$e_0 = \frac{\rho_s \cdot (1 + w)}{\rho} - 1, \quad (7.6)$$

де:  $\rho_s$  – щільність частинок ґрунту;

$\rho$  – щільність ґрунту;

$w$  – природна вологість ґрунту.

Прикладаючи навантаження, вимірюють відповідну величину переміщення штампа  $\Delta S'$ , від якої віднімають тарувальну поправку  $\Delta S''$  і обчислюють вертикальну деформацію зразка  $\Delta S$ :

$$\Delta S = \Delta S' - \Delta S''$$

Коефіцієнт пористості ґрунту, що відповідає кожній ступені навантаження, визначають за формулою:

$$e_i = e_0 - \frac{\Delta S}{h} \cdot (1 + e_0), \quad (7.7)$$

де:  $h$  – початкова (до стиснення) висота зразка ґрунту в кільці, мм.

**Необхідне обладнання:** одометр, фільтрувальний папір, годинник, тарувальна металева болванка, ніж з прямим лезом, технічні ваги, сушильна шафа, бюкси, ексікатор, штангенциркуль, пікнометр, крапельниця, порцелянова ступка з товкачиком.

### **Виконання роботи:**

1. Заповнити робоче кільце одометра ґрунтом. Вставити кільце з фільтрувальним папером в одометр і привести його в робочий стан, попередньо визначивши тарувальну поправку  $\Delta S''$  в міліметрах. Встановити показання індикатора в нульове положення.

2. Визначити для ґрунту значення  $\rho$ ,  $\rho_s$ ,  $w$  і  $e_0$ .

3. Ступенями по 0,05...0,1 МПа прикладати до зразка ґрунту вертикальне навантаження  $p$  (до 0,3... 0,4 МПа). Кожну ступінь витримати в часі до настання умовної стабілізації деформацій. Стабілізацію вважати умовно досягнутою через 2...3 хв. після прикладання навантаження. По індикаторах визначити відповідну середню деформацію зразка:

$$\Delta S' = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2}{2}, \text{ мм}$$

4. Отримані дані занести в журнал (табл. 7.1). З урахуванням тарувальної поправки обчислити вертикальне обтиснення зразка  $\Delta S$  в міліметрах і відповідний коефіцієнт пористості  $e_i$  для кожної ступені навантаження.

5. Побудувати компресійну криву і визначити по ній для інтервалу тисків 0,05... 0,25 МПа коефіцієнт стисливості ґрунту  $m_0$  і модуль деформації ґрунту  $E$ .

Таблиця 7.1 – Результати компресійного випробування ґрунту

Вертикальний тиск, $p$ , МПа	Відлік по індикатору $\Delta S'$ , мм	Тарувальна поправка $\Delta S''$ , мм	Вертикальна деформація зразка $\Delta S$ , мм	Відносна деформація $\frac{\Delta S}{h}$	Коефіцієнт пористості, $e_i$
0,0	0	0,00	0	0	
0,05		0,05			
0,10		0,08			
0,20		0,12			
0,30		0,14			





## Частина 7.2. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ҐРУНТУ ЗСУВАННЮ НА ПРИБАДІ ОДНОПЛОЩИННОГО ЗРІЗУ

**Мета роботи:** визначити основні властивості міцності ґрунту.

**Завдання роботи:** ознайомитися з роботою приладу ПСГ-2М; визначити значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення.

### Теоретична частина

Порушення міцності (стійкості) ґрунтових масивів (основ) супроводжується утворенням поверхонь ковзання, за якими відбувається зрушення однієї частини ґрунту по іншій. Граничний стан ґрунту за міцністю обумовлюється тим, що дотичне напруження в масиві по елементарних площадках ковзання досягає значення граничного опору ґрунту зрушенню  $\tau$ . Опір ґрунту зрізуванню – характеристика міцності ґрунту, що визначається значенням дотичного напруження  $\tau$ , при якому відбувається зрізування. Величина  $\tau$  для ґрунтів є функцією нормального тиску  $\sigma$ , діючого по площадці ковзання:  $\tau$  наростає із збільшенням  $\sigma$ . Залежність між цими величинами графічно зображується кривою, яка без істотних похибок в розрахунках зазвичай замінюється прямою (рис. 7.3 б, в) [31].

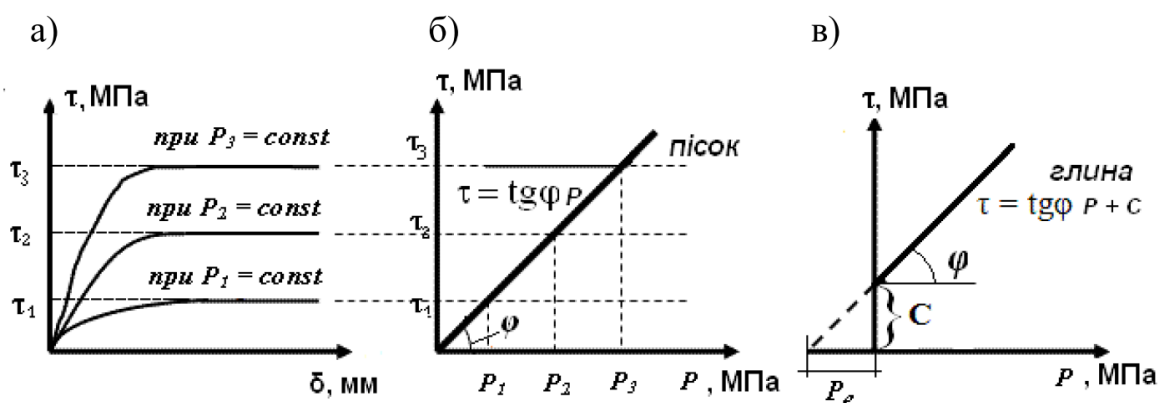


Рисунок 7.3 – Графіки, якими можуть бути представлені результати випробувань на зсувному приладі: а) – залежність деформацій від дотичних напружень; б) – залежність дотичних напружень від нормальних для піщаних ґрунтів; в) – теж для глинистих ґрунтів;  $p_e$  – тиск зв'язності

Такий прийом був вперше введений Кулоном, який запропонував зазначену залежність математично виражати у вигляді рівняння прямої (закон Кулона):

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (7.8)$$

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту;

$c$  – питоме (віднесене до одиниці площі) зчеплення ґрунту.

Ці характеристики використовуються при визначенні несучої здатності основи (для визначення розрахункового опору основи  $R$ ), при розрахунках стійкості масивів (укосів), тиску на огорожі, в розрахунках осідання деяких типів фундаментів (паль) тощо. Визначаються вони експериментально в лабораторних або польових умовах. Опір зсуванню в загальному випадку, крім нормального тиску, залежить від пористості ґрунту, різко зменшуючись зі збільшенням останньої. Також істотний вплив на глинисті ґрунти має їх вологість.

Опір зсуванню також залежить від гранулометричного і мінералогічного складу ґрунтів (у кварцових пісків він більший, ніж у слюдянистих, у крупнозернистих – більший, ніж у пилюватих), природи внутрішніх структурних зв'язків і умов зсування. Останнє особливо характерно для зв'язних ґрунтів. Тому при проведенні експерименту необхідно максимально наближатися до натурних умов напруженого стану основи.

В основному застосовуються два способи випробування зразка ґрунту на зрушення – по відкритій і закритій системі (рис. 7.3-б). Перший передбачає визначення величини  $\tau$  після того, як ґрунт під дією прикладеного тиску  $\sigma$  отримав максимально можливу для даного навантаження щільність – звичайні умови будівництва. За другим способом  $\tau$  визначають відразу після прикладання нормального тиску, не чекаючи ущільнення проби. Кількість і площа контактів ґрунтових частинок під дією прикладеного тиску майже не збільшується, тому стиснення зразка не здійснює істотного впливу на величину  $\tau$ , яка при цьому залежить в основному від питомого зчеплення ґрунту  $c$ . Правда, величина  $c$  дещо збільшується порівняно з першим випадком

в результаті явища релаксації. Дані умови характерні для інтенсивного будівництва на м'якопластичних водонасичених глинистих ґрунтах.

Найбільше поширення в практиці лабораторних досліджень отримали зсувні прилади одноплощинного зрізу (рис. 7.4), в яких зсув відбувається по одній заздалегідь фіксованій площині (рис. 7.5).

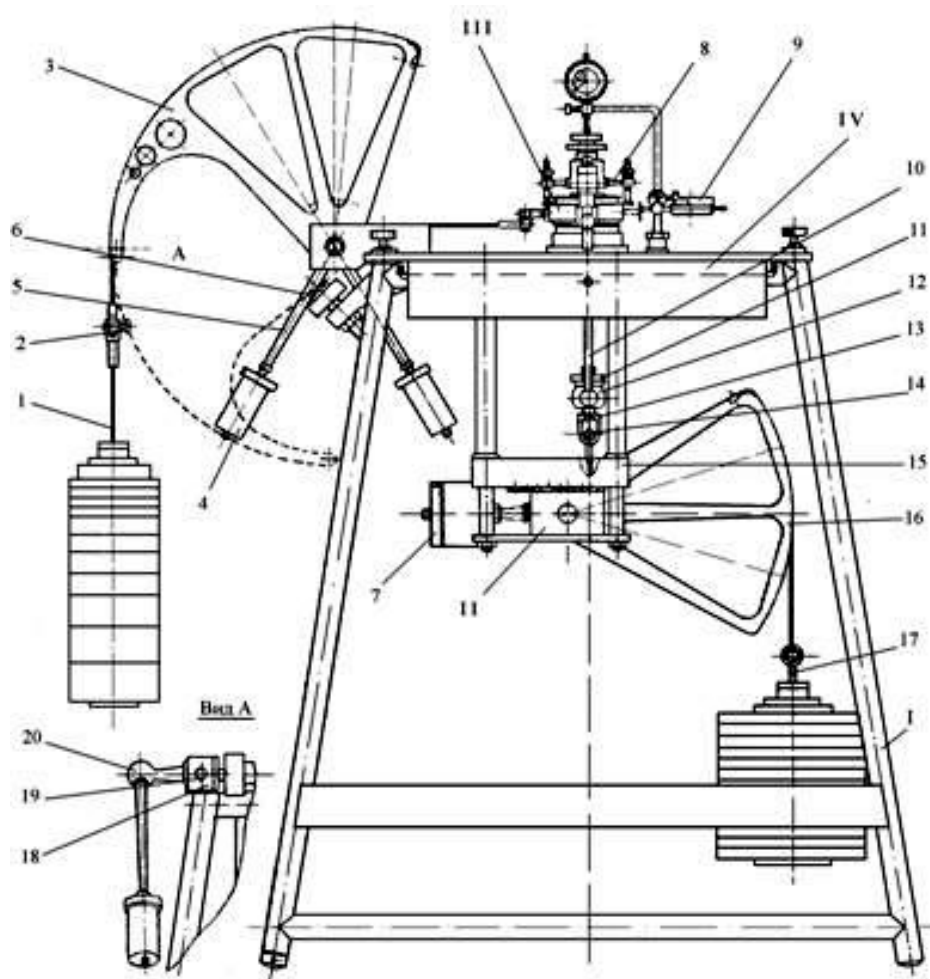


Рисунок 7.4: Схема приладу ПСГ-2М [31]: I – стіл; II – механізм вертикального тиску; III – зрізувач; IV – висувний ящик; 1 – верхня підвіска; 2 – стопорна шпилька; 3 – секторний важіль; 4 – противага; 5 – важіль противаги; 6 – упор; 7 - противага; 8 – верхнє коромисло; 9 – індикатор; 10 тяга; 11 – маховичок; 12 – нижнє коромисло; 13 – натяжний гвинт; 14 – палець; 15 – напрямна повзуна; 16 – сектор; 17 – нижня підвіска; 18 – регульовальна муфта; 19 – гвинт; 20 – наконечник під противагу.

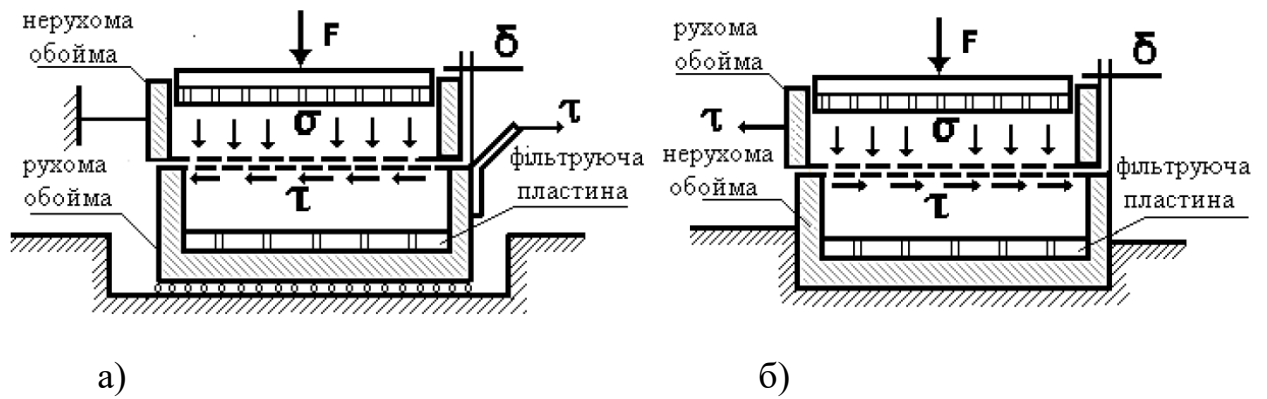


Рисунок 7.5. Принципова схема приладів для випробування ґрунту на зсування [31]: а) – з нижньою рухомою обоймою; б) – з верхньою рухомою обоймою

Принцип випробування полягає в тому, що до зразка ґрунту прикладають певний вертикальний тиск, під дією якого і визначають граничну величину  $\tau$ . Для побудови діаграми зсування необхідно кілька точок, тому  $\tau$  визначають при різних значеннях  $\sigma$ , для чого в прилад щоразу поміщають новий зразок, взятий з одного і того ж моноліту.

Величину  $\tau$  визначають поступовим збільшенням горизонтального навантаження, поки не відбудеться зсування однієї частини ґрунту по іншій. Спричинену горизонтальну деформацію зразка реєструють в часі за відповідним індикатором. Навантаження прикладається ступенями по 5...10% від вертикального тиску  $\delta$ . Перехід від одної ступені до іншої здійснюється після стабілізації горизонтальних деформації  $\delta$ . Паралельно будують графік залежності  $\delta = f(\tau)$ , за яким визначають граничне значення  $\tau$ . Вважається, що зрушення відбулося при переміщенні  $\delta = 1 \dots 3$  мм.

**Необхідне обладнання:** прилад одноплощинного зрізу з нижньою рухомою обоймою типу ВСВ-1, фільтрувальний папір, годинник, прилад для попереднього ущільнення, ніж з прямим лезом.

#### **Виконання роботи:**

1. Заповнити ріжуче кільце ущільнювача ґрунтом.
2. Вставити кільце з фільтрувальним папером в ущільнювач і прикласти вертикальний тиск  $\sigma_1 = 0,1$  МПа. Ґрунт витримати до стабілізації

деформацій, визначивши її за індикатором. Стабілізація вважається досягнутою, якщо за останні 3 години спостереження для глин і 30 хвилин для пісків приріст деформацій не перевищує 0,01 мм.

3. Привести прилад у робочий стан і перенести в нього кільце з ґрунтом із ущільнювача. Показання всіх трьох індикаторів встановити в нульове положення.

4. За допомогою вертикального домкратного гвинта прикласти до зразка ґрунту тиск  $\sigma_1 = 0,1$  МПа, керуючись тарувальною таблицею, що повинна додаватися до приладу.

5. Відпустити стопорний гвинт. Повільно обертаючи горизонтальний домкратний гвинт, прикласти до зразка зсуваюче зусилля  $\tau$  ступенями по 5... 10% від  $\sigma$ , керуючись тарувальною таблицею, що додається до приладу. Кожну ступінь витримувати до настання умовної стабілізації горизонтальної деформації (зсування)  $\delta$ . Стабілізація вважається умовно досягнутою після припинення руху стрілки індикатора, упертого в важіль нижньої обойми, протягом 1...2 хв. Постійно підтримувати незмінне значення  $\sigma_1$ .

6. Визначити граничне зсувне зусилля  $\tau$ . Необхідний момент зсування встановлюється після досягнення  $\delta = 2...3$  мм або при безперервному зсуванні під дією постійного зусилля  $\tau$ . Отримані дані занести в журнал (табл. 7.2).

7. Повторити операції, описані в пп. 1...6 для  $\sigma_2 = 0,2$  МПа і  $\sigma_3 = 0,3$  МПа.

8. Побудувати діаграму зсування і визначити по ній кут внутрішнього тертя  $\varphi$  і питоме зчеплення  $c$ :

$$tg \varphi = \Delta\tau / \Delta\sigma; \varphi = \arctg (\varphi) \text{ (град); } c = \tau - p \cdot tg \varphi \text{ (МПа)}$$

де:  $\Delta\tau$  і  $\Delta\sigma$  – відповідно різниці величин дотичного і нормального тиску, МПа;

$\tau$  і  $\sigma$  – будь-які відповідні одна одній величини дотичного і нормального тиску, МПа.

Таблиця 7.2 – Результати випробування ґрунту на зсув

Вертикальний тиск при зсуві, $P$ , МПа	Горизонтальна деформація (зміщення), $\delta$ , мм	Граничний опір зсуву, $\tau$ , МПа
0,1		
0,2		
0,3		

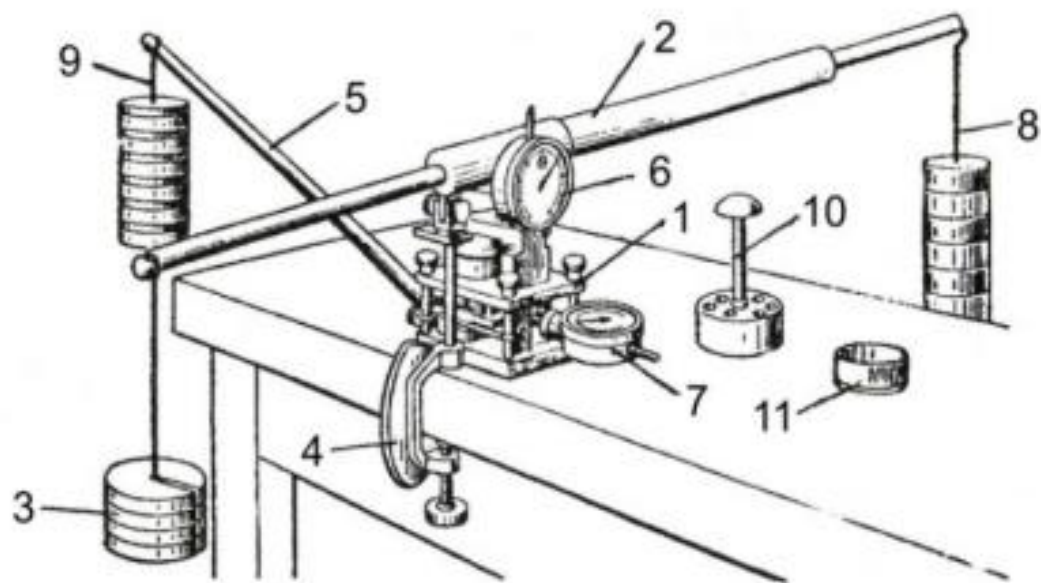
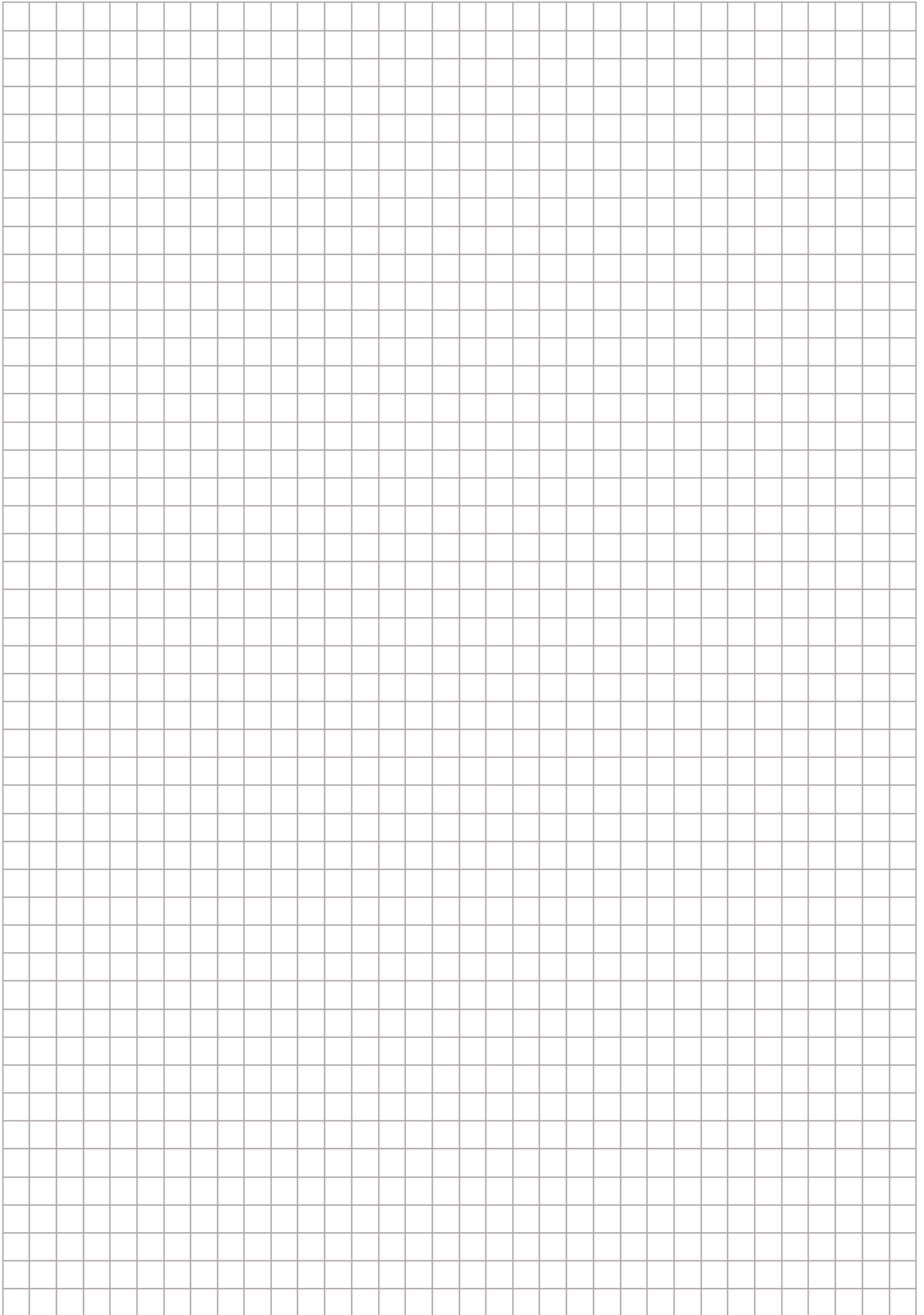


Рисунок 7.6 – Загальний вигляд приладу П10-С випробування ґрунтів на зсув [39]: 1 – основна частина приладу; 2 – важільна система для вертикального навантаження із підвісками для вантажів; 3 – противага важільної системи 2; 4 – струбцина для кріплення приладу та важеля 2; 5 – важіль для горизонтального навантаження з підвіскою та вантажами; 6 – індикатор вертикальних переміщень поршня; 7 – індикатор горизонтальних переміщень нижньої каретки; 8 – вантажний підвіс вертикального навантаження; 9 – вантажний підвіс горизонтального навантаження; 10 – пристрій для переміщення зразка ґрунту з гільзи в прилад; 11 – ґрунтовідбірна гільза





**Для заметок:**



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ Б В.2.1-8-2001. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків / Держбуд України. Київ, 2002.
2. ДБН А.2.1-1-2008 Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва / Мінреґіонбуд України. Київ, 2008.
3. ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей / Мінреґіонбуд України. Київ, 2010.
4. Бур геологічний шнековий БШГ80/6М. URL: [https://images.prom.ua/3425199566\\_w640\\_h640\\_bur-shnekovij-dlya.jpg](https://images.prom.ua/3425199566_w640_h640_bur-shnekovij-dlya.jpg) (дата звернення: 27.05.2023).
5. До 100-річчя Української геології: минуле і сьогодення ДП «Чернігівнафтогазгеологія». URL: <https://nadraukrayny.com.ua/?p=1451> (дата звернення: 27.05.2023).
6. Геологія і нафтогазоносність Голотівщинсько-Мехедівсько-Луценківсько-Свиридівського структурного вузла в Дніпровсько-Донецькій западині [Текст] : [монографія] / Іванишин Володимир Андрійович. Чернігів : Десна, 2013. 334 с.
7. Geolog.if / Буріння / Геологія / Геодезія. URL: <https://cutt.ly/i6r4ot4> (дата звернення: 27.05.2023).
8. Інженерно-геологічні вишукування для будівництва приватного будинку, котеджу. Геологія. URL: [https://images.prom.ua/2710297868\\_w640\\_h640\\_inzhenerno-geologicheskie-izyskaniya.jpg](https://images.prom.ua/2710297868_w640_h640_inzhenerno-geologicheskie-izyskaniya.jpg) (дата звернення: 27.05.2023).
9. Геологія. URL: <https://verum.org.ua/uk/geologiya> (дата звернення: 27.05.2023).
10. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлєв, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. Полтава: ПНТУ, 2004. 568 с.

11. Standard Penetration Test (SPT): Its Importance in Soil Testing and Analysis. URL: <https://civiconcepts.com/blog/spt-test> (дата звернення: 27.05.2023).

12. What is a Site Investigation in Civil Engineering? URL: <https://centralgeotech.com/wp-content/uploads/2020/09/soil-samples-resized.jpg> (дата звернення: 27.05.2023).

13. Аналіз ґрунту. URL: <http://geoport.pro/wp-content/uploads/2019/07/Analiz-grunta-Geoport-v002.jpg> (дата звернення: 27.05.2023).

14. Інженерно-геологічні вишукування. URL: <https://geotop.com.ua/images/inzhenerno-geologicheskie-usloviya-doneckoj-oblasti.jpg.pagespeed.ce.uXlmzoSDuJ.jpg> (дата звернення: 27.05.2023).

15. Geotechnical Investigations: Deal or Dud? URL: <https://www.2-10.com/wp-content/uploads/2020/12/12-09-2020.jpg> (дата звернення: 27.05.2023).

16. Renzo Ayala, Denys Parra, Romy Valdivia Design and construction review of a heap leach pad for safe operation. URL: [https://www.researchgate.net/publication/279252546\\_Design\\_and\\_construction\\_review\\_of\\_a\\_heap\\_leach\\_pad\\_for\\_safe\\_operation](https://www.researchgate.net/publication/279252546_Design_and_construction_review_of_a_heap_leach_pad_for_safe_operation) (дата звернення: 27.05.2023).

17. Paul Fish, Tom Berry, Simon Price (Arup), Neill Hadlow Relict periglacial hazards in the UK Engineering guidance for hazard mitigation. URL: [https://www.geolsoc.org.uk/~media/shared/documents/groups/regional/west%20midlands/2020/Talks/2020-01n\\_Periglacial%20geohazards%20in%20the%20UK.pdf?la=en](https://www.geolsoc.org.uk/~media/shared/documents/groups/regional/west%20midlands/2020/Talks/2020-01n_Periglacial%20geohazards%20in%20the%20UK.pdf?la=en) (дата звернення: 27.05.2023).

18. Інженерні вишукування для багатоповерхового будівництва. URL: <https://verum.org.ua/uk/geologiya/inzhenerni-vishukuvannya-dlya-bagatopoverhovogo-budivnitstva> (дата звернення: 27.05.2023).

19. Аналіз ґрунту. URL: <http://geoport.pro/wp-content/uploads/2019/07/Analiz-grunta-Geoport-v001.jpg> (дата звернення: 27.05.2023).

20. Bodenmechanisches Labor. URL: [https://maul-partner.net/wp-content/uploads/2021/02/Laborproben\\_klein.jpg](https://maul-partner.net/wp-content/uploads/2021/02/Laborproben_klein.jpg) (дата звернення: 27.05.2023).

21. Вирізання кілець для визначення щільності ґрунтів. URL: <https://cutt.ly/H6tbu0s> (дата звернення: 27.05.2023).

22. Ознайомлення з мінералами та гірськими породами, що входять до складу ґрунту. URL: <https://cutt.ly/w6tWuPA> (дата звернення: 27.05.2023).

23. Лабораторна робота №1. Поняття мінерал. Класифікація мінералів. URL: [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/201707/mod\\_resource/content/1/%D0%A0%E2%84%961.pdf](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/201707/mod_resource/content/1/%D0%A0%E2%84%961.pdf) (дата звернення: 27.05.2023).

24. Геологія з основами геоморфології. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Визначення мінералів» / Селезньова Л.В., Балан Г.К., Захарова М.В. Одеса: ОДЕКУ, 2010. 33 с. URL: [http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/318/1/SeleznevaLV\\_BalanAK\\_ZaharovaMV\\_Geologia\\_z\\_osnovamu\\_geomorfologii\\_MV\\_do\\_LabRob\\_2010.pdf](http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/318/1/SeleznevaLV_BalanAK_ZaharovaMV_Geologia_z_osnovamu_geomorfologii_MV_do_LabRob_2010.pdf) (дата звернення: 27.05.2023).

25. Методичні вказівки до виконання курсової та розрахунково-графічної робіт з дисциплін геологічного циклу (для студентів 2 курсу денної форми навчання спеціальностей 6.092108 – "Теплогазопостачання і вентиляція", 6.092600 – "Водопостачання та водовідведення", 6.070800 – "Екологія та охорона навколишнього середовища") / Укл.: Гаврилюк О.В. Харків: ХНАМГ, 2008. 30 с.

26. Руденко Ф. А., Попов О. Є. Гідрогеологія. Київ: Вища школа, 1975. 229 с.

27. Костюченко М. М., Шабатин В. С. Гідрогеологія та інженерна геологія. Підручник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. 144 с.
28. Пелешенко В.І, Закревський Д. Гідрогеологія з основами інженерної геології. Ч.1. Гідрогеологія: Підручник / Київ: Вид.-полігр.центр "Київськ.ун.", 2002. 212 с.
29. Пелешенко В.І, Закревський Д. Гідрогеологія з основами інженерної геології. Ч.2. Інженерна геологія: Підручник / Київ: Вид.-полігр.центр "Київськ.ун.", 2003.
30. ДСТУ Б А.1.1-25-94. Ґрунти. Терміни та визначення / Держбуд України. Київ, 2001.
31. Методичні вказівки до лабораторних робіт з механіки ґрунтів для студентів, які навчаються за напрямками підготовки: 6.060101 «Будівництво», 6.050101 «Комп'ютерні науки», 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій» всіх форм навчання / уклад.: М.В. Корнієнко, В.В. Жук, Н.В. Комягіна. Київ: КНУБА, 2014. 67 с.
32. Лабораторний практикум із визначення фізичних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів: посібник/ М.М.Костюченко, О.В.Мокієнко. Інтернет-ресурс Київського університету. [geol.univ@kiev.ua](http://geol.univ@kiev.ua). 65 с.
33. ДСТУ Б В.2.1-5-96 Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань / Держбуд України. Київ, 1997.
34. Прововідбірники ґрунту для ПГ-200-1319-00001. URL: [https://chemtest.com.ua/ua/probovidbirnik\\_gruntu\\_dlya\\_pg-200](https://chemtest.com.ua/ua/probovidbirnik_gruntu_dlya_pg-200) (дата звернення: 27.05.2023).
35. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Ґрунти. Класифікація. / Державний комітет України у справах містобудування і архітектури. Київ, 1997.
36. ДСТУ Б В.2.1-19:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу / Мінрегіонбуд України. Київ, 2010.

37. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості / Держбуд України. Київ, 1997.

38. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування / Мінрегіонбуд України. Київ, 2009.

39. Ковров О. С., Терещук Р. М. Аналіз підходів щодо визначення міцнісних характеристик гірських порід для прогнозу зсувонебезпечності укосів / Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». Том 28. №1 (2020). С. 63-72.