

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ФАКУЛЬТЕТ АРХІТЕКТУРИ, БУДІВНИЦТВА ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ  
Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

## **МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ**

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт**  
для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей  
192 Будівництво та цивільна інженерія,  
194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2025

**Механіка** ґрунтів, основи і фундаменти [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 192 Будівництво та цивільна інженерія, 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / уклад.: О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, Н.В. Хозяйкіна, І.В. Чушкіна ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 68 с.

Укладачі:

О.М. Шашенко, д-р техн. наук, проф.,

В.Г. Шаповал, д-р техн. наук, проф.,

Н.В. Хозяйкіна, канд. техн. наук, доц.,

І.В. Чушкіна, канд. техн. наук, доц.

Затверджено науково-методичними комісіями спеціальностей: 192 Будівництво та цивільна інженерія (протокол № 5 від 28.10.2025), 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології (протокол № 5 від 28.10.2025) за поданням кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки (протокол № 5 від 28.10.2025).

Уміщено опис методики виконання лабораторних робіт з визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів та набуття практичних навичок випробування ґрунтових зразків і обробки їх результатів.

Методичні рекомендації передбачають виконання завдань як із викладачем, так і під час самостійної роботи.

Призначені для використання у навчальному процесі бакалаврами денної та заочної форм навчання.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки С.М. Гапєєв, д-р техн. наук, доц.

**ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	4
<b>Лабораторна робота № 1. Фізичні властивості ґрунтів</b>	5
<b>Лабораторна робота № 2. Визначення межі текучості та розкочування глинистих ґрунтів</b>	16
<b>Лабораторна робота № 3. Визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту</b>	22
<b>Лабораторна робота № 4. Визначення стисливості ґрунтів</b>	27
<b>Лабораторна робота № 5. Визначення характеристик просідаючих лесових ґрунтів</b>	32
<b>Лабораторна робота № 6. Визначення опору ґрунтів зсуву</b>	40
<b>Лабораторна робота № 7. Визначення характеристик міцності і деформованості ґрунтів при трьохосьовому стиску</b>	52
<b>Перелік рекомендованої літератури</b>	61
<b>Додаток А</b>	62
<b>Загальні вимоги до виконання та оформлення лабораторних робіт</b>	66
<b>Додаток Б</b>	68

## ВСТУП

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «**Механіка ґрунтів, основи та фундаменти**» призначені для студентів спеціальностей: 192 Будівництво та цивільна інженерія та 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології.

Дисципліна формує базові професійні компетентності майбутніх інженерів-будівельників і гідротехніків, пов'язані з вивченням властивостей ґрунтів як основи споруд, оцінкою їхньої надійності та стійкості під час проектування й експлуатації будівель і споруд.

Методичні рекомендації охоплюють основні розділи дисципліни, зокрема:

- фізичні властивості ґрунтів;
- класифікаційні показники та методи визначення складу;
- міцнісні та деформаційні характеристики ґрунтових масивів;
- методи статистичної обробки результатів лабораторних випробувань.

**Мета** виконання лабораторних робіт - набути практичних навичок визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів, опанувати методики проведення випробувань зразків, а також засвоїти сучасні підходи до аналізу та інтерпретації експериментальних даних.

Кожна лабораторна робота містить:

- короткі теоретичні положення з відповідного розділу;
- опис підготовчих заходів;
- перелік необхідних приладів, обладнання та матеріалів;
- порядок виконання роботи;
- алгоритм обробки отриманих результатів;
- питання для самоконтролю;
- критерії оцінювання.

Перед виконанням роботи студент повинен ознайомитися з теоретичним матеріалом за рекомендованими джерелами (зокрема, підручником «Механіка ґрунтів» [1]) і вивчити хід проведення відповідного експерименту.

Під час виконання лабораторних досліджень необхідно дотримуватися вимог **охорони праці** та **техніки безпеки**, а також правил користування лабораторним обладнанням.

Результати випробувань оформлюються відповідно до вимог цих методичних рекомендацій, супроводжуються розрахунками, аналітичними висновками та подаються викладачеві для перевірки й захисту.

## Лабораторна робота № 1

### ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

**Тема роботи.** Визначення основних фізичних властивостей ґрунтів відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних характеристик».

**Мета.** Ознайомитися з основними фізичними характеристиками ґрунтів та набути практичні навички визначення вологості, густини, пористості, ступеня водонасичення та інших показників, що характеризують стан ґрунту [1-6].

**Завдання.** Визначити: вологість зразків ґрунту; густину ґрунту в природному стані та густину твердих частинок; пористість і коефіцієнт пористості; ступінь водонасичення.

1. Обчислити пов'язані параметри за результатами лабораторних вимірювань.
2. Проаналізувати вплив фізичних характеристик на інженерні властивості ґрунтів.
3. Сформулювати висновки про стан і придатність досліджуваних зразків для використання як основи будівель.

**Теоретичні положення.** Фізичні властивості ґрунтів визначають їхній склад, стан і поведінку під дією зовнішніх навантажень. Вони є базою для подальшого вивчення механічних характеристик і розрахунків основ та фундаментів.

Ґрунт - це природне утворення, яке складається з твердих частинок (мінеральних або органічних), води та повітря. Співвідношення цих складових визначає основні фізичні показники, серед яких: **гранулометричний склад** - співвідношення частинок різних розмірів; **вологість ( $W$ )** - кількість води, що міститься в ґрунті, віднесена до маси сухого зразка; **щільність ґрунту ( $\rho$ )** та **щільність твердих частинок ( $\rho_s$ )**; **пористість ( $n$ )** - відношення об'єму пор до загального об'єму ґрунту; **ступінь водонасичення ( $S_r$ )** - відношення об'єму води до об'єму пор; **питома вага ( $\gamma$ )** - маса одиниці об'єму ґрунту в природному стані.

Ці властивості взаємопов'язані та визначають фізико-механічну поведінку ґрунтів під час навантаження, замочування або ущільнення. Їх знання є необхідним для інженерно-геологічних досліджень, проектування основ і фундаментів, оцінки несучої здатності та стійкості споруд.

Для визначення вихідних фізичних характеристик розглянемо деякий об'єм ґрунту рис. 1.1, де  $P_2$ ,  $m_2$  і  $V_2$  - відповідно вага, маса і об'єм порового газу;  $P_4$ ,  $m_4$  и  $V_4$  - відповідно вага, маса і об'єм твердих часток ґрунту;  $P_6$ ,  $m_6$  и  $V_6$  - відповідно вага, маса і об'єм води в порах ґрунту.

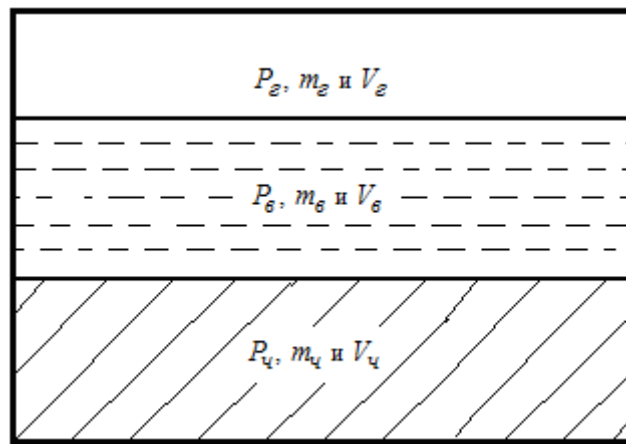


Рисунок 1.1 – Схема складових частин зразка ґрунту

Далі введемо визначення основних фізичних характеристик ґрунту.

**Об'ємна вага ґрунту** – це вага одиниці об'єму ґрунту. Її визначають за формулою

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{P_ч + P_в + P_г}{V_ч + V_в + V_г} \approx \frac{P_ч + P_в}{V_ч + V_в + V_г}. \quad (1.1)$$

Об'ємну вагу ґрунту визначають методом ріжучого кільця. Для сипучих ґрунтів вона змінюється в діапазоні  $\gamma = 13 \dots 22 \text{ кН/м}^3$ , а для скельних ґрунтів – у діапазоні  $\gamma = 18 \dots 30 \text{ кН/м}^3$ .

Іноді замість об'ємної ваги ґрунту використовують його **щільність**  $\rho$ , яку визначають за формулою

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{\gamma}{g}, \quad (1.2)$$

де  $M$  – маса розглянутого об'єму ґрунту, а  $g$  – прискорення вільного падіння.

Під **щільністю ґрунту** розуміють масу одиниці його об'єму.

**1.2. Вагова вологість ґрунту**  $W$  - відношення ваги води в порах ґрунту до ваги твердих частинок. Вагову вологість визначають за формулою

$$W = \frac{P_в}{P_ч} = \frac{m_в}{m_ч} = \frac{P - P_ч}{P_ч} = \frac{m - m_ч}{m_ч}. \quad (1.3)$$

Вагову вологість ґрунту зазвичай визначають **методом висушування до постійної маси**.

**1.3. Питома вага ґрунту**  $\gamma_s$  – це вага одиниці об'єму твердих частинок (кістяка) ґрунту. Її визначають за формулою

$$\gamma_s = \frac{P_u}{V_u}. \quad (1.4)$$

Для сипучих ґрунтів він змінюється в діапазоні:

$$-\text{для пісків} - \gamma_s = 26,8 \dots 27,2 \frac{\kappa H}{\text{м}^3};$$

$$-\text{для суглинків} - \gamma_s = 26,9 \dots 27,3 \frac{\kappa H}{\text{м}^3};$$

$$-\text{для глин} - \gamma_s = 27,0 \dots 27,5 \frac{\kappa H}{\text{м}^3}.$$

Іноді замість питомої ваги ґрунту використовують щільність часток ґрунту  $\rho_s$ , яку визначають за формулою

$$\rho_s = \frac{m_u}{V_u} = \frac{\gamma_s}{g}. \quad (1.5)$$

Під **щільністю частинок ґрунту** розуміють масу одиниці об'єму його твердої фази.

Об'ємну вагу ґрунту, його вагову вологість і питому вагу ґрунту **завжди визначають експериментально**. Тому їх іноді називають **експериментальними**.

Нижче представлені **розрахункові характеристики ґрунту**.

1.4. Під **об'ємною вагою кістяка ґрунту**  $\gamma_d$  розуміють вагу одиниці об'єму сухого ґрунту. Її визначають за формулою

$$\gamma_d = \frac{P_u + P_z}{V_u + V_v + V_z} = \frac{P_u + P_z}{V} \approx \frac{P_u}{V} = \frac{\gamma}{1+W}. \quad (1.6)$$

Іноді замість об'ємної ваги кістяка ґрунту використовують його щільність  $\rho_d$ , яку визначають за формулою

$$\rho_d = \frac{\gamma_d}{g}. \quad (1.7)$$

Під **щільністю сухого ґрунту** розуміють масу одиниці його об'єму.

1.5. **Пористість ґрунту**  $n$  – це відношення об'єму пор до всього об'єму ґрунту, що відповідає об'єму пор в одиниці об'єму ґрунту

$$n = \frac{V_n}{V} = \frac{V_v + V_z}{V_u + V_v + V_z} = \frac{V - V_u}{V} = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}. \quad (1.8)$$

Під **відносним вмістом твердих частинок в одиниці об'єму ґрунту**  $m$  розуміють відношення об'єму твердих частинок до загального об'єму ґрунту

$$m = \frac{V_u}{V} = \frac{V - V_v - V_z}{V} = \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = \frac{\rho_d}{\rho_s}. \quad (1.9)$$

Із формул (1.8) і (1.9) випливає, що завжди справедлива рівність:

$$n + m = 1. \quad (1.10)$$

1.7. Під **коефіцієнтом пористості ґрунту**  $e$  розуміють відношення об'єму пор ґрунту до об'єму його твердих частинок. Його визначають за формулами

$$e = \frac{n}{m} = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\gamma_s \cdot (1+W)}{\gamma} - 1 = \frac{\rho_s \cdot (1+W)}{\rho} - 1. \quad (1.11)$$

Коефіцієнт пористості ґрунту є однією з найважливіших характеристик і безпосередньо використовується в розрахунках. Зокрема, з його використанням визначають щільність складання піщаного ґрунту (табл. 1.1).

Властивості ґрунтових основ істотно залежать від того, яка частина об'єму пор заповнена водою.

1.8. Під **вологістю, яка відповідає повному водонасиченню**  $W_{sat}$ , розуміють таку вологість, при якій пори ґрунту повністю заповнені водою.

Її розраховують за формулами:

$$W_{sat} = \frac{e \cdot \gamma_w}{\gamma_s} = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s}, \quad (1.12)$$

де  $\gamma_w$  и  $\rho_w$  – відповідно питома вага води і її щільність.

Таблиця 1.1 - Характеристика виду піщаних ґрунтів

Тип піску	Щільність складання		
	щільні	середньої щільності	рихлі
Піски гравелисті, крупні середньої крупності	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Піски дрібні	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Піски пилюваті	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

1.9. Під **ступенем вологості** (іноді його називають **ступенем водонасичення**)  $S_r$  розуміють відношення об'єму води в порах ґрунту до повного об'єму пор. Він чисельно дорівнює відношенню вологості ґрунту до його вологості при повному водонасиченні ґрунту. Його визначають за формулою:

$$S_r = \frac{W}{W_{sat}} = \frac{w \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_w} = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}. \quad (1.13)$$

Ступінь вологості змінюється від нуля (цей випадок відповідає повній відсутності в основі вологи) до одиниці (цей випадок відповідає повному заповненню пор ґрунту водою).

Залежно від ступеню вологості виділяють наступні **види** ґрунтів (табл. 1.2).

Ця характеристика є однією з основних для піщаних і великоуламкових ґрунтів.

Ступінь вологості змінюється від нуля (цей випадок відповідає повній відсутності вологи в основі) до одиниці (цей випадок відповідає повному заповненню пор ґрунту водою).

У залежності від ступеня вологості розрізняють такі види ґрунтів (табл. 1.2).

Ця характеристика є однією з основних для піщаних та великоуламкових ґрунтів.

Таблиця 1.2 – Характеристика видів ґрунту

Найменування різновиду ґрунту	Діапазон зміни ступеня водонасичення
маловологі	$0 \leq S_r \leq 0,5$
вологі	$0,5 < S_r < 0,8$
насичені водою	$0,8 \leq S_r \leq 1,0$

Згідно ДСТУ Б В.2.1-17-2009 підлягають визначенню в лабораторії дослідним шляхом наступні величини: щільність ґрунту; щільність часток ґрунту; вологість ґрунту.

Решту фізичних характеристик ґрунту називають похідними. До них відносяться:

1. Об'ємна вага кістяка ґрунту  $\gamma_d$ .
2. Пористість ґрунту  $n$ .
3. Відносний вміст твердих частинок в одиниці об'єму ґрунту  $m$ .
4. Коефіцієнт пористості ґрунту  $e$ .
5. Вологість, що відповідає повному водонасиченню  $W_{sat}$ .
6. Ступінь вологості (іноді його називають ступенем водонасичення)  $S_r$ .

### 1.1 Визначення щільності частинок ґрунту пікнометричним методом

**Мета роботи:** визначити щільність частинок ґрунту пікнометричним методом.



## 1.2 Визначення вологості ґрунту методом висушування до постійної маси

**Мета роботи:** визначити вологість ґрунту методом висушування до постійної маси.

**Прилади та обладнання:** шафа сушильна, ексикатор із хлористим кальцієм, пропечений у муфельній печі, алюмінієві стаканчики з кришками, лабораторні ваги, шпатель, щипці тигельні.

### Порядок виконання роботи

1. Відбирають пробу ґрунту масою 15-20 г, поміщають у заздалегідь зважений стаканчик, закривають кришкою і зважують.

2. Стаканчик відкривають і разом із кришкою поміщають у нагріту сушильну шафу. Ґрунт висушують до постійної маси при температурі  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  (піщані ґрунти – протягом 3 год, решту – протягом 5 год).

3. Ґрунт охолоджують в ексикаторі з хлористим кальцієм до температури приміщення і зважують.

4. Далі піщані ґрунти висушують до отримання різниці мас ґрунту при двох наступних зважуваннях не більше 0,02 г (піщані ґрунти – протягом 1 год, інші ґрунти – 2 год).

5. Результати зважування заносять у табл. 1.4 і визначають вологість ґрунту з точністю до 0,001.

Таблиця 1.4 – Результати випробувань

<i>№ n/n</i>	<i>Номер стаканчика</i>	<i>Маса стаканчика з кришкою, m, г</i>	<i>Маса вологого ґрунту зі стаканчиком та кришкою, m<sub>1</sub>, г</i>	<i>Маса висушеного ґрунту зі стаканчиком та кришкою, m<sub>2</sub>, г</i>	<i>Вологість <math>W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m}</math>, д.од.</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>

## 1.3 Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця

**Мета роботи:** визначити щільність ґрунту методом ріжучого кільця

**Прилади та обладнання:** ріжуче кільце, лабораторний ніж

### Порядок виконання роботи

1. Вирівнюють верхню зачищену площину ґрунту, встановлюють на ній ріжучий край кільця і вдавлюють у нього без перекосів кільце. Після заповнення кільця ґрунт підрізають на 8-10 мм нижче ріжучого краю кільця і відокремлюють його.

2. Ґрунт, який виступає за краї кільця, зрізають ножом.

3. Зважують кільце з ґрунтом із точністю до 0,02 г.

4. Зважують кільце без ґрунту.
5. Результати заносять у табл.1.5 і визначають щільність ґрунту.

Таблиця 1.5 – Результати випробувань

<i>№ п/п</i>	<i>Маса кільця з ґрунтом <math>m_1</math>, г</i>	<i>Маса кільця <math>m_0</math>, г</i>	<i>Маса ґрунту в кільці <math>m = m_1 - m_0</math>, г</i>	<i>Висота кільця <math>h</math>, см</i>	<i>Діаметр кільця <math>d</math>, см</i>	<i>Об'єм ґрунту в кільці <math>V = \pi \cdot d^2 / 4</math>, см<sup>3</sup></i>	<i>Щільність ґрунту <math>\rho = m/V</math>, г/см<sup>3</sup></i>
1	2	3	4	5	6	7	8

Питома вага ґрунту  $\gamma$  (вимірюється у  $\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$ ) – вагу одиниці об'єму ґрунту – слід визначати за формулою  $\gamma = g \cdot \rho$ .

#### 1.4 Порядок обробки експериментальних даних

**Мета роботи:** ознайомитися з методикою статистичної обробки результатів експериментів і визначити нормативні та розрахункові значення характеристик ґрунту.

У даному підрозділі наведена методика обробки даних, отриманих у ході експериментів, яку слід використовувати у всіх подальших лабораторних роботах.

1. Визначають середнє арифметичне значення величини, яка визначається,  $\bar{X}$  за формулою:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i, \quad (1.14)$$

де  $n$  – число випробувань (обсяг вибірки);  $X_i$  – окреме значення характеристики, яка визначається.

2. Після цього визначають зміщену оцінку середнього квадратичного відхилення  $S_{dis}$  за формулою:

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \bar{X} - X_i \right)^2}. \quad (1.15)$$

3. Виконується перевірка на предмет знаходження у вибірці даних із грубим відхиленням від середнього значення. Виключенню з вибірки

підлягають усі окремі значення величини, яка визначається, що задовольняють нерівності (їх називають відскоками):

$$\left| \bar{X} - X_i \right| > \nu \cdot S_{dis}, \quad (1.16)$$

де  $\nu$  - статистичний критерій, який слід визначати за табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Значення статистичного критерію  $\nu$

Число визначень	$\nu$	Число визначень	$\nu$	Число визначень	$\nu$
6	2,07	13	2,56	20	2,78
7	2,18	14	2,60	25	2,88
8	2,27	15	2,64	30	2,96
9	2,35	16	2,67	35	3,02
10	2,41	17	2,70	40	3,07
11	2,47	18	2,73	45	3,12
12	2,52	19	2,75	50	3,16

4. Якщо **відскоки** існують, для визначення **нормативної характеристики** використовують формулу:

$$X^H = \bar{X}, \quad (1.17)$$

де  $X^H$  – нормативне значення характеристики, яка визначається, а  $\bar{X}$  – її середнє значення, визначене за формулою (1.14).

Якщо під час розрахунку виявлені **відскоки**, то відповідні їм окремі значення характеристики, яка визначається,  $X_i$  вилучають із вибірки і процес визначення нормативної характеристики повторюють для нового числа випробувань  $n_l$  за умови  $n_l < n$ .

5. **Розрахункове значення** характеристики ґрунту, яку визначається,  $X^P$  визначають за формулою:

$$X^P = X^H / \gamma_g, \quad (1.18)$$

де  $\gamma_g$  – коефіцієнт безпеки за ґрунтом.

6. **Коефіцієнт безпеки** визначають за формулою:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \delta}, \quad (1.19)$$

де  $\delta$  - довірчий інтервал (характеризує область навколо середнього значення характеристики, яку визначають).

У формулі (1.19) знак "плюс" або "мінус" слід приймати таким чином, щоб було забезпечено найневигідніше значення характеристики, яку визначають. Наприклад, якщо питома вага ґрунту використовується для визначення зсуваючих сил, то у формулі (1.19) слід приймати знак "плюс", а якщо утримуючих – "мінус" [11].

7. Довірчий інтервал  $\delta$  визначають за формулою

$$\delta = \frac{t_{\alpha} \cdot V}{\sqrt{n}}, \quad (1.20)$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт, що приймається за табл. 1.7 залежно від числа випробувань  $n$  і заданого інтервалу ймовірності  $\alpha$ . Тут:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \bar{X} - X_i \right)^2}; \quad V = \frac{\sigma_A}{X^H}. \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

Таблиця 1.7 – Значення коефіцієнта  $t_{\alpha}$

Число визначень $n-1$ або $n-2$	$t_{\alpha}$ при $\alpha$ , що дорівнює		Число визначень $n-1$ або $n-2$	$t_{\alpha}$ при $\alpha$ , що дорівнює		Число визначень $n-1$ або $n-2$	$t_{\alpha}$ при $\alpha$ , що дорівнює	
	0,85	0,95		0,85	0,95		0,85	0,95
2	1,34	2,92	9	1,10	1,83	16	1,07	1,75
3	1,25	2,35	10	3,10	1,81	17	1,07	1,74
4	1,19	2,13	11	1,09	1,80	18	1,07	1,73
5	1,16	2,01	12	1,08	1,78	19	1,07	1,73
6	1,13	1,94	13	1,08	1,77	20	1,06	1,72
7	1,12	1,90	14	1,08	1,76	30	1,05	1,70
8	1,11	1,86	15	3,07	1,75	40	1,05	1,68

Написати **висновок** щодо виконаних лабораторних досліджень за пунктами:

1. Коротко зазначте, для чого виконували випробування.
2. Наведіть (у короткій формі) основні значення, отримані під час дослідження.
3. За результатами розрахунків: проаналізувати вплив фізичних характеристик на інженерні властивості ґрунтів.
4. Сформулювати висновки про стан і придатність досліджуваних зразків для використання як основи будівель.

## Контрольні запитання до лабораторної роботи № 1

1. Що таке питома вага ґрунту?
2. Що таке щільність ґрунту?
3. Що таке питома вага часток ґрунту ?
4. Що таке щільність часток ґрунту?
5. Що таке питома вага сухого ґрунту?
6. Що таке щільність сухого ґрунту?
7. Що таке вагова вологість ґрунту?
8. Що таке пористість ґрунту?
9. Що таке відносний вміст твердих частинок в одиниці об'єму ґрунту ?
10. Що таке коефіцієнт пористості ґрунту?
11. Що таке вологість, яка відповідає повному водонасиченню?
12. Що таке ступінь вологості?
13. Яким чином буде змінюватися ступінь вологості ґрунту при зміні коефіцієнта пористості й вологості?
14. Для яких ґрунтів ступінь вологості є однією з основних характеристик?
15. Які фізичні характеристики ґрунтів визначають безпосередньо (тобто лабораторним шляхом), а які характеристики є похідними (тобто їх визначають розрахунковим шляхом)?

### Критерії оцінювання лабораторної роботи №1

**Максимальна кількість балів: 100**

<i>Елемент оцінювання</i>	<i>Зміст оцінювання</i>	<i>Бали</i>
1. Підготовка до лабораторної роботи	Знання теоретичних основ теми: поняття щільності, вологості, пористості, ступеня вологості, щільності частинок ґрунту; знання призначення приладів для визначення фізичних характеристик ґрунтів.	20
2. Виконання лабораторного експерименту	Правильність проведення випробувань, дотримання послідовності операцій, акуратність і самостійність у роботі з приладами.	30
3. Обробка результатів випробувань	Правильність розрахунків фізичних показників, вміння оформити таблиці та виконати необхідні побудови (за потреби).	20
4. Оформлення звіту	Повнота структури: тема, мета, короткі теоретичні положення, хід роботи, результати, висновки; охайність, відповідність вимогам методичних рекомендацій.	20
5. Висновки та захист роботи	Обґрунтованість висновків на основі отриманих результатів, вміння дати відповіді на контрольні запитання, зробити інженерну інтерпретацію показників.	10

## Лабораторна робота № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ТЕКУЧОСТІ ТА РОЗКОЧУВАННЯ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ

**Тема роботи.** Визначення межі текучості та межі розкочування глинистих ґрунтів відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних характеристик» з метою встановлення консистенції та пластичних властивостей ґрунтів.

**Мета.** Ознайомитися з методикою визначення межі текучості та межі розкочування глинистих ґрунтів відповідно до вимог [6], визначити їхні пластичні характеристики та здійснити класифікацію досліджуваних зразків за показниками консистенції [1-5].

**Завдання.** Підготувати зразки глинистого ґрунту для лабораторних випробувань.

1. Визначити: межу текучості ( $W_L$ ); межу розкочування ( $W_P$ ) ручним способом.
2. Розрахувати індекс пластичності ( $I_P$ ) і ступінь пластичності ґрунту.
3. Провести класифікацію ґрунту за гранулометричним складом і пластичністю.
4. Зробити висновки щодо інженерно-геологічних властивостей ґрунту на основі отриманих результатів.

**Короткі теоретичні положення.** Глинисті ґрунти характеризуються високою пластичністю, здатністю змінювати свій стан під впливом вологості. Під час збільшення вмісту води вони переходять із твердого стану в пластичний, а потім - у текучий. Межі цих переходів називають **границями консистенції**.

Визначення меж текучості та розкочування є основою для оцінки **пластичних властивостей ґрунтів**, що впливають на їхню деформаційну поведінку, стійкість схилів і осідання основ споруд.

До основних показників, які характеризують консистенцію глинистих ґрунтів, належать: **межа текучості ( $W_L$ )** - вологість, за якої ґрунт переходить із пластичного стану в текучий; **межа розкочування ( $W_P$ )** - мінімальна вологість, при якій ґрунт ще зберігає пластичні властивості та не розтріскується при розкочуванні у джгут діаметром 3 мм; **індекс пластичності ( $I_P$ )** — числова характеристика діапазону пластичного стану ґрунту, що обчислюється як:

$$I_P = W_L - W_P .$$

Він відображає ступінь зв'язності ґрунту та використовується для його класифікації згідно з ДСТУ Б В.2.1-2-96 та ДСТУ Б В.2.1-17-2009 [5, 6].

Пластичні властивості мають важливе практичне значення при проєктуванні споруд, насипів, котлованів, основ фундаментів і визначенні умов ущільнення та стійкості ґрунтів.

### Порядок виконання.

**Мета роботи:** визначити межу текучості та межу розкочування глинистих ґрунтів.

**Прилади та обладнання:** балансирний конус, еталонна дошка, сушильна шафа, ексікатор, дистильована вода, лабораторні ваги, шпатель, стаканчики алюмінієві.

Глинисті ґрунти залежно від їх вологості можуть перебувати у **твердому, пластичному** або **текучому станах**. Вологість ґрунту, при якій ґрунт знаходиться на межі твердого і пластичного станів, називають **вологістю на межі розкочування** (позначається  $W_p$  і вимірюється в частках одиниці, рис. 2.1).

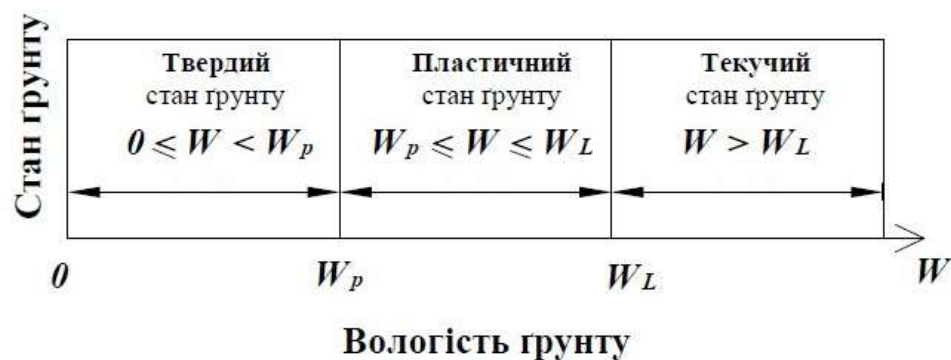


Рисунок 2.1 – Взаємозв'язок між станом ґрунту та його вологістю

## 2.1 Визначення межі текучості

**Межу текучості** слід визначати як вологість приготуваної з досліджуваного ґрунту пасти, при якій балансирний конус (рис. 2.2) занурюється під дією власної ваги за 5 с на глибину 10 мм.

### Порядок виконання роботи

1. Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішують шпателем і щільно укладають у циліндричну чашку 2 врівень із краями.
2. Балансирний конус 3 підводять до поверхні ґрунтової пасти і плавно опускають, дозволяючи йому занурюватися в пасту під дією власної ваги.
3. Занурення конуса в пасту протягом 5 с на глибину 10 мм показує, що ґрунт має вологість, яка відповідає межі текучості. Якщо ця умова не виконується, ґрунт або додатково зволожують, або підсушують на повітрі.
4. Коли межа текучості досягнута, з пасти відбирають проби масою 15-20 г для визначення вологості.
5. Результати заносять до табл. 2.1 і визначають межу текучості.



Таблиця 2.2 - Результати випробувань

<i>№ n/n</i>	<i>Номер стаканчика</i>	<i>Маса стаканчика із кришкою, т, г</i>	<i>Маса вологого грунту зі стаканчиком та кришкою, т, г</i>	<i>Маса висушеного грунту зі стаканчиком та кришкою, т, г</i>	<i>Вологість <math>W_p = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m}</math>, ч.од.</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>

### 2.3 Визначення класифікаційних показників глинистих ґрунтів

#### Порядок виконання роботи

1. Число пластичності  $I_p$  слід визначати за формулою:

$$I_p = W_L - W_p \quad (2.1)$$

2. Показник текучості  $I_L$  слід визначати за формулою:

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} \quad (2.2)$$

За числом пластичності  $I_p$  слід визначати тип пилувато-глинистих ґрунтів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Тип пилувато-глинистого ґрунту

<i>Тип пилувато-глинистого ґрунту</i>	<i>Діапазон зміни числа пластичності</i>
Супісок	$(0,01 \leq I_p \leq 0,07)$
Суглинок	$(0,07 < I_p \leq 0,17)$
Глина	$(I_p > 0,17)$

За консистенцією, що характеризується показником текучості  $I_L$ , пилувато-глинисті ґрунти поділяються на наступні види (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Види глинистого ґрунту

<i>Найменування глинистого ґрунту</i>			
<i>супісок</i>		<i>суглинки та глини</i>	
Тверді	$I_L < 0,0$	Тверді	$I_L < 0,0$
Пластичні	$0,0 \leq I_L \leq 1,0$	Полутверді	$0,0 \leq I_L \leq 0,25$

<i>Найменування глинистого ґрунту</i>			
<i>супісок</i>		<i>суглинки та глини</i>	
Текучі	$I_L > 1,0$	Туго-пластичні	$0,25 < I_L \leq 0,5$
-	-	М'яко-пластичні	$0,5 < I_L \leq 0,75$
-	-	Текучо-пластичні	$0,75 < I_L \leq 1,0$
-	-	Текучі	$I_L > 1,0$

Написати **висновок** щодо виконаних лабораторних досліджень за пунктами:

1. Коротко сформулювати, що було метою експерименту (наприклад, визначення межі текучості та межі розкочування глинистого ґрунту та оцінка його пластичних властивостей).

2. Основні результати вимірювань та короткі результати класифікації ґрунту.

3. Класифікацію ґрунту за пластичністю, тобто визначити, до якої групи ґрунтів належить досліджуваний зразок (наприклад, малопластичний, середньої пластичності, високопластичний).

4. З'ясувати інженерно-геологічне значення отриманих результатів: вказати, наскільки ґрунт придатний для використання в основах фундаментів і земляних спорудах; можливі обмеження або особливості (чутливість до води, деформації тощо).

5. Загальний підсумок - одним-двома реченнями сформулювати основний висновок щодо фізико-механічних властивостей ґрунту та практичного значення результатів роботи.

### **Контрольні запитання до лабораторної роботи № 2**

1. Що таке вологість ґрунту на межі розкочування?
2. Що таке вологість ґрунту на межі текучості?
3. Що таке число пластичності ґрунту. Для якої мети воно служить?
4. Що таке показник текучості ґрунту? Для якої мети він служить?
5. Якою має бути вологість глинистого ґрунту, щоб він знаходився у твердому стані?
6. Якою має бути вологість глинистого ґрунту, щоб він знаходився у пластичному стані?
7. Якою має бути вологість глинистого ґрунту, щоб він знаходився в текучому стані?
8. Перерахуйте типи глинистого ґрунту.
9. Перерахуйте різновиди глинистого ґрунту.

## Критерії оцінювання лабораторної роботи № 2

Максимальна кількість балів: 100

<i>Елемент оцінювання</i>	<i>Зміст оцінювання</i>	<i>Бали</i>
1. Підготовка до лабораторної роботи	Знання теоретичних положень теми: поняття межі текучості, межі розкочування, показника пластичності, групової належності ґрунтів; розуміння суті методів визначення та умов проведення випробувань.	20
2. Виконання експерименту	Самостійність та послідовність дій під час визначення межі текучості (методом приладу Касагранде або конуса), точність виконання операцій, дотримання правил техніки безпеки.	25
3. Обробка результатів дослідження	Правильність побудови графічних залежностей, визначення меж текучості ( $W_L$ ), меж розкочування ( $W_P$ ), обчислення показника пластичності ( $I_P$ ) та показник текучості ( $I_L$ ).	20
4. Оформлення звіту	Повнота структури: тема, мета, короткі теоретичні положення, хід роботи, результати, обчислення, графіки, висновки. Відповідність оформлення методичним вимогам, акуратність виконання.	15
5. Формування висновків і усний захист роботи	Уміння інтерпретувати отримані результати, визначати тип ґрунту за ступенем пластичності, пояснювати практичне значення показників для інженерної практики; відповіді на контрольні запитання.	20

### Лабораторна робота № 3

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ ҐРУНТУ

**Тема роботи.** Визначення коефіцієнта фільтрації водонасичених ґрунтів у лабораторних умовах відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1-23:2009 «Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації» з метою оцінювання водопроникності ґрунтів, що використовуються як основа споруд.

**Мета.** Набути практичних навичок визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту відповідно до [7], оцінити водопроникність досліджуваного ґрунту та розрахувати параметри для інженерних розрахунків [1-5].

**Завдання.** Підготувати зразок ґрунту для лабораторних випробувань у фільтраційній колонці.

1. Провести вимірювання витрати води через ґрунт при встановленому гідравлічному градієнті.
2. Розрахувати коефіцієнт фільтрації  $k_f$  для досліджуваного зразка.
3. Проаналізувати вплив гранулометричного складу та щільності ґрунту на значення коефіцієнта фільтрації.
4. Оформити результати вимірювань та обчислень у таблицях і зробити висновки щодо водопроникності ґрунту.

**Теоретичні положення.** Фільтраційні властивості ґрунтів визначають швидкість руху води через пористе середовище і є ключовими для розрахунку дренажу, стабільності насипів, гідротехнічних споруд та основ фундаментів.

Коефіцієнт фільтрації  $k_f$  – це фізична величина, що характеризує здатність ґрунту пропускати воду під дією гідравлічного градієнта, тобто водопроникність ґрунту. Визначення коефіцієнту фільтрації дозволяє оцінити інженерну поведінку ґрунту при насиченні водою та прогнозувати динаміку просочування й водоносні властивості ґрунтових масивів.

Під **водопроникністю** розуміють здатність ґрунту пропускати через свої пори суцільний потік води. Водопроникність ґрунтів залежить від їх пористості, гранулометричного і мінерального складу, градієнта напору. У механіці ґрунтів розглядають **ламінальний рух води**, який підкорюється закону Дарсі:

$$V = -\frac{k_f}{\gamma_w} \cdot \left( \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial z} \right), \quad (3.1)$$

де  $V$  – швидкість руху рідини (тобто води) у порах ґрунту;  $k_f$  – **коефіцієнт фільтрації**;  $\gamma_w = 10 \frac{\kappa H}{\text{м}^3}$  – питома вага води;  $P$  – **тиск у поровій рідині** (іноді його називають **поровим тиском**);  $x, y$  и  $z$  – координати.

З фізичної точки зору рівність (3.1) означає, що швидкість руху порової рідини у ґрунтовій основі прямо пропорційна **градієнту порового тиску**.

Далі зупинимося на методиці визначення **коефіцієнта фільтрації ґрунту**. Його визначають за формулою

$$k_{\phi} = \frac{864 \cdot V_w}{t_m \cdot A \cdot T \cdot J}, \quad (3.2)$$

де  $k_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації;  $V_w$  – об'єм профільтрованої через ґрунт води (у  $\text{см}^3$ ); 864 – перехідний коефіцієнт (із  $\text{см/с}$  у  $\text{м/добу}$ );  $t_m$  – середня тривалість фільтрації за даними декількох випробувань;  $A$  – внутрішня площа фільтраційного циліндра;  $T = 0,7 + 0,03 \cdot T_w$  – поправочний коефіцієнт для приведення результатів визначення коефіцієнта фільтрації для температури води  $t=10^\circ \text{C}$ ;  $T_w$  – температура, при якій визначається коефіцієнт фільтрації;  $J$  – градієнт напору.

**Мета роботи:** визначити коефіцієнт фільтрації ґрунту.

**Прилади та обладнання:** прилад КФ-ООМ (рис. 3.1).

### Порядок виконання роботи

Суть випробувань полягає у вимірюванні об'єму рідини  $V_w$ , яка проходить через ґрунт, при заданому значенні градієнта напору  $J$  за деякий час і обробці отриманих таким чином даних із використанням формули (3.2).

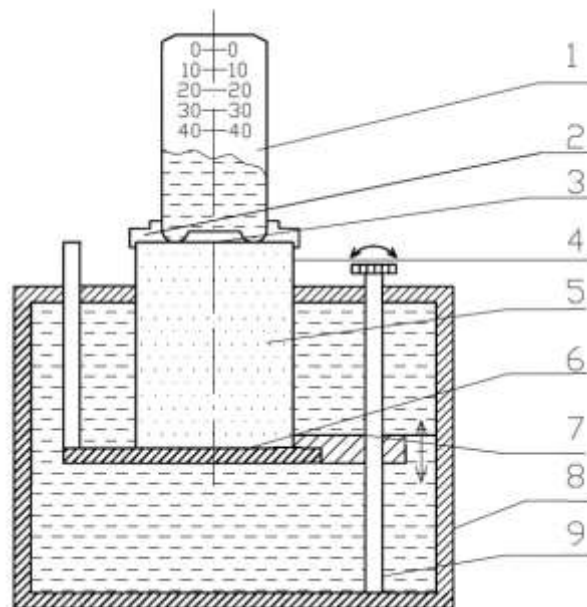


Рисунок 3.1 – Прилад КФ-ООМ:

1 – мірний скляний балон зі шкалою об'єму фільтруючої рідини; 2 – муфта; 3 – латунна сітка; 4 – фільтраційний циліндр; 5 – зразок, що випробовують; 6 – перфороване дно; 7 – підставка; 8 – корпус; 9 – підйомний гвинт

1. Циліндр 4 із ґрунтом 5 непорушеної будови встановлюють на підставку 7 і обертанням опорного гвинта повільно занурюють у воду, що знаходиться в корпусі 8, до позначки градієнта напору 0,8. У процесі водонасичення ґрунту підтримують постійний рівень води біля верхнього краю корпусу

2. На зразку ґрунту розміщують латунну сітку 3, надягають на циліндр муфту 2, обертанням підйомного гвинта 9 опускають фільтраційний циліндр у крайнє нижнє положення і залишають на 15 хв.

3. Обертанням підйомного гвинта встановлюють циліндр із ґрунтом до суміщення позначки градієнта напору на планці  $J = 0,3$  з верхнім краєм кришки корпусу і доливають воду в корпус до верхнього його краю.

4. Вимірюють температуру води, заповнюють мірний скляний балон водою.

5. Потім, закриваючи отвір, перевертають мірний балон отвором донизу і підносять якомога ближче до циліндра з ґрунтом. Далі, відкриваючи отвір, швидко вставляють муфту фільтраційної трубки так, щоб його горлечко торкалося латунної сітки, а у балон рівномірно піднімалися дрібні бульбашки повітря.

6. Якщо в мірний балон потрапляють великі бульбашки повітря, його необхідно опустити нижче, досягаючи появи дрібних бульбашок.

7. Відмічають час, коли рівень води досягне поділки шкали мірного балона  $10 \text{ см}^3$ , приймаючи цей час за початок фільтрації води. Надалі фіксують час, коли рівень води досягне відповідно поділок 20, 30, 40,  $50 \text{ см}^3$ . Роблять чотири відліки.

8. Результати заносять у табл. 3.1 і обчислюють коефіцієнт фільтрації ґрунту  $K_{10}$ , м/добу, приведений до умов фільтрації за температури  $10^0 \text{ C}$ . Для цієї мети використовують формулу (3.2).

9. Коефіцієнт фільтрації для різних ґрунтів приймає значення:  $k_f \approx 1 \text{ см/с}$  для великоуламкових ґрунтів;  $k_f \approx 1 \dots 10^{-2} \text{ см/с}$  для піщаних ґрунтів;  $k_f \approx 10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ см/с}$  для супісків;  $k_f \approx 10^{-3} \dots 10^{-7} \text{ см/с}$  для суглинків;  $k_f \approx 10^{-7} \dots 10^{-9} \text{ см/с}$  для глин.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

№ $n \setminus n$	Час фільтрації, с		Об'єм профільтрованої води, $V_{\omega}$ , $\text{см}^3$	Градієнт напору, $J$	Коефіцієнт фільтрації ґрунту, $K_{10}$ , м/сут
	Окремі виміри, $t_i$	Середнє, $t_m$			
1	2	3	4	5	6

Коефіцієнт фільтрації  $K_{10}$  обчислюють до другої значущої цифри. Мінімально допустиме число окремих визначень коефіцієнта фільтрації для кожного зразка ґрунту має становити **шість**. Даний цикл випробувань повторюється при поступовому збільшенні значень градієнта напору до  $J = 1$ .

Написати **висновок** щодо виконаних лабораторних досліджень за наступними пунктами:

1. Коротко зазначити, що було метою експерименту, наприклад: визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту та оцінка його водопроникності.

2. Навести основні результати експерименту: значення коефіцієнта фільтрації; витрата води через ґрунт та гідравлічний градієнт (за потреби); додаткові параметри (пористість, щільність), якщо вони впливали на розрахунок.

3. Класифікація ґрунту за водопроникністю: вказати, чи ґрунт малопроникний, середньопроникний чи високопроникний, згідно з нормативами ДСТУ.

4. Зазначити інженерно-геологічне значення результатів: придатності ґрунту для фундаментів, дренажних систем та земляних споруд; можливі обмеження або рекомендації (наприклад, ґрунт схильний до швидкого просочування або потребує дренажу).

5. Загальний підсумок: Одним-двома реченнями підсумувати основні результати роботи та їх практичне застосування.

### Контрольні запитання до лабораторної роботи № 3

1. Сформулюйте закон ламінарної фільтрації (закон Дарсі).
2. За якою формулою визначається гідравлічний ухил?
3. Що таке початковий градієнт фільтрації?
4. Як визначити швидкість фільтрації?
5. Як визначити коефіцієнт фільтрації?
6. В яких розрахунках використовують коефіцієнт фільтрації?
7. Від яких характеристик ґрунту залежить коефіцієнт фільтрації?

### Критерії оцінювання лабораторної роботи № 3

Максимальна кількість балів: 100

Елемент оцінювання	Зміст оцінювання	Бали
1. Підготовка до роботи	Знання теоретичних основ фільтраційних процесів у ґрунтах; розуміння поняття коефіцієнта фільтрації, факторів, що впливають на водопроникність; знання вимог ДСТУ Б В.2.1-23:2009.	20
2. Виконання експерименту	Правильне встановлення приладу (фільтраційного циліндра), підготовка зразка, дотримання заданого гідравлічного градієнта, точність вимірювань	25

<i>Елемент оцінювання</i>	<i>Зміст оцінювання</i>	<i>Бали</i>
	об'ємів води та часу фільтрації, дотримання техніки безпеки.	
3. Обробка експериментальних даних	Правильність розрахунків коефіцієнта фільтрації ( $k_f$ ), побудова залежностей витрати від часу або напору, визначення характеру фільтраційного процесу, перевірка відповідності результатів допустимим похибкам.	20
4. Оформлення звіту	Повнота структурних елементів: тема, мета, короткі теоретичні положення, опис ходу роботи, таблиці вимірювань, розрахунки, висновки; акуратність та відповідність оформлення методичним вимогам.	15
5. Формування висновків та захист роботи	Аргументованість висновків, уміння інтерпретувати отримане значення коефіцієнта фільтрації з урахуванням типу ґрунту, вологості та щільності; уміння пояснити практичне значення показника для розрахунку основ і гідротехнічних споруд.	20

## Лабораторна робота № 4

### ВИЗНАЧЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТІВ

**Тема роботи.** Визначення стисливості ґрунтів методом одновісного стиску у компресійному приладі відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1-4-96 «Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості» з метою оцінювання осідання ґрунтової основи та розрахунку деформаційних властивостей при навантаженні.

**Мета.** Ознайомитися з методикою визначення стисливості ґрунтів відповідно до [8], набувати практичних навичок проведення випробувань зразків під навантаженням та оцінювати їх деформаційні характеристики [1-5].

**Завдання.** Підготувати ґрунтовий зразок для випробування на стисливість.

1. Провести лабораторні вимірювання зміни об'єму або висоти зразка при різних навантаженнях.

2. Розрахувати: коефіцієнт загальної стисливості ґрунту; модуль деформації; прогнозоване осідання фундаменту (за необхідності).

3. Проаналізувати вплив фізико-механічних властивостей ґрунту (вологість, щільність, гранулометричний склад) на його стисливість.

4. Оформити результати вимірювань та розрахунків у таблицях і зробити висновки щодо інженерної придатності ґрунту для використання в основах фундаментів.

**Теоретичні положення.** Стисливість ґрунтів – це здатність ґрунтового масиву зменшувати свій об'єм під дією зовнішнього навантаження. Вона визначає осідання споруд та основ, що є ключовим показником при проектуванні фундаментів і земляних споруд.

Основні параметри, що характеризують стисливість ґрунтів: коефіцієнт ущільнення  $\alpha$  і модуль загальної деформації  $E$ .

**Коефіцієнт ущільнення ґрунту ( $\alpha$ )** – це відношення зміни коефіцієнта пористості до різниці тисків, яка викликала цю зміну.

**Модуль деформації ґрунту ( $E$ )** – це коефіцієнт пропорційності між відносною деформацією ґрунтового зразка і вертикальним тиском на зразок.

**Осідання фундаментів ( $S$ )** – визначається як практичний наслідок стисливості ґрунту під навантаженням.

Для випробування ґрунтів застосовують компресійні прилади (іноді їх називають одометрами, рис. 4.1), які складаються з наступних деталей: робочого кільця 2 із внутрішнім діаметром 87,6 мм і висотою 25 мм, циліндричної обойми 3, перфорованої вкладки під кільце 4 і піддону з ємкістю для води 5, а також індикатора переміщень годинникового типу 1 для вимірювання вертикальних деформацій ґрунту з ціною поділки 0,01 мм.

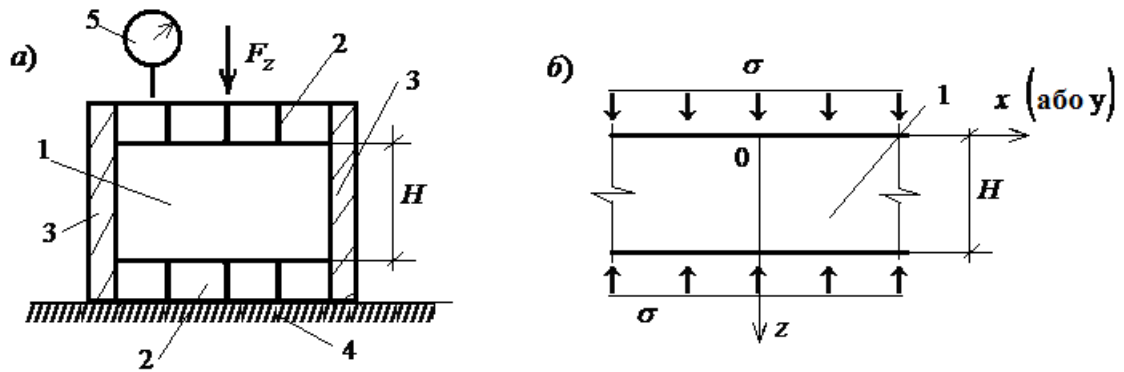


Рисунок 4.1 – Схема випробування зразка ґрунту у компресійному приладі (одометрі): а) схема експериментальної установки; б) розрахункова схема випробувань; 1 – ґрунтовий зразок циліндричної форми; 2 – верхній і нижній пористі металеві штамп; 3 – жорстка кругла обойма; 4 – жорстка основа; 5 – індикатор вимірювання вертикальних переміщень;  $H$  – висота зразка;  $F_z$  – вертикальна зосереджена сила;  $\sigma$  – вертикальні напруження

**Мета роботи:** визначити коефіцієнт ущільнення і модуль деформації ґрунту.

**Прилади та обладнання:** компресійний прилад (див. рис. 4.1).

#### Порядок виконання роботи

1. Зразок ґрунту в робочому кільці встановлюють в обойму компресійного приладу.

2. За індикатором приладу знімають початковий відлік до прикладення навантаження на зразок.

3. Передають на зразок тиск  $P_i$  ступенями по 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 і т.д. МПа. Величину тиску доводять до півторакратної величини проектного розрахункового тиску на ґрунт.

4. Після прикладання кожного ступеня тиску показання індикаторів  $n_i$  слід реєструвати через 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30 хв. і далі по 30 хвилин до досягнення умовної стабілізації деформації ґрунту.

За критерій умовної стабілізації деформації ґрунту при даному ступені тиску слід приймати деформацію не більше 0,01 мм:

- для глинистих ґрунтів - за 16 год;
- для пілуватих і дрібних пісків - за 4 год.

5. Результати вимірювань заносять у табл. 4.1.

За умови наявності відносної деформації ґрунтів необхідно побудувати графік залежності відносних деформацій від вертикального тиску  $\varepsilon = f(P)$  (рис. 4.2).

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань

№ п/п	Час (хвилини, години)	Тиск на зразок $P$ , МПа	Показання індикатора, $n$	Деформація зразка, $\Delta h = n_{i+1} - n_i$ , мм	Відносний стиск зразка, $\varepsilon_i = \Delta h/h_0$	Коефіцієнт пористості ґрунту, $e = e_0 - \varepsilon_i \cdot (1 + e_0)$	Коефіцієнт ущільнення, $a = \frac{\Delta e}{\Delta P}$ , (МПа) <sup>-1</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8

Коефіцієнт пористості  $e_i$  по усереднених значеннях відносних деформацій  $\varepsilon_i$ , які беруть із графіка, при будь-якому тиску  $P$  слід обчислювати за формулою:

$$e = e_0 - \varepsilon_i \cdot (1 + e_0), \quad (4.1)$$

де  $e_0$  – початковий (до прикладення навантаження) коефіцієнт пористості ґрунту.

Коефіцієнт ущільнення на інтервалі тисків потрібно обчислювати за формулою:

$$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i} \quad (4.2)$$

Для визначення коефіцієнта ущільнення ґрунту  $a$  слід розглянути ділянку компресійної залежності в діапазоні зміни напруження від власної ваги ґрунту.  $P_i = \sigma_{zq}$  до проектного напруження  $P_{i+1} = \sigma_{zp}$  на проектній глибині  $z$  (рис. 4.3).

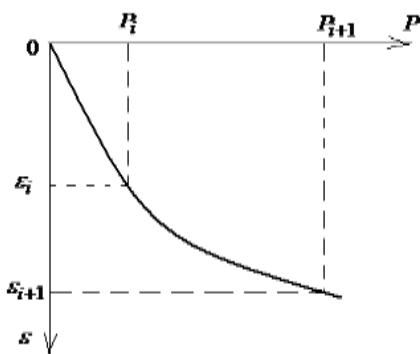


Рисунок 4.2 – Залежність відносної деформації ґрунту  $\varepsilon$  від тиску  $P$

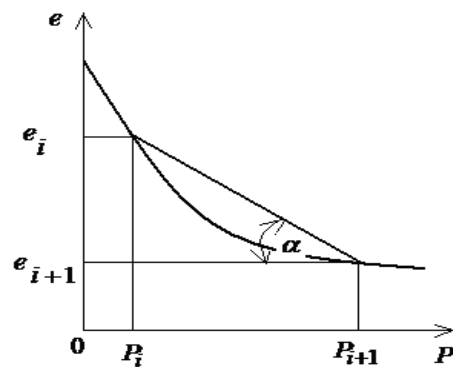


Рисунок 4.3 – Компресійна крива

Компресійний модуль деформації ґрунту  $E$  в інтервалі тисків від  $P_i$  до  $P_{i+1}$  слід визначати за формулою:

$$E_k = \frac{1 + e_0}{a}, \quad (4.3)$$

де  $\beta$  – емпіричний коефіцієнт, який ураховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі. Його слід приймати рівним:

- для пілватих і мілких пісків –  $\beta = 0,8$ ;
- для супісків –  $\beta = 0,7$ ;
- для суглинків –  $\beta = 0,5$ ;
- для глин –  $\beta = 0,4$ .

Модуль деформації, який відповідає натурним випробуванням (іноді його називають штаповим), обчислюють з урахуванням коригуючого коефіцієнта  $m_k$ , який слід приймати за табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт  $m_k$

Тип ґрунту	Коефіцієнт пористості, $e$									
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Супіски	4,0	4,0	3,5	3,0	2,0	-	-	-	-	-
Суглинки	5,0	5,0	4,5	4,0	3,0	2,5	-	-	-	-
Глини	-	-	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	2,5

Для визначення штапового модуля загальної деформації слід використовувати формулу виду:

$$E = E_k \cdot m_k \quad (4.4)$$

Написати **висновок** щодо виконаних лабораторних досліджень за наступними пунктами:

1. Коротко зазначити мету експерименту, наприклад: визначення стисливості ґрунту та оцінка його деформаційних властивостей під навантаженням.

2. Навести основні результати експерименту: зміна об'єму або висоти зразка при різних навантаженнях; коефіцієнт загальної стисливості ґрунту; модуль деформації; за необхідності - прогнозоване осідання фундаменту.

3. Визначити вплив фізико-механічних властивостей ґрунту: оцінити, як вологість, щільність, гранулометричний склад вплинули на стисливість; вказати особливості поведінки ґрунту під навантаженням.

4. обґрунтувати інженерно-геологічні значення результатів: оцінка придатності ґрунту для фундаментів і земляних споруд; можливі рекомендації щодо підготовки ґрунту або конструкцій для зменшення осідань.

5. Сформувати загальний підсумок: одним-двома реченнями підсумувати основні результати роботи та їх практичне значення для будівельних розрахунків.

### Контрольні запитання до лабораторної роботи № 4

1. Що таке модуль загальної деформації ґрунту (дати визначення)?
2. У чому відмінність роботи ґрунту в природних умовах і в компресійному приладі?
3. З яких міркувань призначають діапазон зміни навантажень на зразок ґрунту у компресійному приладі?
4. Зняти відлік за індикатором 2,13 мм.
5. Сформулювати закон ущільнення ґрунту при компресії.
6. Написати рівняння компресійної кривої.
7. Як за коефіцієнтом ущільнення  $a$  визначити компресійний модуль деформації (навести формулу)?
8. Навіщо потрібен коригуючий коефіцієнт  $m_k$  і від яких фізичних характеристик ґрунту він залежить?

### Критерії оцінювання лабораторної роботи № 4

Максимальна кількість балів: 100

Елемент оцінювання	Зміст оцінювання	Бали
1. Підготовка до лабораторної роботи	Знання теоретичних основ теми: поняття стисливості, коефіцієнта стисливості та модуля деформації; розуміння суті компресійного випробування, послідовності навантаження зразка, правил користування приладом.	20
2. Виконання експерименту	Правильність підготовки зразка, встановлення у компресійний прилад, дотримання послідовності навантажень, точність зняття показників індикатора, дотримання техніки безпеки.	25
3. Обробка експериментальних даних	Побудова компресійної кривої, визначення коефіцієнтів стисливості ( $a$ ), модуля деформації ( $E$ ), індексу пористості; коректність розрахунків і висновків.	20
4. Оформлення звіту	Повнота звіту: тема, мета, короткі теоретичні відомості, таблиці, розрахунки, графіки, висновки; охайність та відповідність методичним вимогам.	15
5. Формування висновків і усний захист	Уміння інтерпретувати результати, оцінювати деформаційні властивості ґрунтів, визначати їх придатність як основи під фундаменти, відповідати на запитання викладача.	20

## **Лабораторна робота № 5** **ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСІДАЮЧИХ** **ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ**

**Тема роботи.** Визначення характеристик просідаючих лесових ґрунтів за ДСТУ Б В.2.1-22:2009. Оцінка небезпечності просідання при зволоженні основ споруд на лесових ґрунтах. Для міста Дніпро актуальність дослідження зумовлена високою вірогідністю залягання лесових ґрунтів у межах терас та схилів річки Дніпро, що може призводити до просідання основ і нерівномірних деформацій будівель при зволоженні.

**Мета.** Ознайомитися з методикою визначення характеристик просідаючих лесових ґрунтів відповідно до [9], оцінити їхні деформаційні властивості та здатність до осідання під навантаженням, набуваючи практичних навичок для інженерно-геологічних обстежень.

Лесові ґрунти – це дрібнозернисті осадові ґрунти переважно кременистого походження, характерні для території м. Дніпро та прилеглих регіонів. Вони відзначаються високою гігроскопічністю, підвищеною здатністю до просідання та чутливістю до вологості.

Просідання лесових ґрунтів під навантаженням пов'язане зі структурною нестійкістю та ущільненням частинок при насиченні водою. Недостатньо якісне використання лесових ґрунтів як основи фундаментів може призводити до: локальних осідань будівель; тріщин у стінах і перегородках; деформацій фундаментів та споруд.

Лабораторні дослідження просідаючих лесових ґрунтів дозволяють визначити: механічні характеристики ґрунту (густина, щільність, пористість); показники просідання при різних навантаженнях; здатність ґрунту до деформацій при зміні вологості.

Такі дослідження є особливо актуальними для міста Дніпро, де лесові відклади часто формують основу забудови, і їхнє неправильне використання в інженерній практиці вже призвело до випадків незначних і значних деформацій споруд [1-5].

**Завдання.** Підготувати зразки лесових ґрунтів для лабораторних випробувань.

1. Визначити фізико-механічні характеристики зразка: густину, щільність, пористість.

2. Провести випробування на просідання при різних навантаженнях і вологості.

3. Оцінити інженерні властивості ґрунту та здатність витримувати навантаження.

4. Проаналізувати потенційні ризики при використанні лесових ґрунтів як основи для будівель у м. Дніпро та зробити висновки щодо заходів, що зменшують деформації.

**Теоретичні положення.** Властивості просідаючих ґрунтів характеризуються такими параметрами:

- відносної просадкою  $\varepsilon_{sL}$  ;
- абсолютною просадкою  $S_{sL}$  ;
- початковим просадковим тиском  $P_{sL}$  ;
- початковою просадковою вологістю  $W_{sL}$  .

Під **відотною просадкою**  $\varepsilon_{sL}$  розуміють відношення різниці висот ґрунтових зразків у природному стані і при їх повному водонасиченні до висоти ґрунтового зразка у природному стані. Її визначають за формулою:

$$\varepsilon_{sL} = \frac{h_{n,p} - h_{sat,p}}{h_{n,q}}, \quad (5.1)$$

де  $h_{sat,p}$  и  $h_{n,p}$  – висоти ґрунтових зразків при їх повному водонасиченні (тобто при  $W = W_{sat}$ ) і у природному стані, які знаходяться під впливом сумарного навантаження від власної ваги ґрунту  $\sigma_{zq}$  і додаткового тиску  $\sigma_{zp}$  (тобто  $p = \sigma_{zq} + \sigma_{zp}$ ) а  $h_{n,q}$  – висота ґрунтового зразка природної вологості, що знаходиться під дією природного тиску. Відносну просадку визначають у компресійному приладі відповідно до ДСТУ Б В.2.1-22:2009. Ґрунт вважають просадковим, якщо виконується умова  $\varepsilon_{sL} \geq 0,01$ .

Під **абсолютною просадкою**  $S_{sL}$  розуміють деформацію основи, обумовлену його зволоженням і діючими в основі напруженнями. Розрізняють:

- абсолютну просадку від власної ваги ґрунту  $S_{sL,q}$  ;
- абсолютну просадку від зовнішнього навантаження  $S_{sL,p}$  ;
- абсолютну сумарну просадку  $S_{sL}$  .

Під **початковим просадковим тиском**  $P_{sL}$  розуміють такий мінімальний тиск, при якому розвиваються просадкові деформації.

Під **початковою просадковою вологістю**  $W_{sL}$  розуміють таку мінімальну вологість, за якої розвиваються просадкові деформації.

**Мета роботи:** визначити відносну, абсолютну просадку і початковий просадковий тиск.

**Прилади та обладнання:** ґрунтові зразки, компресійний прилад.

## 5.1 Визначення відносної просадки за методом однієї кривої

### Порядок виконання роботи

1. Зразок ґрунту непорушеної структури, відібраний з глибини  $z$  від поверхні, розміщують у компресійному приладі (рис. 5.1).
2. За індикатором приладу знімають нульовий відлік  $n_0$  при тиску  $\sigma = 0$ .

3. Обжимають зразок ґрунту тиском  $P_{zq} = \gamma \cdot z$  ( $\sigma_{zq} = \gamma \cdot z$ ), що діє на глибині  $z$ , від власної ваги ґрунту, а після стабілізації деформацій знімають відлік  $n_1$  за індикатором приладу.

4. Обжимають зразок ґрунту тиском  $P_z = P_{zq} + P_{zp}$  ( $\sigma_z = \sigma_{zq} + \sigma_{zp}$ ), і після повної стабілізації деформації знімають відлік  $n_2$ .

5. Замочують зразок ґрунту до повного насичення водою і після повної стабілізації деформації знімають відлік  $n_3$ .

6. Результати заносять до табл. 5.1.

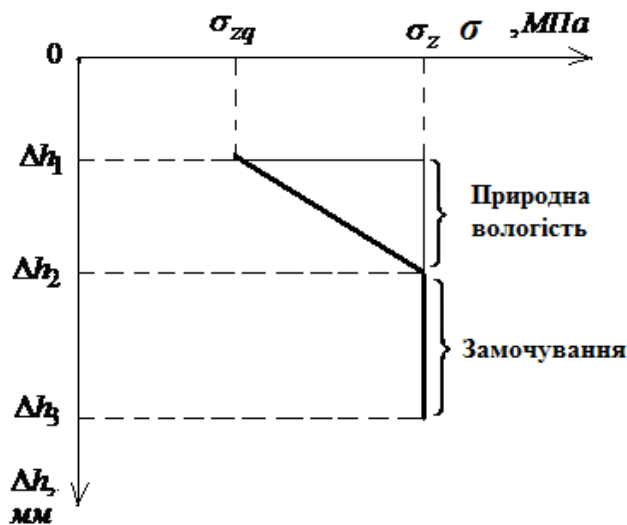


Рисунок 5.1 – До визначення відносної просадки за методом однієї кривої

Таблиця 5.1 – Результати вимірювань

№ $n/n$	Тиск на зразок, МПа	Дані про замочування	Показання індикаторів, мм	Деформація зразка, мм	Висота зразка $h$ , мм	Відносна просадка, $\varepsilon_{sL}$
1	$P \sigma = 0$	Відсутні	$n_0$	0	$h_0 = 25$	$\varepsilon_{sL} = \frac{h_{n,p} - h_{sat,p}}{h_{n,p}}$
2	$P = P_{zq}$ $\sigma = \sigma_{zq}$	Відсутні	$n_1$	$\Delta h_1 =$ $n_1 - n_0$	$h_{n,q} =$ $h_0 - \Delta h_1$	
3	$P = P_z$ $\sigma = \sigma_z$	Відсутні	$n_2$	$\Delta h_2 =$ $n_2 - n_0$	$h_{n,p} =$ $h_0 - \Delta h_2$	
4	$P = P_z$ $\sigma = \sigma_z$	Відсутні	$n_3$	$\Delta h_3 =$ $n_3 - n_0$	$h_{sat,p} =$ $h_0 - \Delta h_3$	

## 5.2 Визначення відносної просадки за методом двох кривих

Визначення відносної просадки  $\varepsilon_{sL}$  і початкового тиску  $P_{sL,0}$  за допомогою методу двох кривих виконують в компресійному приладі.

Випробовуванню підлягають два зразки ґрунту з різною вологістю.

Вологість першого зразка повинна відповідати природній вологості,  $W_s$ .

Вологість другого зразка повинна відповідати природній вологості ґрунту за умови його повного насичення водою,  $W_{sat}$ .

### Порядок виконання роботи

#### 1. Проведення випробування

1.1. Зразки ґрунту непорушеної структури розміщують у компресійних приладах.

1.2. За індикаторами приладів знімають початковий відлік  $\Delta_0$ , який відповідає нульовому навантаженню на зразок  $P_0 = 0$ .

1.3. Другий зразок у компресійному приладі насичують водою до повного водонасичення (у цьому випадку ступінь вологості  $S_r \rightarrow 1$ ).

1.4. Зразки в компресійних приладах навантажують ступенями навантаження  $P_i$ . Крок прикладання навантаження приймають рівним  $\Delta P_i = 0,05$  МПа.

1.5. Кожний ступінь навантаження доводять до умовної стабілізації.

1.6. Під час проведення випробувань із використанням індикатора переміщень годинникового типу реєструють деформації зразків ґрунту з точністю до 0,01 мм.

2. Розрахунок відносної просадки та просадкового тиску за методом двох кривих

2.1. Спочатку для кожного із ступенів навантаження обчислюють деформації зразків ґрунту природної вологості ( $\Delta h_i$ ) та ґрунту при повному водонасиченні ( $\Delta h_i'$ ).

2.2. Для визначення деформацій ґрунтового зразка природної вологості  $\Delta h_i$  використовують формулу  $\Delta h_i = n_i - n_0$ ,  $n_0$  - нульовий відлік, а  $n_i$  - відлік за індикатором після стабілізації  $i$ -того ступеня навантаження.

2.3. Для визначення деформацій повністю водонасиченого ґрунтового зразка  $\Delta h_i'$  використовують формулу  $\Delta h_i' = n_i' - n_0'$ ,  $n_0'$  - нульовий відлік, а  $n_i'$  - відлік за індикатором після стабілізації  $i$ -того ступеня навантаження.

2.4. Для визначення відносних деформацій ґрунтових зразків природної вологості і повністю водонасичених використовують формули виду  $\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{h}$

(зразок природної вологості) і  $\varepsilon_i' = \frac{\Delta h_i'}{h}$  (повністю водонасичений зразок). Тут

$h$  - початкова (до прикладання навантаження) висота зразка природної

вологості;  $h'$  - висота повністю водонасиченого зразка.

2.5. Результати розрахунків заносять до табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Результати випробувань та розрахунків

№ $n/n$	Результати випробувань ґрунту							Відносна просадка $\varepsilon_{SL} = \varepsilon - \varepsilon'$
	При природній вологості				При повному водонасиченні			
	$P_i$	$n_i$	$\Delta h_i$	$\varepsilon_i$	$n'_i$	$\Delta h'$	$\varepsilon'_i$	
	0							
	0,05							
	0,10							
	0,15							
	0,20							
	0,25							
	0,30							
	0,35							

2.6. Відносну деформацію обчислюють за формулою:

$$\varepsilon_{SL} = \varepsilon - \varepsilon' = \frac{\Delta h}{h} - \frac{\Delta h'}{h'}$$

2.7. Залежності відносної деформації від діючого на зразок навантаження для наочності представляють у графічній формі (рис. 5.2).

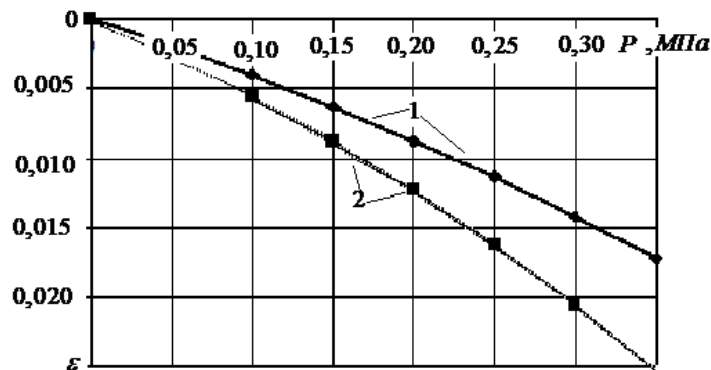


Рисунок 5.2 – Метод двох кривих. Залежність "відносна деформація - навантаження на зразок" (схема): 1 – зразок природної вологості; 2 - повністю водонасичений зразок

2.8. Залежності відносної просадки від діючого на зразок навантаження для наочності слід представити у графічній формі (рис. 5.3).

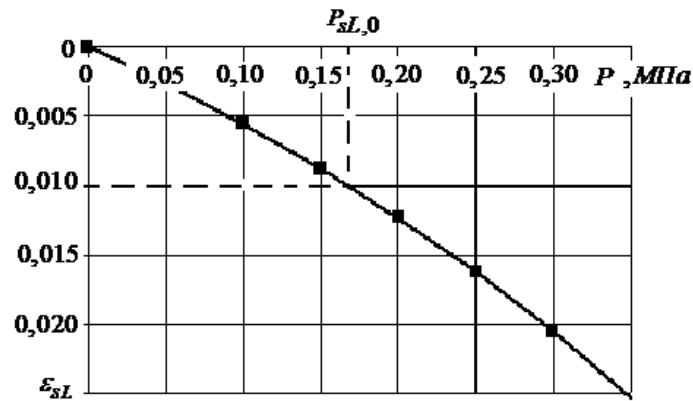


Рисунок 5.3 – Метод двох кривих. До визначення початкового просадкового тиску  $P_{SL,0}$  (схема)

2.9. На графіку  $\varepsilon_{SL} = f(P)$  визначають точку з ординатою  $\varepsilon_{SL} = 0,01$ .

Відповідна їй абсциса є значенням початкового просадкового тиску  $P_{SL,0}$ .

3. Після цього розраховують абсолютну просадку  $S_{SL}$ .

Для цієї мети використовують формулу:

$$S_{SL} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{SL,i} \cdot k_{SL,i} \cdot h_i, \quad (5.2)$$

де  $\varepsilon_{SL,i}$  - відносна просадка  $i$ -того ґрунтового шару;  $h_i$  - його товщина;  $k_{SL,i}$  - коефіцієнт умов роботи.

Якщо слід визначити абсолютну просадку від власної ваги ґрунту  $S_{SL,q}$ , то приймають  $k_{SL,i} = 1$ .

Якщо слід визначити просадку від переданого на ґрунт через подошву фундаменту навантаження  $S_{SL,p}$  або просадку від сумарного навантаження від власної ваги ґрунту, або від сумарного навантаження (власна вага ґрунту + навантаження, яке передається на основу через подошву фундаменту)  $S_{SL,p+q}$ , то коефіцієнт  $k_{SL,i}$  визначають таким чином:

$k_{SL,i} = 1$ , якщо ширина фундаменту  $b > 12$  м;

$k_{SL,i} = 0,5 + 1,5 \cdot \frac{P_{sr} - P_{SL0,i}}{P_0}$ , якщо ширина фундаменту  $b < 3$  м.

Якщо ширина фундаменту  $3 \leq b \leq 12$  метрів, то коефіцієнт умов роботи  $k_{SL,i}$  слід визначати за допомогою інтерполяції;  $P_{sr}$  - середній тиск під подошвою фундаменту;  $P_{SL0,i}$  - початковий просадковий тиск на розрахунковій глибині;  $P_0 = 100$  кПа.

Якщо абсолютна просадка від власної ваги ґрунту  $S_{SL,q} \leq 5$  см, то

говорять, що ґрунтова товща відноситься до **першого типу ґрунтових умов за просадкою**.

Якщо абсолютна просадка від власної ваги ґрунту  $S_{SL,q} > 5$  см, то говорять, що ґрунтова товща відноситься до другого типу ґрунтових умов за просадкою.

Написати **висновок** щодо виконаних лабораторних досліджень за наступними пунктами:

1. Зазначити мету експерименту, наприклад: визначення характеристик просідаючих лесових ґрунтів та оцінка їх деформаційних властивостей під навантаженням.

2. Надати основні результати вимірювань: фізико-механічні характеристики зразка (густина, щільність, пористість); величину просідання під різними навантаженнями; вплив вологості на деформаційні властивості ґрунту.

3. З'ясувати класифікація ґрунту за деформаційними властивостями: визначити, наскільки ґрунт схильний до просідання (малосхильний, середньосхильний, високосхильний); при потребі вказати тип лесових відкладів (суглинок, супісок).

4. Обґрунтувати інженерно-геологічне значення результатів: оцінити придатність лесових ґрунтів як основи для фундаментів; вказати ризики для будівель у м. Дніпро та можливі негативні наслідки неякісного використання ґрунту; за потреби дати рекомендації щодо заходів для зменшення осідань (ущільнення, дренаж, заміна ґрунту тощо).

5. Загальний підсумок: одним-двома реченнями підсумувати результати роботи та їх практичне значення для будівельної практики.

### Контрольні запитання до лабораторної роботи № 5

1. Які характеристики просадковості дозволяє визначити метод однієї кривої?

2. Які характеристики просадковості дозволяє визначити метод двох кривих?

4. Що таке відносна просадка  $\varepsilon_{SL}$  ?

5. Що таке абсолютна просадка  $S_{SL}$  ? Які види абсолютної просадки Ви знаєте?

6. Що таке початковий просадковий тиск  $P_{SL,0}$  ? Як він визначається?

7. Яким чином визначають тип ґрунтової товщі за просадкою?

8. У чому відмінність між способами визначення просадок основи від власної ваги ґрунту, тиску під подошвою фундаменту і сумарного тиску?

**Критерії оцінювання лабораторної роботи № 5**  
**Максимальна кількість балів: 100**

<i>Елемент оцінювання</i>	<i>Зміст оцінювання</i>	<i>Бали</i>
1. Підготовка до лабораторної роботи	Знання теоретичних основ теми: поняття просідання, відносного просідання, умовної межі просідання; розуміння методики випробувань лесових ґрунтів та нормативних вимог ДСТУ Б В.2.1-22:2009.	20
2. Виконання експерименту	Правильність підготовки зразка, встановлення його у прилад для визначення просідання, дотримання послідовності навантажень, точність зняття показників, дотримання правил техніки безпеки.	25
3. Обробка експериментальних даних	Коректність розрахунків відносного просідання ( $\varepsilon_s$ ), визначення умовної межі просідання, побудова графіків, обґрунтованість інженерних висновків щодо просідання ґрунтів.	20
4. Оформлення звіту	Повнота та правильність оформлення: тема, мета, теоретичні відомості, хід роботи, таблиці та графіки, розрахунки, висновки; акуратність, відповідність методичним вимогам.	15
5. Формування висновків і усний захист	Аргументованість висновків, здатність оцінити небезпеку просідання, визначити придатність ґрунту для основ споруд у конкретних інженерно-геологічних умовах (наприклад, м. Дніпро), відповіді на запитання викладача.	20

## Лабораторна робота № 6 ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ҐРУНТІВ ЗСУВУ

**Тема роботи.** Визначення опору ґрунтів зсуву за ДСТУ Б В.2.1-4-96. Вивчення методів визначення міцності ґрунтів при зсуві та оцінка їх придатності як основи під будівельні та гідротехнічні споруди.

**Мета.** Ознайомитися з методикою визначення опору ґрунтів зсуву згідно з [8], дослідити вплив фізичних властивостей ґрунтів на їхню міцність, навчитися визначати показники зчеплення та кута внутрішнього тертя на основі результатів лабораторних випробувань [1-5].

**Завдання.** Підготувати зразки ґрунту для випробування у зсувному апараті.

1. Провести дослідження при різних рівнях нормального навантаження.
2. Визначити граничне дотичне напруження для кожного навантаження.
- 3 Побудувати графік залежності  $\tau = f(\sigma)$  та визначити параметри міцності:  $c$  (питоме зчеплення) і  $\varphi$  (кут внутрішнього тертя).
4. Проаналізувати отримані результати та оцінити стійкість досліджуваного ґрунту щодо зсуву.
5. Зробити висновки про можливість використання ґрунту як основи фундаментів або елементів земляних споруд.

**Теоретичні положення.** Опір ґрунту зсуву - це його здатність протидіяти руйнуванню (зсуву) під дією зовнішніх навантажень. Це один із ключових параметрів механіки ґрунтів, який визначає міцність основи та стійкість споруд, насипів, укосів і схилів.

Зсув ґрунту відбувається тоді, коли дотичні напруження перевищують граничне значення, що визначається співвідношенням між внутрішнім тертям і зчепленням частинок. В основі оцінки лежить закон Кулона–Мора, згідно з яким:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi ,$$

де  $\tau$  - граничне дотичне напруження (опір зсуву),

$c$  - питоме зчеплення ґрунту,

$\sigma$  - нормальні напруження,

$\varphi$  - кут внутрішнього тертя.

Метод одноплощинного зсуву застосовується для визначення міцнісних властивостей ґрунту. Зазвичай випробування проводять у приладі одноплощинного зсуву, схема роботи якого показана на рис. 6.1 та у такій послідовності:

1. Зразок ґрунту поміщують у жорстке металеве кільце, розрізане на дві частини (верхню і нижню), між якими є зазор.
2. Прикладаючи до зразка через штамп нормальну силу  $F_z$ , виконують ущільнення ґрунту в умовах компресійного стиску до заданого стану.
3. Потім шляхом поступового збільшення горизонтальної сили  $T$  виконується руйнування зразка.

4. Руйнівне дотичне напруження визначають за формулою  $\tau = \frac{T}{A}$ , а відповідне йому нормальне вертикальне напруження – за формулою  $\sigma = \frac{F_z}{A}$ , де  $A$  – площа поперечного перерізу зразка.

У природних умовах відповідний до схеми одноплощинного зсуву напружено-деформований стан виникає в тому випадку, коли відбувається горизонтальне зміщення ґрунтового шару відносно решти частини основи по тонкому прошарку слабого ґрунту. На плоский зсув можна випробовувати як зв'язні, так і сипучі ґрунти.

**Мета роботи:** визначити значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення.

**Прилади та обладнання:** прилад одноплощинного зсуву, ущільнювач, схема роботи якого показана на рис. 6.1.

### 6.1 Випробування ґрунту за методом одноплощинного зсуву

1. Випробування ґрунту за методом одноплощинного зрізу проводять для визначення таких характеристик міцності: **опору ґрунту зрізу  $\tau$** ; **кута внутрішнього тертя  $\varphi$** ; **питомого зчеплення  $c$**  для пісків (крім гравелистих і крупних), глинистих і органо-мінеральних ґрунтів.

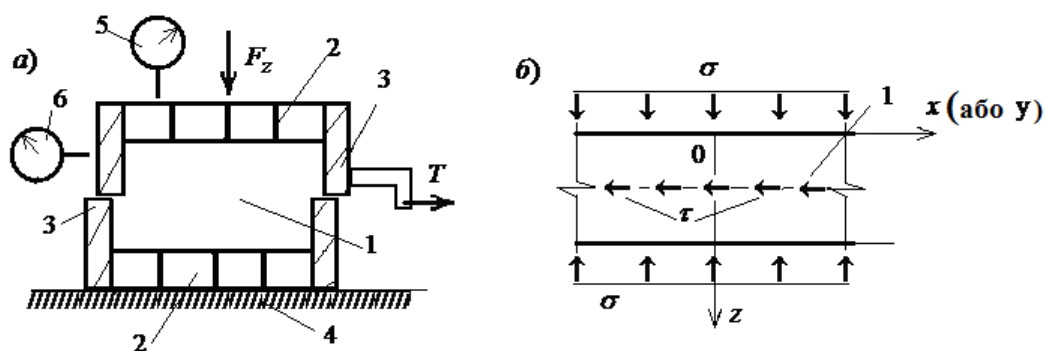


Рисунок 6.1 – Випробування ґрунту у приладі одноплощинного зсуву (схема):  
а – схема експериментальної установки; б – розрахункова схема випробувань.

1 – ґрунтовий зразок циліндричної форми; 2 – верхній та нижній пористі металеві штапти; 3 – жорсткі круглі обойми (верхня рухома, нижня нерухома); 4 – жорстка основа; 5 – індикатор вимірювання вертикальних переміщень; 6 – індикатор вимірювання горизонтальних переміщень;  $F_z$  – вертикальна зосереджена сила;  $T$  – горизонтальна зосереджена сила;  $\sigma$  – нормальні вертикальні напруження;  $\tau$  – дотичні вертикальні напруження

2. Ці характеристики визначають за результатами випробувань зразків ґрунту в одноплощинних зрізних приладах із фіксованою площиною зрізу шляхом зрушення однієї частини зразка відносно іншої його частини дотичним

навантаженням при одночасному навантажуванні зразка навантаженням, нормальним до площини зрізу.

Для глинистих ґрунтів за спеціальним завданням може бути проведено повторний зріз зразка по фіксованій площині – зріз "плашка по плашці".

**Примітка.** Не допускається випробовувати ґрунти, які видавлюються у процесі випробування в зазор між рухомою і нерухомою частинами зрізної коробки.

**3. Опір ґрунту зрізу визначають** як граничне середнє дотичне напруження, при якому зразок ґрунту зрізається по фіксованій площині при заданому нормальному напруженні. Для визначення  $c$  і  $\varphi$  необхідно провести не менше трьох випробувань при різних значеннях нормального напруження.

#### **4. Випробування проводять за такими схемами:**

- консолідовано – дреноване випробування – для пісків і глинистих ґрунтів незалежно від їх ступеня вологості у стабілізованому стані;

- неконсолідовано – недреноване випробування – для водонасичених глинистих і органо-мінеральних ґрунтів у нестабілізованому стані та просадкових ґрунтів, які досягли водонасиченого стану замочуванням без прикладання навантаження.

5. Для випробувань **використовують зразки ґрунту** непорушеної структури із природною вологістю або у водонасиченому стані, або зразки порушеної структури із заданими значеннями густини і вологості (у тому числі при повному водонасиченні), або зразки, відібрані з ущільненого масиву, для штучно ущільнених ґрунтів.

При цьому зразки просадкових ґрунтів випробовують у водонасиченому стані, а набухаючих – за умови природної вологості.

**Примітка.** У необхідних випадках опір зрізу може визначатись:

- для просадкового ґрунту при природній вологості або при вологості на межі розкочування, якщо остання перевищує природну;

- для засоленого – на зразках попередньо вилуженого ґрунту після стабілізації суфозійної осадки при заданому нормальному тиску;

- для набухаючих ґрунтів – в умовах повного водонасичення після стабілізації вільного набухання або набухання (ущільнення) при заданому нормальному тиску;

- для насипних ґрунтів – за умови їх максимальної, необхідної щільності або щільності, що досягається.

6. Зразки повинні мати форму циліндра діаметром не менше 70 мм і висотою від 1/3 до 1/2 діаметра.

**Примітка.** Для однорідних глинистих ґрунтів (без включень) допускається при випробуваннях у польових лабораторіях зменшувати діаметр зразка до 56 мм.

## 6.2 Робота з обладнанням та приладами для виконання експерименту

1. До складу установки для випробування ґрунту методом одноплощинного зрізу повинні входити:

- зрізна коробка, яка складається із рухомої і нерухомої частин, і включає робоче кільце із внутрішніми розмірами за пунктом 6 (розділ 6.1 даної л.р.), жорстких суцільного і перфорованого штампів;
- механізм для вертикального навантажування зразка;
- механізм створення дотичного навантаження;
- пристрої для вимірювання деформацій зразка та прикладеного навантаження.

**Примітка.** Для випробування зразка піщаних ґрунтів застосовують зрізну коробку з нижньою рухомою частиною.

2. Конструкція зрізувального приладу повинна забезпечувати початковий вертикальний тиск на зразок (від ваги штампу та вимірювальних приладів на ньому) не більше 0,025 МПа.

3. Під час тарировки зрізної коробки відповідно до паспорту на прилад встановлюють поправки на подолання тертя рухомої частини зрізної коробки.

4. За необхідності попереднього ущільнення зразка можуть застосовуватися ущільнювачі, які дозволяють проводити ущільнення при заданому тиску і збереженні природної або заданої вологості, а також в умовах повного водонасичення.

До складу ущільнювача повинні входити такі основні вузли:

- циліндрична обойма, в яку поміщають робоче кільце зі зразком;
- жорсткий перфорований штамп;
- механізм для вертикального навантажування зразка;
- ванна для водонасичення зразка;
- гідроізолюючі елементи;
- пристрій для вимірювання вертикальних деформацій зразка.

## 6.3 Підготовка до випробування

1. Зразок ґрунту виготовляють з урахуванням вимог пунктів 5 і 6 (розділ 6.1 даної л.р.).

2. Виготовлений зразок зважують і в залежності від схеми випробування та виду ґрунту починають або його попереднє ущільнення, або відразу випробування на зріз.

3. Попереднє ущільнення зразка під час консолідовано - дренажного випробування проводять безпосередньо у робочому кільці зрізувального приладу або в ущільнювачі.

4. При попередньому ущільненні в ущільнювачі робоче кільце з підготовленим зразком ґрунту слід помістити в обойму ущільнювача, а потім зібрану обойму встановити у ванну ущільнювача на перфорований вкладиш (попередньо торці зразка необхідно вкрити вологим паперовим фільтром). Далі необхідно встановити на зразок перфорований штамп, провести регулювання

механізму навантажування, встановити прилади для вимірювання вертикальних деформацій ґрунту і записати їх початкові показання.

5. Для випробувань зразків ґрунту в умовах повного водонасичення необхідно попередньо замочити зразки, заповнивши ванну ущільнювача водою.

При випробуванні просадкових ґрунтів, що мають природну вологість менше  $W_p$ , необхідно додатково зволожити зразки до вологості, яка дорівнює  $W_p$ .

Зразкам набухаючих ґрунтів, призначеним для визначення опору зрізу в умовах повного водонасичення після стабілізації деформацій набухання при заданому нормальному тиску, необхідно до початку замочування передати тиск  $\sigma$ .

Час насичення зразків водою повинен бути не менше значень, що наведені у табл. 6.1.

6. При проведенні випробувань на повторний зріз зразок ґрунту розрізають на дві частини гострим ножем або волосінню по площині першого зрізу, ретельно зарівнюють торцеві поверхні обох половин, з'єднують їх між собою і поміщають у робоче кільце зрізувального приладу.

Таблиця 6.1 – Нормативний час проведення етапів випробування для різних видів ґрунтів

<i>Ґрунти</i>	<i>Час насичення зразків водою, не менше</i>	<i>Час витримки ступенів, не менше</i>	<i>Час умовної стабілізації деформацій стиску на кінцевому ступені, не менше</i>
Піски	10 хв	5 хв	20 хв
Глинисті (непросадкові і ненабухаючі):			
супіски	3 год		2 год
суглинки з $I_p < 0,12$	6 год		6 год
з $I_p \geq 0,12$	12 год	30 хв	12 год
глини з $I_p < 0,22$	12 год		12 год
з $I_p \geq 0,22$	36 год		12 год
Просадкові	Як для непросадкових	30 хв	3 год
Набухаючі	До досягнення умовної стабілізації деформації набухання – 0,1 мм за 24 год	30 хв	Як для ненабухаючих

## 6.4 Проведення консолідовано-дренованого випробування

1. Попереднє ущільнення зразка, за винятком зразків просадкових ґрунтів, що випробовуються у водонасиченому стані, виконують при нормальних тисках  $P$ , при яких визначають опір зрізу  $\tau$ . Нормальні тиски передають на зразок ґрунту ступенями  $\Delta P$ .

Значення  $P$  і  $\Delta P$  наведені у табл. 6.2 в МПа.

2. Кожний ступінь тиску при попередньому ущільненні витримують протягом часу, зазначеного в табл. 6.1, а кінцевий ступінь - до досягнення умовної стабілізації деформацій стиску зразка ґрунту.

За критерій умовної стабілізації деформації приймають її приріст, який не перевищує 0,01 мм за час, зазначений у табл. 6.1.

### Примітки

В окремих випадках, передбачених програмою випробувань, можуть призначатися більш високі нормальні тиски в порівнянні з наведеними в табл. 6.2. Якщо при заданих нормальних тисках залежність  $\tau=f(P)$  на початковій ділянці має суттєво нелінійний характер, значення  $\Delta P$  повинні бути змінені так, щоб зберігалася лінійність зазначеної залежності.

Таблиця 6.2 – Значення нормального тиску та його ступенів для різних видів ґрунтів

ґрунти	Нормальний тиск при попередньому ущільненні, $P$	Ступені тиску, $\Delta P$
Піски середньої крупності; щільні; глини з $I_L < 0$	0,1; 0,3; 0,5	0,1
Піски середньої крупності і середньої щільності; піски дрібні щільні та середньої щільності; супіски і суглинки з $I_L \leq 0,5$ ; глини з $0 < I_L \leq 0,5$	0,1; 0,2; 0,3	0,05
Піски середньої крупності і дрібні пухкі; піски пилуваті незалежно від щільності; супіски, суглинки і глини з $I_L > 0,5$	0,1; 0,15; 0,2	0,025 до $P = 0,1$ і далі 0,05
Примітка. Нормальний тиск $P$ при попередньому ущільненні зразків просадкового ґрунту, що випробовуються у водонасиченому стані, має становити 0,3 МПа і зростати ступенями $\Delta P=0,05$ МПа.		

3. У процесі попереднього ущільнення зразків ґрунту, а при їх випробуваннях у водонасиченому стані – і в період замочування, в журналі випробувань реєструють вертикальні деформації зразків. В кінці кожного ступеня навантажування записують показання приладів для вимірювання

деформацій, а на останньому ступені фіксують момент умовної стабілізації деформації стиску зразка ґрунту.

При замочуванні зразка ґрунту вертикальні деформації слід фіксувати після закінчення замочування, а для набухаючих ґрунтів фіксують момент умовної стабілізації деформації набухання (табл. 6.1).

4. Після попереднього ущільнення, якщо воно проводилося в ущільнювачі, слід швидко розвантажити зразок і перенести робоче кільце із зразком у зрізну коробку. Далі закріплюють робоче кільце у зрізній коробці, встановлюють перфорований штамп, виконують регулювання механізму навантажування, встановлюють зазор 0,5-1 мм між рухомою і нерухою частинами зрізної коробки, встановлюють вимірювальну апаратуру для реєстрації вертикальних деформацій зразка і записують її початкове показання в журналі випробування.

У разі попереднього ущільнення зразків ґрунту в умовах повного водонасичення перед розвантаженням зразка видаляють воду з ванни ущільнювача.

5. На зразок ґрунту передають такий же нормальний тиск, при якому відбувалося попереднє ущільнення ґрунту, за винятком зразків просадкового ґрунту, які випробовуються у водонасиченому стані. У цьому випадку нормальний тиск при зрізі має становити 0,1; 0,2; 0,3 МПа.

Випробування на повторний зріз виконують при тому ж нормальному тиску, при якому було здійснено перший зріз.

Нормальне навантаження слід передати на зразок в один ступінь і витримати його не менше:

- 5 хв - для пісків;
- 15 хв - для супісків;
- 30 хв - для суглинків та глин;
- 10 хв - при повторному зрізі.

6. Після передачі на зразок ґрунту нормального навантаження приводять в робочий стан механізм створення дотичного навантаження і прилад для вимірювання деформацій зрізу ґрунту та записують його початкове показання.

Під час передачі дотичного навантаження ступенями їх значення повинні складати 5% від значення нормального навантаження, при якому роблять зріз. На кожному ступені навантажування записують показання приладів для вимірювання деформацій зрізу через кожні 2 хв, зменшуючи інтервал між вимірами до 1 хв в період затухання деформації до її умовної стабілізації.

За критерій умовної стабілізації деформації зрізу приймають швидкість деформації, що не перевищує 0,01 мм/хв.

7. При безперервно зростаючому дотичному навантаженні швидкість зрізу повинна бути постійною і відповідати зазначеній у табл. 6.3. Деформації зрізу фіксують не рідше ніж через 2 хв.

Таблиця 6.3 – Швидкість зрізу під час випробування для різних видів ґрунтів

<i>Ґрунти</i>	<i>Швидкість зрізу, мм/хв</i>
Піски	$\leq 0,5$
Супіски	$\leq 0,1$
Суглинки	$\leq 0,05$
Ґлини с $I_p \leq 0,30$	$\leq 0,02$
Ґлини с $I_p > 0,30$	$\leq 0,01$

8. Випробування слід вважати закінченим, якщо під час прикладення чергового ступеня дотичного навантаження відбувається миттєвий зріз (зрив) однієї частини зразка по відношенню до іншої або загальна деформація зрізу перевищить 5 мм.

При проведенні зрізу з постійною швидкістю за закінчення випробувань приймають момент, коли зрізуюче навантаження досягне максимального значення, після чого спостерігається або деяке його зниження, або встановлення постійного значення, або загальна деформація зрізу перевищить 5 мм.

9. Після закінчення випробування слід зруйнувати зразок, витягти робоче кільце і зразок із приладу і відібрати проби для визначення вологості із зони зрізу зразка.

10. У процесі випробування заповнюють журнал.

### 6.5 Проведення неконсолідовано-недренованого випробування

1. Робоче кільце із зразком ґрунту поміщають у зрізну коробку і закріплюють у ній. Далі встановлюють суцільний штамп, проводять регулювання механізму навантажування, встановлюють зазор 0,5-1 мм між рухомою і нерухомою частинами зрізної коробки, встановлюють прилади для вимірювання деформації зрізу і записують початкові показання.

2. На зразок ґрунту передають за один ступінь нормальний тиск, при якому буде проводитись зріз зразка. Значення приймають за табл. 6.4. Якщо при тисках 0,125 і 0,15 МПа відбувається витискування ґрунту в зазор між рухомою і нерухомою частинами зрізної коробки, необхідно їх зменшити на 0,025 МПа.

Таблиця 6.4 – Нормальний тиск, який передається за один ступінь, для ґрунтів з різним показником текучості

<i>Ґрунти</i>	<i>Нормальний тиск P, МПа</i>
Ґлинисті та органо-мінеральні ґрунти з показником текучості:	
$I_L < 0,5$	0,1; 0,15; 0,2
$0,5 \leq I_L < 1$	0,05; 0,1; 0,15
$I_L \geq 1$	0,025; 0,075; 0,125

3. Відразу після передачі нормального навантаження приводять у дію механізм створення дотичного навантаження і виконують зріз зразка ґрунту не більше ніж за 2 хв з моменту прикладання нормального навантаження.

Під час передачі дотичного навантаження ступенями їх значення не повинні перевищувати 10% від значення нормального тиску, при якому виконується зріз (пункт 2 розділу 6.5 даної л.р.), і прикладення ступенів навантаження повинне відбуватися через кожні 10-15 с.

Під час передачі безперервно зростаючого дотичного навантаження швидкість зрізу приймають в інтервалі 2-3 мм/хв так, щоб зріз проходив протягом зазначеного часу.

4. Момент закінчення випробування встановлюють у відповідності з вказівками пункту 8 розділу 6.4 даної л.р. Після закінчення випробування слід зафіксувати максимальне дотичне навантаження у процесі випробування і провести операції, передбачені пунктом 9 розділу 6.4 даної л.р.

5. У процесі випробування заповнюють журнал.

## 6.6 Розрахунки за даними, отриманими в результаті випробувань

1. За виміряними у процесі випробувань значеннями дотичного і нормального навантажень обчислюють дотичні і нормальні напруження  $\tau$  і  $\sigma$ , МПа, за формулами:

$$\tau = \frac{T}{A}; \quad (6.1)$$

$$\sigma = \frac{F_z}{A}; \quad (6.2)$$

де  $T$  і  $F_z$  - відповідно дотична і нормальна сили до площини зрізу, кН;

$A$  - площа зрізу, см<sup>2</sup>.

Визначення необхідно проводити не менше ніж для трьох різних значень  $P$ .

Від кожного значення  $\tau$  віднімають поправку за рахунок тертя у приладі за заздалегідь побудованою тарувальною кривою [8]. Під час фіксації перебігу випробувань автоматичними приладами в одержану діаграму зрізу також вносять поправку за рахунок тертя у приладі.

За виміряними у процесі випробувань значеннями деформацій зрізу  $\Delta_1$ , відповідним різним напруженням  $\tau$ , будують графік залежності  $\Delta_1 = f(\tau)$ .

За опір ґрунту зрізу приймають максимальне значення  $\tau$ , отримане за графіком  $\Delta_1 = f(\tau)$  або діаграмою зрізу на відрізок  $\Delta_1$ , яке не перевищує 5 мм.

Якщо  $\tau$  зростає монотонно, то за опір ґрунту зрізу слід приймати  $\tau$  при  $\Delta_1 = 5$  мм.

2. Кут внутрішнього тертя  $\varphi$  та питоме зчеплення  $c$  визначають як параметри лінійної залежності:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c, \quad (6.3)$$

де  $\tau$  і  $\sigma$  визначають за формулами (6.1), (6.2).

Під час проведення повторних зрізів залежність (6.3) записують у вигляді:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + (c_{\Sigma w} + c_c) \quad (6.4)$$

де  $c_{\Sigma w}$  - питоме зчеплення, яке визначається за випробуванням на повторний зріз;  $c_c$  - частина загального питомого зчеплення  $c$  із вирахуванням  $c_{\Sigma w}$ .

3. Нормативні значення кута внутрішнього тертя  $\varphi$  і питомого зчеплення  $c$ , МПа, обчислюють за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2; \\ c^H &= \left( \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_i \right) / \Delta; \\ \operatorname{tg}(\varphi)^H &= \left( n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i \right) / \Delta \end{aligned} \right\} \quad (6.5)$$

Тут  $i$  - номер випробування, а  $n$  - кількість випробувань,  $\sigma_i$  і  $\tau_i$  - відповідно нормальне напруження і дотичне руйнуюче навантаження в  $i$ -тому випробуванні.

4. Розрахункові значення кута внутрішнього тертя  $\varphi$  і питомого зчеплення  $c$ , МПа, обчислюють за формулою (1.18).

Якщо міцнісні характеристики  $c$  і  $\varphi$  використовуються для розрахунку основи за деформаціями (наприклад, для визначення розрахункового опору ґрунту  $R$ ), то слід приймати  $t_\alpha$  при  $\alpha = 0,85$ .

Якщо міцнісні характеристики  $c$  і  $\varphi$  використовуються для розрахунку основи за міцністю, стійкістю і несучою здатністю ґрунту (наприклад, для визначення стійкості укосів і схилів), то слід приймати  $t_\alpha$  при  $\alpha = 0,95$ .

**Примітка.** Для оцінки розкиду експериментальних даних і виявлення помилок випробувань перед обчисленням  $\operatorname{tg} \varphi$  і  $c$  будують графік залежності  $\tau = f(\sigma)$ .

Написати **висновок** щодо виконаних лабораторних досліджень за наступними пунктами:

1. Коротко зазначити, для чого проводився експеримент (визначення показників міцності ґрунту - питомого зчеплення та кута внутрішнього тертя).

2. Навести основні результати вимірювань: значення граничних дотичних напружень  $\tau$  при різних нормальних навантаженнях  $\sigma$ ; побудувати залежність

$\tau=f(\sigma)$ ; обчислені параметри міцності -  $c$  (питоме зчеплення) та  $\varphi$  (кут внутрішнього тертя).

3. Надати оцінку міцності ґрунту: порівняти отримані показники з типовими для різних видів ґрунтів (піски, супіски, суглинки, глини); вказати, чи ґрунт має достатній опір зсуву для використання як основа під фундаменти або земляні споруди.

4. Обґрунтувати вплив фізичних властивостей ґрунту на результати. Оцінити, як вологість, щільність або гранулометричний склад вплинули на опір зсуву; підкреслити, чи спостерігається різниця в міцності при зміні навантаження або вологості.

5. Інженерне значення результатів: зробити висновок про стійкість ґрунту до зсувних деформацій; надати рекомендації щодо підвищення стійкості (ущільнення, дренаж, армування, цементация тощо).

6. Загальний підсумок: сформулювати короткий висновок (1–2 речення) про отримані параметри, їх практичне значення та висновок щодо придатності ґрунту для будівельних чи гідротехнічних споруд.

### **Контрольні запитання до лабораторної роботи № 6**

1. Напишіть закон Кулона для сипучого ґрунту, а також ґрунту, що має питоме зчеплення і внутрішнє тертя?

2. Наведіть визначення міцнісних характеристик ґрунту.

3. Яким чином визначаються нормальні і дотичні напруження при зсуві?

4. Які види випробувань ґрунту на зріз Ви знаєте?

5. Для яких видів ґрунту і умов роботи основи слід проводити консолідовано-дреноване випробування?

6. Для яких видів ґрунту і умов роботи основи слід проводити неконсолідовано - недреноване випробування?

7. Що таке неконсолідовано - недренований зсув?

8. Що таке консолідовано - дренований зсув?

9. Показати залежність дотичних напружень від нормальних для ідеально зв'язних ґрунтів.

10. Як визначити питоме зчеплення ґрунту, маючи результати випробувань зразка на зрізуючому приладі?

11. У чому полягає відмінність між нормативними та розрахунковими характеристиками ґрунту?

12. В яких випадках при визначенні розрахункових характеристик слід приймати інтервал імовірності  $\alpha = 0,85$ , а в яких -  $\alpha = 0,95$ ?

**Критерії оцінювання лабораторної роботи № 6**  
**Максимальна кількість балів: 100**

<i>Елемент оцінювання</i>	<i>Зміст оцінювання</i>	<i>Бали</i>
1. Підготовка до лабораторної роботи	Знання теоретичних основ теми: поняття опору ґрунтів зсуву, кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення; розуміння методики проведення лабораторних випробувань з використанням клинових або прямокутних моделей та відповідних приладів.	20
2. Виконання експерименту	Правильність підготовки зразка, встановлення у прилад для визначення зсувного опору, дотримання послідовності навантажень, точність зняття показників, дотримання техніки безпеки.	25
3. Обробка експериментальних даних	Коректність розрахунків опору зсуву ( $\tau$ ), визначення кута внутрішнього тертя ( $\varphi$ ) та питомого зчеплення ( $c$ ), побудова графіків залежності напружень від деформації, обґрунтованість висновків щодо міцності ґрунтів.	20
4. Оформлення звіту	Повнота та правильність оформлення: тема, мета, короткі теоретичні відомості, хід роботи, таблиці, графіки, розрахунки, висновки; акуратність та відповідність методичним вимогам.	15
5. Формування висновків і усний захист	Аргументованість висновків, здатність оцінити придатність ґрунту як основи споруд, пояснення значення показників зсувного опору для інженерної практики; відповіді на запитання викладача.	20

## Лабораторна робота № 7

### ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ І ДЕФОРМОВАНOSTІ ҐРУНТІВ ПРИ ТРЬОХОСЬОВОМУ СТИСКУ

**Тема роботи.** Визначення характеристик міцності і деформованості ґрунтів при трьохосьовому стиску за ДСТУ Б В.2.1-4-96. Вивчення поведінки ґрунтів під комплексним навантаженням та визначення їхніх характеристик міцності і деформованості при трьохосьовому стиску для оцінки інженерної стійкості ґрунтових основ.

**Мета роботи.** Ознайомитися з методикою проведення трьохосьових випробувань ґрунтів згідно з [8], отримати основні показники міцності (кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення) і деформованості (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона), навчитися аналізувати їх інженерне значення для розрахунків основ і споруд [1-5].

#### **Завдання.**

1. Підготувати зразки ґрунту стандартної форми для трьохосьового випробування.
2. Провести випробування при різних значеннях всебічного (бокового) тиску.
3. Визначити максимальні осьові напруження, що відповідають моменту руйнування зразка.
4. Побудувати залежності:  $\tau = f(\sigma)$  та  $\varepsilon = f(\sigma)$ 
  - Розрахувати основні характеристики: кут внутрішнього тертя  $\varphi$ ; питоме зчеплення  $c$ ; модуль деформації  $E$ ; коефіцієнт Пуассона  $\nu$ .
5. Проаналізувати отримані результати та зробити висновки щодо міцності і деформованості ґрунту при різних умовах навантаження.

**Прилади та обладнання:** стабілометр, циліндричні форми з нержавіючої сталі з ріжучим краєм, роз'ємні циліндричні форми, гумові оболонки, розширювач для поміщення зразка в гумову оболонку, вакуумний насос, ваги лабораторні, пристрій для видавлювання зразка із циліндричної форми, штангенциркуль або металева лінійка, ніж із нержавіючої сталі із прямим лезом, прес гвинтовий.

**Теоретичні положення.** Метод трьохосьового стиску - це один із найточніших способів визначення **міцнісних і деформаційних характеристик ґрунтів**. Він дозволяє відтворити в лабораторних умовах реальні напружено-деформовані стани, що виникають у ґрунтовій основі під час дії інженерних навантажень.

Принцип методу полягає у стисканні циліндричного зразка ґрунту в камері, заповненій рідиною, під дією **рівномірного всебічного тиску** (бокового) та **додаткового осьового навантаження**. У результаті випробування визначають:

- **граничне (пікове) напруження руйнування;**
- **деформаційні властивості** - модуль пружності  $E$  та коефіцієнт Пуассона  $\nu$ ;

• **параметри міцності ґрунту** - питоме зчеплення  $c$  і кут внутрішнього тертя  $\varphi$ .

Перевага трьохосового стиску полягає в можливості контролювати дренавання зразка, тобто імітувати поведінку ґрунту як у **дренованих** (повільних), так і в **недренованих** (швидких) умовах навантаження. Це дозволяє моделювати різні сценарії роботи основ — від стійкості схилів до навантаження від фундаментів гідротехнічних споруд.

Метод визначення цих характеристик в умовах трьохосового стиску у значній мірі відповідає напруженому стану ґрунту в основі споруди. Випробування проводять на приладі, в якому зразок ґрунту навантажують гідростатичним і вертикальним тисками при можливості бокового розширення.

Випробування зазвичай проходять на зразках ґрунту непорушеної будови з природною вологістю або на штучно приготованих зразках із заданою щільністю і вологістю. Зразки мають циліндричну форму, їх діаметр не менше ніж 38 мм і не менше ніж у 5 разів перевищує максимальний розмір великоуламкових включень при відношенні висоти до діаметра від 2 до 2,5, а також орієнтацію, відповідну природному заляганню.

Випробування проводять за такими схемами:

а) **недреноване випробування** (без віджиму води із зразка) - для визначення характеристик міцності водонасичених ( $S > 0,85$ ) пілувато-глинистих і біогенних ґрунтів у нестабілізованому стані;

б) **консолідовано-недреноване випробування** (із попереднім ущільненням зразка і віджимом води з нього тільки у процесі ущільнення) - для визначення характеристик міцності пілувато-глинистих і біогенних ґрунтів у нестабілізованому стані;

в) **дреноване випробування** (із попереднім ущільненням зразка і віджимом води з нього у процесі всього випробування) - для визначення характеристик міцності і деформованості ґрунтів у стабілізованому стані.

Недреновані і консолідовано-недреновані випробування можуть бути проведені для неповністю водонасичених ґрунтів за умови вимірювання тиску в поровій воді у процесі випробування.

Випробування для визначення характеристик міцності проводять не менше ніж для трьох зразків досліджуваного ґрунту при різних значеннях всебічного тиску на зразок.

Конструкція установки забезпечує:

- бічне розширення зразка ґрунту;
- віджим води із зразка ґрунту;
- центровану передачу навантаження на зразок ґрунту;
- можливість навантажування зразка ґрунту ступенями або безперервно при заданій постійній швидкості деформування зразка;
- сталість тиску на кожному ступені навантажування.
- До складу установки для випробувань ґрунту в умовах трьохосового стиску входять (рис. 7.1):

- камера стабілометра з набором жорстких суцільних та перфорованих штампів;

- пристрій для створення, підтримки і виміру всебічного тиску в камері;
- механізм для вертикального навантажування зразка ґрунту;
- пристрої для вимірювання вертикальних і об'ємних деформацій зразка ґрунту;
- прилади для вимірювання тиску в поровій воді.

Для підготовки зразків ґрунту до випробувань застосовують:

- 1) циліндричні форми з нержавіючої сталі з ріжучим краєм, з товщиною стінки 1,5-2 мм;
- 2) роз'ємні циліндричні форми з товщиною стінки 2-4 мм (для зразків ґрунту непорушеної будови);
- 3) гумові оболонки завтовшки не більше 0,25 мм;
- 4) розширювач для поміщення зразка в гумову оболонку;
- 5) вакуумний насос;
- 6) ваги лабораторні;
- 7) пристрій для видавлювання зразка із циліндричної форми;
- 8) штангенциркуль або металеву лінійку;
- 9) ніж із нержавіючої сталі із прямим лезом;
- 10) прес гвинтовий.

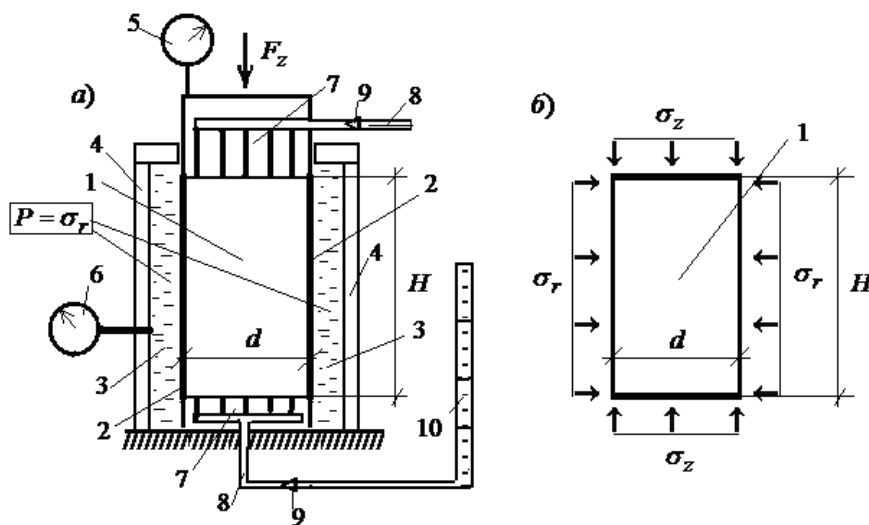


Рисунок 7.1 – Випробування ґрунту у стабілометрі (схема):

*a* – схема експериментальної установки; *б* – розрахункова схема випробувань.

*1* – зразок ґрунту циліндричної форми; *2* – водонепроникна гумова оболонка;

*3* – заповнена рідиною камера стабілометра; *4* – прозора оболонка;

*5* – індикатор вертикальних переміщень; *6* – манометр; *7* – верхній та нижній пористі металеві штамп; *8* – трубки для відводу порових газу і рідини;

*9* – крани (необхідні для випробування ґрунту за "закритою" схемою);

*10* – вимірювач об'єму (волюмометр);  $d$  – діаметр круглого зразка;

$H$  – його висота;  $F_z$  – вертикальна зосереджена сила;  $\sigma_z$  – вертикальні

нормальні напруження;  $\sigma_r$  – радіальні нормальні напруження;  $P$  – тиск у камері стабілометра

### **Порядок підготовки обладнання до експерименту**

Зразок ґрунту непорушеної будови вирізають за допомогою циліндричної форми за методом ріжучого кільця.

Внутрішню поверхню форми змазують тонким шаром технічного вазеліну. Після видалення зразка з форми його зважують і вимірюють діаметр і висоту з похибкою не більше 0,1 мм.

Торці зразка ґрунту 1 покривають вологими паперовими фільтрами і поміщають його між штампами (рис. 7.1).

За допомогою розширювача на зразок одягають гумову оболонку 2, а потім закріплюють її на бічних поверхнях штампів гумовими або металевими ущільнювачами.

Зразок ґрунту з пористими штампамі 7 поміщають у камеру стабілометра 4.

Після цього камеру стабілометра заповнюють рідиною (зазвичай це вода або гліцерин) і починають випробування.

Після розташування зразка ґрунту на основі камери проводять такі операції:

- корпус камери з піднятим у верхнє положення штоком встановлюють на основу і перевіряють положення штока по відношенню до центра зразка;
- корпус камери закріплюють на основі приладу;
- заповнюють камери робочою рідиною (дистильованою кип'яченою водою або гліцерином) до появи рідини у трубці вентиля;
- встановлюють прилад для вимірювання вертикальних деформацій зразка ґрунту;
- під'єднують прилади для вимірювання об'ємних деформацій зразка ґрунту і тиску в поровій воді;
- записують початкові показання приладів.

### **Порядок виконання роботи**

1. Для проведення недренованих випробувань задають всебічний тиск ( $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,1$  МПа або 0,2, або 0,3) у камері за 5...10 хв.

2. До зразка ґрунту плавно, на допускаючи ударів, прикладають вертикальне навантаження, збільшуючи його ступенями тиску, що дорівнюють 10%  $\sigma_1$  з інтервалами 15 с.

3. Випробування продовжують до моменту руйнування зразка або виникнення пластичної течії без приросту навантаження. За відсутності видимих ознак руйнування випробування припиняють при відносній вертикальній деформації зразка ґрунту  $\varepsilon_1 = 0,15$ .

4. Відліки за приладом для вимірювання вертикальної деформації зразка ґрунту записують на кожному ступені навантажування.

5. Після закінчення випробування зразок ґрунту розвантажують, скидають тиск у камері і зливають робочу рідину.

6. Зразок ґрунту виймають із камери та відбирають із нього проби для контрольного визначення вологості.

7. За результатами випробувань зразків ґрунту в умовах трьохосового стиску обчислюють:

- абсолютну вертикальну деформацію зразка ґрунту  $\Delta h$ , мм;
- відносну вертикальну деформацію зразка ґрунту з точністю 0,001 за формулою:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h} \quad (7.1)$$

де  $h$  - початкова висота зразка ґрунту;

- абсолютну об'ємну деформацію зразка ґрунту  $\Delta V$ , см<sup>3</sup>;
- відносну об'ємну деформацію зразка ґрунту з точністю 0,001 за формулою:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V} \quad (7.2)$$

$V$  – початковий об'єм зразка;

$$\sigma_1 = \frac{F_z}{A} + \sigma_3 \cdot \left( 1 - \frac{A_c}{A} \right) \quad (7.3)$$

де  $F$  – вертикальне навантаження, МН;

$A$  – площа поперечного перерізу зразка, м<sup>2</sup>;

$\sigma_1$  – напруження, МПа;

$\sigma_3$  – всебічний тиск у камері, МПа;

$A_c$  – площа поперечного перерізу штока, м<sup>2</sup>.

При відносній вертикальній деформації зразка ґрунту, що перевищує 0,03, враховують зміну площі  $A$  у процесі випробувань.

Для будь-якого моменту випробувань площу  $A_i$  визначають за формулою:

$$A_i = \frac{A}{1 - \varepsilon_1} \quad (7.4)$$

Дані випробувань і результати обчислень заносять у табл. 7.1.

8. Під час визначення характеристик міцності за обчисленими значеннями будують графіки залежності  $\varepsilon_1 = f(\sigma_1 - \sigma_3)$  для випробувань, проведених при різних значеннях  $\sigma_3$ .

На графіках визначають значення різниці  $(\sigma_1 - \sigma_3)$ , які відповідають моменту руйнування зразка ґрунту (точка перегину графіка) або відносної вертикальної деформації зразка  $\varepsilon_1 = 0,15$ .

Таблиця 7.1 – Результати випробувань та розрахунків

№ п/п	Час	Всебічний тиск $\sigma_3$ , МПа	Вертикальне навантаження $\sigma_1$ , МПа	Тиск у порів'ї воді, МПа	Вертикальна деформація		Об'ємна деформація	
					Абсолютна $\Delta h$ , мм	Відносна $\Delta h/h$	Абсолютна $\Delta V$ , см <sup>3</sup>	Відносна $\Delta V/V$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

9. Нормативні значення кута внутрішнього тертя ґрунту і питомого зчеплення обчислюють за формулами:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{N-1}{2\sqrt{N}} \quad (7.5)$$

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{M}{2\sqrt{N}} \quad (7.6)$$

де  $M$  и  $N$  – коефіцієнти, які визначаються за формулами:

$$M = \frac{1}{n} \cdot \left( \sum_{i=1}^n \sigma_{1,i}^p - N \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{3,i}^p \right) \quad (7.7)$$

$$M = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{1,i}^p \cdot \sigma_{3,i}^p - \sum_{i=1}^n \sigma_{1,i}^p \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{3,i}^p}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\sigma_{3,i})^2 - \left( \sum_{i=1}^n \sigma_{3,i} \right)^2} \quad (7.8)$$

де  $n$  – число випробувань  $\sigma_{1,i}^p$  и  $\sigma_{3,i}^p$  – значення головних напружень  $\sigma_1$  і  $\sigma_3$  під час руйнування  $i$  - того зразка.

10. Для оцінки розкиду експериментальних даних і виявлення помилок випробувань перед обчисленням  $\operatorname{tg}\varphi$  и  $c$  будують графік залежності  $\sigma_1 = f(\sigma_3)$  при руйнуванні зразків.

11. Розрахункові значення кута внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi$  і питомого зчеплення  $c$  обчислюють за формулою (1.18).

12. При визначенні характеристик деформованості за обчисленими значеннями будують графіки залежності  $\varepsilon_l = f(\sigma_1)$  и  $\varepsilon_v = f(\sigma_1)$ . На графіках виділяють лінійні ділянки для заданих програмою випробувань діапазонів напружень.

13. Модуль деформації ґрунту  $E$ , МПа, і коефіцієнт поперечної деформації  $\nu$  при випробуванні, проведеному при постійному середньому напруженні у зразку, обчислюють для заданого діапазону напружень  $\sigma_1$  і  $\sigma_3$  за формулами:

$$E = \frac{\Delta\sigma_3 \cdot (2 \cdot \Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1) - (\Delta\sigma_1)^2}{\Delta\sigma_3 \cdot (2 \cdot \Delta\varepsilon_3 - \Delta\varepsilon_1) - \Delta\varepsilon_1 \cdot \Delta\sigma_1} \quad (7.9)$$

$$\nu = \frac{\Delta\varepsilon_1 \cdot \Delta\sigma_3 - \Delta\varepsilon_3 \cdot \Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_1 \cdot \Delta\sigma_1 + (\Delta\varepsilon_1 - 2 \cdot \Delta\varepsilon_3) \cdot \Delta\sigma_3} \quad (7.10)$$

де  $\Delta\sigma_1$  і  $\Delta\sigma_3$  – прирощення напружень  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  у заданому діапазоні;  $\Delta\varepsilon_3$  – приріст відносної поперечної деформації зразка ґрунту, обчислюється за формулою:

$$\Delta\varepsilon_3 = \frac{\Delta\varepsilon_v - \Delta\varepsilon_1}{2} \quad (7.11)$$

де  $\Delta\varepsilon_v$  і  $\Delta\varepsilon_1$  – прирощення відносних об'ємної та вертикальної деформацій зразка ґрунту.

14. Під час випробування, проведеного при постійному всебічному тиску в камері ( $\Delta\sigma_3 = 0$ ),  $E$  і  $\nu$  обчислюють за формулами:

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_1}; \\ \nu &= -\frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}. \end{aligned} \right\} \quad (7.12)$$

Написати **висновок** щодо виконаних лабораторних досліджень за наступними пунктами:

1. Зазначити, для чого виконувалося випробування: визначення міцнісних і деформаційних характеристик ґрунту (питомого зчеплення, кута внутрішнього тертя, модуля деформації, коефіцієнта Пуассона) методом трьохосового стиску.

2. Навести основні результати випробувань. Отримані експериментальні дані: граничні напруження при руйнуванні зразків; величини осьових деформацій; значення параметрів  $c$ ,  $\varphi$ ,  $E$ ,  $\nu$ ; тип поведінки ґрунту (пластична, крихка, пружна).

3. Аналіз отриманих характеристик. Порівняти результати з типовими для даного виду ґрунтів (піщані, глинисті, суглинкові тощо). Відзначити, як змінюються параметри міцності залежно від рівня бокового тиску або вологості; вказати, чи проявляв ґрунт пружні або пластичні властивості.

4. Інженерне значення результатів. Оцінити здатність ґрунту працювати як основа фундаментів або елементів гідротехнічних споруд; вказати, чи отримані параметри забезпечують необхідний рівень стійкості; за потреби надати рекомендації щодо поліпшення ґрунтової основи (ущільнення, дренажування, армування тощо).

5. Загальний підсумок. Сформулювати 2-3 речення висновку: які характеристики визначено, що вони показують про міцність і деформованість ґрунту, та чи може цей ґрунт бути використаний у якості основи для споруд.

### Контрольні запитання до лабораторної роботи № 7

1. Написати умову міцності Кулона-Мора для просторової задачі (умова Ренкіна) для загального випадку ( $c \neq 0$  і  $\varphi \neq 0$ ).

2. Написати умову міцності Кулона-Мора для просторової задачі (умова Ренкіна) для сипучого ґрунту.

3. Перелічити види стабілометричних випробувань ґрунту.

4. У чому полягає суть недренованого випробування ґрунту?

5. У чому полягає суть консолідовано-недренованого випробування ґрунту?

6. У чому полягає суть дренованого випробування ґрунту?

7. Розкрийте особливості конструкції стабілометра.

8. Наведіть порядок обчислення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення.

9. Наведіть порядок обчислення модуля загальної деформації ґрунту і коефіцієнта Пуассона.

### Критерії оцінювання лабораторної роботи № 7

Максимальна кількість балів: 100

<i>Елемент оцінювання</i>	<i>Зміст оцінювання</i>	<i>Бали</i>
1. Підготовка до лабораторної роботи	Знання теоретичних основ теми: поняття трьохосового стиску, характеристик міцності (кут внутрішнього тертя, зчеплення) та деформованості ґрунтів; розуміння методики проведення лабораторних випробувань та вимог ДСТУ Б В.2.1-4-96.	20
2. Виконання експерименту	Правильність підготовки зразка, встановлення у трьохосовий прилад, дотримання послідовності навантажень, точність зняття показників, дотримання правил техніки безпеки.	25
3. Обробка експериментальних даних	Коректність розрахунків міцності ґрунтів ( $\tau$ , $c$ , $\varphi$ ), визначення модулів деформації, побудова графіків залежності напружень від деформацій, обґрунтованість висновків щодо поведінки ґрунтів під навантаженням.	20

<i>Елемент оцінювання</i>	<i>Зміст оцінювання</i>	<i>Бали</i>
4. Оформлення звіту	Повнота та правильність оформлення: тема, мета, короткі теоретичні відомості, хід роботи, таблиці, графіки, розрахунки, висновки; акуратність та відповідність методичним вимогам.	15
5. Формування висновків і усний захист	Аргументованість висновків, здатність оцінити придатність ґрунту для фундаментів і споруд, пояснення практичного значення характеристик міцності та деформаційних властивостей; відповіді на запитання викладача.	20

## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Механіка ґрунтів [Електронний ресурс] : підручник / О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, С.М. Гапєєв, О.В. Скобенко, Н.В. Хозяйкіна ; за ред. О.М. Шашенка; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 3-тє вид., переробл. і доп. – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 339 с.
2. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти. Частина 1. Механіка ґрунтів [Електронний ресурс]: методичні рекомендації до виконання практичних робіт та індивідуальних розрахункових завдань для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 192 Будівництво та цивільна інженерія, 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / уклад.: О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, С.М. Гапєєв, Н.В. Хозяйкіна, Г.П. Іванова; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – 74 с.
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2018.
4. ДСТУ Б В.2.1-5-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань.
5. ДСТУ Б В.2.1-2:2014 «Ґрунти. Терміни та визначення понять».
6. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних характеристик. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 40 с.
7. ДСТУ Б В.2.1-23:2009 «Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації».
8. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості. ДСТУ Б В.2.1-4-96.
9. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання. ДСТУ Б В.2.1-22:2009.

## ДОДАТОК А

## 1. Лабораторна робота № 1. Визначити нормативні та розрахункові значення питомої ваги ґрунту.

№ п/п	НОМЕР ВАРІАНТА																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Окремі значення питомої ваги ґрунту, $\gamma_i, \frac{\kappa H}{M^3}$																								
1	17,6	17,7	17,3	16,8	16,7	17,1	17,5	17,7	17,4	16,9	16,7	16,9	17,4	17,7	17,5	17,1	16,7	16,8	17,3	17,7	17,6	17,2	16,8	16,7	17,1
2	17,7	16,8	17,1	17,7	16,9	16,9	17,7	17,1	16,8	17,7	17,2	16,7	17,6	17,3	16,7	17,5	17,5	16,7	17,3	17,6	16,7	17,2	17,7	16,8	17,1
3	17,3	17,1	17,4	16,9	17,5	16,8	17,6	16,7	17,7	16,7	17,7	16,7	17,7	16,7	17,6	16,8	17,5	16,9	17,4	17,0	17,3	17,2	17,1	17,3	17,0
4	16,8	17,7	16,9	17,1	17,7	16,7	17,3	17,5	16,7	17,6	17,2	16,8	17,7	16,9	17,0	17,7	16,8	17,3	17,5	16,7	17,6	17,2	16,8	17,7	16,9
5	16,7	16,9	17,5	17,7	17,1	16,7	17,0	17,6	17,6	17,1	16,7	17,0	17,6	17,6	17,0	16,7	17,1	17,6	17,5	16,9	16,7	17,2	17,7	17,5	16,9
6	17,1	16,9	16,8	16,7	16,7	16,7	16,7	16,8	16,9	17,0	17,2	17,3	17,5	17,6	17,6	17,7	17,7	17,7	17,6	17,5	17,4	17,2	17,1	17,0	16,8
7	17,5	17,7	17,6	17,3	17,0	16,7	16,7	16,9	17,3	17,6	17,7	17,6	17,3	16,9	16,7	16,8	17,0	17,4	17,6	17,7	17,5	17,2	16,8	16,7	16,8
8	17,7	17,1	16,7	17,5	17,6	16,8	16,9	17,7	17,3	16,7	17,2	17,7	17,0	16,8	17,5	17,6	16,8	17,0	17,7	17,3	16,7	17,2	17,7	17,0	16,8
9	17,4	16,8	17,7	16,7	17,6	16,9	17,3	17,3	16,9	17,6	16,7	17,7	16,9	17,4	17,2	17,0	17,6	16,7	17,7	16,8	17,4	17,2	17,0	17,5	16,7
10	16,9	17,7	16,7	17,6	17,1	17,0	17,6	16,7	17,6	16,9	17,2	17,5	16,7	17,7	16,8	17,3	17,4	16,8	17,7	16,8	17,4	17,2	16,9	17,7	16,7
11	16,7	17,2	17,7	17,2	16,7	17,2	17,7	17,2	16,7	17,2	17,7	17,2	16,7	17,2	17,7	17,2	16,7	17,2	17,7	17,2	16,7	17,2	17,7	17,3	16,7

## 2. Лабораторна робота № 2. Визначити нормативні значення вологості ґрунту на межі текучості і розкочування.

№ п/п	НОМЕР ВАРІАНТА																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Окремі значення вологості на межі розкочування, $W_p, \text{ч.од.}$																								
1	0,058	0,059	0,051	0,042	0,040	0,047	0,057	0,060	0,054	0,045	0,040	0,045	0,054	0,060	0,057	0,047	0,040	0,042	0,051	0,059	0,058	0,050	0,042	0,041	0,049
2	0,059	0,042	0,047	0,060	0,045	0,045	0,060	0,047	0,042	0,059	0,050	0,041	0,058	0,053	0,040	0,056	0,055	0,040	0,053	0,057	0,041	0,050	0,059	0,042	0,047
3	0,051	0,047	0,054	0,045	0,057	0,042	0,058	0,041	0,060	0,040	0,060	0,040	0,060	0,041	0,059	0,042	0,057	0,044	0,054	0,047	0,052	0,050	0,049	0,053	0,046
4	0,042	0,060	0,045	0,047	0,059	0,041	0,053	0,056	0,040	0,057	0,050	0,042	0,060	0,045	0,047	0,059	0,041	0,053	0,056	0,040	0,057	0,050	0,042	0,060	0,045
5	0,040	0,045	0,057	0,059	0,049	0,040	0,046	0,057	0,059	0,047	0,040	0,047	0,058	0,058	0,046	0,040	0,048	0,059	0,057	0,045	0,040	0,050	0,059	0,056	0,044
6	0,047	0,045	0,042	0,041	0,040	0,040	0,041	0,042	0,044	0,047	0,050	0,053	0,055	0,057	0,059	0,060	0,060	0,059	0,058	0,056	0,053	0,051	0,048	0,045	0,043
7	0,057	0,060	0,058	0,053	0,046	0,041	0,040	0,045	0,052	0,058	0,060	0,057	0,051	0,044	0,040	0,041	0,046	0,053	0,059	0,060	0,056	0,049	0,043	0,040	0,042
8	0,060	0,047	0,041	0,056	0,057	0,042	0,045	0,059	0,053	0,040	0,050	0,060	0,047	0,041	0,056	0,057	0,042	0,045	0,059	0,052	0,040	0,051	0,060	0,046	0,041
9	0,054	0,042	0,060	0,040	0,059	0,044	0,052	0,053	0,044	0,059	0,040	0,059	0,043	0,053	0,051	0,045	0,058	0,040	0,060	0,042	0,055	0,049	0,047	0,057	0,041
10	0,045	0,059	0,040	0,057	0,047	0,047	0,058	0,040	0,059	0,045	0,050	0,056	0,041	0,060	0,043	0,052	0,053	0,042	0,060	0,041	0,055	0,051	0,044	0,059	0,040
11	0,040	0,050	0,060	0,050	0,040	0,050	0,060	0,050	0,040	0,050	0,060	0,051	0,040	0,049	0,060	0,051	0,040	0,049	0,060	0,051	0,040	0,049	0,060	0,051	0,040



## 4. Лабораторна робота № 4. Визначити компресійний і штамповий модулі загальної деформації.

P, МПа	НОМЕР ВАРІАНТА																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Окремі значення відліків за індикатором $n_i$ , мм (нульовий відлік дорівнює нулю)																								
0,05	0,117	0,118	0,103	0,085	0,081	0,094	0,113	0,120	0,108	0,089	0,080	0,089	0,108	0,120	0,113	0,094	0,081	0,085	0,103	0,118	0,117	0,100	0,083	0,082	0,097
0,10	0,236	0,170	0,189	0,240	0,178	0,179	0,240	0,188	0,170	0,237	0,200	0,164	0,231	0,211	0,160	0,222	0,221	0,160	0,212	0,230	0,163	0,201	0,236	0,169	0,190
0,15	0,308	0,283	0,325	0,268	0,339	0,255	0,350	0,246	0,357	0,241	0,360	0,240	0,358	0,245	0,351	0,254	0,340	0,266	0,326	0,282	0,310	0,298	0,293	0,315	0,277

## 5. Лабораторна робота № 5. Використовуючи метод двох кривих, визначити початковий просадковий тиск і відносну просадку.

## ЗРАЗОК ПРИРОДНОЇ ВОЛОГОСТІ

P, МПа	НОМЕР ВАРІАНТА																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Окремі значення відліків за індикатором $n_i$ , мм (нульовий відлік дорівнює нулю)																								
0,05	0,093	0,095	0,082	0,068	0,065	0,076	0,091	0,096	0,087	0,071	0,064	0,071	0,087	0,096	0,090	0,075	0,065	0,068	0,082	0,095	0,093	0,080	0,066	0,066	0,078
0,10	0,189	0,136	0,151	0,192	0,143	0,143	0,192	0,151	0,136	0,189	0,160	0,131	0,184	0,169	0,128	0,178	0,177	0,128	0,169	0,184	0,131	0,161	0,189	0,135	0,152
0,15	0,247	0,227	0,260	0,214	0,271	0,204	0,280	0,197	0,286	0,193	0,288	0,192	0,286	0,196	0,281	0,203	0,272	0,213	0,261	0,225	0,248	0,239	0,234	0,252	0,221
0,20	0,272	0,383	0,286	0,302	0,378	0,262	0,337	0,355	0,257	0,368	0,321	0,271	0,383	0,287	0,300	0,379	0,263	0,336	0,356	0,256	0,367	0,322	0,270	0,383	0,288
0,22	0,323	0,356	0,452	0,473	0,389	0,321	0,366	0,460	0,468	0,379	0,320	0,376	0,466	0,462	0,369	0,320	0,386	0,472	0,455	0,359	0,322	0,396	0,476	0,446	0,351
0,30	0,453	0,428	0,408	0,393	0,385	0,385	0,392	0,406	0,426	0,451	0,477	0,504	0,529	0,550	0,566	0,574	0,576	0,569	0,555	0,536	0,512	0,485	0,458	0,433	0,411
0,35	0,634	0,671	0,654	0,590	0,512	0,457	0,453	0,502	0,579	0,647	0,672	0,642	0,572	0,496	0,451	0,460	0,518	0,597	0,657	0,670	0,628	0,553	0,481	0,448	0,470

## ПОВНІСТЮ ВОДОНАСИЧЕНИЙ ЗРАЗОК

P, МПа	НОМЕР ВАРІАНТА																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Окремі значення відліків за індикатором $n_i$ , мм (нульовий відлік дорівнює нулю)																								
0,05	0,095	0,082	0,068	0,065	0,076	0,091	0,096	0,087	0,071	0,064	0,071	0,087	0,096	0,090	0,075	0,065	0,068	0,082	0,095	0,093	0,080	0,066	0,066	0,078	
0,10	0,136	0,151	0,192	0,143	0,143	0,192	0,151	0,136	0,189	0,160	0,131	0,184	0,169	0,128	0,178	0,177	0,128	0,169	0,184	0,131	0,161	0,189	0,135	0,152	
0,15	0,227	0,260	0,214	0,271	0,204	0,280	0,197	0,286	0,193	0,288	0,192	0,286	0,196	0,281	0,203	0,272	0,213	0,261	0,225	0,248	0,239	0,234	0,252	0,221	
0,20	0,383	0,286	0,302	0,378	0,262	0,337	0,355	0,257	0,368	0,321	0,271	0,383	0,287	0,300	0,379	0,263	0,336	0,356	0,256	0,367	0,322	0,270	0,383	0,288	
0,22	0,356	0,452	0,473	0,389	0,321	0,366	0,460	0,468	0,379	0,320	0,376	0,466	0,462	0,369	0,320	0,386	0,472	0,455	0,359	0,322	0,396	0,476	0,446	0,351	
0,30	0,428	0,408	0,393	0,385	0,385	0,392	0,406	0,426	0,451	0,477	0,504	0,529	0,550	0,566	0,574	0,576	0,569	0,555	0,536	0,512	0,485	0,458	0,433	0,411	
0,35	0,671	0,654	0,590	0,512	0,457	0,453	0,502	0,579	0,647	0,672	0,642	0,572	0,496	0,451	0,460	0,518	0,597	0,657	0,670	0,628	0,553	0,481	0,448	0,470	

6. Лабораторна робота № 6. Визначити нормативні та розрахункові значення питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя ґрунту.

P МПа	НОМЕР ВАРІАНТА																								
	РУЙНУЮЧЕ НАПРУЖЕННЯ $\tau$ , МПа																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0,05	0,040	0,040	0,039	0,037	0,036	0,038	0,040	0,040	0,039	0,037	0,036	0,037	0,039	0,040	0,040	0,038	0,036	0,037	0,039	0,040	0,040	0,038	0,036	0,036	0,038
0,10	0,057	0,056	0,056	0,057	0,056	0,056	0,057	0,056	0,056	0,057	0,056	0,056	0,057	0,056	0,056	0,057	0,057	0,056	0,057	0,057	0,056	0,056	0,057	0,056	0,056
0,15	0,074	0,075	0,074	0,075	0,074	0,076	0,073	0,076	0,073	0,076	0,073	0,076	0,073	0,076	0,073	0,076	0,074	0,075	0,074	0,075	0,074	0,075	0,075	0,074	0,075
0,05	0,037	0,037	0,038	0,039	0,040	0,039	0,037	0,036	0,037	0,039	0,040	0,039	0,037	0,036	0,037	0,039	0,040	0,039	0,038	0,037	0,037	0,038	0,039	0,040	0,038
0,10	0,052	0,060	0,058	0,051	0,059	0,059	0,051	0,058	0,060	0,052	0,056	0,061	0,052	0,055	0,062	0,053	0,054	0,062	0,055	0,052	0,061	0,056	0,052	0,060	0,058
0,15	0,073	0,077	0,071	0,079	0,069	0,081	0,067	0,083	0,066	0,084	0,066	0,084	0,066	0,083	0,067	0,082	0,069	0,080	0,071	0,077	0,073	0,075	0,076	0,072	0,078

7. Лабораторна робота № 7. Визначити нормативні значення модуля загальної деформації і коефіцієнта Пуассона.  
**Примітка.** Випробування проводилися при постійному значенні ( $\sigma_3 = const$ ).

$\sigma_0$ , МПа	НОМЕР ВАРІАНТА																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	ВІДНОСНА ДЕФОРМАЦІЯ $\varepsilon_1$ , ч.од.																								
0,05	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	
0,10	0,012	0,008	0,009	0,012	0,009	0,009	0,012	0,009	0,008	0,012	0,010	0,008	0,012	0,011	0,008	0,011	0,011	0,008	0,011	0,011	0,008	0,010	0,012	0,008	0,009
0,15	0,015	0,014	0,016	0,013	0,017	0,013	0,018	0,012	0,018	0,012	0,018	0,012	0,018	0,012	0,018	0,013	0,017	0,013	0,016	0,014	0,016	0,015	0,015	0,016	0,014
	ВІДНОСНА ДЕФОРМАЦІЯ $\varepsilon_3$ , ч.од.																								
0,05	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
0,10	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
0,15	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,004	0,005	0,004

## Загальні вимоги до виконання та оформлення лабораторних робіт

1. **Мета виконання лабораторних робіт** – закріплення теоретичних знань, набуття практичних навичок з визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів та вміння аналізувати результати випробувань відповідно до чинних нормативних документів (ДСТУ, ДБН).

### 2. Загальні вимоги до підготовки:

Перед виконанням роботи студент повинен **ознайомитися з теоретичним матеріалом**, методикою випробувань і правилами техніки безпеки.

У лабораторії дотримуватися дисципліни, працювати уважно та обережно з приладами.

Після завершення випробувань здійснити **обробку результатів**, виконати необхідні розрахунки, побудови та сформулювати висновки.

### 3. Вимоги до оформлення лабораторних робіт:

✓ Лабораторна робота виконується **в електронному вигляді** у текстовому редакторі (Microsoft Word).

✓ Формат сторінки – **A4 (210 × 297 мм)**.

✓ Поля: верхнє та нижнє – **20 мм**, лівє – **25 мм**, правє – **15 мм**.

✓ Шрифт – **Times New Roman**, розмір – **14 кегель**, міжрядковий інтервал – **1,0**, вирівнювання тексту – **по ширині**.

✓ Абзацний відступ – **1,25 см**.

✓ Таблиці, графіки та рисунки нумеруються і супроводжуються підписами відповідно до змісту.

✓ Усі розрахунки подаються з поясненням позначень та одиниць виміру.

### 4. Структура кожної лабораторної роботи:

✓ Назва роботи та номер.

✓ Мета роботи.

✓ Короткі теоретичні відомості.

✓ Обладнання та прилади.

✓ Хід виконання роботи.

✓ Обробка експериментальних даних.

✓ Висновки.

✓ Список використаних джерел.

### 5. Загальний звіт:

Після виконання всіх лабораторних робіт студент готує **загальний звіт** у єдиному документі, який містить усі лабораторні роботи у порядку їх виконання.

До звіту додається **титульний лист** (зразок див. Додаток Б).

Файл називається у форматі:

**Прізвище\_Група\_Механіка\_ґрунтів\_Звіт.docx**

(наприклад: *Іваненко П.П.\_група\_МГОіФ\_Звіт.docx*).

#### **6. Термін подання та оцінювання:**

Електронний варіант звіту завантажується до **встановленого викладачем терміну** у відповідний розділ навчальної платформи (Moodle / Teams).

Підсумкова оцінка за лабораторний модуль визначається як **середній бал за всі виконані лабораторні роботи**, з урахуванням своєчасності подання та якості оформлення.

#### **7. Додаткові рекомендації:**

Використовуйте лише **актуальні нормативні документи** (ДСТУ, ДБН, тощо).

Уникайте списування чи копіювання чужих результатів - усі дані мають бути **самостійно отримані та оброблені, відповідно** до Положення НТУ «ДП» про Академічну доброчесність.

ДОДАТОК Б

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**КАФЕДРА  
БУДІВНИЦТВА,  
ГЕОТЕХНІКИ  
І ГЕОМЕХАНІКИ**

**кафедра будівництва,  
геотехніки і геомеханіки**

**ЗВІТ**  
**до лабораторних робіт**  
**з дисципліни «Механіка ґрунтів, основи і фундаменти»**  
*Варіант № \_\_*

Виконав:

студент групи \_\_\_\_\_

*шифр групи*

\_\_\_\_\_  
*ПІБ студента*

Перевірив:

\_\_\_\_\_  
*ПІБ викладача*

**Дніпро  
НТУ «ДП»  
2025**

Навчальне видання

**Шашенко** Олександр Миколайович  
**Шаповал** Володимир Григорович  
**Хозяйкіна** Наталія Володимирівна  
**Чушкіна** Ірина Вікторівна

## **МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ**

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт**  
для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей  
192 Будівництво та цивільна інженерія,  
194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.  
Підписано до видання 09.12.2025. Авт. арк. 4,9.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».  
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.