

**Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ
Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки
6.060101 Будівництво

**Дніпропетровськ
2013**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА
Кафедра будівництва і геомеханіки

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ
Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
студентами напряму підготовки
6.060101 Будівництво

Дніпропетровськ
НГУ
2013

Механіка ґрунтів, основи і фундаменти. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.060101 Будівництво / О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, В.П. Пустовойтенко, Н.В. Хозяйкіна, К.С. Тітякова, К.С. Причина, В.А. Легенченко. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 53 с.

Автори:

О.М. Шашенко, д-р техн. наук, проф.;
В.Г. Шаповал, д-р техн. наук, проф.;
В.П. Пустовойтенко, д-р техн. наук, проф.;
Н.В. Хозяйкіна, канд. техн. наук, доц.;
К.С. Тітякова, канд. техн. наук, асист.;
К.С. Причина, асп.;
В.А. Легенченко, асп.

Затверджено методичною комісією з напряму підготовки 6.060101 Будівництво (протокол № 1 від 12.12.12) за поданням кафедри будівництва і геомеханіки (протокол № 7 від 11.12.12).

Подано методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Механіка ґрунтів, основи і фундаменти» для студентів напряму підготовки 6.060101 Будівництво.

Рекомендації містять лабораторні роботи з методики визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів та надбання 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 і геомеханіки, д-р техн. наук, проф. О.М. Шашенко.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лабораторна робота № 1. Фізичні властивості ґрунтів. (ДСТУ Б В.2.1-17-2009).....	5
Лабораторна робота № 2. Визначення межі текучості та розкочування глинистих ґрунтів. (ДСТУ Б В.2.1-17-2009).....	15
Лабораторна робота № 3. Визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту. (ГОСТ 25584-90).....	18
Лабораторна робота № 4. Визначення стисливості ґрунтів. (ДСТУ Б В.2.1-4-96).....	21
Лабораторна робота № 5. Визначення характеристик просідаючих лесових ґрунтів (ДСТУ Б В.2.1-22:2009).....	25
Лабораторна робота № 6. Визначення опору ґрунтів зсуву. (ДСТУ Б В.2.1-4-96).....	31
Лабораторна робота № 7. Визначення характеристик міцності і деформованості ґрунтів при трьохосьовому стиску. (ДСТУ Б В.2.1-4-96).....	40
Список рекомендованої літератури.....	47
Додатки	48

ВСТУП

Дані методичні рекомендації охоплюють такі розділи дисципліни «Механіка ґрунтів, основи і фундаменти»:

- фізичні властивості ґрунтів;
- їх класифікаційні показники;
- міцнісні і деформаційні характеристики ґрунтів;
- методи статистичної обробки результатів випробувань.

Мета. Ознайомитися із прийомами практичного визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів, навчитися методам випробувань ґрунтових зразків і способам обробки експериментальних даних.

Лабораторні роботи виконуються за структурою, представленою в даних методичних рекомендаціях:

- короткі теоретичні відомості з даного питання;
- опис необхідних для проведення роботи підготовчих заходів;
- перелік необхідних для проведення випробувань приладів і обладнання;
- порядок проведення роботи;
- порядок обробки експериментальних даних;
- запитання для самоперевірки.

Перед початком роботи необхідно вивчити відповідний теоретичний матеріал, а також законспектувати відповідну лабораторну роботу.

Під час виконання лабораторних робіт слід дотримуватися встановленого порядку проведення лабораторних випробувань із дотриманням правил техніки безпеки.

Результати виконаних лабораторних випробувань оформлюються згідно із методичними рекомендаціями, обробляються і надаються викладачеві до захисту.

Лабораторна робота № 1
ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ
(ДСТУ Б В.2.1-17-2009)

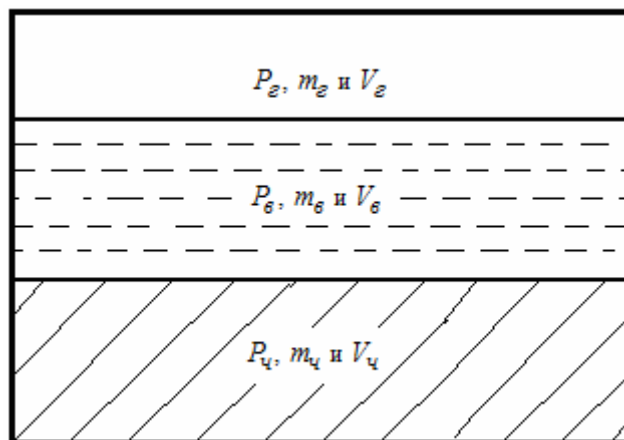


Рис. 1.1. Схема складових частин зразка ґрунту

Теоретичні відомості. Для визначення вихідних фізичних характеристик розглянемо деякий об'єм ґрунту рис.1.1, де $P_г$, $m_г$ і $V_г$ - відповідно вага, маса і об'єм порового газу; $P_ч$, $m_ч$ и $V_ч$ - відповідно вага, маса і об'єм твердих часток ґрунту; $P_в$, $m_в$ и $V_в$ - відповідно вага, маса і об'єм води в порах 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** ρ , 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

$$W = \frac{P_g}{P_u} = \frac{m_g}{m_u} = \frac{P - P_u}{P_u} = \frac{m - m_u}{m_u}. \quad (1.3)$$

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

1.3. **Питома вага ґрунту** γ_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:

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

$$\text{– для суглинків – } \gamma_s = 26,9 \dots 27,3 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3};$$

$$\text{– для глин – } \gamma_s = 27,0 \dots 27,5 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

Іноді замість питомої ваги ґрунту використовують щільність часток ґрунту ρ_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** γ_d розуміють вагу одиниці об'єму сухого ґрунту. Її визначають за формулою

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

Іноді замість об'ємної ваги кістяка ґрунту використовують його щільність ρ_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

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

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

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

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 γ_w и ρ_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 пилуваті	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

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 γ_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: визначити щільність частинок ґрунту пікнометричним методом.

Прилади та обладнання: пікнометр, дистильована вода, лабораторні ваги, піщана лазня, фарфорові та алюмінієві чашки, лійка.

Порядок виконання роботи

1. Пікнометр, наповнений на 1/3 дистильованою водою, зважують. Потім через лійку всипають у нього висушену пробу ґрунту і знову зважують із точністю до 0,02 г.

2. Пікнометр із водою і ґрунтом збовтують і ставлять кип'ятити на піщану лазню для видалення повітря з пор (піски і супіски – протягом 0,5 годин, суглинки і глини – 1 година).

3. Пікнометр охолоджують до 20°C, доливають до шийки дистильовану воду, закривають пробку і видаляють воду, яка виступила з капіляра. Перевіряють відсутність під пробкою бульбашок повітря і за умови їх відсутності зважують.

4. Потім замінюють вміст пікнометра. Наповнюють чистий пікнометр дистильованою водою при тій же температурі і зважують із точністю до 0,02 г.

5. Результати зважування заносять до табл.1.3 і визначають **щільність частинок ґрунту**.

Питома вага ґрунту γ_s (вимірюється у $\text{кН}/\text{м}^3$) – вага одиниці об'єму твердих частинок ґрунту. Її слід визначати за формулою $\gamma_s = g \cdot \rho_s$, де $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Питома вага часток ґрунту – характеристика, постійна для даного виду ґрунту, – перебуває в межах:

- для пісків – 26,3-27,0 кН/м³;
- для пилувато-глинистих ґрунтів – 26,7-27,4 кН/м³.

Результати випробувань

№ п/п	Номер пікнометра	Маса, г				Щільність частинок грунту $\rho_s = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1},$ г/см ³
		пікнометра, заповненого водою на 1/3 його місткості m'	пікнометра, заповненого водою на 1/3 його місткості та ґрунтом, m''	сухого ґрунту m ₀ = m' - m''	пікнометра з водою та ґрунтом m ₁	

1.2. Визначення вологості ґрунту методом висушування до постійної маси

Мета: визначити вологість ґрунту методом висушування до постійної маси.

Прилади та обладнання: шафа сушильна, ексікатор 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 ексікаторі 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.

Результати випробувань

№ п/п	Номер стаканчика	Маса стаканчика з кришкою, т, г	Маса вологого ґрунту зі стаканчиком та кришкою, т ₁ , г	Маса висушеного ґрунту зі стаканчиком та кришкою, т ₂ , г	Вологість $W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m}$, д.од.

1.3. Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця

Мета: 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 підрізують на 8-10 мм нижче ріжучого краю кільця і відокремлюють його.
2. Ґрунт, який виступає за краї кільця, зрізають ножем.
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.

Результати випробувань

№ п/п	Маса кільця з ґрунтом т ₁ , г	Маса кільця т ₀ , г	Маса ґрунту в кільці т ₁ - т ₀ , г	Висота кільця h, см	Діаметр кільця d, см	Об'єм ґрунту в кільці $V = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot h$, см ³	Щільність ґрунту $\rho = m/V$, г/см ³

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

1.4. Порядок обробки експериментальних даних

Мета: 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 ν - **статистичний критерій**, який слід визначати за табл. 1.6.

Таблиця 1.6.

Значення статистичного критерію ν

Число визначень	ν	Число визначень	ν	Число визначень	ν
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 γ_g – коефіцієнт безпеки за ґрунтом.

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

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

де δ – 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** δ визначають за формулою

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

де t_α – коефіцієнт, що приймається за табл. 1.7 залежно від числа випробувань n і заданого інтервалу ймовірності α . Тут:

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

Таблиця 1.7.

Значення коефіцієнта t_α

Число визначень $n-1$ або $n-2$	t_α при α , що дорівнює		Число визначень $n-1$ або $n-2$	t_α при α , що дорівнює		Число визначень $n-1$ або $n-2$	t_α при α , 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

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)?

Лабораторна робота № 2 ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ТЕКУЧОСТІ ТА РОЗКОЧУВАННЯ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ (ДСТУ Б В.2.1-17-2009)

Мета: 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).

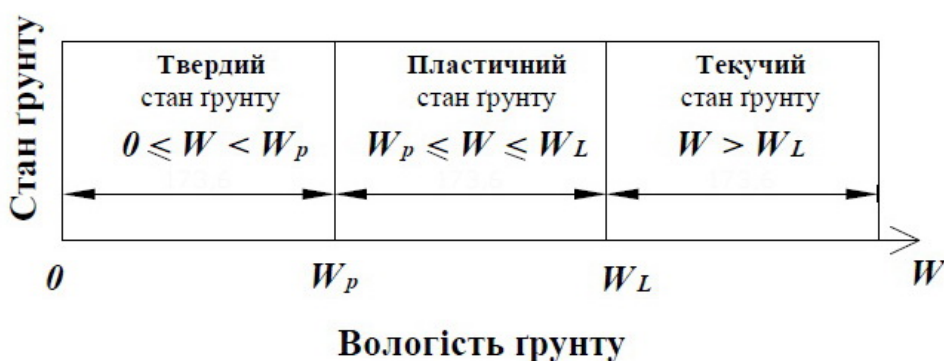


Рис. 2.1. Взаємозв'язок між станом ґрунту та його вологістю

2.1. Визначення межі текучості

Межу текучості слід визначати як вологість приготовленої 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 1 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.

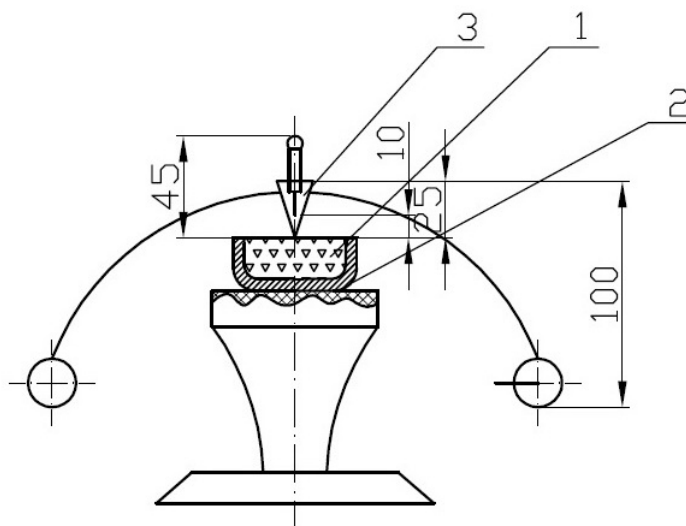


Рис. 2.2. Балансирний конус

Таблиця 2.1

Результати випробувань

№ п/п	Номер стаканчика	Маса стаканчика із кришкою, m , г	Маса вологого грунту зі стаканчиком та кришкою, m_1 , г	Маса висушеного грунту зі стаканчиком та кришкою, m_2 , г	Вологість на межі текучості $W_L = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m}$, ч.од.

1.2. Визначення межі розкочування

Межу розкочування (пластичності) визначають як вологість приготовленої з досліджуваного ґрунту пасти, при якій паста, яку розкочують у джгут діаметром 3 мм, починає розпадатися на шматочки довжиною 3-10 мм.

Порядок виконання роботи

1. Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішують, беруть невеликий шматочок і розкочують долонею по скляній або пластмасовій пластині до утворення джгута діаметром 3 мм.

Якщо при цій товщині ґрунт зберігає зв'язність і пластичність, його збирають у грудку і знову розкочують до утворення джгута діаметром 3 мм.

2. Розкочування продовжують до тих пір, поки джгут не починає розпадатися по поперечних тріщинах на шматочки довжиною 3-10 мм.

3. Шматочки джгута, який розпадається, збирають у стаканчики, які накривають кришками для визначення вологості.

4. Результати заносять до табл. 2.2 і визначають межу розкочування.

Результати випробувань

№ п/п	Номер стаканчика	Маса стаканчика із кришкою, т,	Маса вологого ґрунту зі стаканчиком	Маса висушеного ґрунту зі стаканчиком та кришкою,	Вологість $W_p = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m}$, ч.од.

1.3. 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

Тип пилувато-глинистого ґрунту	Діапазон зміни числа пластичності
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).

Види глинистого ґрунту

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

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

Лабораторна робота № 3

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ ҐРУНТУ
(ГОСТ 25584-90)**

Мета: визначити коефіцієнт фільтрації ґрунту.

Прилади та обладнання: прилад КФ-ООМ.

Теоретичні відомості. 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:

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

де V – швидкість руху рідини (тобто води) у порах ґрунту; k_{ϕ} – 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 і 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** (рис. 3.1). Його визначають за формулою

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

де k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації; V_w – об'єм профільтрованої через ґрунт води (у см^3); 864 – перехідний коефіцієнт (із см/с у 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.

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)

1. Циліндр 4 із ґрунтом 5 не порушеної 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.

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.

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

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

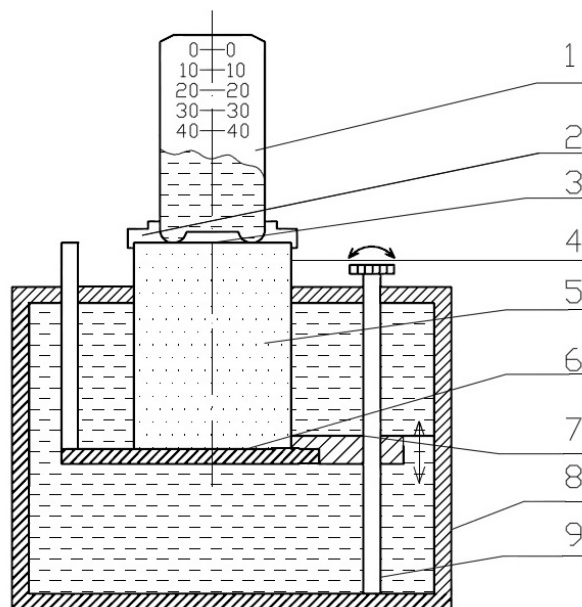


Рис. 3.1. Прилад КФ-ОМ:

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

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

7. Коефіцієнт фільтрації для різних ґрунтів приймає значення:

- $k_{\phi} \approx 1 \text{ см/с}$ для великоуламкових ґрунтів;
- $k_{\phi} \approx 1 \dots 10^{-2} \text{ см/с}$ для піщаних ґрунтів;
- $k_{\phi} \approx 10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ см/с}$ для супісків;
- $k_{\phi} \approx 10^{-3} \dots 10^{-7} \text{ см/с}$ для суглинків;
- $k_{\phi} \approx 10^{-7} \dots 10^{-9} \text{ см/с}$ для глин.

Результати вимірювань

№ п\п	Час фільтрації, с		Об'єм профільтрованої води, V_{ω} , см ³	Градiєнт напору, J	Коефіцієнт фільтрації ґрунту, K_{10} , м/сут
	Окремі виміри, t_i	Середнє, t_m			

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 градиєнта напору до $J = 1$.

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 3

1. Сформулюйте закон ламінарної фільтрації (закон Дарсі).
2. За якою формулою визначається гідравлічний ухил?
3. Що таке початковий градиєнт 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?

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТІВ

(ДСТУ Б В.2.1-4-96)

Мета: визначити коефіцієнт ущільнення і модуль деформації ґрунту.

Прилади та обладнання: компресійний прилад.

Теоретичні відомості. Показники, що характеризують стисливість, - це коефіцієнт ущільнення α і модуль загальної деформації E .

Коефіцієнт ущільнення ґрунту α - це відношення зміни коефіцієнта пористості до різниці тисків, яка викликала цю зміну.

Модуль деформації ґрунту - це коефіцієнт пропорційності між відносною деформацією ґрунтового зразка і вертикальним тиском на зразок.

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.

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.

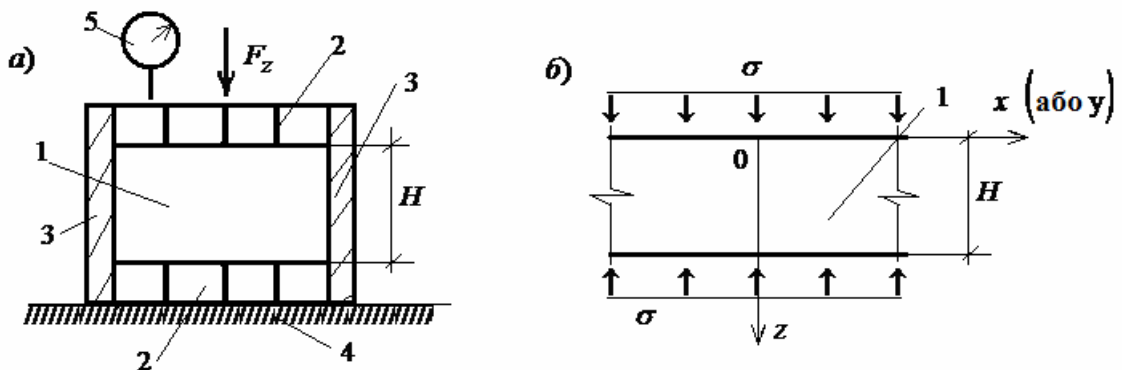


Рис.4.1. Схема випробування зразка ґрунту у компресійному приладі (одометрі): а) схема експериментальної установки; б) розрахункова схема випробувань; 1 – ґрунтовий зразок циліндричної форми; 2 – верхній і нижній пористі металеві штампи; 3 – жорстка кругла обойма; 4 – жорстка основа; 5 – індикатор вимірювання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

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 пилуватих 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).

Результати вимірювань

№ п/п	Час (хвилини, години)	Тиск на зразок P , МПа	Показання індикатора, p	Деформація зразка, $\Delta h = n_{i+1} - n_i$, мм	Відносний стиск зразка, $\varepsilon_i = \Delta h / h_0$	Коефіцієнт пористості грунту, $e = e_0 - \varepsilon_i \cdot (1 + e_0)$	Коефіцієнт ущільнення, $a = \frac{\Delta e}{\Delta P}$, $(\text{МПа})^{-1}$

Коефіцієнт пористості e_i по усереднених значеннях відносних деформацій ε_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.

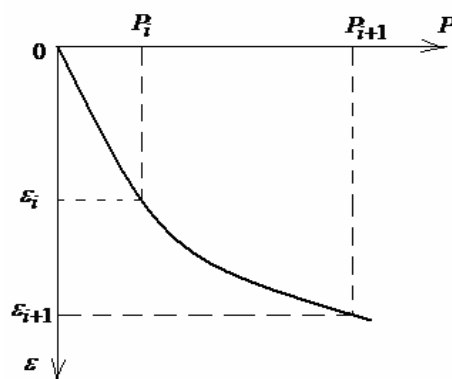


Рис.4.2. Залежність відносної деформації ґрунту ε від тиску P

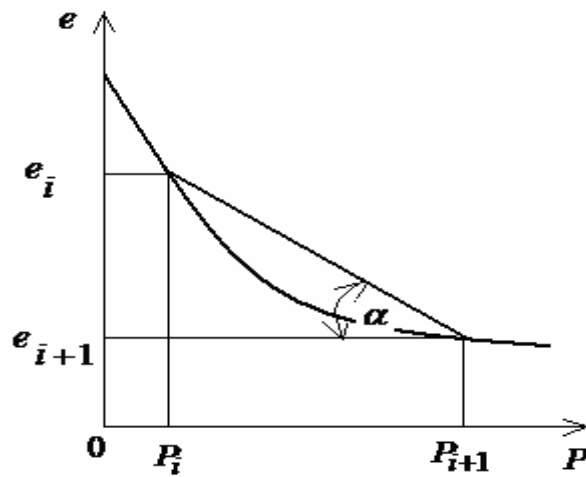


Рис. 4.3. Компресійна крива

$P_i = \sigma_{zq}$ до проектного напруження $P_{i+1} = \sigma_{zp}$ на проектній глибині z (рис. 4.3).

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 β – емпіричний коефіцієнт, який ураховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі. Його слід приймати рівним:

- для пілуватих 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:

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

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?

Лабораторна робота № 5 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСІДАЮЧИХ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ (ДСТУ Б В.2.1-22:2009)

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

Прилади та обладнання: ґрунтові зразки, компресійний прилад.

Теоретичні відомості. Властивості просідаючих ґрунтів характеризуються такими параметрами:

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

Під **відотною просадкою** ε_{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 σ_{zp} і додаткового тиску σ_{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 ГОСТ 23161. 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.

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).

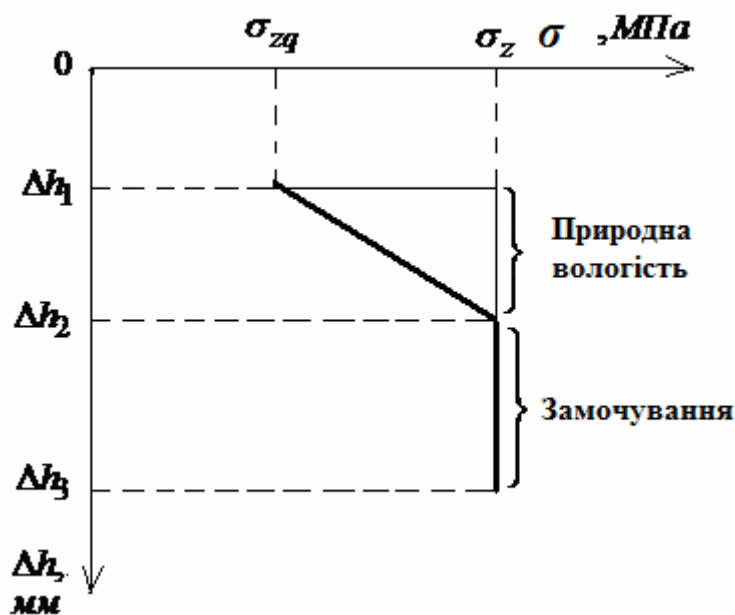


Рис. 5.1. До визначення відносної просадки за методом однієї кривої

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

Таблиця 5.1

Результати вимірювань

№ п/п	Тиск на зразок, МПа	Дані про замочування	Показання індикаторів, мм	Деформація зразка, мм	Висота зразка h , мм	Відносна просадка, ε_{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 ε_{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 Δ_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 (Δh_i) та ґрунту при повному водонасиченні ($\Delta h'_i$).

2.2. Для визначення деформацій ґрунтового зразка природної вологості Δh_i використовують формулу $\Delta h_i = n_i - n_0$, де 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 $\varepsilon'_i = \frac{\Delta h'}{h'}$ (повністю водонасичений зразок).

Тут h - початкова (до прикладення навантаження) висота зразка природної вологості; h' - висота повністю водонасиченого зразка.

2.5. Результати розрахунків заносять до табл. 5.2

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).

Результати випробувань та розрахунків

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

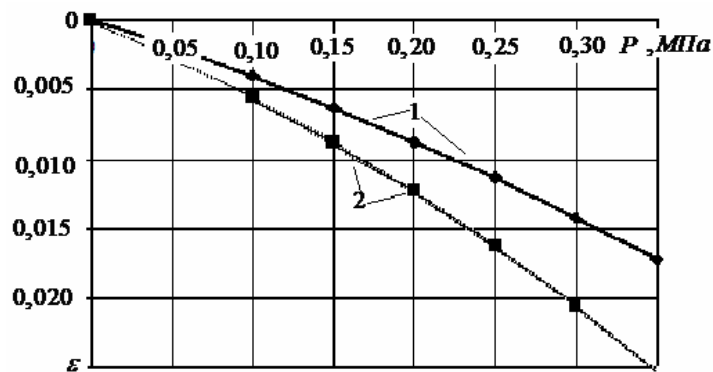


Рис. 5.2. Метод двох кривих.

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).

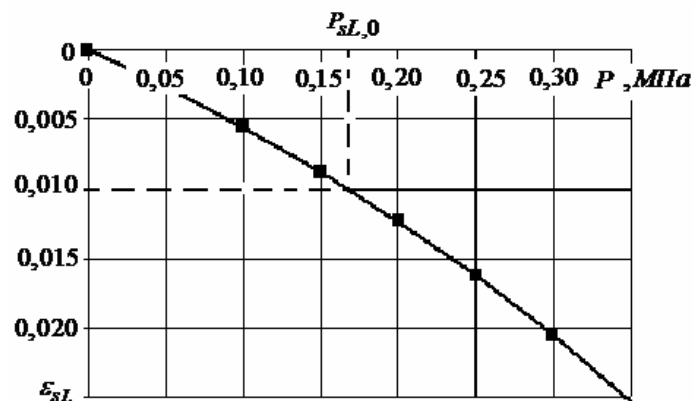


Рис. 5.3. Метод двох кривих. До визначення початкового просадкового тиску $P_{SL,0}$ (схема)

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**.

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 ε_{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?

Лабораторна робота № 6 ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ҐРУНТІВ ЗСУВУ (ДСТУ Б В.2.1-4-96)

Мета: визначити значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення.

Прилади та обладнання: прилад одноплощинного зсуву, ущільнювач.

Теоретичні відомості. Метод одноплощинного зсуву застосовується для визначення міцнісних властивостей ґрунту (рис. 6.1). Зазвичай випробування проводять 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 слабкого ґрунту. На плоский зсув можна випробовувати як зв'язні, так і сипучі ґрунти.

Визначення опору ґрунтів зрізу проводять у приладі одноплощинного зсуву, 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 τ** ; **кута внутрішнього тертя φ** ; **питомого зчеплення c** для пісків (крім гравелистих і крупних), глинистих і органо-мінеральних ґрунтів.

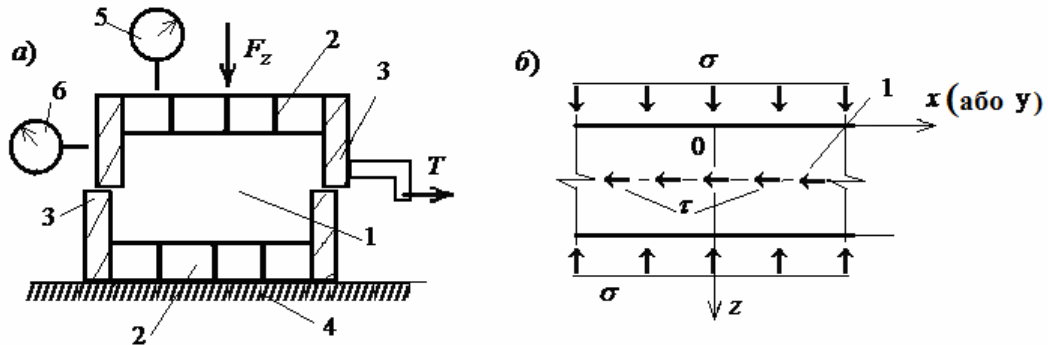


Рис.6.1. Випробування ґрунту у приладі одноплощинного зсуву (схема):
а – схема експериментальної установки; б – розрахункова схема випробувань.

1 – ґрунтовий зразок циліндричної форми; 2 – верхній та нижній пористі металеві штампи; 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; σ – нормальні вертикальні напруження; τ – 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 φ 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 штампів 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 σ .

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 ножом 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

Ґрунти	Час насичення зразків водою, не менше	Час витримки ступенів, не менше	Час умовної стабілізації деформацій стиску на кінцевому ступені, не менше
Піски	10 хв	5 хв	20 хв
Глинисті непросадкові і ненабухаючі):			
супіски	3 год		2 год
суглинки $I_p < 0,12$	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 τ . Нормальні тиски передають на зразок ґрунту ступенями ΔP .

Значення P і ΔP 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 ΔP 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, ΔP
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 пилюваті 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 нерухомою 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

Ґрунти	Швидкість зрізу, мм/хв
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

Ґрунти	Нормальний тиск P , МПа
Глинисті 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 τ і σ , 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, см².

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

Від кожного значення τ 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 вимірними у процесі випробувань значеннями деформацій зрізу Δ_1 , відповідним різним напруженням τ , будують графік залежності $\Delta_1 = f(\tau)$.

За опір ґрунту зрізу приймають максимальне значення τ , отримане за графіком $\Delta_1 = f(\tau)$ або діаграмою зрізу на відрізку Δ_1 , яке не перевищує 5 мм.

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

2. Кут внутрішнього тертя φ та питома зчеплення c визначають як параметри лінійної залежності:

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

де τ і σ 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 $c_{\Sigma w}$ - питома 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 φ 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, σ_i і τ_i - відповідно нормальне напруження і дотичне руйнуюче навантаження в i - тому випробуванні.

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

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

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

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

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 - $\alpha = 0,95$?

Лабораторна робота № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ І ДЕФОРМОВАНOSTІ ҐРУНТІВ ПРИ ТРЬОХОСЬОВОМУ СТИСКУ (ДСТУ Б В.2.1-4-96)

Мета: визначити значення модуля загальної деформації і коефіцієнта Пуассона.

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 відомості. Лабораторні випробування ґрунтів в умовах трьохосового стиску проводять для визначення таких характеристик міцності і деформованості: зчеплення c ; кута внутрішнього тертя φ ; модуля деформації E ; коефіцієнта поперечної деформації (коефіцієнта Пуассона) ν .

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 ідіаметр не менше ніж 38 мм і не менше ніж у 5 разів перевищуючий 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 ($S > 0,85$) пилувато-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 пилувато-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 трьохосьового 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.

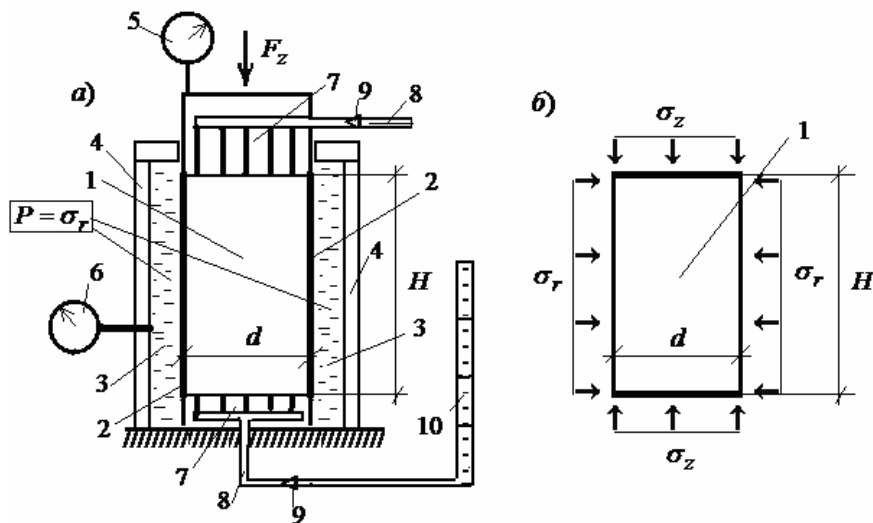


Рис. 7.1. Випробування ґрунту у стабілометрі (схема):

а – 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 штампі; 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; σ_z – вертикальні

нормальні напруження; σ_r – радіальні нормальні напруження; P – тиск у камері стабілометра

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.

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% σ_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 $\epsilon_1 = 0,15$.

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 Δh , 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 ΔV , см³;

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, м²; напруження σ_1 , МПа; σ_3 – всебічний тиск у камері, МПа; A_c – площа поперечного перерізу штока, м².

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 σ_3 .

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

Результати випробувань та розрахунків

№ п/п	Час	Всебічний тиск σ_3 , МПа	Вертикальне навантаження σ_1 , МПа	Тиск у поровій воді, МПа	Вертикальна деформація		Об'ємна деформація	
					Абсолютна h , мм	Відносна h/h	Абсолютна V , см ³	Відносна V/V
1								
2								
3								

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 і 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 $\sigma_{1,i}^p$ і $\sigma_{3,i}^p$ – значення головних напружень σ_1 і σ_3 під час руйнування i -того зразка.

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

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

12. При визначенні характеристик деформованості за обчисленими значеннями будують графіки залежності $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$ і $\varepsilon_v = f(\sigma_1)$. На графіках виділяють лінійні ділянки для заданих програмою випробувань діапазонів напружень.

13. Модуль деформації ґрунту E , МПа, і коефіцієнт поперечної деформації при випробуванні, проведеному при постійному середньому напруженні у зразку, обчислюють для заданого діапазону напружень σ_1 і σ_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 σ_1 і σ_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 ν обчислюють за формулами:

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

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 консолидовано-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.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей: ДСТУ Б В.2.1-17:2009.
2. Ґрунти. Класифікація. ДСТУ Б В.2.1-2-96.
3. Ґрунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации. ГОСТ 25584-63.
4. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості. ДСТУ Б В.2.1-4-96.
5. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання. ДСТУ Б В.2.1-22:2009.
6. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості. ДСТУ Б В.2.1-4-96.
7. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. ДСТУ Б В.2.1-5-96.
8. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості. ДСТУ Б В.2.1-4-96.
9. Механіка ґрунтів: учебник / В.Г.Шаповал [и др.]. - Днепропетровск: Пороги, 2010. – 168 с.
10. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: підручник / В.Б. Швець [та ін.]. - Днепропетровск: Пороги, 2012. – 196 с.
11. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник / С.Б. Ухов [и др.]. – М.: Издательство АСВ, 1994. – 527 с.

ДОДАТКИ

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, γ_i , $\frac{\kappa H}{3}$																									
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	17,7	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	17,2	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	16,8	16,8	17,5	16,9	17,4	17,0	17,3	17,2	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	17,2	16,8	17,7	16,9
5	16,7	16,9	17,5	17,7	17,1	16,7	17,0	16,7	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	17,2	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	17,2	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	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	17,2	17,7	17,0	16,8
9	17,4	16,8	17,7	16,7	17,6	16,9	17,3	16,9	17,6	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	17,2	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	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	17,2	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 , 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

№ 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 текучості W_L , ч.од.																								
1	0,257	0,260	0,226	0,187	0,178	0,208	0,249	0,264	0,238	0,196	0,176	0,196	0,238	0,264	0,249	0,207	0,178	0,187	0,227	0,220	0,257	0,260	0,220	0,183	0,180	0,214
2	0,260	0,187	0,208	0,264	0,196	0,196	0,264	0,207	0,187	0,260	0,220	0,180	0,254	0,232	0,177	0,244	0,243	0,176	0,233	0,233	0,180	0,253	0,221	0,260	0,186	0,208
3	0,226	0,208	0,238	0,196	0,249	0,187	0,257	0,180	0,262	0,177	0,264	0,176	0,262	0,180	0,257	0,186	0,249	0,195	0,239	0,227	0,227	0,207	0,219	0,215	0,231	0,203
4	0,187	0,264	0,196	0,207	0,260	0,180	0,232	0,244	0,176	0,253	0,221	0,186	0,263	0,197	0,207	0,260	0,180	0,231	0,245	0,252	0,252	0,176	0,252	0,186	0,263	0,198
5	0,178	0,196	0,249	0,260	0,214	0,177	0,201	0,253	0,257	0,208	0,176	0,207	0,256	0,254	0,203	0,176	0,212	0,259	0,250	0,177	0,218	0,198	0,218	0,262	0,246	0,193
6	0,208	0,196	0,187	0,180	0,177	0,176	0,180	0,186	0,195	0,207	0,219	0,231	0,243	0,252	0,259	0,263	0,264	0,261	0,255	0,246	0,235	0,222	0,210	0,198	0,189	0,189
7	0,249	0,264	0,257	0,232	0,201	0,180	0,178	0,197	0,227	0,254	0,264	0,252	0,225	0,195	0,177	0,181	0,204	0,235	0,258	0,247	0,217	0,230	0,217	0,189	0,176	0,185
8	0,264	0,207	0,180	0,244	0,253	0,186	0,197	0,260	0,231	0,176	0,222	0,263	0,206	0,181	0,246	0,252	0,185	0,198	0,261	0,176	0,223	0,230	0,263	0,204	0,182	
9	0,238	0,187	0,262	0,176	0,257	0,195	0,227	0,231	0,192	0,259	0,176	0,261	0,190	0,235	0,224	0,198	0,255	0,177	0,263	0,241	0,216	0,185	0,205	0,251	0,179	
10	0,196	0,260	0,177	0,253	0,208	0,207	0,254	0,176	0,259	0,198	0,218	0,246	0,179	0,263	0,189	0,230	0,235	0,185	0,264	0,241	0,224	0,182	0,193	0,262	0,177	
11	0,176	0,220	0,264	0,221	0,176	0,219	0,264	0,222	0,176	0,218	0,264	0,222	0,176	0,217	0,264	0,223	0,176	0,216	0,264	0,216	0,176	0,216	0,264	0,225	0,176	

3. Лабораторна робота № 3. Визначити нормативне значення коефіцієнта фільтрації.

№ 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 коефіцієнта фільтрації k_{ϕ} , м/добу																								
1	0,023	0,024	0,021	0,017	0,016	0,019	0,023	0,024	0,022	0,018	0,016	0,018	0,022	0,024	0,023	0,019	0,016	0,017	0,021	0,024	0,023	0,020	0,017	0,016	0,019	
2	0,024	0,017	0,019	0,024	0,018	0,018	0,024	0,019	0,017	0,024	0,020	0,016	0,023	0,021	0,016	0,022	0,022	0,016	0,021	0,020	0,016	0,020	0,024	0,017	0,019	
3	0,021	0,019	0,022	0,018	0,023	0,017	0,023	0,016	0,024	0,016	0,024	0,016	0,024	0,016	0,023	0,017	0,023	0,018	0,022	0,020	0,020	0,019	0,020	0,021	0,018	
4	0,017	0,024	0,018	0,019	0,024	0,016	0,021	0,022	0,016	0,023	0,020	0,017	0,024	0,018	0,019	0,024	0,016	0,021	0,022	0,020	0,020	0,016	0,023	0,024	0,018	
5	0,016	0,018	0,023	0,024	0,019	0,016	0,018	0,023	0,023	0,019	0,016	0,019	0,023	0,023	0,018	0,016	0,019	0,024	0,023	0,020	0,016	0,020	0,024	0,022	0,018	
6	0,019	0,018	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,024	0,024	0,024	0,023	0,022	0,021	0,020	0,019	0,018	0,017	
7	0,023	0,024	0,023	0,021	0,018	0,016	0,016	0,018	0,021	0,023	0,024	0,023	0,020	0,018	0,016	0,016	0,019	0,021	0,023	0,020	0,022	0,020	0,017	0,016	0,017	
8	0,024	0,019	0,016	0,022	0,023	0,017	0,018	0,024	0,021	0,016	0,020	0,024	0,019	0,016	0,022	0,023	0,017	0,018	0,024	0,021	0,016	0,020	0,024	0,019	0,017	
9	0,022	0,017	0,024	0,016	0,023	0,018	0,021	0,021	0,017	0,024	0,016	0,024	0,017	0,021	0,020	0,018	0,023	0,016	0,024	0,022	0,020	0,017	0,023	0,023	0,016	
10	0,018	0,024	0,016	0,023	0,019	0,019	0,023	0,016	0,024	0,018	0,020	0,022	0,016	0,024	0,017	0,021	0,021	0,017	0,024	0,022	0,020	0,017	0,022	0,024	0,016	
11	0,016	0,020	0,024	0,020	0,016	0,020	0,024	0,020	0,016	0,020	0,024	0,020	0,016	0,020	0,024	0,020	0,020	0,020	0,024	0,020	0,016	0,020	0,024	0,020	0,016	

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

НОМЕР ВАРІАНТА																									
Р, 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
	Окремі значення відліків за індикатором l_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

НОМЕР ВАРІАНТА																									
Р, 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
	Окремі значення відліків за індикатором l_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

НОМЕР ВАРІАНТА																									
Р, 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
	Окремі значення відліків за індикатором l_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.

НОМЕР ВАРІАНТА																										
РҮЙНУЮЧЕ НАПРУЖЕННЯ τ , МПа																										
Р 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	0,036	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	0,056
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	0,074	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	0,038
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	0,058
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	0,078

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

НОМЕР ВАРІАНТА																										
ВІДНОСНА ДЕФОРМАЦІЯ ϵ_1 , ч.од.																										
σ_0 , 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	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,006	0,005	0,004	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	0,005
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	0,009
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	0,014
ВІДНОСНА ДЕФОРМАЦІЯ ϵ_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	0,001
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	0,003
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	0,005	0,004

Шашенко Олександр Миколайович
Шаповал Володимир Григорович
Пустовойтенко Валерій Павлович
Хозяйкіна Наталія Володимирівна
Тітякова Катерина Сергіївна
Причина Катерина Сергіївна
Легенченко Вероніка Андріївна

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
студентами напряму підготовки
6.060101 Будівництво

Видано в авторській редакції.

Підп. до друку 17.07.2013. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 2,9.
Обл.-вид. арк. 2,9. Тираж 50 пр. Зам. № .

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.