

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до проведення лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«МЕХАНІКА ҐРУНТІВ І ОСНОВИ ФУНДАМЕНТОБУДУВАННЯ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2023

Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Механіка ґрунтів і основи фундаментобудування» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. В. Гаврилюк, В. А. Александрович, Ю. І. Кобзар. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 44 с.

Укладачі: ст. викл. О. В. Гаврилюк,
канд. техн. наук, доц. В. А. Александрович,
канд. техн. наук, доц. Ю. І. Кобзар

Рецензент

В. В. Сухов, кандидат геологічних наук, доцент кафедри гідрології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Рекомендовано кафедрою геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, протокол № 4 від 30.10.2022

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1 Визначення вологості ґрунту ваговим методом...	5
Лабораторна робота 2 Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця.....	6
Лабораторна робота 3 Визначення гранулометричного складу піску та ступені його неоднорідності.....	9
Лабораторна робота 4 Визначення кута природнього укосу піщаного ґрунту.....	13
Лабораторна робота 5 Визначення меж пластичності глинистих ґрунтів..	16
5.1 Визначення вологості ґрунту на границі текучості.....	17
5.2 Визначення вологості ґрунту на границі розкочування.....	19
Лабораторна робота 6 Визначення обчислювальних характеристик ґрунтів.....	21
Лабораторна робота 7 Визначення зсувних характеристик ґрунту.....	27
Лабораторна робота 8 Компресійні випробування ґрунтів.....	35

ВСТУП

З метою практичного закріплення теоретичних положень деяких розділів дисципліни «Механіка ґрунтів і основи фундаментобудування» відповідно до робочої програми передбачене виконання лабораторних робіт.

Методичні рекомендації складені у відповідності із практикою проведення лабораторних робіт у Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова й призначені для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології.

Основним завданням методичних рекомендацій є надання допомоги студентам у виконанні лабораторних робіт з дисципліни «Механіка ґрунтів і основи фундаментобудування».

Пристаючи до виконання лабораторної роботи, студент повинен ознайомитися з методичними рекомендаціями, у яких викладено порядок проведення лабораторних випробувань, описані конструкції приладів і обладнань. Студент повинен чітко засвоїти мету та завдання роботи.

Перед початком занять викладач перевіряє готовність студента до виконання лабораторної роботи й знання правил техніки безпеки.

Попередні дані й результати випробувань повинні фіксуватися студентом під час занять. Обов'язково проставляється розмірність усіх заданих і отриманих величин. Обчислення проводяться з точністю до трьох знаків після коми.

Звіт з лабораторної роботи оформляється в письмовому вигляді. Усі схеми та графіки підписуються.

Залік лабораторних робіт проводиться у вигляді захисту виконаних робіт. Під час заліку студент повинен відповісти на контрольні питання, а також повинен знати відповідні формули й положення, вміти пояснити обладнання приладів, ціль і порядок виконання випробувань, пояснити отримані результати.

Після закінчення заняття студент упорядковує своє робоче місце.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ ВАГОВИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: ознайомитися з ваговим методом визначення вологості ґрунту.

Вологість ґрунту (природна вологість) – деяка кількість води, що міститься в порах зразка ґрунту в природніх умовах залягання.

Матеріали та устаткування

- 1) бюкси;
- 2) електронні ваги;
- 3) сушильна шафа;
- 4) ексікатор з хлористим кальцієм (для поглинання вологи);
- 5) ґрунт.

Хід роботи

1. Для визначення вологості ваговим методом бюкс приблизно на 2/3 обсягу потрібно заповнити досліджуванним ґрунтом. При цьому маса порожнього бюкса та його номер повинні бути встановлені заздалегідь.

2. Бюкс разом із ґрунтовою пробою зважити на електронних вагах з точністю до 0,01 г і помістити в сушильну шафу. Висушування ґрунту виконують при температурі 100–105°C близько 6 годин.

3. Бюкс із висушеним ґрунтом помістити в ексікатор для охолодження, після чого зважити його.

4. Результати випробувань записують у журнал (табл. 1).

5. За результатами випробувань розраховують вологість ґрунту за формулою:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100 \%,$$

де W – вологість, %;

m_1 – маса бюкса із ґрунтом до висушування, г;

m_2 – маса бюкса із ґрунтом після висушування, г;

m_3 – маса порожнього бюкса, г.

6. Випробування проводять не менш 3-х разів, отримані дані записують у таблицю 1.

Таблиця 1 – Журнал визначення вологості ґрунта ваговим методом

Номер випробування	Номер бюкса	Маса бюкса з вологим ґрунтом m_1 , г	Маса бюкса із сухим ґрунтом m_2 , г	Маса порожнього бюкса m_3 , г	Вологість W ,%	Середнє значення вологості W ,%
1						
2						
3						
Примітка. Вологість ґрунту (W) обчислюють із точністю до 0,01.						

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ МЕТОДОМ РІЖУЧОГО КІЛЬЦЯ

Мета роботи: ознайомитися з методом визначення щільності ґрунту (метод ріжучого кільця).

Щільність ґрунту (ρ) – маса одиниці об'єму ґрунту в природних умовах залягання. Об'ємна вага ґрунту (γ) – це вага одиниці об'єму ґрунту.

Матеріали та устаткування

- 1) ріжучі кільця;
- 2) пробовідбірник;
- 3) електронні ваги;

- 4) лабораторний ніж;
- 5) штангенциркуль або лінійка;
- 6) скляні пластини;
- 7) моноліт ґрунту.

Хід роботи

1. За допомогою штангенциркуля вимірюють висоту та внутрішній діаметр ріжучого кільця з точністю до 0,1 мм. Обчислюють внутрішній об'єм кільця за формулою:

$$V = \pi \frac{d^2}{4} h,$$

де d – діаметр кільця, см;

h – висота кільця, см.

2. Кільце й скляну пластину зважують із точністю до 0,01 г.

3. Кільце ставлять загостреною стороною на зачищену поверхню моноліту ґрунту. Легким натисканням на кільце занурюють його в ґрунт на 2–3 мм. Потім, обрізаючи ґрунт ножом із зовнішньої сторони кільця, осаджують його на ґрунтовий стовпчик діаметром на 0,5–1 мм більше зовнішнього діаметра кільця до повного його заповнення. Ґрунт нижче кільця підрізається на конус. Кільце з ґрунтом витягають із моноліту. Надлишки ґрунту, що виступають поверх кільця, обережно зрізують від центру до країв урівень із краями кільця (рис. 1).

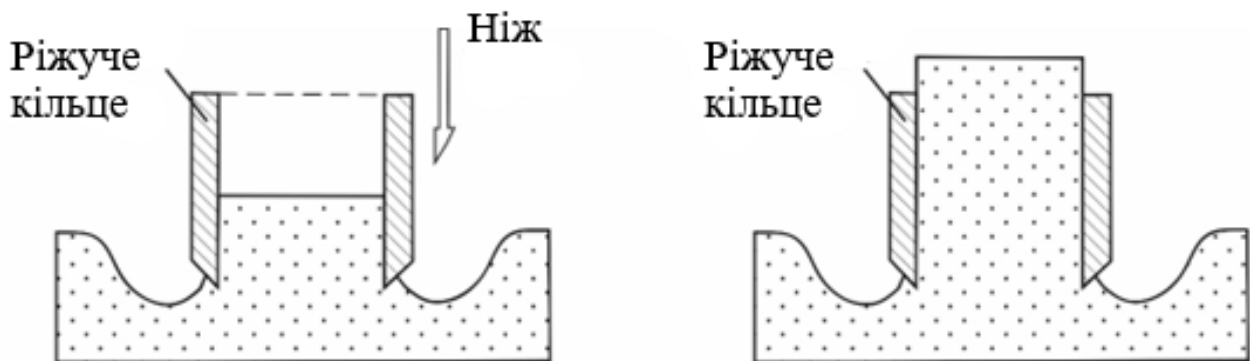


Рисунок 1 – Відбір проб ґрунту методом ріжучого кільця

4. Кільце із ґрунтом на скляній пластині протирають зовні й зважують із точністю до 0,01 г.

5. Результати записують до журналу (табл. 2).

6. Здійснюють розрахунок щільності ґрунту за формулою:

$$\rho = \frac{m_2 - m_0 - m_1}{V},$$

де ρ – щільність ґрунту, г/см³;

m_0 – маса кільця, г;

m_1 – маса скляної пластини, г;

m_2 – маса кільця з пластиною та ґрунтом, г;

V – внутрішній об'єм кільця.

7. Випробування роблять не менш 3-х раз, отримані дані записують у таблицю 2.

Таблиця 2 – Журнал визначення щільності ґрунту

Номер випробування	Номер кільця	Маса кільця, m_0 , г	Маса скляної пластини, m_1 , г	Маса кільця із пластиною та ґрунтом, m_2 , г	Об'єм кільця, V , см ³	Щільність ґрунту, ρ , г/см ³	Середня щільність ґрунту, ρ , г/см ³
1							
2							
3							
Примітка. Щільність (ρ) обчислюють із точністю до 0,01 г/см ³ .							

В інженерно-будівельній практиці для розрахунків частіше використовують значення об'ємної ваги ґрунту. Розрахунки об'ємної ваги ґрунту виконують за формулою:

$$\gamma = \rho \cdot g,$$

де γ – об’ємна вага ґрунту, кН/м³;

ρ – щільність ґрунту, г/см³;

g – прискорення вільного падіння, для інженерних дорівнюється 10 м/с².

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІСКУ ТА

СТУПЕНІ ЙОГО НЕОДНОРІДНОСТІ

Мета роботи: ознайомитися з ситовим методом визначення гранулометричного складу піску.

Гранулометричний склад ґрунту – це ваговий вміст у ньому часток того чи іншого розміру, визначений у відсотках відносно маси сухої проби, взятої для аналізу. Група часток з приблизно однаковими діаметрами певного діапазону називається фракцією. Визначення гранулометричного складу полягає у поділі складових часток ґрунту на окремі фракції.

Матеріали та устаткування

- 1) набір сит з отворами 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 5 та 10 мм;
- 2) ступка з гумовим товкачем;
- 3) електронні ваги;
- 4) алюмінієві чашки;
- 5) пісок.

Хід роботи

1. Піщаний ґрунт у повітряно-сухому стані обережно розтирають гумовим товкачем для руйнування грудок і структурних агрегатів.

2. Набір сит монтують у колону, починаючи знизу до гори, у такий спосіб: піддон – сито 0,1 мм – сито 0,25 мм – сито 0,5 мм – сито 1 мм – сито 2 мм – сито 5 мм – сито 10 мм – кришка (рис. 2).

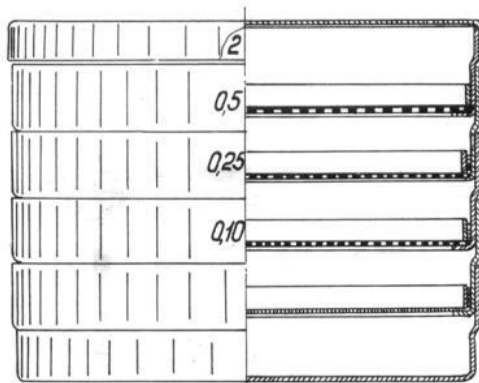


Рисунок 2 – Комплект сит для гранулометричного аналізу

3. Ґрунт для випробування беруть методом квартування. Для цього висушений зразок ґрунту розподіляють рівним шаром на аркуші щільного паперу, потім ділять на квадрати. З кожного квадрата відбирають небагато піску до складу середньої проби масою 100 г і переносяться на верхнє сито складеної колони.

4. Закривають кришку, легкими круговими рухами просівають ґрунт за допомогою струшування колони в горизонтальній площині протягом 3 хвилин. Внаслідок цього ґрунт розділиться на фракції, що залишаються на кожному ситі та піддоні.

5. Роз'єднавши колону, залишки піщаних часток з кожного сита й піддона, переносяться в алюмінієві чашки, потім зважують їх з точністю до 0,01 г.

6. Результати випробувань записують до таблиці 3.

Вміст кожної фракції розраховується за формулою:

$$A = \frac{m}{m_3} \cdot 100 \%,$$

де А – вміст фракції, %;

m – маса фракції, г;

m_3 – маса проби (100 г).

Маса фракції визначається за формулою:

$$m = m_2 - m_1,$$

де m – маса фракції, г;

m_1 – маса тари, г;

m_2 – маса тари із залишками на ситах, г.

Таблиця 3 – Журнал визначення гранулометричного складу піску

Показники	Розмір фракцій, мм					
	>2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	<0,1
Маса тари, m_1 , г						
Маса тари із залишками на ситах, m_2 , г						
Маса фракції, m , г						
Вміст фракції, A , %						
Σ , % менше даного діаметра						

Встановлюємо найменування ґрунту за допомогою класифікаційної таблиці 4.

Ступінь неоднорідності гранулометричного складу піску (C_u) визначають за формулою:

$$C_u = d_{60}/d_{10},$$

де C_u – ступінь неоднорідності;

d_{60} – діаметр часток (в мм), менше яких у даному ґрунті міститься за масою 60 % часток;

d_{10} – діаметр часток (в мм), менше яких у даному ґрунті міститься за масою 10 % часток.

При $C_u > 3$ – пісок неоднорідний по складу часток.

При $C_u \leq 3$ – пісок однорідний по складу часток.

Таблиця 4 – Класифікація піщаного ґрунту

Найменування піску	Розподіл часток за крупністю (у відсотках від ваги сухого ґрунту)
Гравіюватий пісок	Маса часток крупніше 2 мм становить більш 25 %
Крупний пісок	Маса часток крупніше 0,5 мм становить більш 50 %
Середньої крупності пісок	Маса часток крупніше 0,25 мм становить більш 50 %
Дрібний пісок	Маса часток крупніше 0,1 мм становить більш 75 %
Пилуватий пісок	Маса часток крупніше 0,1 мм становить менш 75 %

Величини d_{60} і d_{10} визначаються графічно за сумарною кривою, побудова якої виконується в прямокутній системі координат, по осі ординат відкладається Σ % фракцій менш даного діаметра, по осі абсцис – величини діаметра часток, мм. Приклад сумарної кривої гранулометричного складу піску наведено на рисунку 3.

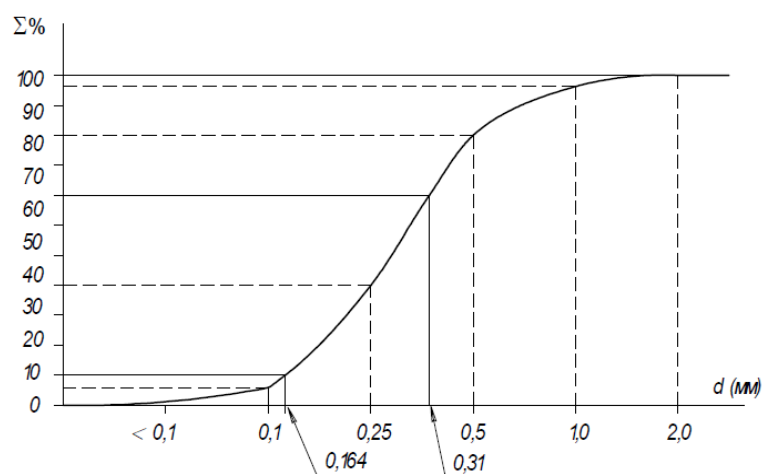


Рисунок 3 – Сумарна крива гранулометричного складу піску

Приклад визначення ступеня неоднорідності піщаного ґрунту

За допомогою сумарної кривої гранулометричного складу знаходимо величини d_{60} і d_{10} .

Розраховуємо ступінь неоднорідності піщаного ґрунту:

$$C_u = d_{60}/d_{10} = 0,31/0,164 = 1,89 ,$$

де $C_u < 3$, отже, ґрунт є однорідним.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ ПІЩАНОГО ҐРУНТУ

Мета роботи: ознайомитися з лабораторним методом визначення кута природного укосу піщаного ґрунту в сухому стані та під водою.

Кутом природного укосу ψ називається кут, при якому незакріплений піщаний укіс зберігає граничну рівновагу, або кут, під яким розташовується пісок після вільного обвалення. Кут ψ використовується при виробництві земляних робіт для призначення безпечних укосів без кріплення.

Піски, крім пилуватих, мають кут природного укосу ψ , що практично дорівнює куту внутрішнього тертя φ . В основному $\psi < \varphi$.

Цей показник визначається як у сухому стані, так і під водою.

Матеріали та устаткування

- 1) кутомірний ящик;
- 2) совочок (ложка);
- 3) пісок;
- 4) шпатель;
- 5) вода.

У лабораторних умовах для знаходження кута природнього укосу піщаного ґрунту застосовують кутомірні ящики (рис. 4).

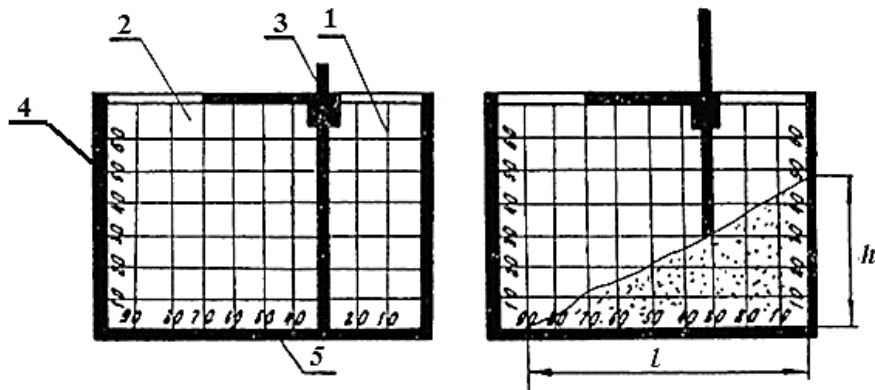


Рисунок 4 – Кутомірний ящик польової лабораторії І. М. Литвинова:

1 – приймальня камера; 2 – розподільна камера; 3 – засувка; 4 – вертикальна лінійка; 5 – горизонтальна лінійка

На рисунку 4 показана схема кутомірного ящика польової лабораторії І. М. Литвинова, виконаного з оргскла, у якому є прийомна камера 1 і розподільна камера 2. Обидві камери розділені засувкою 3. Ящик має вертикальну та горизонтальну масштабні лінійки (4 і 5 відповідно).

Хід роботи

1. У прийомну камеру кутомірного ящика без ущільнення засипають пісок, надлишки якого зрізують урівень із краями ящика.

2. Установивши кутомірний ящик на тверду горизонтальну поверхню, обережно піднімають засувку. У результаті формується піщана призма обвалення, яка на контактній поверхні ящика утворює прямокутний трикутник (рис. 4, б).

3. За допомогою масштабних лінійок вимірюють катети призми обвалення h і l .

4. Кут природнього укоосу розраховують за формулою:

$$\psi = \arctg \frac{h}{l},$$

де ψ – кут природнього укоосу;

h – висота укоосу (протилежащий катет), см;

l – основа укоосу (прилежающий катет), см.

5. Визначення кута природнього укоосу для насиченого водою піску виконують аналогічно вищеописаній методиці. До початку випробувань піщаний ґрунт попередньо замочують у кутомірному ящику водою через отвір у розподільній камері приладу. Для водонасиченого піску ψ зазвичай на 2–3° менше, ніж для сухого.

6. Випробування роблять не менш 3-х разів, отримані результати записують у таблиці 5 та 6.

Таблиця 5 – Журнал визначення кута внутрішнього тертя в сухому стані

Номер випробування	Висота укоосу, h , см	Основа укоосу, l , см	$\operatorname{tg}\psi = \frac{h}{l}$	Кут природнього укоосу, ψ	Середнє значення кута природнього укоосу, $\psi_{\text{сер.}}$
1					
2					
3					
Примітка. Кут природнього укоосу піщаного ґрунту визначають із точністю до 0,10°.					

Таблиця 6 – Журнал визначення кута внутрішнього тертя під водою

Номер випробування	Висота укосу, h, см	Основа укосу, l, см	$\operatorname{tg}\psi = \frac{h}{l}$	Кут природнього укосу, ψ	Середнє значення кута природнього укосу, $\psi_{\text{сер.}}$
1					
2					
3					
Примітка. Кут природнього укосу піщаного ґрунту визначають із точністю до $0,10^\circ$.					

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5 ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЦЬ ПЛАСТИЧНОСТІ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ

Мета роботи: ознайомитися з лабораторним методом визначення нижньої й верхньої границь пластичності глинистого ґрунту.

При зміні вологості властивості глинистих ґрунтів суттєво міняються. Залежно від вмісту води, кількості та мінералогічного складу глинистих часток ґрунт може мати тверду, пластичну або текучу консистенцію.

Для класифікації глинистих ґрунтів і оцінки їх стану по консистенції необхідно знати характерні вологості, при яких ґрунт переходить з твердого стану до пластичного, а з пластичного в текуче.

Вологість, при збільшенні якої ґрунт переходить з твердого стану до пластичного, називають нижньою границею пластичності (W_p) або границею розкочування.

Вологість, при збільшенні якої ґрунт переходить з пластичного стану до текучого, називають верхньою границею пластичності (W_L) або границею текучості.

Лабораторна робота 5 проводиться у два етапи: на першому етапі визначають границю розкочування, а на другому – границю текучості.

5.1 Визначення вологості ґрунту на границі текучості

Матеріали та устаткування

- 1) бюкси;
- 2) електронні ваги;
- 3) металевий стакан або круглодонна чаша;
- 4) шпатель;
- 5) балансирний конус (конус Васильєва);
- 6) порцелянова чаша;
- 7) технічний вазелін;
- 8) колба з водою;
- 9) глинистий ґрунт.

Хід роботи

1. Для визначення верхньої границі пластичності (границі текучості) приготовлену ґрунтову пасту помістити за допомогою шпателя в металевий стакан або круглодонну чашу (рис. 5).

2. Стандартний балансирний конус, висотою 25 мм, з кутом при вершині 30°, має кругову риску на відстані 10 мм від вершини, вістря якого повинне бути змазане тонким шаром вазеліну, обережно установити на поверхню ґрунтової пасти й дати можливість поринути в ґрунт під впливом власної маси.

3. При зануренні конуса на глибину менш 10 мм ґрунтову пасту слід вийняти зі стакана, приєднати до пасти, що залишилася, додати небагато дистильованої води, ретельно перемішати й повторити операції, зазначені в пп. 2, 3.

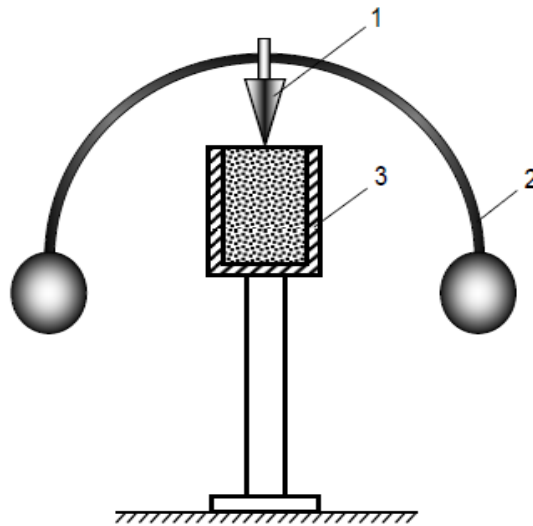


Рисунок 5 – Схема визначення верхньої межі пластичності методом балансного конуса: 1 – балансирний конус ; 2 – балансирне обладнання; 3 – стакан з ґрунтовою пастою

4. Стандартний балансирний конус, висотою 25 мм, з кутом при вершині 30°, має кругову риску на відстані 10 мм від вершини, вістря якого повинне бути змазане тонким шаром вазеліну, обережно установити на поверхню ґрунтової пасти й дати можливість поринути в ґрунт під впливом власної маси.

5. При зануренні конуса на глибину менш 10 мм ґрунтовою пасту слід вийняти зі стакана, приєднати до пасти, що залишилася, додати небагато дистильованої води, ретельно перемішати й повторити операції, зазначені в пп. 2, 3.

6. При зануренні конуса на глибину більш 10 мм ґрунтовою пасту зі стакана слід перекласти до порцелянової чаші, підсушити на повітрі, безупинно помішуючи шпателем, потім повторити операції, зазначені в пп. 2, 3.

7. Занурення конуса в ґрунтовою пасту протягом 5 секунд на глибину 10 мм показує, що ґрунт має вологість, відповідну до границі текучості.

8. По досягненню границі текучості з ґрунтової пасти відбирають три проби масою не менш 15 г у заздалегідь підготовлені та зважені бюкси й визначають вологість ґрунту на границі текучості W_L за формулою:

$$W_L = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100 \%,$$

де W_L – вологість на границі текучості, %;

m_1 – маса бюкса із ґрунтом до висушування, г;

m_2 – маса бюкса із ґрунтом після висушування, г;

m_3 – маса порожнього бюкса, г.

9. Результати визначень записують у таблицю 7.

Таблиця 7 – Журнал визначення границі текучості

Номер випробування	Номер бюкса	Маса бюкса з вологим ґрунтом m_1 , г	Маса бюкса з сухим ґрунтом m_2 , г	Маса порожнього бюкса m_3 , г	Верхня границя пластичності, W_L , %	Середнє значення верхньої границі пластичності, W_L , %
1						
2						
3						
Примітка. Верхню границю пластичності(W_L) обчислюють із точністю до 0,01.						

5.2 Визначення вологості ґрунту на границі розкочування

Матеріали та устаткування

- 1) бюкси;
- 2) електронні ваги;
- 3) скляна пластина;
- 4) порцелянова чаша;
- 5) колба з водою;
- 6) глинистий ґрунт.

Хід роботи

1. Із ґрунту, розтертого після просушування та просіяного через сито із діаметром отворів в 1 мм, і води готують у порцеляновій чаші густе ґрунтове тісто.

2. Підготовлене ґрунтове тісто ретельне перемішують, беруть з нього невеличку частину та розкачують пальцями на скляній пластині, глясовому папері або долоні, до утворення джгута діаметром близько 3 мм. Розкочування продовжують, злегка натискаючи на джгут. Довжина джгута не повинна перевищувати ширини долоні. Якщо джгут ґрунту зберігає пластичність і зв'язність, його збирають у грудочки й знову розгортають до діаметра 3 мм. Операцію повторюють доти, поки джгут діаметром 3 мм, не покриється мережею тріщин і почне розпадатися на шматочки довжиною до 8–10 мм (рис 6).

3. Шматочки джгута поміщають у заздалегідь зважені бюкси. Під час роботи для запобігання шматочків джгута від висихання бюкси слід тримати закритим. Необхідно набрати не менш 10 г шматочків ґрунту для 3-х бюксів.

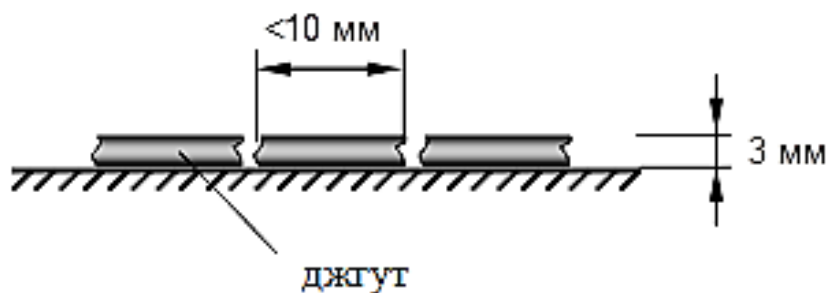


Рисунок 6 – Схема визначення нижньої границі розкочування

4. Далі визначають границю розкочування (W_p) за формулою:

$$W_p = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100 \%,$$

де W_p – вологість на границі розкочування, %;

m_1 – маса бюкса із ґрунтом до висушування, г;

m_2 – маса бюкса із ґрунтом після висушування, г;

m_3 – маса порожнього бюкса, г.

5. Результати випробувань записати в таблицю 8.

Таблиця 8 – Журнал визначення границі розкочування

Номер випробування	Номер бюкса	Маса бюкса з вологим ґрунтом m_1 , г	Маса бюкса із сухим ґрунтом m_2 , г	Маса порожнього бюкса, m_3 , г	Нижня границя пластичності, W_p , %	Середнє значення нижньої границі пластичності, W_p , %
1						
2						
3						

Примітка. Нижня границя пластичності (W_p) обчислюють із точністю до 0,01.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

ВИЗНАЧЕННЯ ОБЧИСЛЮВАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ

Мета роботи: ознайомитися з обчислювальними характеристиками ґрунтів; визначити щільність сухого ґрунту (щільність скелета ґрунту), щільність часток ґрунту, питому вагу сухого ґрунту (часток ґрунту), питому вагу часток ґрунту, пористість, коефіцієнт пористості, ступінь вологості, число пластичності та показник текучості.

У лабораторній роботі необхідно розрахувати похідні характеристики ґрунту й по класифікаційних таблицях визначити його вид, різновид і т. д.

Відповідні показники ґрунту, обумовлені лабораторними випробуваннями беруться з лабораторних робіт 1–5.

Хід роботи

Обчислити похідні характеристики ґрунтів.

1. Щільність сухого ґрунту (ρ_d) – відношення маси сухого ґрунту (часток ґрунту) до обсягу всього ґрунту. Розраховується за формулою:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W},$$

де ρ_d – щільність ґрунту, г/см³;

ρ – щільність ґрунту, г/см³;

W – вологість ґрунту, у. о.

2. Питома вага сухого ґрунту (γ_d) і питома вага часток ґрунту (γ_s) визначають, помноживши щільність сухого ґрунту та щільність часток ґрунту (відповідно) на прискорення вільного падіння ($g = 10 \text{ м/с}^2$).

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g,$$

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g,$$

де γ_d – питома вага сухого ґрунту, кН/м³;

γ_s – питома вага часток ґрунту, кН/м³;

ρ_d – щільність сухого ґрунту, г/см³;

ρ_s – щільність часток ґрунту, г/см³;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Щільність часток ґрунту (ρ_s) – відношення маси сухого ґрунту до обсягу твердої частини цього ґрунту. Цю величину можна визначити пікнометричним методом у лабораторних умовах.

Як відомо, щільність часток ґрунту залежить від його мінералогічного складу. Щільність же породотвірних мінералів коливається в невеликих межах, тому щільність пухких піщано-глинистих ґрунтів, що складаються з цих мінералів, практично є постійною величиною й не залежить від його щільності й вологості.

Для орієнтовних розрахунків щільність часток ґрунту можна прийняти:

– для пісків – 2,66 г/см³;

- для супісків – 2,7 г/см³;
- для суглинків – 2,71 г/см³;
- для глин – 2,74 г/см³.

3. Пористість (n) – відношення обсягу пор до обсягу всього ґрунту та може бути розрахована за формулою:

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \cdot 100 \%,$$

або

$$n = \frac{e}{1 + e} \cdot 100 \% .$$

4. Коефіцієнт пористості (e) – відношення обсягу пор до обсягу твердих часток ґрунту, розраховується за формулою:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

або

$$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1.$$

Відповідно до класифікаційної таблиці 9 визначаємо різновид піщаного ґрунту.

Таблиця 9 – Класифікація пісків за коефіцієнтом пористості (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-1996)

Різновид пісків	Коефіцієнт пористості, e		
	Піски гравіюваті, крупні та середньої крупності	Піски дрібні	Піски пилюваті
Щільні	<0,55	<0,60	<0,60
Середньої щільності	0,55–0,70	0,60–0,75	0,60–0,80
Пухкі	>0,70	>0,75	>0,80

Визначаємо за таблицею 10 умовний розрахунковий опір піщаних ґрунтів (R_0).

Таблиця 10 – Розрахунковий опір піщаних ґрунтів (ДБН В.2.1-10-2009)

Піщані ґрунти	Значення, R_0 , кПа, у залежності від щільності пісків	
	щільні	середньої щільності
Крупні	600	500
Середньої крупності	500	400
Дрібні: - малого ступеня вологості; - середнього ступеня вологості та насичені водою	400 300	300 200
Пилуваті: - малого ступеня вологості - середнього ступеня вологості - насичені водою	300 200 150	250 150 100
Примітка. Для пухких пісків значення R_0 , не встановлюється. Якщо досліджувані піски ставляться до дрібних або пилуватим, розрахунковий опір визначаємо для вологого піску.		

5. Ступінь вологості ґрунту (коефіцієнт водонасичення) (S_r) – ступінь заповнення пор водою. Ступеня вологості визначається за формулою:

$$S_r = \frac{W\rho_s}{e\rho_w},$$

де S_r – ступень вологості;

ρ_s – щільність часток ґрунту, г/см³;

e – коефіцієнт пористості;

ρ_w – щільність води, яка дорівнюється 1 г/см³.

За класифікаційною таблицею 11 визначаємо різновид ґрунту.

Таблиця 11 – Класифікація ґрунтів за ступенем вологості (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-1996)

Різновид ґрунтів	Ступінь вологості, S_r
Малого ступеня водонасичення	0–0,50
Середнього ступеня водонасичення	0,51–0,80
Насичені водою	0,81–1,00

6. Число пластичності (J_p) – це інтервал вологості, при якому глинисті ґрунти перебувають у пластичному стані. Визначається за формулою:

$$J_p = W_L - W_p,$$

де J_p – число пластичності;

W_L – вологість на границі текучості;

W_p – вологість на границі розкочування.

За класифікаційною таблицею 12 визначаємо вид глинистого ґрунту.

Таблиця 12 – Класифікація глинистих ґрунтів за числом пластичності (згідно ДСТУ Б В.2.1-2-1996)

Вид глинистого ґрунту	Число пластичності (J_p)
Супісок	1–7
Суглинок	7–17
Глина	>17

7. Показник текучості (J_L) – гранична вологість між напівтвердим і пластичним станом ґрунту. Показник текучості глинистих ґрунтів використовується для оцінки їх консистенції й розраховується за формулою:

$$J_L = \frac{W - W_P}{J_P} = \frac{W - W_P}{W_L - W_P},$$

де J_L – показник текучості;

W – вологість ґрунту;

W_P – вологість на границі розкочування;

W_L – вологість на границі текучості;

J_P – число пластичності.

Визначаємо різновид глинистого ґрунту за класифікаційною таблицею 13.

Таблиця 13 – Класифікація глинистих ґрунтів по показникові текучості (згідно з ДСТУ Б В.2.1-2-1996)

Різнovid ґрунтів	Показник текучості (J_L)
Супісок: – твердий; – пластичний; – плинний	<0 0–1 >1
Суглинки та глини: – тверді; – напівтверді; – тугопластичні; – м'якопластичні; – плиннопластичні; – плинні	<0 0–0,25 0,26–0,50 0,51–0,75 0,76–1 >1

За таблицею 14 визначаємо розрахунковий опір глинистого ґрунту.

Таблиця 2.14 – Розрахункові опори R_0 глинистих (непросідних) ґрунтів (ДБН В.2.1-10-2009)

Глинисті ґрунти	Коефіцієнт пористості, e	Значення R_0 , кПа, при консистенції ґрунту	
		$J_L = 0$	$J_L = 1$
Супісок	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинок	0,5	300	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100
Глина	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

Примітка. Для ґрунтів із проміжними значеннями J_L та e значення розрахункового опору визначається за допомогою інтерполяції.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

ВИЗНАЧЕННЯ ЗСУВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТУ

Мета роботи: ознайомитися з лабораторним методом визначення параметрів опору ґрунту зрушенню; навчитися користуватися приладом, розглянути один з методів для одержання значень питомого зчеплення (C) та кута внутрішнього тертя (φ) глинистого ґрунту.

Опір ґрунтів зсуву є найважливішим показником міцності ґрунту, який необхідно для розрахунків стійкості та міцності основ, оцінки стійкості укосів, розрахунків тиску ґрунтів на підпірні стінки та інших інженерних розрахунків.

Опір ґрунту зсуву (τ) обумовлюється силами тертя та зчеплення.

Основними характеристиками ґрунту на зсув є питоме зчеплення C , МПа та кут внутрішнього тертя φ , град.

Ці характеристики є параметрами лінійної залежності $\tau = f(\sigma)$, яка була встановлена в 1773 р. Ш. Кулоном. Для піщаних ґрунтів ця залежність виражається формулою:

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

де τ – опір зсуву, МПа;

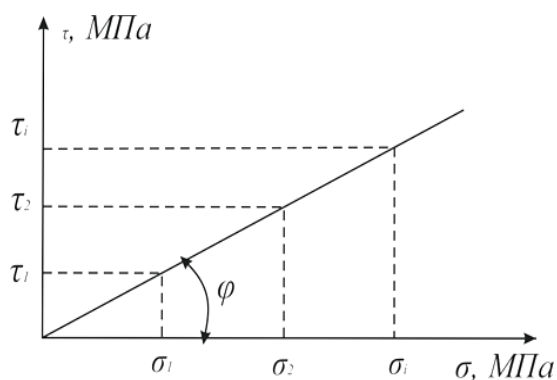
σ – нормальна напруга по площі зсуву, МПа;

φ – кут внутрішнього тертя, град;

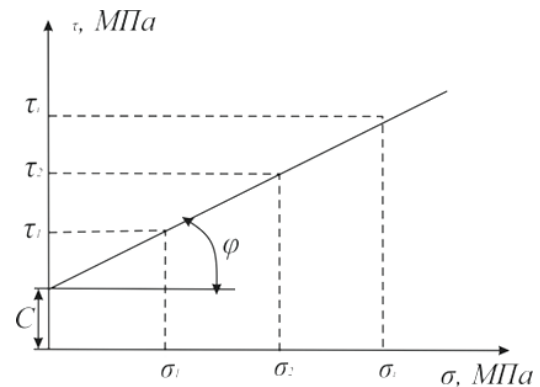
$\operatorname{tg}\varphi$ – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Опір піщаних ґрунтів зсуву обумовлюється силами тертя пропорційно до нормального тиску. Сили зчеплення в сипучих ґрунтах незначні, тому ними зазвичай нехтують.

Графічно зазначена залежність зображується прямою, що проходить через початок координат (рис. 7, а).



а)



б)

Рисунок 7 – Графік залежності опору ґрунту зрушенню від вертикального тиску: а – для піщаних ґрунтів, б – для глинистих ґрунтів

У глинистих ґрунтах опір ґрунту зсуву обумовлено силами тертя і зчеплення часток ґрунту та виражається формулою

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

де C – питоме зчеплення ґрунту.

Графічно зазначена залежність зображується прямою, що відтинає відрізок на осі ординат (рис. 7, б). Кут внутрішнього тертя є кутом нахилу цієї прямої до осі абсцис.

Зсувні характеристики C та φ визначаються експериментальним шляхом у польових або лабораторних умовах. Опір зсуву одного і того ж ґрунту не постійний і залежить від його фізичного стану, від умов проведення випробувань. Для отримання достовірних результатів випробування на зсув повинні завжди проводитися в умовах, максимально наближених до умов роботи ґрунту під спорудою або в самій споруді.

Стандартна методика лабораторного визначення опору зсуву піщаних і глинистих ґрунтів устанавлюється нормативними документами.

Згідно із цією методикою опір ґрунтів зсуву (τ) визначається випробуванням зразків ґрунту на одноплощинних зрізних приладах з фіксованою площею зрізу.

Існує декілька методів визначення опору ґрунту зсуву:

- метод консолідованого (повільного) зрушення, при якому зразок ґрунту до випробування ущільнюють відповідним вертикальним тиском. Випробування проводиться в умовах вільного відтоку води (дренування). Метод застосовується для дослідження ґрунтів в умовах ущільненого стану й дає можливість оцінити міцність основи побудованої споруди;

- метод неконсолідованого (швидкого) зрушення, при якому зусилля, що зрушує, прикладається без попереднього ущільнення зразка в умовах відсутності дренивання. Метод застосовується для дослідження ґрунтів в умовах нестабілізованого стану (для суглинків і глин при ступені вологості $S_r \geq 0,85$ і показнику текучості $J_L \geq 0,5$).

Визначення опору ґрунтів зсуву (τ) необхідно проводити при трьох різних величинах вертикального тиску (σ) на трьох зразках ґрунту, вирізаних з однорідного моноліту або, за необхідності, на зразках, підготовлених у лабораторії.

При проведенні даної лабораторної роботи буде використовуватися зсувний прилад конструкції І. М. Литвинова ПЛЛ-9 (рис. 8).

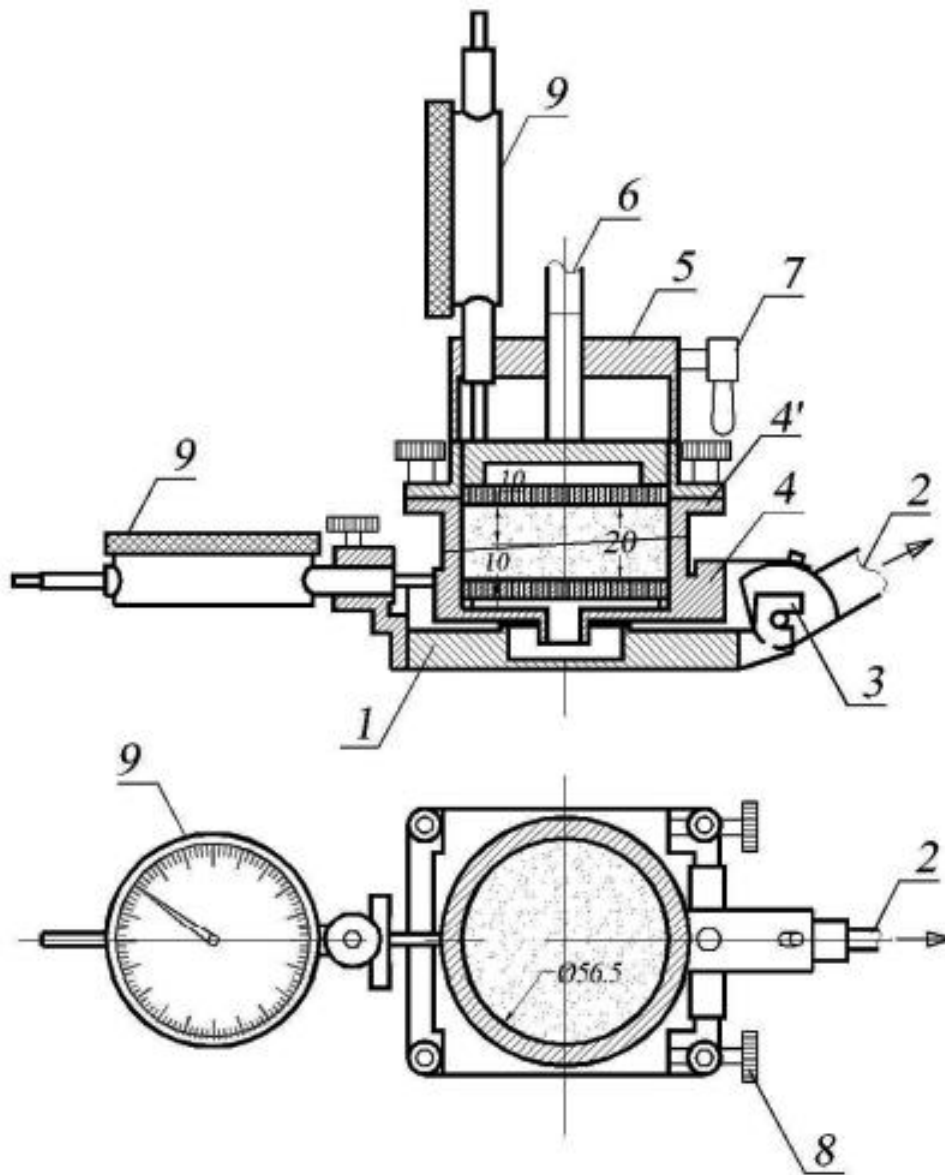


Рисунок 8 – Схема одноплощинного зсувного приладу ПЛЛ-9: 1 – основа приладу; 2 – важіль для передачі горизонтального навантаження; 3 – опорна частина важеля для горизонтального навантаження; 4 – нижня рухлива частина гільзи для ґрунту (каретка); 4' – верхня нерухлива частина гільзи; 5 – спрямовуючий циліндр; 6 – дренажний поршень зі штоком; 7 – затискний гвинт; 8 – стопорні гвинти; 9 – індикатор годинникового типу

Співвідношення у важільній системі цього приладу такі, що прикладений вантаж в 1 кг на робочу підвіску важеля передає тиск на поршень в 250 Н. Площа

внутрішнього перетину компресійної гільзи дорівнюється 25 см^2 , питомий тиск на випробуваний ґрунт становить $0,1 \text{ МПа}$.

Визначення зсувних характеристик ґрунту методом неконсолідованого зрушення

Матеріали та устаткування

- 1) зсувний прилад;
- 2) гирі;
- 3) індикатори годинникового типу;
- 4) фільтрувальний папір;
- 5) ґрунтовідбірна гільза (ріжуче кільце);
- 6) лабораторний ніж;
- 7) ґрунт.

Хід роботи

1. Відбирають ґрунт до ріжучого кільця $d = 56,5 \text{ мм}$ і $h = 20 \text{ мм}$ за допомогою ґрунтовідбірника.

2. На дно нижньої частини приладу укладають фільтрувальний папір. Збирають прилад так, щоб верхня й нижня частини приладу являла собою гільзу висотою 20 мм .

3. Ріжуче кільце з ґрунтом поміщають на верхню частину приладу ріжучою частиною вгору.

4. За допомогою спеціального виштовхувача переміщують ґрунт із кільця в гільзу приладу.

5. Зверху на ґрунт укладають фільтрувальний папір. Установлюється верхня частина приладу з поршнем, що передає вертикальний тиск. Верхня частина приладу щільно загвинчується гвинтами.

6. Урівноважують телескопічний важіль противагою, для цього на коротку частину важеля на підвіску кладуть дві гирі по 0,5 кг.

7. Відпускають затискний гвинт поршня й навантажують зразок заданим тиском. На перший зразок передають вертикальну напругу, що дорівнюється 0,1 МПа, що відповідає вазі гирі на вертикальній підвісці в 10 Н (1 кг). На другий зразок передають вертикальну напругу 0,2 МПа, а на третій – 0,3 МПа.

8. Протягом 5 хвилин ґрунт тільки ущільнюється.

9. Установлюють другий індикатор приладу так, щоб вістря приладу торкалися нижньої рухливої частини приладу. Закріплюють важіль, що передає на зразок горизонтальну силу.

10. Після ущільнення ґрунту відпускають стопорні гвинти збоку приладу та завантажують зразок горизонтальним навантаженням. Горизонтальне навантаження прикладають ступенями. Кожен ступінь навантаження дорівнюється 0,1 МПа від ущільнюючого навантаження. Кожна ступень горизонтального навантаження витримують до умовної стабілізації деформації зрушення.

11. За умовну деформацію беруть швидкість зрушення, що не перевищує 0,01 мм на хвилину.

12. Значення за індикатором годинникового типу, що встановлено горизонтально, фіксуються наприкінці кожної хвилини до завершення горизонтальної деформації зсуву на даній ступені. Нарощування навантаження, що зрушує, проводиться до тих пір, доки деформація зрушення не досягне 3 мм (що відповідає трьом колам проходження стрілки індикатора годинникового типу). Значення зсувного навантаження фіксується в журналі випробувань (табл. 15).

Таблиця 15 – Журнал випробувань ґрунту на зсув

Вага гирь на верти- кальній підвісці, Р, Н	Вага гирь на горизон- тальній підвісці, Т, Н	Нормальна (вертикаль- на) напруга, σ , МПа	Зсувна (горизонталь- на) напруга, τ , МПа	Показник індика- тору, u	Величина горизонталь- ного перемі- щення, δ , мм
10	0,01	0,1	0,01		
	0,02		0,02		
	0,03		0,03		
	0,04		0,04		
	0,05		0,05		
	0,06		0,06		
	0,07		0,07		
	0,08		0,08		
20	0,02	0,2	0,02		
	0,04		0,04		
	0,06		0,06		
	0,08		0,08		
	0,10		0,10		
	0,12		0,12		
	0,14		0,14		
	0,16		0,16		
30	0,03	0,3	0,03		
	0,06		0,06		
	0,09		0,09		
	0,12		0,12		
	0,15		0,15		
	0,18		0,18		
	0,21		0,21		
	0,24		0,24		

Після завершення випробувань прилад необхідно розібрати, вичистити, усі деталі вимити й просушити.

Обробка результатів випробувань

За результатами випробувань будують графік залежності зсувних напружень τ від горизонтального переміщення рухливої об'єми δ (рис. 9) та

графік залежності граничних зсувних напружень $\tau_{\text{гран.}}$ від нормальної напруги σ (рис. 10).

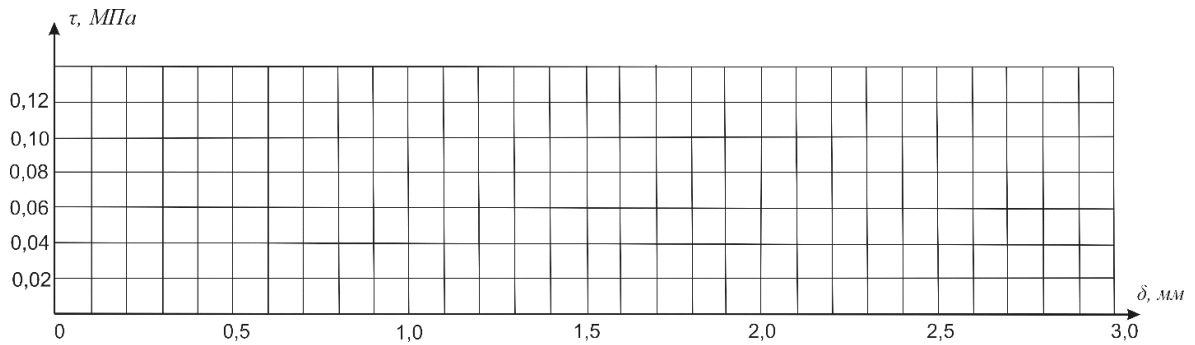


Рисунок 9 – Графік залежності горизонтального переміщення рухливої обійми δ від зсувних напружень τ

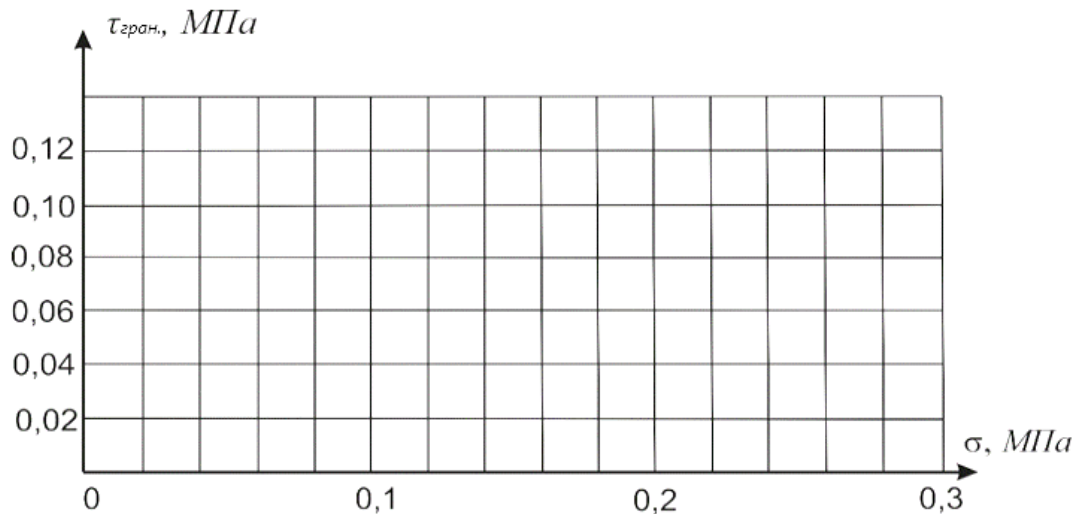


Рисунок 10 – Графік залежності граничних зсувних напружень $\tau_{\text{гран.}}$ від нормальних напружень σ

Кут внутрішнього тертя φ та питоме зчеплення (C) обчислюються за формулами:

$$\text{tg}\varphi = \frac{\tau_3 - \tau_1}{\sigma_3 - \sigma_1},$$

$$C = \tau_1 - \sigma_1 \text{tg}\varphi,$$

де τ_1 – максимальна напруга зсуву ґрунтового зразка, що випробується при вертикальному тиску $\sigma_1 = 1,0$ МПа;

τ_3 – максимальна напруга зсуву ґрунтового зразка, що випробується при вертикальному тиску $\sigma_3 = 3,0$ МПа.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8 КОМПРЕСІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ ҐРУНТІВ

Мета роботи: Ознайомитися з лабораторним методом визначення ущільнення ґрунтів і визначити його деформаційні характеристики.

Ущільнення дисперсних ґрунтів під дією зовнішнього навантаження – це одна з найважливіших деформаційних властивостей.

Деформація ущільнення відбувається внаслідок зменшення обсягу пор ґрунтів за рахунок більш компактного розміщення часток при прикладанні стискаючих зусиль, виникнення взаємних мікрозсувів частинок, зменшенням товщини водно-колоїдних плівок і супроводжується віджиманням води з пор ґрунту.

Процес ущільнення ґрунту завершується не відразу після прикладання навантаження, а становить деякий відрізок часу, який називається часом стабілізації деформації. Чим менше розміри пор ґрунту, тим повільніше відбувається стабілізація.

Показники ущільнення дисперсних ґрунтів необхідні для розрахунків очікуваних осадок споруд і визначаються як у лабораторних умовах на зразках з непорушеною й порушеною структурою, так і в польових умовах природнього залягання ґрунту. Одним з найпоширеніших методів лабораторного визначення показників ущільнення є компресійне випробування ґрунту.

Для випробувань ґрунту застосовують компресійні прилади (одеметри) різноманітних систем. У лабораторній роботі буде використовуватися прилад ПЛЛ-9 конструкції І. М. Литвинова (рис. 11).

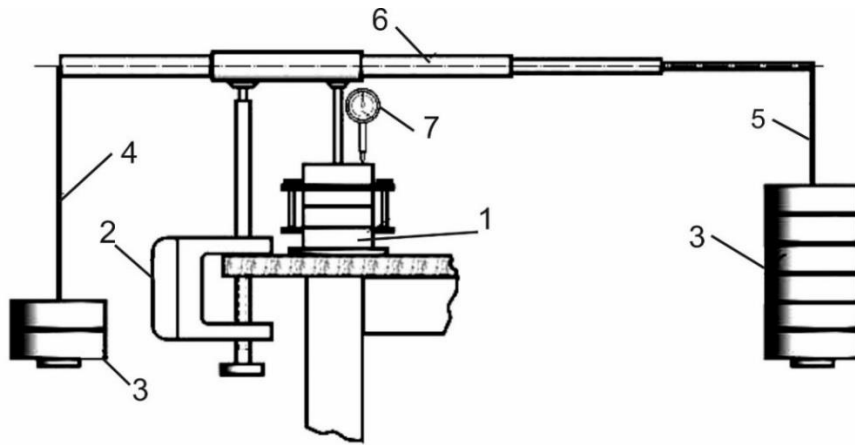


Рисунок 11 – Схема компресійного приладу конструкції І. М. Литвинова:
 1 – основна частина приладу (одометр); 2 – затискний пристрій; 3 – гирі;
 4–5 – підвіски до важеля; 6 – важільна система; 7 – індикатор годинникового
 типу

Співвідношення у важільній системі цього приладу такі, що прикладений вантаж в 1 кг на робочу підвіску важеля передає тиск на поршень в 250 Н. Площа внутрішнього перетину компресійної гільзи дорівнюється 25 см^2 , питомий тиск на випробуваний ґрунт становить 0,1 МПа.

Матеріали та устаткування

- 1) одометр у складі приладу конструкції І. М. Литвинова;
- 2) індикатор годинникового типу;
- 3) гирі;
- 4) ґруновідбірна гільза (ріжуче кільце);
- 5) фільтрувальний папір.
- б) ґрунт.

Хід роботи

Установлення та завантаження приладу

1. Нижня частина приладу пригвинчується затискним пристроєм до столу.

2. З моноліту відбирається зразок ґрунту в ґрунтовідбірну гільзу (ріжуче кільце). Ґрунтовідбірна гільза є обоймою для зразка ґрунту під час його випробування.

3. На нижню частину приладу укладається фільтрувальний папір.

4. На фільтрувальний папір встановлюється кільце з ґрунтом, ріжучою стороною нагору.

5. Ґрунт закривається фільтрувальним папером і зверху на зразок встановлюється поршень із верхнім дренажним диском. Після цього прилад загвинчують.

6. Поршень встановлюють так, щоб він лише торкався поверхні ґрунту, та закріплюють його гвинтом для перешкоди його вертикального руху.

7. Встановлюють систему важелів, прикріплюючи її до верхньої частини затискного пристрою та спираючи на призму штока поршня. Важіль врівноважують у нейтральному положенні гирями на підвісці противаги.

8. Закріплюють індикатор у траверсі приладу так, щоб його стрижень, що фіксує деформацію, упирався у поршень. При цьому стрижень повинен піднятися нагору на 70–80 % вільного ходу, тобто на 7–8 мм. За допомогою обойми встановлюють індикатор на нульове ділення.

9. Закінчивши устанавлення приладу, відпускають затискний гвинт поршня й приступають до випробування.

Порядок проведення випробування

1. Завантаження приладу роблять ступенями. На першому ступені на зразок передається ущільнюючий тиск рівний 0,05 МПа. Для цього на підвіску важеля необхідно прикласти вантаж у 1 кг, що створить зусилля на штамп одометра 10 Н. На другому ступені передається ущільнюючий тиск 0,1 МПа, на третьому – 0,3 МПа і т. д. Гранична величина завантаження встановлюється завданням (звичайно 30–40 Н). Відлік за індикатором беруть через 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 60 хв., а потім щогодини до досягнення умовної стабілізації

деформацій. За умовну стабілізацію деформації приймають величину стиснення ґрунту не більше 0,01 мм:

- для піщаних ґрунтів – за 4 години;
- для супісків – за 10 годин;
- для суглинків і глин – за 16 годин.

2. У процесі випробування знімати гирі й замінити їх іншими не можна. Для скорочення часу студенти беруть відлік за індикатором з моменту застосування кожної ступені через 2, 4 та 8 хв.

3. Результати випробувань записуються в журнал (табл. 15).

Таблиця 15 – Журнал компресійного випробування ґрунту

Номер ступеня навантаження	Маса гирь на під-вісці, кг	Ущільнюючий тиск σ , МПа	Час спостереження, хв	Показання індикатора	Загальна деформація зразка, Н, мм	Тарувальна поправка, ΔH , мм	Абсолютна деформація, Δh , мм
0	0,0	0,00		0,00			
1	0,5	0,05	2 4 8				
2	1,0	0,1	2 4 8				
3	2,0	0,2	2 4 8				
4	3,0	0,3	2 4 8				
5	4,0	0,4	2 4 8				

4. Абсолютна деформація зразка розраховується за формулою

$$\Delta h = H - \Delta H.$$

Тарування одометра

Під таруванням одометра розуміють визначення деформації приладу й паперових обкладок для кожної ступені завантаження. Сумарне значення деформації приладу та обкладок називається тарувальним виправленням. Процес тарування передбачає такі дії:

1. У камері одометра розміщують нестисливий при невеликих тисках металевий циліндр – болванку, розміри якої точно відповідають початковим розмірам ґрунтового зразка.

2. До кронштейна компресійного приладу приєднують індикатор таким чином, що б його шток, всунутий у корпус індикатора, перебував у контакті із кришкою одометра.

3. За допомогою інвентарних гирь через кожні 2–3 хв на болванку передають тиску, який дозволяє одержати в камері одометра тиск на ґрунт 0,05 МПа, 0,1 МПа 0,2 МПа і т. д. Для кожної ступені завантаження визначають тарувальне виправлення за індикатором з точністю до 0,01 мм.

Початковим відліком, тобто показником індикатора до початку випробування, доцільно обрати так званий нульовий відлік, при якому велика й мала стрілки на циферблаті приладу суміщені з нульовими поділками. У цьому випадку визначення тарувальної поправки спрощується.

Отримані дані заносять у таблицю 16, а потім використовують для побудови графіка тарувальної кривої, який дозволяє одержати тарувальне поправку для будь-якого проміжного значення ущільнюючого тиску.

Таблиця 16 – Тарувальні поправки компресійного приладу

Ущільнюючий тиск, σ , МПа	Тарувальна поправка, ΔH , мм
0,00	
0,50	
1,00	
2,00	
3,00	
4,00	

Як приклад, на рисунку 12 наведена тарувальна крива справного одометра.

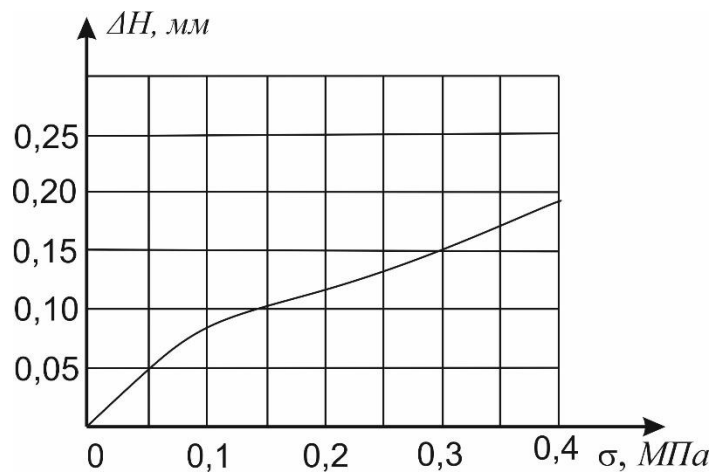


Рисунок 12 – Графік тарувальної кривої (приклад)

За різновидом тарувальної кривої можна судити про справність компресійного приладу. Якщо крива має плавний обрис і вказує на стабілізацію тарувальної поправки, то це свідчить про справність одометра.

Обробка результатів випробувань

1. За результатами випробувань будують графік залежності осадки від часу при компресійному випробуванні (рис. 13).

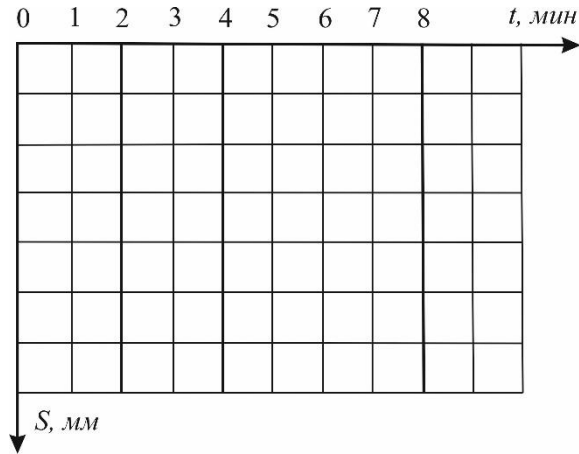


Рисунок 13 – Графік залежності осадки від часу при компресійному випробуванні

2. Обчислюємо деформаційні характеристики ґрунту та записуємо результати до таблиці 17.

Таблиця 17 – Деформаційні характеристики ґрунту

Номер ступеня навантаження	Ущільнюючий тиск σ , МПа	Відносна деформація зразка, ε_i	Коефіцієнт пористості ґрунту, e_i	Коефіцієнт ущільнення, m_0 , МПа ⁻¹	Модуль загальної деформації E , МПа
0	0				
1	0,05				
2	0,1				
3	0,2				
4	0,3				
5	0,4				

2.1 Відносна деформація зразка (ε_i) розраховується за формулою

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{h},$$

де h – початкова висота зразка (20 мм);

Δh – абсолютна деформація зразка.

2.2 Коефіцієнт пористості (e_i) при заданому тиску розраховується за формулою:

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

де e_0 – початковий коефіцієнт пористості (обчислюють при виконанні практичної роботи 4).

2.3 Коефіцієнт стисливості (m_0 , МПа⁻¹) у заданому інтервалі тисків σ_i та σ_{i+1} розраховується за формулою

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{\sigma_{i+1} - \sigma_i},$$

де e_i та e_{i+1} – коефіцієнти пористості ґрунту, які відповідають тискам σ_i та σ_{i+1} .

2.4 Обчислюємо модуль деформації (E , МПа) в інтервалі тисків σ_i та σ_{i+1} з точністю 0,1 МПа за формулою

$$E = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta,$$

де β – коефіцієнт, який враховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі. Коефіцієнт β обчислюють за формулою

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu},$$

де ν – коефіцієнт поперечної деформації, який визначають за результатами випробувань у приладах тривісного стискання.

У разі відсутності експериментальних даних допускається приймати коефіцієнт поперечної деформації:

- для пісків і супісків 0,30 – 0,35;
- для суглинків 0,35 – 0,37;
- для глин: 0,2 – 0,3 при $I_L < 0$;

$$0,3 - 0,38 \text{ при } 0 \leq I_L \leq 0,25;$$

$$0,38 - 0,45 \text{ при } 0,25 < I_L \leq 1,0.$$

При цьому менші значення коефіцієнта поперечної деформації приймають при більшій щільності ґрунту.

Необхідна точність обчислень:

- деформація зразка до 0,01 мм;
- коефіцієнт пористості до 0,001;
- коефіцієнт ущільнення до 0,001 МПа⁻¹;
- модуль деформації до 0,01 МПа.

3. Будуємо графік компресійної кривої (рис. 14).

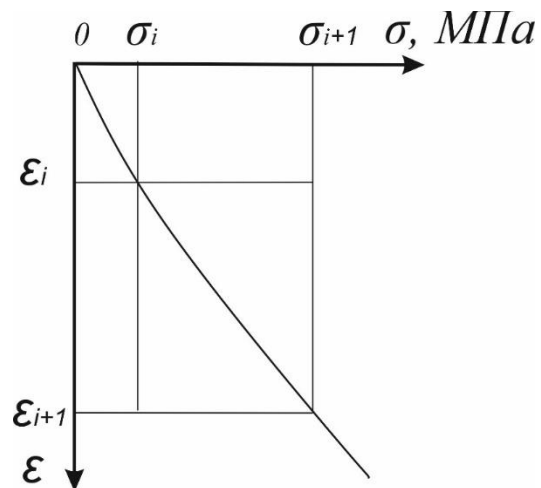


Рисунок 14 – Графік залежності $\varepsilon = f(\sigma)$

Під час побудови компресійної кривої градуювання вертикальної осі графіка студент проводить залежно від величини та інтервалу зміни коефіцієнта пористості під час випробування.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«МЕХАНІКА ГРУНТІВ І ОСНОВИ ФУНДАМЕНТОБУДУВАННЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології)*

Укладачі: **ГАВРИЛЮК** Ольга Володимирівна,
АЛЕКСАНДРОВИЧ Вадим Анатолійович,
КОБЗАР Юрій Іванович

Відповідальний за випуск *В. А. Александрович*
За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *О. В. Гаврилюк*

План 2023, поз. 11М

Підп. до друку 11.05.2023. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,6

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.