

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання лабораторних робіт**

з освітнього компонента

«МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ»

Харків – 2026

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд 22 червня 2026 р., протокол № 13 та на засіданні методичної ради будівельного факультету 26 червня 2026 р., протокол № 9.

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з освітнього компонента «Механіка ґрунтів, основи та фундаменти» призначено для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальностей G19 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньої програми «Промислове та цивільне будівництво» і J7 «Залізничний транспорт» освітньої програми «Залізничні споруди та колійне господарство» усіх форм здобуття освіти.

Укладачі:

проф. Л. В. Трикоз,
доценти О. С. Герасименко,
О. С. Борзяк

Рецензент

доц. Д. А. Потапов

ВСТУП

Методичні вказівки складено згідно з рекомендованим програмою циклом робіт із курсу «Механіка ґрунтів, основи та фундаменти», який охоплює основні поняття і закономірності механіки ґрунтів.

Для підвищення самостійності підготовки та проведення лабораторних робіт методичні вказівки містять контрольні запитання для самопідготовки та задачі, які використовують результати лабораторних робіт для конкретних інженерних розрахунків, що орієнтує лабораторні роботи на кінцевий результат.

Термінологія для фізичних характеристик ґрунтів прийнята згідно з рекомендаціями Міжнародної асоціації з механіки ґрунтів та фундаментобудування (МАМГтаФ) і відповідних державних стандартів [1, 2]. Усі розрахунки виконують у системі СІ [1, 2, 8].

Порядок виконання лабораторних робіт такий:

1 На першому занятті викладач призначає кожному здобувачу номер лабораторної роботи, яку він повинен виконати першою. Усіх робіт вісім, тобто той здобувач, який почав із роботи № 4, виконує далі роботи № 5, № 6, а той здобувач, який почав із роботи № 8 – виконує далі роботу № 1, № 2... Отже, кожен здобувач знає наперед, яку роботу він буде виконувати на занятті, що необхідно для підготовки до лабораторної роботи перед початком занять.

2 Здобувач одержує методичні вказівки для виконання лабораторних робіт, перед заняттям ознайомлюється з теорією, суттю і методикою виконання завдання, використовуючи конспект або підручник. На заняттях з'ясовує у викладача всі питання, що виникли, і виконує роботу.

3 Після завершення експериментальних робіт, обробки та оформлення результатів і висновків здобувач на наступному занятті захищає попередню роботу в бесіді з викладачем, відповідаючи на його запитання.

4 Приймаючи звіт із роботи, викладач виставляє оцінку.

Лабораторна робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ СИПКОГО ГРУНТУ

Мета роботи:

- 1) ознайомитися з приладами та методикою визначення гранулометричного складу ґрунтів;
- 2) отримати навички використання результатів експерименту для вирішення інженерних задач.

1.1 Загальні поняття

Однією з головних інженерних задач, які розв'язують механікою ґрунтів, є визначення розрахункового опору ґрунтів. Оскільки безпосереднє визначення розрахункових опорів ґрунтів на значній глибині викликає значні труднощі і не завжди доступно, для цього використовують фізичні характеристики як опосередковані показники міцності ґрунтів. Однією з таких характеристик є зерновий або гранулометричний склад ґрунтів, який визначає ймовірну структуру, щільність складання та міцність ґрунтів.

Гранулометричний склад містить різні фракції ґрунтів, що виражено у відсотках. Фракцією ґрунтів називають групу частинок визначеної крупності. Очевидно, розміри частинок, які складають фракцію, визначені розмірами суміжних сит у комплекті для гранулометричного складу. Визначати гранулометричний склад залежно від крупності частинок, відсоткового вмісту і мінералогічного складу можна розсівом на ситах, відмучуванням у воді, набуханням і низкою інших методів, які ми не розглядаємо.

За гранулометричним складом піски поділяють на пісок гравелистий – вага частинок, крупніших за 2 мм, складає більше 25 %; пісок крупний – вага частинок, крупніших за 0,5 мм, складає більше 50 %; пісок середньої крупності – вага частинок, крупніших за 0,25 мм, складає більше 50 %;

пісок дрібний – вага частинок, крупніших за 0,1 мм, складає більше 75 %;
пісок пилюватий – вага частинок, крупніших за 0,1 мм, менше 75 %.

За ступенем неоднорідності гранулометричного складу піски поділяють на однорідні $C_u < 3$; неоднорідні $C_u \geq 3$.

1.2 Прилади, обладнання, матеріали

Для виконання роботи необхідно мати ґрунт для випробування; набір стандартних сит (діаметр отворів сит 1 мм, 0,5 мм, 1,25 мм і піддон); мірні циліндри об'ємом 50-100 см³; секундомір; ваги з важками; порцелянову ступку з товкачем із гумовим наконечником.

Вказаний перелік приладів і ґрунт необхідно отримати в лаборанта.

1.3 Методика випробувань

1 Висушити ґрунт до повітряно-сухого стану та розтерти в порцеляновій ступці товкачем із гумовим наконечником для запобігання механічному руйнуванню частинок (цю роботу заздалегідь виконує лаборант).

2 Зважити 100 г ґрунту з точністю ± 1 г.

3 Висипати наважку ґрунту вагою 100 г у верхнє сито стандартного набору сит і, струшуючи легкими ударами долонею, просіяти ґрунт до проходження частинок крізь відповідні сита. Для перевірки завершення розсіву зробити контрольні просіювання над чистим аркушем паперу, відсутність частинок ґрунту на папері говорить про завершення просіювання.

4 Обережно, не розсипаючи ґрунт, розібрати колонку сит і, зважуючи частковий залишок на кожному ситі, визначити вміст фракцій розміром, більше 1 мм, 1–0,5 мм, 0,5–0,25 мм і менше 0,25 мм. Дрібна фракція зібрана на піддоні (нижній кришці) і містить дрібну піщану фракцію 0,25–0,05 мм, пилювату 0,05–0,005 мм і глинисту – дрібніше 0,005 мм.

5 Для розділу сумішей дрібних фракцій, зібраних на піддоні, і визначення кількості піщаних частинок застосовують метод відмучування, заснований на різній швидкості осідання частинок у воді залежно від їхньої крупності та мінералогічного складу частинок. Із цією метою в мірний циліндр, ущільнюючи струшуванням, насипати ґрунт фракції менше 0,25 мм об'ємом 1,5 см³, додати води 20–30 см³, перемішати скляною паличкою для видалення бульбашок повітря та повного змочування частинок ґрунту.

6 Долити воду в циліндр до верхньої риски і, закривши щільно долонею, збовтати до отримання однорідної суспензії. Витримати 30 с для осідання піщаних частинок і злити верхній шар води товщиною 6 см (швидкість осідання частинок фракції розміром 0,05 мм приблизно 0,2 см/с).

7 Операції за пункту 6 повторювати до повного освітлення води в мірному циліндрі у верхньому шарі товщиною 6 см, після чого завершити відмучування. Отже, з відмучуванням будуть видалені глинисті та пилюваті частинки.

8 Довести рівень води в мірному циліндрі до верхньої риски, ущільнити пісок легким постукуванням по циліндру, визначити об'єм піску і обчислити вміст піщаної фракції в просіяному ґрунті за формулою, %,

$$C = 100 \cdot b / a, \quad (1.1)$$

де a – об'єм просіяного піску, взятого з піддона сит перед відмучуванням;

b – об'єм піщаної фракції ($d = 0,05\text{--}0,25$ мм) після відмучування.

9 Обчислити вміст піщаної фракції в непросіяному ґрунті за формулою, %,

$$K = (A - B - B - \Gamma) \cdot C / A, \quad (1.2)$$

де А – вага ґрунту, взятого для аналізу, г;

Б, В, Г – часткові залишки на ситах із розміром отворів відповідно 1,0; 0,25; 0,5 мм.

Їх вираження у відсотках:

$$X = 100 \cdot Б/А, \%; \quad Y = 100 \cdot В/А, \%; \quad Z = 100 \cdot Г/А, \%. \quad (1.3)$$

10 Вміст глинистих частинок (розміром менше $5 \cdot 10^{-3}$ мм) визначають набряканням у такому порядку. Засипати певний об'єм V_H ($10 \div 15$ см³) просіяного ґрунту (із піддона сит) у мірний циліндр, ущільнюючи постукуванням. Налити в мірний циліндр 20–30 см³ води і розтирати ґрунт у воді скляною паличкою з гумовим наконечником до зникнення мазків глини на стінах циліндра. Додати 2–3 см³ розчину хлористого кальцію (коагулятора), перемішати, долити воду до верхньої риски. Після відстоювання (24–48 год) визначити значення об'єму ґрунту V_K , обчислити вміст глинистих частинок за формулою

$$\Delta V = (V_K - V_{\Pi}) / V_{\Pi}, \quad (1.4)$$

де V_{Π} і V_K – об'єм глинистого ґрунту в мірному циліндрі відповідно до і після набухання.

Вміст глинистої фракції в просіяному ґрунті визначають за формулою

$$U_1 = 22.7 \cdot \Delta V. \quad (1.5)$$

Вміст глинистої фракції в непросіяному ґрунті визначають за формулою

$$U = (A - B - B - \Gamma) \cdot U_1 / A . \quad (1.6)$$

11 Обчислити вміст пилюватих фракцій у непросіяному ґрунті:

$$J=100-X-Y-Z-K-U, \% . \quad (1.7)$$

12 Результати визначення і розрахунків занести в таблицю, що відображує вміст кожної фракції, у журналі для лабораторних робіт.

13 За результатами гранулометричного аналізу побудувати логарифмічний графік гранулометричного складу, для чого по осі ординат відкласти «п» – вміст фракцій наростаючим підсумком у відсотках, по осі абсцис – логарифми діаметрів частинок, виражених у мікронах.

Приблизний масштаб по осі абсцис $0,1 \lg d = 2-3$ мм, по осі ординат $1 \% = 0,5-1$ мм. Вигляд графіка показано на рисунку 1.1.

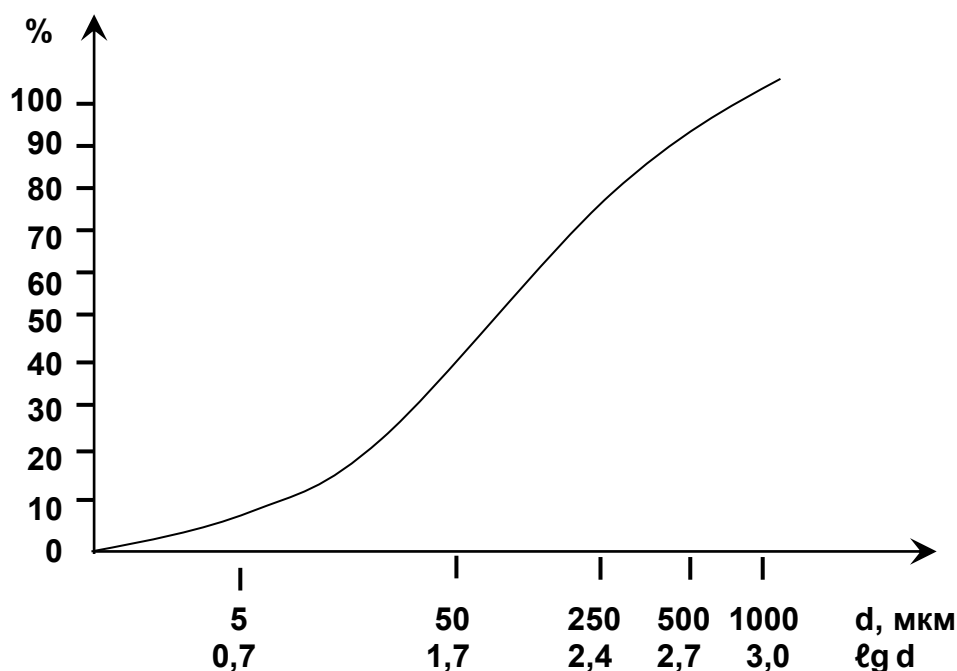


Рисунок 1.1 – Гранулометрична крива

14 За графіком визначити ефективний діаметр частинок ґрунту, за який приймають діаметр частинок, менше якого в ґрунті міститься $n = 10 \%$ частинок, те саме для $n = 60 \%$.

Для його визначення з точки на осі ординат, яка відповідає 10% , провести лінію паралельно осі абсцис до перетину з кривою, із точки перетину опустити перпендикуляр на вісь абсцис і отримати значення ефективного діаметра частинок ґрунту.

15 Обчислити ступінь неоднорідності ґрунту за формулою

$$C_u = d_{60}/d_{10}, \quad (1.8)$$

де d_{60} і d_{10} – діаметри частинок, менше яких у цьому ґрунті міститься (за вагою) відповідно 60 і 10% частинок.

1.4 Використання результатів лабораторної роботи

1 За результатами гранулометричного аналізу дати попереднє визначення назви ґрунту.

2 Оцінити будівельні властивості ґрунтів.

3 Чи можуть дані ґрунти служити сировиною для виробництва будівельних матеріалів? Яких?

Контрольні запитання для самоперевірки

1 Які відомі методи визначення гранулометричного складу?

2 Що таке гранулометрична фракція?

3 Що таке частковий залишок на ситі?

4 Що таке коефіцієнт неоднорідності ґрунту? Як його визначають?

5 Які дії потрібно виконати для визначення кількості пилюватих частинок?

Література [1-4].

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ І ПИТОМОЇ ВАГИ ҐРУНТУ

Мета роботи: ознайомитися з визначенням щільності частинок дисперсних матеріалів, ґрунтів пікнометричним методом.

2.1 Загальні положення

Для характеристики фізичних властивостей ґрунтів використовують поняття щільності частинок ґрунту ρ_s як відношення маси сухого ґрунту m_s до об'єму його твердої фази V_s :

$$\rho_s = m_s / V_s . \quad (2.1)$$

Питому вагу частинок ґрунту γ_s обчислюють за формулою

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g , \quad (2.2)$$

де g – прискорення сили тяжіння, яке дорівнює $9,81 \text{ м/с}^2$.

Отже, основною технічною характеристикою є щільність, а питома вага – похідною.

Щільність частинок ґрунту залежить від хімічного і мінералогічного складу частинок ґрунту. Ґрунти звичайно полімінеральні, у них є кварцові піски, для яких $\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$; глинисті мінерали, для яких $\rho_s = 2,75 \text{ г/см}^3$, для суглинків приймають $\rho_s = 2,7 \text{ г/см}^3$.

Для визначення щільності частинок дисперсних матеріалів або ґрунтів застосовують пікнометричний метод.

2.2 Прилади і матеріали

Для виконання роботи необхідні пікнометри 2 шт. (рисунок 2.1); технічні ваги з важками; сито з діаметром отворів 1 мм; ступка з

порцеляновим товкачем; піщана баня з електричною плиткою; піщаний і глинистий ґрунт.

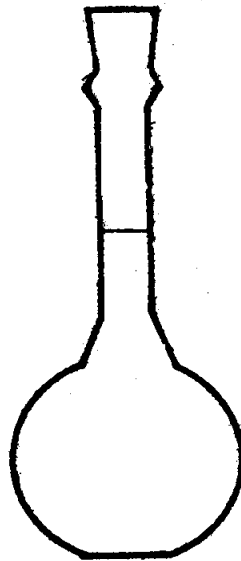


Рисунок 2.1 – Пікнометр

2.3 Методика випробувань

1 Зразок ґрунту в повітряно-сухому стані подрібнити в порцеляновій ступці, відібрати способом квартування середню пробу масою 100-200 г і просіяти крізь сито з сіткою № 2, залишок на ситі розтерти в ступці і просіяти крізь те саме сито (виконує лаборант).

2 Із змішаної середньої проби взяти наважку ґрунту із розрахунку 15 г на 50-100 мл ємності пікнометра і висушити до постійної маси. Допускають використання ґрунту в повітряно-сухому стані, визначивши його гігроскопічну вологість.

3 Дистильовану воду слід прокип'ятити протягом години і зберігати в закупореній пляшці.

4 Пікнометр наповнити на 1/3 дистильованою водою і зважити. Після цього через воронку всипати в нього висушену пробу ґрунту і знову зважити. За різницею результатів зважування визначити масу сухого ґрунту m_s .

5 Пікнометр з водою і ґрунтом збовтати і поставити кип'ятити на піщану баню. Тривалість спокійного кип'ятіння (із моменту початку кипіння) має становити: для пісків і супісків – 0,5 год; для суглинків і глин – 1 год. Кип'ятіння необхідно для руйнування агрегатів частинок.

6 Після кип'ятіння пікнометр охолодити, долити дистильованою водою до мірної риски на горлі, для пікнометрів із капіляром у пробці – до шийки пікнометра. Пікнометр охолодити у ванні з водою до кімнатної температури.

7 Після охолодження пікнометра поправити положення меніска води в ньому, додаючи з крапельниці дистильовану воду. Мірна риска на пікнометрі має співпадати з низом меніска. Зайву воду усунути фільтрувальним папером. Пікнометр протерти ззовні досуха і зважити.

8 Записати масу пікнометра з водою і ґрунтом m_1 після кип'ятіння для температури випробування.

9 Вилити вміст пікнометра, промити, залити дистильованою водою і витримати у ванні за тієї самої температури; виконати операції з пункту 7, записати масу пікнометра з водою m_3 .

10 Щільність частинок ґрунту ρ_s (г/см³) обчислити за формулами

$$\rho_s = m_s \cdot \rho_w / (m_3 - m_2), \quad (2.3)$$

$$m_2 = m_1 - m_3,$$

де ρ_w – щільність води за тієї самої температури (приймають 1 г/см³).

Примітка – у випадку використання ґрунту в повітряно-сухому стані m_s обчислюють за формулами

$$m_s = m / (1 + 0,01w_g), \quad (2.4)$$

$$m_s = m / (1 + W_g),$$

де m – маса проби повітряно-сухого ґрунту, г;

W_g – гігроскопічна вологість ґрунту, частки од.;

w_g – гігроскопічна вологість ґрунту, % ($w_g = W_g \cdot 100$ %).

11 За відомою щільністю частинок ґрунту ρ_s обчислити питому вагу частинок ґрунту γ_s за формулою (2.2).

2.4 Використання результатів лабораторної роботи

1 За відомим значенням ρ_s оцінити мінералогічний склад ґрунту.

2 Розрахувати відносну помилку визначеної експериментами величини ρ_s порівняно із середнім табличним значенням.

Контрольні запитання для самоперевірки

1 Що таке щільність і питома вага частинок ґрунту?

2 Із якою метою виконують кип'ятіння ґрунту з водою?

3 У яких випадках доцільно використовувати щільність, а в яких – питому вагу ґрунтів?

4 Які дані необхідно одержати під час експерименту для визначення об'єму ґрунту V_s ?

5 Які ще методи вам відомі для визначення щільності матеріалів?

Література [1-4].

Лабораторна робота 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ І ВОЛОГОСТІ ЗВ'ЯЗНОГО ҐРУНТУ

Мета роботи:

- 1) ознайомитися з приладами і методикою визначення щільності і вологості ґрунтів;
- 2) навчитися використовувати результати експерименту для розв'язання інженерних задач.

3.1 Загальні положення

Щільністю ґрунту називають відношення його маси разом із масою води в його порах m до об'єму V , який займає цей ґрунт у природному стані з непорушеною структурою:

$$\rho = m/V . \quad (3.1)$$

Щільність ґрунтів в природному стані залежить від умов їх утворення, глибини залягання і мінералогічного складу. На відміну від щільності частинок ρ_s , щільність ґрунту ρ змінюється в широких межах, приблизно від $0,5 \text{ т/м}^3$ для торфу, діатоміту до $3,3 \text{ т/м}^3$ для скельних ґрунтів. Для пухких ґрунтів, із якими найчастіше зустрічаються будівельники, щільність має межі $1,5\text{--}2,2 \text{ т/м}^3$.

Для визначення щільності ґрунту застосовують такі методи:

- безпосередніх вимірювань;
- різальних кілець або циліндрів;
- парафінування.

Перші два методи засновані на використанні зразка правильної геометричної форми для визначення його об'єму безпосереднім вимірюванням, що застосовують для зв'язних ґрунтів. Метод парафінування застосовують для визначення об'єму зразка ґрунту

(зазвичай скельного) витискуванням води. Щільність зразка обчислюють за формулою (3.1).

Найбільш розповсюдженим методом визначення щільності пухких зв'язних ґрунтів у природному стані є метод різальних кілець. Вологістю ґрунту називають відношення маси води, що міститься в порах ґрунту, до маси частинок ґрунту.

3.2 Прилади, обладнання, матеріали

Для визначення щільності ґрунтів методом різальних кілець необхідні ґрунтоніс із різальними кільцями (гільзами) з польової лабораторії М. І. Литвинова (рисунок 3.1); ніж сталевий – 1 шт.; бюкси алюмінієві – 2 шт.; ексикатор – 1 шт.; шафа сушильна; важки (комплект); ваги технічні; ґрунт із непорушеною структурою.

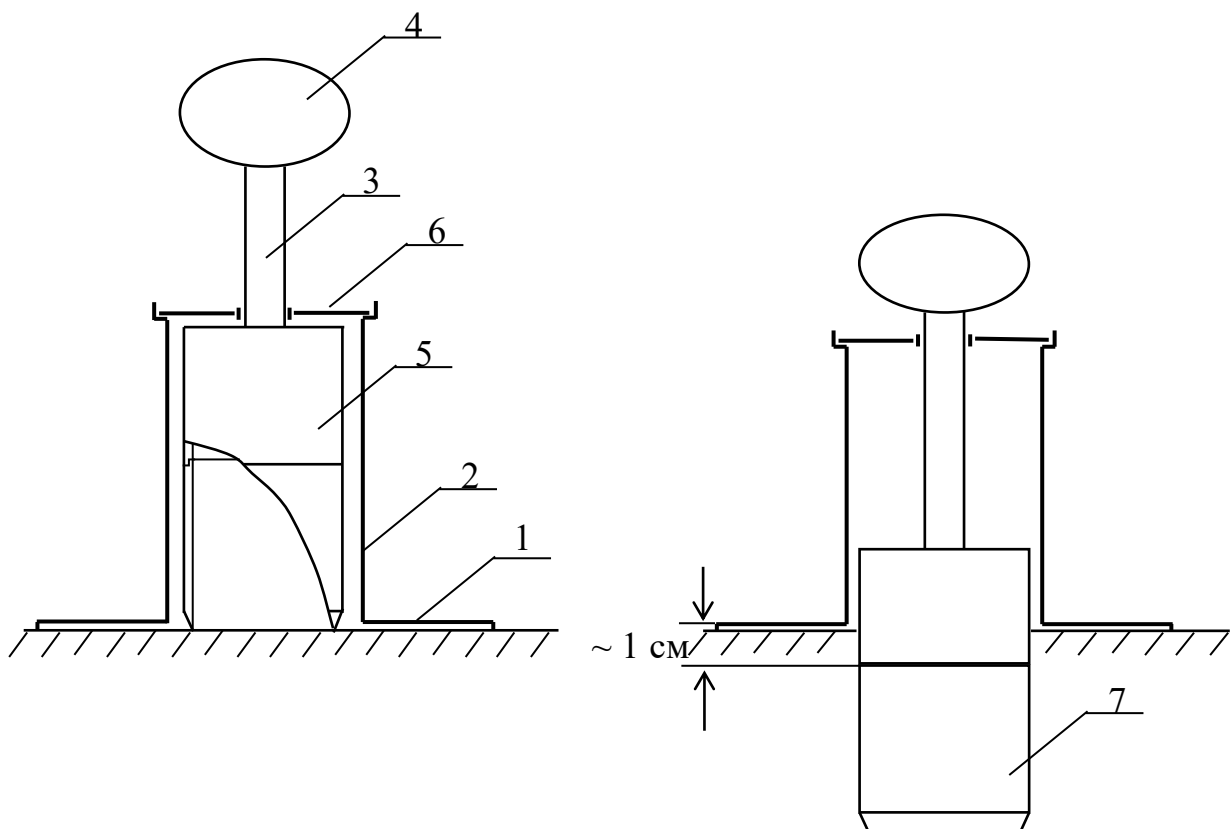


Рисунок 3.1 – Ґрунтоніс із різальним кільцем

3.3 Методика випробувань

1 Зважуванням визначити масу різального кільця, змащеного з внутрішнього боку тонким шаром вазеліну.

2 Розчистити майданчик ґрунту розміром 0,15х0,15 м, на який встановити нижньою поверхнею опорного диска 1 ґрунтоніс Литвинова, контролюючи щільність прилягання (рисунки 3.1).

3 Із напрямного циліндра 2 витягти шток 3 із держакон 4, поршнем 5 і диском 6, який знімається, замість яких вставити різальне кільце загостреними кінцями донизу, після чого поршень 5 зі штоком 3 і держакон 4 встановити на те саме місце.

4 Натиском руки на грибоподібний держак 4 занурити різальне кільце в ґрунт до упирання держака в кришку напрямного циліндра.

5 Підняти держак штока приладу на 2–3 см, зняти прилад із місця відбору проби.

6 Різальне кільце 7, занурене в ґрунт, обережно вирізати ножем із ґрунту, залишаючи надлишковий шар ґрунту товщиною приблизно 1 см з обох боків кільця, тонкими шарами зняти надлишки ґрунту ножем із його торцевих частин, усунути залишки ґрунту з бокової поверхні кільця. Закрити торці пластинками, зважуванням кільця з ґрунтом і пластинками визначити масу m_1 .

7 Щільність ґрунту обчислити за формулою

$$\rho = (m_1 - m_0)/V , \quad (3.2)$$

де m_0 – маса порожнього різального кільця з пластинками, г;

m_1 – маса кільця з ґрунтом і пластинками, г;

V – внутрішній об'єм кільця (50 см³).

3.4 Визначення вологості ґрунту

Вологість ґрунту потрібно визначати як відношення маси води, видаленої з ґрунту висушуванням до постійної маси, до маси висушеного ґрунту [3].

1 Пробу ґрунту для визначення вологості відібрати масою 15–10 г, розпушити, помістити в заздалегідь висушений, зважений і пронумерований бюкс і щільно закрити кришкою, щоб не розсипати під час перенесення.

2 Проби ґрунту для визначення гігроскопічної вологості масою 10–20 г відбирають способом квартування з ґрунту в повітряно-сухому стані, розтертого, просіяного крізь сито із сіткою № 1 і витриманого відкритим не менше 2 год за температури і вологості повітря.

3 Пробу ґрунту в закритому бюксі зважити.

4 Бюкс відкрити і разом із кришкою помістити в сушильну шафу. Ґрунт сушити до постійної маси за температури $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Загіпсовані ґрунти висушують за температурі $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$, щоб уникнути їх деструкції.

5 Піщані ґрунти висушують протягом 3 год, а інші – протягом 5 год. Наступне висушування піщаних ґрунтів виконують протягом 1 год, інших – протягом 2 год.

6 Після кожного висушування ґрунт у бюксі охолоджують в ексикаторі з хлористим кальцієм до температури приміщення і зважують. Висушування ґрунту з бюксом виконують для отримання різниці мас для двох наступних зважувань не більше 0,02 г.

7 Якщо з повторним зважуванням ґрунту, який містить органічні речовини, спостерігають збільшення маси, то за результат зважування приймають найменшу масу.

8 Вологість ґрунту W в частках одиниці обчислюють за формулою

$$W = (m_1 - m_0)/(m_0 - m), \quad (3.3)$$

де m – маса порожнього бюкса з кришкою, г;

m_1 – маса вологого ґрунту з бюксом і кришкою, г;

m_0 – маса висушеного ґрунту з бюксом і кришкою, г.

9 Допускають виражати вологість ґрунту у відсотках і обчислювати за формулою

$$\omega = 100 \cdot W . \quad (3.4)$$

3.5 Розрахунок характеристик фізичних властивостей ґрунтів

1 Щільність сухого ґрунту обчислюють за формулою

$$\rho_{гс} = \rho / (1 + W), \quad (3.5)$$

де ρ – щільність ґрунту в природному стані, г/см³;

$\rho_{гс}$ – щільність сухого ґрунту, г/см³;

W – вологість ґрунту в частках одиниці.

2 Значення коефіцієнта пористості обчислюють за формулою

$$e = \rho_s \cdot (1 + W) / \rho - 1. \quad (3.6)$$

3 Значення ступеня вологості ґрунту обчислюють за формулою

$$S_r = \rho_{гс} \cdot W / \rho_w / e , \quad (3.7)$$

де ρ_w – щільність води, приймають 1 г/см³.

4 За значенням ступеня вологості ґрунту визначити стан ґрунту:
 $0 < S_r \leq 0,5$ – маловологі; $0,5 < S_r \leq 0,8$ – вологі; $0,8 < S_r \leq 1,0$ – насичені водою.

3.6 Використання результатів лабораторної роботи

За відомим значенням ступеня вологості S_r визначити приблизне розташування горизонту ґрунтових вод.

Контрольні запитання для самоперевірки

1 Відомі методи визначення щільності ґрунтів в природному стані з непорушеною структурою.

2 У яких межах змінюється щільність ґрунтів?

3 Як контролювати завершення висушування зразка ґрунту?

4 Що таке вологість, ступінь вологості, коефіцієнт пористості?

5 У яких випадках зручніше використовувати вираження вологості у відсотках? У частках одиниці?

Література [1-4].

Лабораторна робота 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЩІЛЬНОСТІ СКЛАДАННЯ ПІЩАНОГО ҐРУНТУ

Мета роботи:

1) ознайомитися з приладами і методикою визначення показників щільності складання піщаних ґрунтів;

2) навчитися використовувати отримані результати для визначення несучої здатності пластів ґрунту.

4.1 Загальні положення

Згідно з нормативними документами, розрахунковий опір піщаних основ визначають залежно від гранулометричного складу, ступеня вологості S_r і щільності складання.

Щільність складання ґрунтів характеризують пористість n і коефіцієнт пористості e , які розраховують за формулами

$$n = 1 - \rho_{\text{гс}} / \rho_{\text{с}} , \quad (4.1)$$

$$e = \rho_{\text{с}} / \rho_{\text{гс}} - 1 , \quad (4.2)$$

де $\rho_{\text{гс}}$ – щільність сухого ґрунту.

Оскільки значення щільності частинок ґрунту $\rho_{\text{с}}$ було визначено раніше або може бути взято із таблиць довідників, задача зведена до визначення щільності сухого ґрунту в пухкому, умовно-природному і щільному станах і розрахунку відповідних характеристик за формулами (4.1) і (4.2).

4.2 Прилади, обладнання, матеріали

Для виконання лабораторної роботи необхідні циліндрична мірна ємність об'ємом 100–200 см³; технічні ваги з важками; розпушувач; ущільнювач; досліджуваний піщаний ґрунт.

4.3 Методика випробувань

- 1 Визначити об'єм мірної ємності V_0 .
- 2 Визначити масу мірної ємності m_0 .
- 3 Наповнити мірну ємність піском, злегка ущільнити постукуванням по циліндру для створення умовно-природного ущільнення.
- 4 Зняти зайвий ґрунт ножем врівень із краями циліндра.
- 5 Визначити масу мірної ємності з ґрунтом $m_{\text{ог}}$.
- 6 Обчислити значення щільності сухого ґрунту за формулою

$$\rho_{\text{гс}} = (m_{\text{ог}} - m_0) / V_0 . \quad (4.3)$$

7 Вимірювання за пунктами 3–6 виконати не менше трьох разів, значення щільності сухого ґрунту в умовно-природному стані визначити як середнє з трьох вимірювань, результати записати в журнал.

8 Для визначення щільності ґрунту в гранично пухкому стані в циліндр опустити розпушувач, засипати ґрунт, поволі, злегка обертаючи, витягти розпушувач із циліндра.

9 Виконати операції за пунктами 4–6.

10 Вимірювання за пунктами 4–6 і 8 виконати не менше трьох разів, розрахувати середнє значення щільності ґрунту в гранично пухкому стані, результати записати в журнал.

11 Для визначення щільності ґрунтів в гранично щільному стані в циліндр засипати ґрунт шарами 1 см, ущільнюючи трамбуванням.

12 Вимірювання за пунктами 4–6 і 11 виконати тричі.

Примітка – використовуючи мірний циліндр, пункт 1 не виконувати.

13 Розрахувати середнє значення щільності ґрунту в гранично щільному стані, результат записати в журнал.

14 За відомими значеннями щільностей сухого ґрунту і щільності частинок за формулами (4.1) і (4.2) послідовно розрахувати значення пористості n і коефіцієнта пористості e .

4.4 Використання результатів лабораторної роботи

1 Для піщаного ґрунту за розрахованими значеннями коефіцієнтів пористості визначити щільність складання ґрунтів і величину умовного опору ґрунту R_0 [5, 6].

2 Які заходи необхідно застосувати для будівництва на піщаних основах в пухкому стані?

Контрольні питання для самоперевірки

1 У чому сутність методики визначення щільності сипких ґрунтів?

2 Використовуючи трифазову модель ґрунту, дати визначення понять пористості, коефіцієнта пористості, вологості, ступеня вологості, щільності частинок ґрунту, щільності сухого ґрунту, щільності ґрунту.

3 Чи можна стверджувати про деформативні характеристики ґрунтів за значенням коефіцієнта пористості?

Література [1-6].

Лабораторна робота 5

ВИЗНАЧЕННЯ НАЗВИ ЗВ'ЯЗНОГО ҐРУНТУ, ЙОГО СТАНУ ЗА КОНСИСТЕНЦІЄЮ І НОРМАТИВНОГО ОПОРУ

Мета роботи:

- 1) засвоїти методику визначення границь консистенції ґрунтів;
- 2) навчитися використовувати результати лабораторної роботи для визначення значень умовних опорів основ.

5.1 Загальні положення

Для отримання розмірів фундаменту необхідно знати умовний опір ґрунту R_0 , за значенням якого можуть бути визначені нормативні R_n і розрахункові опори ґрунту R_p , які безпосередньо використовувані в розрахунках.

Опір глинистих ґрунтів дії зовнішніх навантажень залежить від їхньої консистенції. Консистенцією називають можливість частинок ґрунту зміщуватися одна відносно одної залежно від вологості і величини прикладеного зусилля. Окрім вологості, на консистенцію впливає мінералогічний склад тонкодисперсної фракції. Згідно з пропозиціями Терцаги і Атерберга, значення вологості, які відповідають характерним точкам переламу кривої залежності об'єму від вологості, називають границями консистенції (рисунок 5.1).

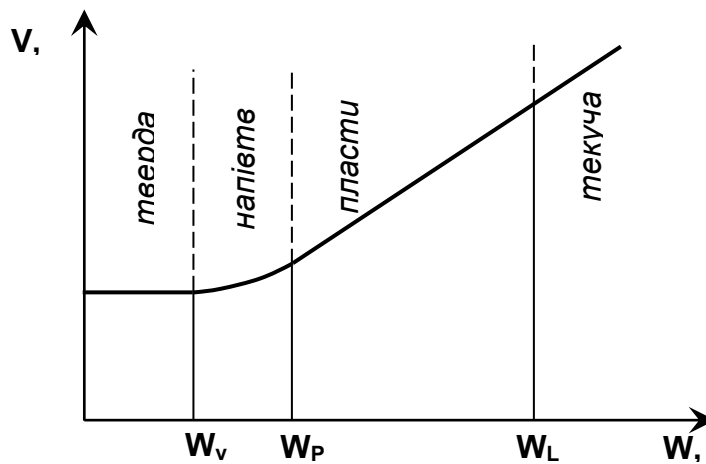


Рисунок 5.1 – Крива Атерберга

Розрізняють такі границі консистенції:

W_y – границя усадки, що розділяє тверду і напівтверду консистенції; за вологості від 0 до W_y усадки ґрунту немає;

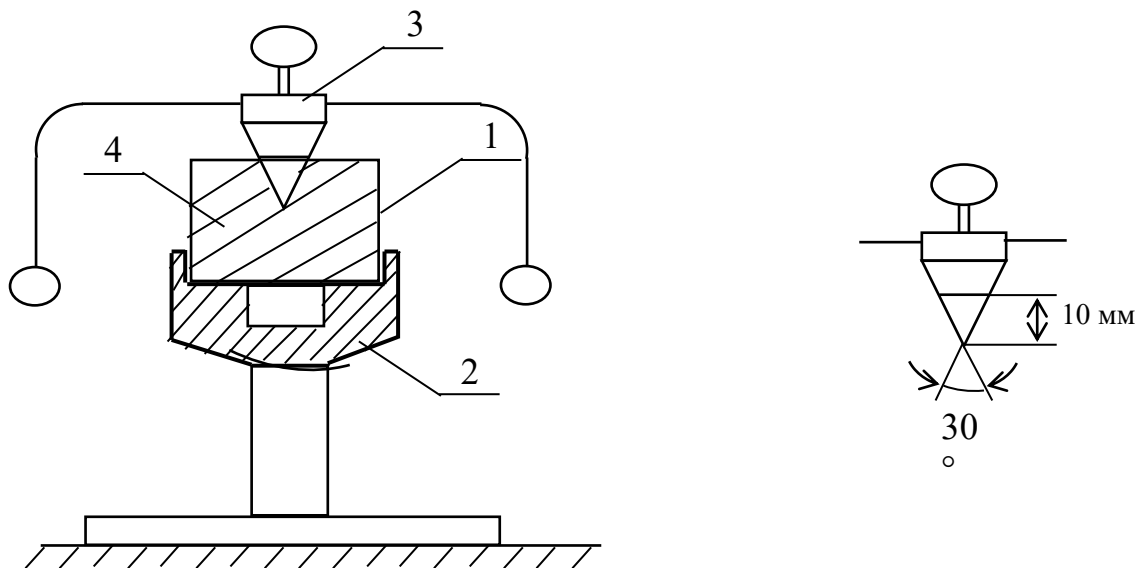
W_p – границя розкочування або нижня границя пластичності, що розділяє напівтверду і пластичну консистенції ґрунту;

W_L (W_T) – границя текучості або верхня границя пластичності, яка розділяє вологість, що відповідає пластичній і текучій консистенціям.

Для розрахунків найбільше значення мають границя розкочування W_p і границя текучості W_T , які необхідно визначити в цій лабораторній роботі.

5.2 Прилади, обладнання, матеріали

Для виконання лабораторної роботи необхідні балансирний конус із кутом загострення 30° загальною масою 76 г (рисунок 5.2), чашка для пасти і підставка; технічні ваги з важками; сушильна шафа з термометром; скляна пластинка; бюкси 2 шт.; ступка з гумовим товкачем; ніж (шпатель, лінійка); піпетка; вазелін; глинистий ґрунт.



1 – чашка; 2 – підставка; 3 – балансирний конус; 4 – ґрунт
Рисунок 5.2 – Схема балансирного конуса з підставкою

5.3 Методика визначення границі текучості ґрунту [3]

1 Границю текучості потрібно визначити як вологість пасти, яка приготовлена з ґрунту, що досліджують, і з якою балансирний конус із масою 76 г занурюють за дії власної ваги за 5 с на глибину 10 мм.

2 Для визначення границі текучості використовують моноліти або зразки ґрунту порушеного складу, для яких потрібне збереження природної вологості. Для ґрунтів, що містять органічні речовини, границю текучості визначають відразу після розкриття зразка.

Для ґрунтів, що не містять органічних речовин, можна використовувати зразки ґрунту в повітряно-сухому стані.

3 Зразок ґрунту природної вологості розтерти шпателем у порцеляновій чашці або нарізати ножом у вигляді тонкої стружки (із додаванням дистильованої води, якщо це необхідно), усунувши з нього рослинні залишки завбільшки 1 мм, відібрати з подрібненого ґрунту способом квартування пробу масою 300 г і протерти крізь сито з сіткою № 1. Пробу витримати в закритій скляній посудині не менше 2 год.

4 Зразок ґрунту в повітряно-сухому стані розтерти в порцеляновій ступці або розтиральній машині, не допускаючи дроблення частинок ґрунту і одночасно видаляючи з нього рослинні залишки завбільшки 1 мм, просіяти крізь сито з сіткою № 1, зволожити дистильованою водою до стану густої пасти, перемішати шпателем і витримати в закритій посудині не менше 2 год (виконує лаборант).

5 Для видалення залишків вологи із зразків мулів виконують обтискання ґрунтової пасти, яка поміщена в бавовняну тканину, між аркушами фільтрувального паперу під тиском (прес, вантаж). Ґрунтову пасту з мулів не можна витримувати в закритій скляній посудині.

6 Додавати сухий ґрунт у ґрунтову пасту не можна.

7 Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішати шпателем і невеликими порціями щільно (без повітряних порожнин) покласти в циліндричну чашку 1 (рисунок 5.2). Поверхню пасти загладити шпателем врівень із краями чашки. Чашку встановити на підставку 2.

8 Балансирний конус 3 змастити тонким шаром вазеліну, підвести до поверхні ґрунтової пасти 4 так, щоб його вістря торкалося пасти. Після цього плавно, не бросючи, опустити конус, даючи йому зануритися в пасту за дії власної ваги.

9 Занурення конуса в пасту протягом 5 с на глибину 10 мм свідчить, що ґрунт має вологість, яка відповідає границі текучості W_L .

10 Із зануренням конуса за 5 с на глибину менше 10 мм ґрунтову пасту витягають із чашки, приєднують до пасти, що залишилася, додають трохи (дві краплі з крапельниці) дистильованої води, ретельно перемішують її і повторюють операції за пунктами 7 і 9.

11 Із зануренням конуса за 5 с на глибину більше 10 мм ґрунтову пасту з циліндричної чашки перекласти в порцелянову чашку, злегка підсушити на повітрі, безперервно перемішуючи шпателем, і повторити операції, вказані в пунктах 7-9.

12 Із досягненням границі текучості (пункт 9) із пасти відібрати пробу масою 15-20 г для визначення вологості відповідно з вимогами підрозділу 3.4 лабораторної роботи 3.

5.4 Методика визначення границі розкочування (пластичності) ґрунту

1 Границю розкочування (пластичності) потрібно визначати як вологість пасти, яка приготовлена з ґрунту, що досліджують, і з якою паста, яку розкочують у джгут діаметром 3 мм, починає розпадатися на шматочки довжиною 3-10 мм.

2 Підготувати ґрунт відповідно до пунктів 2-6 попереднього підрозділу або використати частину ґрунту (40-50 г), підготовленого для визначення границі текучості, який підсушують у тонкому шарі на скляній пластинці.

3 Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішати, взяти невеликий шматочок і розкочувати долонею на скляній або пластмасовій пластинці до утворення джгута діаметром 3 мм. Розкочувати потрібно злегка натискаючи на джгут, довжина джгута не має перевищувати ширини долоні. Розкочування продовжувати до тих пір, доки джгут не почне розпадатися по поперечних тріщинах на шматочки довжиною 3-10 мм.

4 Шматочки джгута, що розпадається, зібрати в бюкс, який накрити кришкою. Коли маса ґрунту в бюксі досягне 15-20 г, визначити вологість відповідно до вимог підрозділу 3.4 лабораторної роботи 3.

5 За відомими значеннями границь пластичності ґрунту розрахувати значення числа пластичності за формулою

$$I_p = W_L - W_p . \quad (5.1)$$

6 Визначити назву ґрунту згідно з таблицею 5.1.

Таблиця 5.1

Назва ґрунту	Число пластичності
Супісок	$0,01 \leq I_p \leq 0,07$
Суглинок	$0,07 < I_p \leq 0,17$
Глина	$0,17 < I_p$

7 Результати записати в журнал. Визначити вологість ґрунту в природному стані згідно з вимогами підрозділу 3.4 лабораторної роботи 3 або призначити самостійно.

8 Розрахувати показник консистенції ґрунту за формулою

$$I_L = (W - W_p)/(W_L - W_p), \quad (5.2)$$

де W – вологість ґрунту в природному стані.

9 Встановити стан ґрунту за консистенцією відповідно до градації з таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Назва ґрунту	Стан ґрунту	Показник консистенції
Супісок	Твердий	$I_L < 0$
	Напівтвердий	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	Тугопластичний	$0,25 < I_L \leq 0,5$
	М'якопластичний	$0,5 < I_L \leq 0,75$
	Текучопластичний	$0,75 < I_L \leq 1,0$
	Текучий	$1,0 < I_L$

5.5 Використання результатів лабораторної роботи

Для глинистого ґрунту за розрахованими значеннями I_L і e (лабораторна робота 3), таблицями будівельних норм і правил (дивитися методичні вказівки для розрахунку фундаменту на палях [6]) визначити умовний опір ґрунту R_0 .

Контрольні запитання для самоперевірки

- 1 Що таке консистенція ґрунтів?
 - 2 Фізична сутність границь консистенції. Графік Атерберга.
 - 3 Які види води відповідають тим або іншим видам консистенції?
 - 4 Сутність методів, які використовують для визначення границь консистенції?
 - 5 Практичне використання границь консистенції.
- Література [1-6].

Лабораторна робота 6

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ

Мета роботи:

- 1) засвоїти методику визначення кута природного укосу і чинників, які впливають на його величину;
- 2) навчитися використовувати отримані в лабораторії значення для інженерних розрахунків.

6.1 Загальні положення

Кутом природного укосу називають кут, який утворюють твірна конуса ґрунту і її горизонтальна проєкція. Для одного і того самого ґрунту за незмінної вологості кут природного укосу ψ – величина незмінна і не залежить від висоти укосу. Кут природного укосу ψ залежить від кута внутрішнього тертя ϕ , але може приблизно дорівнювати йому тільки для

сухого піску в пухкому стані. Кут природного укосу тим більше, чим більше частинки ґрунту.

Збільшення вологості сипких ґрунтів до певної величини збільшує кут природного укосу, однак повне насичення ґрунтів водою зменшує його початкове значення.

Знання кута природного укосу необхідно для проєктування земляного полотна, улаштування котлованів і розробки сировини в кар'єрах.

6.2 Прилади, обладнання, матеріали

Прилад для визначення кута природного укосу (рисунок 6.1) складається з корпусу 1, який виконаний з органічного скла у вигляді паралелепіпеда. На бокових поверхнях 2 корпусу 1 уздовж ребер розмічена координатна сітка з ціною поділки 1 мм, а на торцевих стінках 3 – значення тангенсів відповідних кутів від 0^0 до 60^0 . Корпус 1 рухомою засувкою 4, яку переміщують по напрямних 5, поділений на дві нерівні частини – меншу 6 і більшу 7.

6.3 Методика експерименту

Визначення кута відкосу ґрунту в сухому стані:

1 Встановити корпус 1 приладу на рівну горизонтальну поверхню, обережно без перекосів і зусиль задвинути засувку 4 до упору в днище корпусу 1.

2 Заповнити частину 6 досліджуваним ґрунтом приблизно на 50 мм.

3 Поволі, без зусиль і струшування, висунути угору засувку 4 до повного звільнення піску, при цьому ґрунт обсиплеться, утворюючи укіс.

4 Використовуючи розмітку корпусу, заміряти перевищення h і закладення b укосу, що утворився, і визначити $\operatorname{tg}\psi$, m і кут природного укосу ψ , скориставшись таблицею на торцевій стінці корпусу.

5 Видалити ґрунт із корпусу приладу і очистити його від частинок ґрунту.

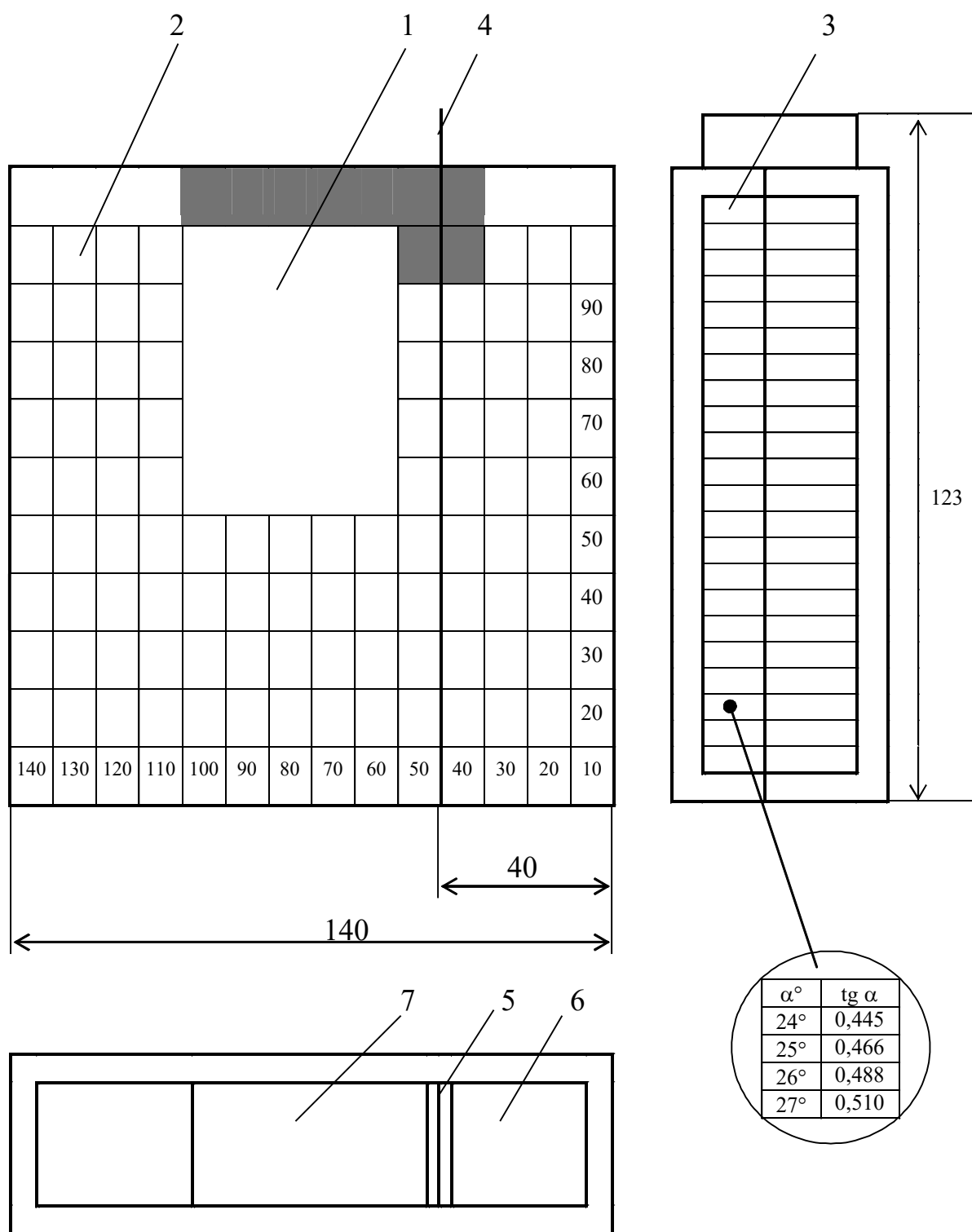


Рисунок 6.1 – Прилад для визначення кута природнього укосу

6 Дії за пунктами 1–5 повторити тричі і розрахувати середнє значення кута природного укосу ґрунту ψ . Результат записати в журнал.

Визначення кута відкосу ґрунту у вологому стані:

7 Виконати вказівки за пунктами 1 і 2.

8 Заповнити велике відділення 7 корпусу 1 водою приблизно на 60 мм.

9 Трохи підняти засувку 4 на 2–3 мм і почекати 1 хв, доки вода, що надходить крізь щілину, витисне повітря і змочить ґрунт, який знаходиться в частині 7 корпусу.

10 Виконати вказівки за пунктами 3–6.

11 За необхідності висушити прилад, спрямувавши в корпус приладу струмінь нагрітого повітря від електрорушника або іншим методом.

6.4 Використання результатів лабораторної роботи

1 Для будівництва насипу з піску висотою $H = n$ м, де n – порядковий номер прізвища здобувача за журналом групи, визначити мінімальний об'єм ґрунту, необхідний для улаштування ділянки насипу довжиною 1 км. Ширина насипу зверху 10,1 м.

2 У вибраному масштабі накреслити переріз насипу із зазначенням ухилу відкосу 1:m.

3 Як забезпечити стійкість насипу в разі виникнення затоплення його водою в паводковий період?

Контрольні запитання для самоперевірки

1 Що таке кут природного укосу? Накреслити схему і позначити.

2 Які фактори впливають на величину кута природного укосу?

3 Як визначити кут природного укосу за відсутності спеціального приладу? Накреслити схему і пояснити методику експерименту.

4 Навести приклади необхідності врахування кута природного укосу.

5 Яких заходи необхідно вживати для збереження контуру піщаних берегів із заглибленням русла ріки?

6 Який матеріал найбільш прийнятний для стінок бункера – із більшим чи меншим значенням коефіцієнта зовнішнього тертя f ?

Література [1-7].

Лабораторна робота 7

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТУ

Мета роботи:

1) засвоїти методику визначення залежності коефіцієнта пористості ґрунту від тиску;

2) навчитися використовувати компресійну криву для розрахунку значень коефіцієнта стискання a і модуля деформації E , які є деформативними характеристиками ґрунту.

7.1 Загальні положення

У розрахунках споруд за деформаціями розраховують осідання за формулою

$$S = 0,8 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\sigma_{zpi} \cdot h_i}{E_i}, \quad (7.1)$$

де σ_{zpi} – середнє значення додаткової напруги в елементарному шарі ґрунту, МПа;

h_i – товщина елементарного шару, м;

E_i – модуль деформації i -го шару ґрунту,

$$E_i = \frac{1 + e_{mi}}{a_i}, \quad (7.2)$$

де a_i – коефіцієнт стискання i -го шару,

$$a_i = \frac{e_{pi} - e_{ki}}{\sigma_{zpi}}, \quad (7.3)$$

де e_{pi} – початкове значення коефіцієнта пористості (до прикладення навантаження);

e_{ki} – кінцеве значення коефіцієнта пористості (після прикладення навантаження).

Отже, осідання елементарного шару визначають ступенем зміни коефіцієнта пористості від напруги в шарі ґрунту, яка виражена компресійною кривою $e = \varphi(P)$.

Як відомо, компресійним стиском називають стиск ґрунтів без можливості бокового розширення. Цю залежність в умовах компресійного стиску одержують на приладах, які називають одометрами, що дають змогу виконувати навантаження зразків пухких ґрунтів і вимірювати відповідну деформацію.

7.2 Прилади і обладнання

Для виконання лабораторної роботи необхідні одометр із польової лабораторії М. І. Литвинова; індикатор годинникового типу; фільтрувальний папір; підвіски для важків; комплект важків; компресійні гільзи; штатив із воронкою для випробувань водонасичених ґрунтів (на просідання), ґрунт із порушеною структурою (сухий пісок) або непорушеною структурою в компресійних гільзах.

1 Принципова схема одометра показана на рисунку 7.1. Досліджуваний ґрунт 1 поміщають в обойму 2 між кришками 3, що спираються на опору 4. Важіль 5, що упирається в розтяжку 6 і кришку 3, через підставку 7 навантажений із боку довгого кінця за допомогою

підвіски 8 важками. Деформації ґрунту вимірюють індикатором годинникового типу 10. Прилад прикріплюють струбциною 11 до стола 12.

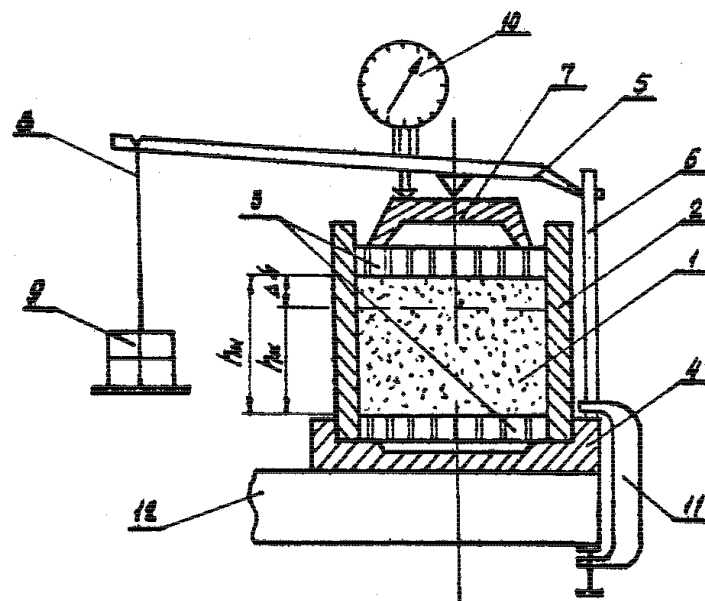


Рисунок 7.1 – Принципова схема одометра

2 Конструкція приладу. Для виконання роботи використовують портативний компресійний прилад із польової лабораторії М. І. Литвинова (рисунок 7.2). Згідно з принциповою схемою на рисунку 7.1, конструкція приладу містить усі перераховані раніше елементи.

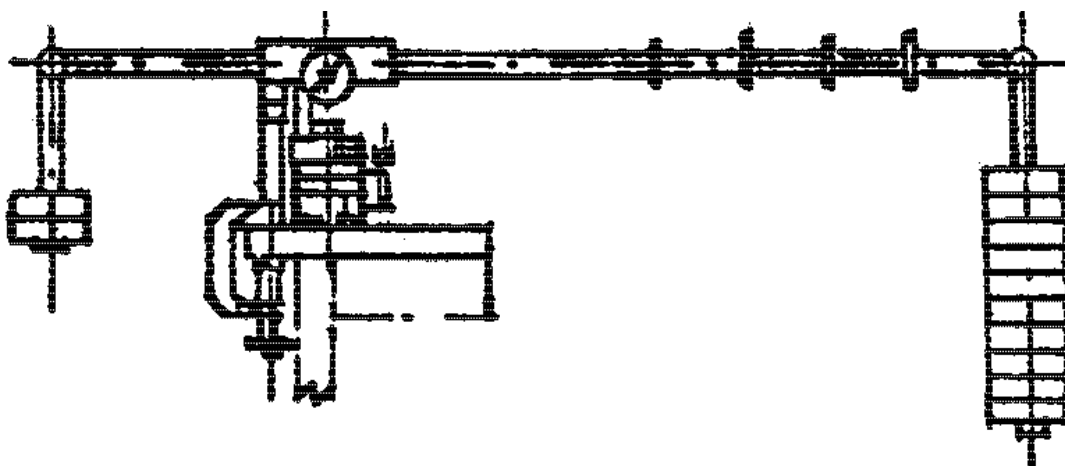


Рисунок 7.2 – Конструкція одометра

7.3 Методика випробувань

1 На нижній дренажний диск основи приладу покласти круг фільтрувального паперу.

2 Для випробування ґрунту з непорушеною структурою, поміщеного в компресійне кільце згідно з вказівками до роботи 3, останній покласти на нижній дренажний диск із фільтрувальним папером.

3 Для випробування пухкого ґрунту з порушеною структурою на кільце з фільтрувальним папером встановити порожнє компресійне кільце, після цього заповнити його досліджуваним ґрунтом.

4 Після виконання дій за пунктами 2, 3 на поверхню ґрунту покласти другий круг фільтрувального паперу і встановити верхню частину приладу, закріплюючи останню за допомогою шарнірних гвинтів.

5 Встановити важільну телескопічну систему, прикріпити її до верхньої частини затискного пристрою і, спираючи розсувний телескопічний важіль на тригранну призму штока поршня, закріпити положення штока поршня затискним гвинтом.

6 Закріпити на кінцях важеля підвісні кронштейни для важків і врівноважити вагу довгої частини важеля противагою, яка дорівнює 1 кг.

7 Закріпити в кронштейні верхньої частині приладу індикатор, спираючи його рухому ніжку в поршень до упору, після чого, трохи піднявши догори на 0,5-1 мм, закріпити затискним гвинтом, після цього поворотом кільця з насічкою на індикаторі встановити нуль циферблату навпроти стрілки.

8 Відпустити затискний гвинт штока поршня, встановити на підвісний утримувач важків навантаження масою 0,5 кг, що за співвідношення плечей важелів 1:25 дає навантаження на поршень $0,5 \times 25 \times 9,81 = 125 \text{ Н}$ і для площі поперечного перерізу поршня 25 см^2 створить тиск на ґрунт $125/25 \cdot 10^{-4} = 0,05 \text{ МПа}$.

9 Стежачи за стрілкою індикатора, встановити момент стабілізації деформації і записати величину навантаження і відповідні деформації як різницю відліків у лабораторний журнал.

10 Повторити дії за пунктами 8, 9 до досягнення маси навантажених важків 6 кг і закінчити експеримент.

11 Обробка результатів експерименту полягає в розрахунку значень коефіцієнта пористості ґрунту до навантаження – e і після – e_i .

Значення коефіцієнта пористості до навантаження для висоти зразка ґрунту h і площі поперечного перерізу вимірювального осередка S розрахувати за формулою

$$e = V_n / V_s = (V - V_s) / V_s = (V/S - V_s/S) / (V_s/S) = \frac{h - h_s}{h_s}, \quad (7.4)$$

де h_s – наведена висота зразка ґрунту,

$$h_s = \frac{G}{S \cdot \gamma_s}, \quad (7.5)$$

де $G = m \cdot g$ – вага зразка ґрунту (m – його маса; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили тяжіння).

Із послідовним навантаженням зразка важками з вагою $G_i = 0,5 \cdot 9,81 = 5 \text{ Н}$ первісна висота зразка h буде зменшуватися на величину абсолютної деформації Δh_i , тому поточне значення висоти h_i буде дорівнювати

$$h_i = h - \Delta h_i. \quad (7.6)$$

Відповідно, поточне значення коефіцієнта пористості буде дорівнювати

$$e_i = \frac{h_i - h_s}{h_s} . \quad (7.7)$$

12 За відомим значенням e_i розраховують коефіцієнт стискання ґрунту

$$a_i = \Delta e_i / \Delta P_i \quad (7.8)$$

і модуль деформації ґрунту

$$E_i = \frac{1 + e_i}{a_i} . \quad (7.9)$$

Результати вимірювань і розрахунків записати в таблицю.

13 За відомими значеннями будують компресійну криву для заданого ґрунту (рисунк 7.3).

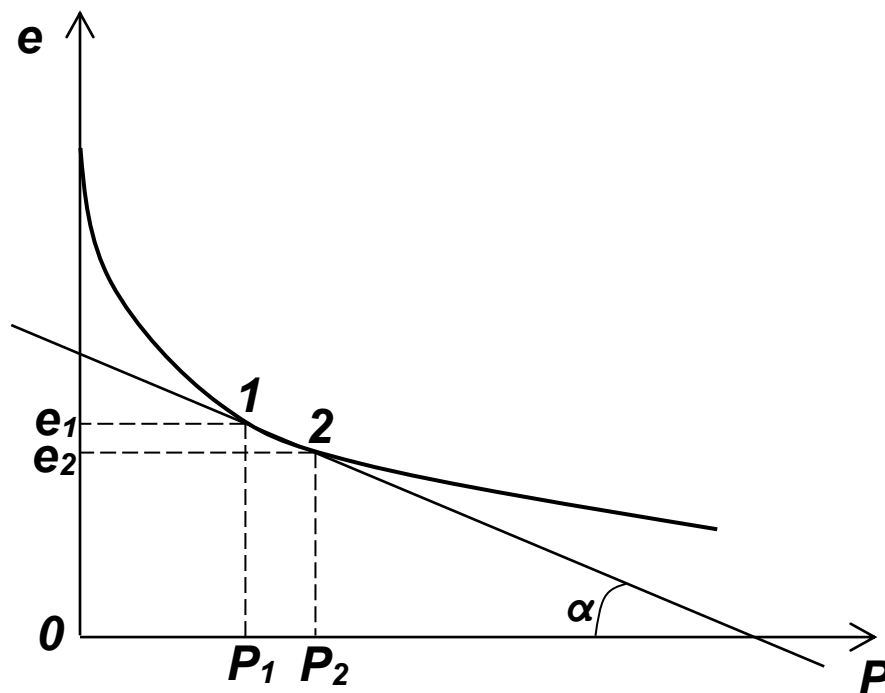


Рисунок 7.3 – Компресійна крива

7.4 Використання результатів лабораторної роботи

1 Для величин тисків, які дорівнюють $P_1 = n \cdot 10^{-2}$ МПа і $P_2 = 2P_1$ МПа (де n – порядковий номер здобувача за журналом), і залежності $e = \varphi(P)$ розрахувати значення коефіцієнта стискання a_i і модуля деформації E_i .

2 Для тиску $P = P_1$ і товщини шару ґрунту, що дорівнює n , розрахувати величину осідання споруди за формулою (7.1).

Контрольні запитання для самоперевірки

1 Як розрізняють умови роботи ґрунтів залежно від величини бокового розширення?

2 Що таке компресійний стиск?

3 Переваги і недоліки випробувань ґрунтів на стиск із використанням одометрів порівняно зі стабілометрами.

4 Як формулюють закон стискання ґрунтів?

5 Для яких розрахунків необхідне знання компресійної характеристики ґрунтів?

6 Що таке деформативні характеристики ґрунтів?

Література [1-6].

Лабораторна робота 8

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ҐРУНТІВ ЗСУВУ

Мета роботи:

1) засвоїти методику лабораторного визначення кута внутрішнього тертя φ і коефіцієнта C приладом одноплощинного зсуву;

2) навчитися використовувати отримані значення зсувних характеристик φ і C в інженерних розрахунках.

8.1 Загальні положення

Міцність ґрунту залежить від його опору зсуву. Однією з умов граничної рівноваги ґрунту є закон Кулона (1773 р.), що встановлює зв'язок між граничними дотичними τ , нормальними σ напругами, кутом внутрішнього тертя φ і зчепленням C :

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + C. \quad (8.1)$$

Кутом внутрішнього тертя φ називають кут нахилу ділянок зсуву в ґрунтах під навантаженням у момент граничної рівноваги. Кут внутрішнього тертя φ – величина символічна, що не може бути визначена безпосереднім вимірюванням. Зчеплення C , що спостерігають у зв'язних ґрунтах, на відміну від внутрішнього тертя, не залежить від величини зовнішнього тиску. У дійсності залежність Кулона не є строго лінійною, але завдяки простоті виразу (8.1) широко використовують у різних розрахунках. Для визначення φ і C на основі закону Кулона використовують прилади одноплощинного зсуву. Окрім закону Кулона, умова граничної рівноваги може бути подана рівнянням Кулона–Мора

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2\operatorname{ctg}\varphi}, \quad (8.2)$$

де σ_1 і σ_3 – головні напруги, які діють у ґрунтах, Па.

У цьому випадку для визначення φ і C застосовують стабілометри, що дають більш точні результати.

8.2 Прилади і обладнання

Для визначення φ і C способом одноплощинного зсуву використовують зсувний прилад із польової лабораторії М. І. Литвинова

або ідентичні стаціонарні прилади. Принципова схема приладу показана на рисунку 8.1. Станина приладу 1 струбциною 2 прикріплена до стола 3. На станині 1 на котках 4 розміщена рухома каретка зсувного приладу 5, що зафіксована у вхідному положенні гвинтами 6 і з'єднана з важелем 7 із підвіскою 9 і важками 8. Положення рухомої каретки 5 визначають індикатором годинникового типу 10, який закріплений у кронштейні 11, який фіксують гвинтом 12. Нерухома верхня частина приладу 13 розміщена на стійках 14 і закріплена гайками 15. У компресійній гільзі, яка складається з рухомої нижньої частини 5 і верхньої 13, між перфорованими дисками 16 і прокладками з фільтрувального паперу розміщують ґрунт 17, на який через перфорований диск важелем 18 із підвіскою 19 важками 20 передають відповідне навантаження. За необхідності зміна вологості ґрунту відбувається подаванням і відведенням води через трубки 21.

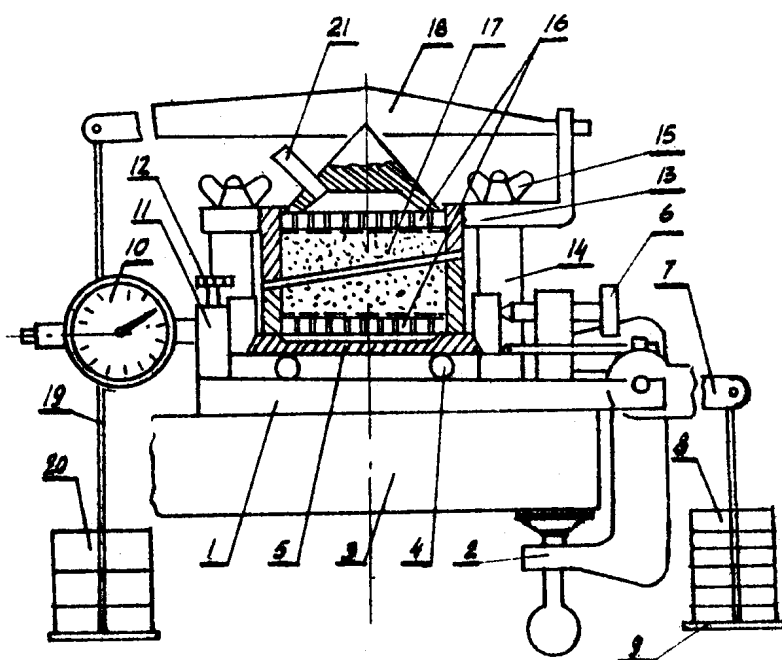


Рисунок 8.1 – Принципова схема приладу для випробувань ґрунтів на зсув

8.3 Методика випробувань

1 Підготувати проби ґрунтів для випробувань (за вказівками викладача).

2 Відібрати за допомогою ґрунтовідбирального приладу не менше двох зразків ґрунтів із непорушеною структурою. Зразки ґрунту з порушеною структурою, який використовують у лабораторній роботі і зазвичай незв'язного, завантажують у гільзу приладу безпосередньо перед випробуванням. Відгвинтити затискні гайки стояка 15, зняти верхню частину приладу 13, яка містить напрямний циліндр із траверсою, поршнем і штоком.

3 Загвинтити повністю, але не прикладаючи надмірних зусиль, стопорні гвинти 6 каретки 5.

4 Працюючи зі зразками ґрунту непорушеної структури, на нижньому дренажному диску 16 основи приладу укласти круг фільтрувального паперу, після цього встановити ґрунтовідбірну гільзу з відібраним ґрунтом непорушеної структури і за допомогою товкача перемістити зразок із гільзи в циліндр приладу.

Працюючи з ґрунтом порушеної структури, останній засипають у розрізний циліндр, закривають фільтрувальним папером, поршнем зі штоком і верхньою частиною приладу 13, що закріплений затискачами 15. Зафіксувати положення штока фіксуючим затискачем.

5 Прилад встановити на краю стола, закріпити струбциною, встановити в гнізді кронштейна індикатор годинникового типу для заміру деформацій λ .

6 Встановити на вертикальному стояку струбцини телескопічний важіль вертикального навантаження, контролюючи його з'єднання з призмою штока поршня, і підвісити тримачі важків.

7 Урівноважити телескопічний важіль вертикального навантаження вантажем 1 кг.

8 Встановити важіль горизонтального навантаження 7.

9 Відпустити фіксуючий гвинт штока поршня, підвісити важки масою 1 кг на тримач важків телескопічного важеля, витримати близько 5 хв для стабілізації деформацій.

10 Відгвинтити упорні гвинти 6 каретки до положення, що забезпечує повний хід каретки.

11 Встановити нульове положення стрілки індикатора горизонтальних переміщень каретки.

12 Поступово підвісити важки по 0,1 від ваги вертикального навантаження на важіль горизонтального навантаження, після досягнення швидкості зсуву менше 0,01 мм/хв узяти відлік величини деформації за індикатором і додати наступний ступінь навантаження. Зсувним навантаженням вважають те, після додавання якого деформації зсуву різко зростають.

13 Результати спостережень у процесі експерименту записати в журнал.

14 Повторити операції за пунктами 5–13 для маси вантажу 2 кг.

15 Після завершення робіт прилад демонтувати, деталі очистити від залишків ґрунту і здати лаборанту.

16 За результатами експерименту і розрахунків для кожного значення вертикального навантаження побудувати графік залежності величин деформацій зсуву λ_i від напруг τ_i і за місцем перелому графіка $\lambda_i = f(\tau_i)$ відліком по осі τ визначити значення напруг зсуву τ_z (рисунок 8.2). Для визначення місця перелому графіка $\lambda_i = f(\tau_i)$ необхідно провести дотичні прямі до кожного з плечей кривої і точку їх перетину спроекувати на вісь τ , що дасть необхідне значення τ .

17 За відомими значеннями нормальних тисків P і напруг зсуву τ_z побудувати графік залежності $\tau_z = f(P)$, за яким визначити шукане значення куту внутрішнього тертя φ і зчеплення C (рисунок 8.3).

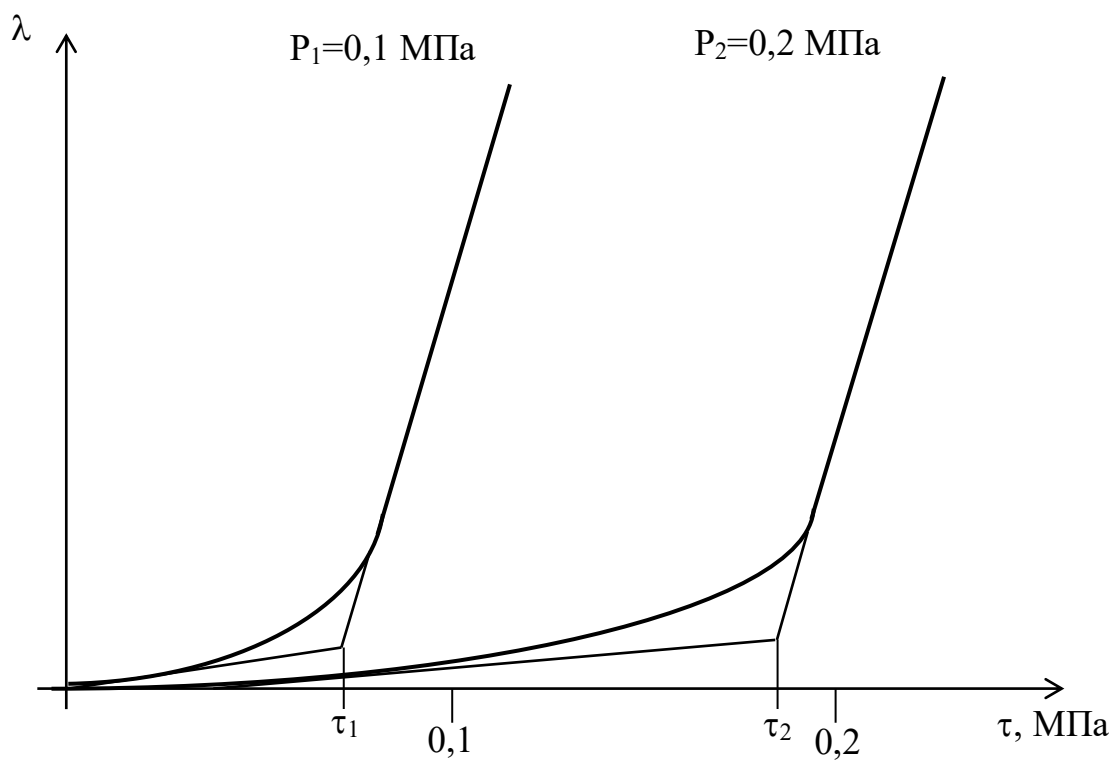


Рисунок 8.2 – Графік залежності $\lambda_i = f(\tau_i)$

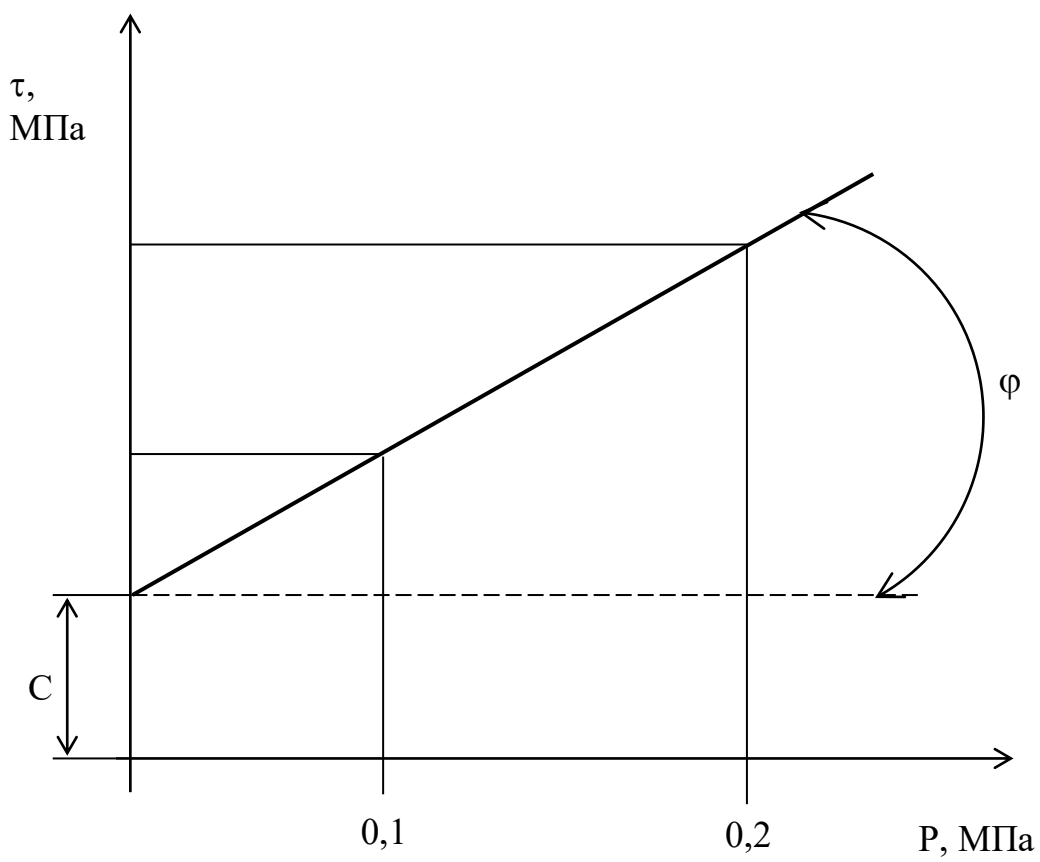


Рисунок 8.3 – Графік залежності $\tau = f(P)$

18 Оскільки в законі Кулона (8.1) є дві невідомі φ і C , необхідні два рівняння.

8.4 Використання результатів лабораторної роботи

За результатами лабораторних робіт розрахувати значення розрахункового опору ґрунту R_p за формулою

$$R_p = \frac{m_1 m_2}{K_n} (Ab\gamma_n + Bh\gamma_{11}^1 + Dc_{11} - \gamma_0 h), \quad (8.3)$$

де $\frac{m_1 m_2}{K_n}$ – узагальнений коефіцієнт запасу міцності, який найчастіше дорівнює 0,7 ($m_1 = m_2 = 1$; $K_n = 1,4$);

A , B , D – коефіцієнти, які визначаються за таблицею залежно від величини кута внутрішнього тертя φ [5];

γ_n^1 , γ_n – питома вага ґрунту, осереднена за шарами, які розміщені відповідно вище і нижче підшви фундаменту;

C – розрахункове питоме зчеплення ґрунту несучого пласту;

b – менша сторона підшви фундаменту, приймають $b = 2$ м;

h – глибина закладення підшви фундаменту, приймають $h = 3$ м.

Контрольні запитання для самоперевірки

1 У чому проявляється вплив кута внутрішнього тертя і зчеплення ґрунту на його міцність?

2 Які формули, що виражають умови граничної рівноваги, вам відомі?

3 Які методи і прилади застосовують для визначення характеристик зсуву ґрунтів φ і C ? Наведіть принципові схеми цих приладів.

4 У чому полягають переваги і недоліки засобів за пунктом 3 підрозділу 8.3?

5 Які існують польові методи визначення зсувних характеристик ґрунтів, у чому полягає їхня сутність?

Література [1-7].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 ДСТУ 3651.0–97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. Чинний від 1997-09-10. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1998. 9 с.

2 ДСТУ 3651.1–97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні положення, назви та позначення. Чинний від 1997-09-10. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1998. 15 с.

3 ДСТУ Б В.2.1–4–96 (ГОСТ 12248–96). Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. Чинний від 1996-10-10. Вид. офіц. Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 20 с.

4 ДСТУ Б В.2.1–2–96 (ГОСТ 25100–95). Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. Чинний від 1996-09-10. Вид. офіц. Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 14 с.

5 ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 104 с.

6 Розрахунки несучої здатності і технологія закріплення основ будівель і споруд залізничного транспорту: навч. посіб. / А. М. Плугін та ін. Харків : УкрДАЗТ, 2011. Ч. 1. 150 с.

7 Розрахунки несучої здатності і технологія закріплення основ будівель і споруд залізничного транспорту: навч. посіб. / А. М. Плугін та ін. Харків : УкрДАЗТ, 2012. Ч. 2. 210 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання лабораторних робіт

з освітнього компонента
«МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ»

Відповідальний за випуск Герасименко О. С.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 24.07.2026 р.
Умовн. друк. арк. 2,75. Тираж . Замовлення № .
Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018