



Національний університет

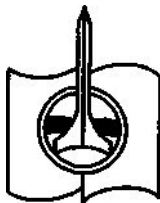
водного господарства

Федорчук Г.Ф., Фурсович М.О., Жеребят'єв О.В.

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ

Лабораторний практикум

Видання друге перероблене і доповнене



Рівне 2014



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування

Федорчук Г.Ф., Фурсович М.О., Жеребятьєв О.В.

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ
Лабораторний практикум

Навчальний посібник
видання друге
перероблене і доповнене

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки,
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів*

Рівне 2014



Перше видання рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(лист №14/18.2-1596 від 09.07.04)

Рецензенти:

М.Л.Зоценко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри видобування нафти і газу та геотехніки Полтавського Національного технічного університету імені Юрія Кондратюка;

В.Г.Мельничук, доктор геологічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної геології та гідрогеології Національного університету водного господарства та природокористування;

М.В.Корнієнко, кандидат технічних наук, професор кафедри основ і фундаментів Київського національного університету будівництва і архітектури.

За редакцією **Є.М.Бабича**, завідувача кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд НУВГП, професора, доктора технічних наук.

Федорчук Г.Ф., Фурсович М.О., Жеребятєв О.В.

Ф 33 Механіка ґрунтів. Лабораторний практикум: Навчальний посібник - Рівне: НУВГП. 2014. - 136 с.:іл.

18ВЯ 5-7763-1309-0

У навчальному посібнику подано поняття про походження ґрунтів, їх класифікацію, інженерно-геологічні дослідження для будівництва. Наведено методики виконання лабораторних досліджень для визначення фізичних і механічних характеристик ґрунтів та приклади статистичної обробки цих характеристик. Наведено методичні вказівки до виконання і захисту лабораторних робіт, зразки оформлення лабораторних журналів. Навчальний посібник призначено для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки „Будівництво”.

УДК 624.131:37(075.8)

ББК38.58я7

ISBN 5-7763-1309-0

© Федорчук Г.Ф., Фурсович М.О.,
Жеребятєв О.В., 2013

© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2014



З М І С Т

	стор.
Передмова	5
1. Походження ґрунтів	7
2. Класифікація ґрунтів	9
3. Інженерні дослідження для будівництва	15
4. Визначення фізичних характеристик і різновидів природних дисперсних ґрунтів	17
Лабораторне заняття №1. <u>Визначення основних фізичних характеристик ґрунтів - щільності, щільності частинок, вологості</u>	17
<u>Робота №1.</u> Визначення щільності ґрунту	17
<u>Робота №2.</u> Визначення щільності частинок ґрунту пікнометричним методом	20
<u>Робота №3.</u> Визначення вологості ґрунту	24
Лабораторне заняття №2. <u>Визначення різновидів піску</u> ...	26
<u>Робота №4.</u> Визначення гранулометричного складу і різновидів піску за гранулометричним складом та ступенем неоднорідності гранулометричного складу	26
<u>Робота №5.</u> Визначення різновидів пісків за коефіцієнтом пористості і за коефіцієнтом водонасичення. Визначення розрахункового опору піску R_0	31
Лабораторне заняття №3 <u>Визначення різновидів глинистих ґрунтів</u>	34
<u>Робота №6.</u> Визначення різновидів глинистих ґрунтів та їх розрахункового опору R_0	34
Лабораторне заняття №4	
<u>Робота №7.</u> Визначення оптимальної вологості і максимальної щільності ґрунту	40
5. Визначення механічних характеристик ґрунтів	45
Лабораторне заняття №5	
<u>Робота №8.</u> Визначення стисливості ґрунтів в компресійному приладі	45



Лабораторне заняття №6

Робота №9. Визначення відносної деформації просідання
грунтів 56

Робота №10. Визначення величини відносної деформації
набухання ґрунтів 60

Лабораторне заняття №7

Робота №11. Визначення характеристик міцності ґрунтів
методом одноплосинного зрізування 64

Робота №12. Визначення кута природного укосу сипучих
ґрунтів 73

Лабораторне заняття №8

Робота №13. Визначення міцнісних і деформаційних
характеристик ґрунтів в умовах
трьохосьового стиснення 77

Лабораторне заняття №9

Робота №14. Визначення водопроникності (коефіцієнта
фільтрації) пісків 84

6. Вивчення методів польових досліджень ґрунтів на
навчальних стендах 89

Лабораторне заняття №10 Вивчення методів польових
досліджень ґрунтів на навчальних стендах 89

Робота №15. Визначення модуля деформації ґрунту
методом випробовувань штампом 89

Робота №16. Визначення несучої здатності палів за
результатами випробовувань статичними
навантаженнями 95

7. Статистична обробка результатів визначення
характеристик ґрунтів 99

7.1 Визначення розрахункових значень питомої ваги,
модуля деформації і опору ґрунту одноосьовому стиску .. 100

7.2 Визначення нормативних і розрахункових значень
характеристик міцності 105

Додаток. Зразок журналу лабораторних робіт з механіки
ґрунтів 114

Список літератури 133



ПЕРЕДМОВА

Навчально-методичний посібник "Механіка ґрунтів. Лабораторний практикум" написаний відповідно до робочої програми курсу "Механіка ґрунтів, основи і фундаменти" для підготовки студентів будівельного профілю.

Під час виконання лабораторних робіт студенти поглиблюють і закріплюють теоретичні знання, отримані на лекціях, набувають навиків роботи з лабораторним обладнанням і приладами, дослідним шляхом визначають фізико-механічні властивості і характеристики ґрунтів, які необхідні для проектування, спорудження та експлуатації основ і фундаментів будівель та споруд. Посібник за мету має поліпшення постановки лабораторних занять - міцніше зв'язати їх з лекційним матеріалом і курсовим проектуванням, а за змістом і методами – наблизити рівень занять до вимог, які ставить практика будівництва.

Під час роботи над посібником використовувався досвід проведення лабораторних занять з механіки ґрунтів в Національному університеті водного господарства та природокористування та в інших вищих навчальних закладах [15, 16, 19, 21, 23, 26].

Лабораторні роботи виконуються в послідовності, яка прийнята в посібнику – від елементарних до більш складних, які вимагають знання характеристик ґрунтів, визначених на попередніх заняттях. Студент виконує передбачені заняттям лабораторні роботи у відведені дві академічні години. У зв'язку з обмеженням часу на виконання робіт зразки для дослідів готують лаборанти до початку занять. З цією ж метою введені деякі спрощення в методику робіт (скорочений час кип'ятіння, змінене значення умовної стабілізації деформацій тощо), всі вони відмічені в тексті посібника. Передбачені тільки ті роботи, які обов'язково виконуються в лабораторіях розвідувальних і проектних організацій [13] і які можна виконати у відведений навчальним планом час. Методика польових досліджень ґрунтів штампом, а також методика визначення несучої здатності пиль статичним навантаженням вивчається в лабораторії на навчальних стендах.

Лабораторні дослідження виконуються студентами самостійно під керівництвом викладача. Щоб виконати роботи у відведений час, студент повинен заздалегідь вивчити теоретичний матеріал і

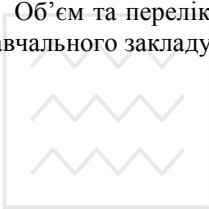


підготувати лабораторний журнал, зразок якого наведений в додатку до посібника. В журналі повинні бути відображені такі дані: 1. Поняття про характеристику ґрунту, яку визначають. 2. Методика проведення дослідів. 3. Короткий опис апаратури, доповнений схемами.

Під час роботи в лабораторії виконуються необхідні заміри і розрахунки, заповнюються таблиці, кресляться графіки і робляться висновки.

Готовність студентів до виконання робіт перевіряється за допомогою контрольних карток з 3÷4 запитаннями. Контрольні запитання наведені в посібнику в кінці матеріалу до кожної лабораторної роботи. На складання відповіді дається 5 хвилин. Після виконання лабораторних робіт студент відповідає на контрольний тест, подає журнал на підпис викладачу та впорядковує своє робоче місце.

Об'єм та перелік лабораторних робіт визначається навчальним планом навчального закладу.





1. ПОХОДЖЕННЯ ГРУНТІВ

Грунтами в інженерно-геологічній практиці називають гірські породи і техногенні утворення, які використовують як основу, середовище або матеріал для будівель та інженерних споруд.

Гірські породи – це природні агрегати мінералів. Вони можуть складатися з одного або двох і більше мінералів – самородних елементів або природних сполук, приблизно однорідних за хімічним складом і фізичними властивостями.

За походженням (генезисом) гірські породи діляться на магматичні, осадові і метаморфічні. Магматичні породи утворилися внаслідок твердіння магми. Вони мають кристалічну структуру і класифікуються як скельні ґрунти.

Осадові породи виникли в результаті відкладання і накопичування на поверхні суші або в різних водоймах продуктів фізичного і хімічного руйнування (вивітрювання) раніше утворених порід (магматичних, осадових, метаморфічних) та продуктів життєдіяльності рослин і тварин. Вони можуть бути скельними і нескельними – дисперсними.

Метаморфічні породи утворилися з осадових або магматичних порід під впливом високих температур та тиску і класифікуються як скельні.

За віком ґрунти відносяться до різних геологічних систем. Наймолодшими осадовими ґрунтами є відклади четвертинної системи (Q). Більш давніми є ґрунти систем: неогену (N1), палеогену (P_v), крейдяної (K), юрської (J), тріасової (T), пермської (P), кам'яновугільної (C), девонської (D), ордовікської (O), кембрійської (C).

В інженерній діяльності частіше використовують четвертинні осадові ґрунти, які підрозділяють на генетичні типи, наведені в таблиці 1.1.

В матеріалах інженерно-геологічних вишукувань обов'язково наводяться дані про вік та генезис ґрунтів. Знання їх дає можливість інженеру отримати інформацію про особливі будівельні властивості цих ґрунтів і можливу поведінку в основі будівель та споруд під час їх експлуатації, викладену в численних науково-технічних працях, підручниках і довідниках з інженерної геології, ґрунтознавства, основ та фундаментів.

Відомості про походження, стратиграфічні особливості та позначення різних видів ґрунтів виконують у відповідності з [25].



Генетичні типи ґрунтів четвертинного віку

Генетичні типи ґрунтів	Позначення
Алювіальні (річкові відклади)	a
Озерні	l
Озерно-алювіальні	la
Делювіальні (відклади дощових і талих вод на схилах і у підніжжі підвищень)	d
Алювіально-делювіальні	ad
Еолові (осад з повітря): еолові піски, лесові ґрунти	L (eol)
Гляціальні (льодовикові відклади)	g
Флювіогляціальні (відклади льодовикових потоків)	f
Озерно-льодовикові	lg
Елювіальні (продукти вивітрювання гірських порід, які залишаються на місці утворення)	e
Елювіально-делювіальні	ed
Пролювіальні (відклади бурхливих дощових потоків у гірських районах)	p
Алювіально-пролювіальні	ap
Морські	m



2. КЛАСИФІКАЦІЯ ҐРУНТІВ

Державним стандартом встановлена єдина класифікація ґрунтів, обов'язкова для застосування під час виконання інженерно-геологічних вишукувань, а також в проектуванні та будівництві будівель і споруд [1].

Класифікація ґрунтів включає такі таксономічні* одиниці, які виділені за групами ознак:

клас – за загальним характером структурних зв'язків;

група – за характером структурних зв'язків (з урахуванням міцності);

таксономію як розділ систематики.

підгрупа – за походженням та умовами утворення;

тип – за речовинним складом;

вид – за найменуванням ґрунтів (з урахуванням розмірів частинок та показників властивостей);

різновид – за кількісними показниками речовинного складу, властивостей та структури ґрунту.

Усі ґрунти поділені на чотири класи:

клас природних скельних ґрунтів;

клас природних дисперсних ґрунтів;

клас природних мерзлих ґрунтів;

клас техногенних ґрунтів.

Скельним називають ґрунт, що складається з кристалічного одного або декількох мінералів, які мають жорсткі структурні зв'язки кристалізаційного типу і які залягають у вигляді суцільного або тріщинуватого масиву.

Якщо міцність скельного ґрунту на одноосьовий стиск $R_c < 5 \text{ МПа}$, то його називають напівскельним. У напівскельних ґрунтах структурні зв'язки цементацийного типу.

Скельні ґрунти підрозділяють на різновиди: за границею міцності на одноосьовий стиск R_c , за щільністю скелета ρ_d ґрунту, за коефіцієнтом вивітрилості K_{wr} , за коефіцієнтом розм'якливості у воді K_{sofs} , за ступенем розчинності та за ступенем водопроникності.

Границею міцності на одноосьовий стиск R_c називають

* *Таксономія* (від грецького *taxis* – розміщення, стрій, порядок і *nomos* – закон) – теорія класифікації і систематизації складно-організованих ділянок дійсності.



відношення вертикального навантаження на зразок ґрунту, при якому відбувається його руйнування, до площі поперечного перерізу зразка; **щільність скелета** ґрунту (щільність сухого ґрунту) ρ_d – відношення маси ґрунту, без маси води і льоду в його порах, до його об'єму; **коефіцієнт вивітрилості** K_{wr} – відношення щільності вивітрилого ґрунту до щільності монолітного ґрунту; **коефіцієнт розм'якливості у воді** K_{sof} – відношення границь міцності ґрунту на одноосьовий стиск у водонасиченому та у повітряно-сухому стані; **ступінь розчинності у воді** – характеристика, що відображає здатність ґрунтів розчинятися у воді, виражається в кількості воднорозчинних солей q_{sr} г/л; **ступінь водопроникності** відображає здатність ґрунтів пропускати крізь себе воду, кількісно виражається у коефіцієнті фільтрації K_f , м/добу, застосовується як для скельних так і для дисперсних ґрунтів. Різновиди скельних природних ґрунтів наведені в таблицях 2.1 ÷ 2.6.

Таблиця 2.1.

Різновиди скельних ґрунтів за границею міцності на одноосьовий стиск у водонасиченому стані R_c

Різнovid ґрунту	Границя міцності на одноосьовий стиск R_c , МПа
Дуже міцний	>120
Міцний	120÷50
Середньої міцності	50÷15
Маломіцний	15÷5
Зниженої міцності	5÷3
Низької міцності	3÷1
Дуже низької міцності	<1

Таблиця 2.2.

Різновиди скельних ґрунтів за щільністю скелета ґрунту ρ_d

Різнovid ґрунту	Щільність скелета ρ_d , г/см
Дуже щільний	>2,50
Щільний	2,50÷2,10
Пухкий	2,10÷1,20
Дуже пухкий	<1,20



Таблиця 2.3.

Різновиди скельних ґрунтів за коефіцієнтом вивітрюваності K_{wr}

Різновид ґрунту	Коефіцієнт вивітрюваності K_{wr} д.о.
Невивітрілий	1
Слабовивітрілий	1÷0,90
Вивітрілий	0,90÷0,80
Сильновивітрілий	<0,80

Таблиця 2.4.

Різновиди скельних ґрунтів за коефіцієнтом розм'якливості у воді

K_{sof}

Різновид ґрунту	Коефіцієнт розм'якливості у воді K_{sof} д.о.
Нерозм'якшувальний	>0,75
Розм'якшувальний	<0,75

Таблиця 2.5.

Різновид скельних ґрунтів за ступенем розчинності у воді q_{sr}

Різновид ґрунту	Кількість воднорозчинних солей q_{sr} , г/л
Нерозчинний	<0,01
Важкорозчинний	0,01÷1
Середньорозчинний	1÷10
Легкорозчинний	>10

Таблиця 2.6.

Різновид ґрунтів за ступенем водопроникності K_{ϕ}

Різновид ґрунту	Коефіцієнт фільтрації K_{ϕ} , м/добу
Неводопроникний	<0,005
Слабоводопроникний	0,005÷0,30
Водопроникний	0,30÷3
Сильноводопроникний	3÷30
Дуже сильноводопроникний	>30

Дисперсними називають ґрунти, що складаються з окремих мінеральних частинок (зернин) різного розміру, слабопов'язаних один з одним. Дисперсні ґрунти утворюються в результаті вивітрювання скельних ґрунтів з наступним транспортуванням продуктів вивітрювання водним чи еоловим (повітряним) шляхом та їх відкладання. Дисперсні ґрунти ділять на ґрунти *незв'язні* і



зв'язні. До незв'язних відносять великоуламкові ґрунти і піски. До зв'язних – глинисті ґрунти, мули, сапропелі, заторфовані ґрунти і торфи.

Великоуламкові – незв'язні мінеральні ґрунти, які містять понад 50% за масою частинок розміром більше 2 мм. Залежно від гранулометричного (зернового) складу виділяють 3 різновиди великоуламкових ґрунтів - ґрунти валунні, галькові і гравійні. Назву ґрунту можна визначити з таблиці 4.8. Якщо у складі ґрунту є понад 40% піщаного заповнювача або понад 30% глинистого від загальної маси повітряно сухого ґрунту, то в назві великоуламкового ґрунту повинна бути показана назва заповнювача та вказуються характеристики його стану. Вид заповнювача встановлюється після вилучення з великоуламкового ґрунту частинок крупніших за 2 мм.

Якщо у незв'язному мінеральному ґрунті понад 50% за масою частинок розміром менше 2 мм то його називають піском. Число пластичності піску $I_p=0$.

Великоуламкові ґрунти і піски розподіляють за ступенем неоднорідності гранулометричного складу C_u на однорідні і неоднорідні, а за коефіцієнтом водонасичення S_r – на малого ступеня водонасичення, середнього ступеня водонасичення і насичені водою.

Піски ділять: за гранулометричним складом – на піски гравіюваті, крупні, середньої крупності, дрібні і пилюваті; за коефіцієнтом пористості e – на щільні, середньої щільності і пухкі, за ступенем щільності I_d – на слабоущільнені, середньоущільнені і сильноущільнені.

Глинисті – це зв'язні мінеральні ґрунти, у яких число пластичності $I_p \geq 1$. За числом пластичності I_p їх ділять на супіски, суглинки і глини. Супіски залежно від їх вологості можуть знаходитись у твердому, пластичному або текучому стані; суглинки і глини – в твердому, напівтвердому, тугопластичному, м'якопластичному, текучопластичному чи текучому.

До найменування глинистого ґрунту залежно від числа пластичності та вмісту піщаних часток розміром $2 \div 0,5$ мм можуть додаватися назви: піщанистий чи пилюватий, легкий або важкий, а залежно від великоуламкових включень - ґрунт з галькою (щебенем) або: супісок, суглинок, глина – галечникові чи гравіюваті.



Внаслідок замочування глинисті ґрунти можуть набухати або просідати і відповідно, їх називають набухаючими або просідними (просідаючими).

Набухаючі ґрунти – глинисті ґрунти, які під час замочування водою або іншою рідиною збільшуються в об'ємі в результаті набрякання і при цьому відносна деформація набухання (в умовах вільного набухання) $\epsilon_{sw} \geq 0,04$.

Просідні (просідаючі) ґрунти - глинисті ґрунти, які під впливом зовнішнього навантаження та власної ваги чи тільки від власної ваги при замочуванні водою або іншою рідиною просідають і при цьому відносна деформація просідання $\epsilon_{sr} \geq 0,01$. Під терміном просідання розуміється швидка вертикальна деформація ґрунту, викликана різкою зміною структури ґрунту внаслідок його замочування.

Особливими видами природних дисперсних зв'язних ґрунтів є органогенні ґрунти – мули, сапропелі, заторфовані ґрунти і торфи, які містять органічні речовини – органічні сполуки, що входять у склад ґрунту у вигляді нерозкладених залишків рослинних та тваринних організмів, а також продуктів їх розкладання та перетворення.

Мул – водонасичений сучасний осад, переважно морських акваторій, що містить органічну речовину у вигляді рослинних залишків та гумусу. Звичайно верхні шари мулу мають коефіцієнт пористості $e \geq 0,9$, текучу консистенцію ($I_L > 1$), вміст частинок менших 0,01мм складає 30÷50% за масою. За значенням числа пластичності I_p мули підрозділяють на супіщані, суглинисті та глинисті.

Сапропель – прісноводний мул, що утворюється на дні водоймищ з продуктів розпаду рослинних і тваринних організмів і містить більше 10% (за масою) органічної речовини у вигляді гумусу та рослинних залишків. Сапропель має коефіцієнт пористості $e > 3$, як правило, текучу консистенцію ($I_L > 1$), високу дисперсність – маса часток крупніших за 0,25 мм звичайно не перевищує 5%.

Торф – органічний ґрунт, що утворюється в результаті природного відмирання та неповного розкладання багнових рослин в умовах підвищеної вологості та нестачі кисню і містить 50% (за масою) і більше органічних речовин. Ґрунт заторфований – пісок



або глинистий ґрунт, що містить від 10 до 50% торфу.

Якщо вміст органічних речовин в пісках від 3 до 10%, а в глинистих ґрунтах – від 5 до 10%, то до найменування ґрунту додають „з домішками органічних речовин”.

Відносний вміст органічних речовин в ґрунті I_r визначається як відношення маси сухих рослинних залишків до маси абсолютно сухого ґрунту. Для визначення цієї характеристики береться наважка ґрунту, висушеного при температурі $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, і прожарюється в муфельній печі при температурі плюс $950 \div 1000^\circ\text{C}$.

Якщо ґрунт має мінусову або нульову температуру, містить у своєму складі лід і характеризується криогенними (від грецького *kryos* – мороз, лід) структурними зв'язками, то його називають мерзлим. Якщо він не відтаював 3 і більше років – то вічномерзлим або багаторічномерзлим і якщо ґрунт знаходиться у мерзломому стані періодично тільки протягом холодного сезону – то ґрунт називають сезонномерзлим.

Деякі ґрунти під час переходу з талого в мерзлий стан збільшуються в об'ємі внаслідок утворення кристалів льоду. Якщо відносна деформація морозного здимання $\varepsilon_{\text{п}} \geq 0,01$, то такі ґрунти називають здимальними.

Особливий клас ґрунтів – ґрунти техногенні.

Техногенні ґрунти – природні ґрунти, змінені та переміщені в результаті виробничої і господарської діяльності людини, та антропогенні утворення, під якими розуміють тверді відходи діяльності людини, в результаті якої виникла докорінна зміна складу, структури та текстури природної мінеральної чи органічної речовини (побутові та промислові відходи). До техногенних ґрунтів відносять природні ґрунти, переміщені з місць природного залягання, ґрунти закріплені хімічним або термічним способами, ґрунти ущільнені, насипні і намівні, побутові і промислові відходи, шлаки, шлами, золи і золошлаки.

Вид і різновид ґрунту визначають лабораторними випробуваннями.



3. ІНЖЕНЕРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА

Отримання вихідних даних для розробки проектів будівель і споруд, їх будівництва та експлуатації вимагає комплексного вивчення природних умов на місці будівництва. З цією метою виконуються інженерно-геодезичні, інженерно-метеорологічні і інженерно-геологічні вишукування. Вишукування повинні забезпечити комплексне вивчення природних умов району, майданчика, ділянки, на якій проектується будівництво, місцевих будівельних матеріалів і отримання необхідних і достатніх даних для розробки економічно доцільних і технічно обґрунтованих рішень в проектуванні, будівництві і експлуатації об'єктів. Під час їх виконання необхідно *обов'язково* дотримуватися положень чинних будівельних норм і державних стандартів.

Інженерно-геодезичні вишукування забезпечують отримання необхідних топографо-геодезичних матеріалів – карт і планів та побудову опорних геодезичних мереж.

Інженерно-гідрометеорологічні вишукування дають інформацію про річкову або морську гідрологію, а також про кліматологію. В комплексі з інженерно-геологічними вишукуваннями їх виконують для прогнозування підтоплення території підземними водами, розвідування джерел водопостачання, вивчення карсту, суфозії тощо.

Під час інженерно-геологічних досліджень установлюються: геологічна будова ділянки будівництва, гідрогеологічні умови, склад, стан і фізико-механічні властивості ґрунтів, геологічні процеси і явища, можливі зміни інженерно-геологічних умов в процесі будівництва і після спорудження будівель і споруд.

Для визначення геологічної будови і умов залягання шарів ґрунту і підземних вод, відбору зразків ґрунту, проведення польових досліджень проходять розвідувальні виробки – шурфи, свердловини, розчистки тощо. З розвідувальних виробок відбирають зразки ґрунту для лабораторних досліджень, окремо зразки з порушеною структурою і зразки з непорушеною структурою (моноліти) [2]. Моноліти повинні бути орієнтовані (помічають верх моноліту). Зразки відбирають за допомогою ножа, лопати, різальних кілець, а в свердловинах – ґрунтоносами. Для упакування зразків порушеної структури застосовують тару, яка забезпечує зберігання дрібних часток ґрунту і вологості ґрунту



(звичайно це мішечки із синтетичної плівки, щільної тканини, або водостійкого паперу). Зразки порушеної структури служать для визначення гранулометричного складу, вологості і границь пластичності ґрунту.

Моноліти, відібрані з шурфів, звичайно мають форму куба, або паралелепіпеда, а відібрані із свердловин, так звані "керни" мають форму циліндра. Розміри ребер монолітів, які мають форму куба і паралелепіпеда, від 10 до 25 см. Діаметри монолітів циліндричної форми повинні бути не менше 8 см, а висота їх не меншою від діаметра.

Після виймання із виробки моноліти зв'язних ґрунтів обмотують кількома шарами марлі і опускають на 1÷2 хвилини в розплавлену суміш парафіну з гудроном, або в розплавлену мастику із 60% парафіну, 25% воску, 10% каніфолі і 5% мінеральних масел (за масою). Ізоляційні мастики повинні мати температуру 55-60 С.

До парафінування на верхню грань моноліту слід покласти етикетку, загорнуту в кальку. Другий екземпляр етикетки, змочений парафіном, прикріплюють поверх моноліту. На етикетці олівцем вказують назву організації, яка виконує вишукування, назву об'єкта, назву виробки і її номер, глибину відбору зразка, прізвище виконавця і дату відбору. У тару зі зразком ґрунту порушеної структури також укладають етикетку, загорнуту в кальку і покриту шаром парафіну; другий екземпляр етикетки наклеюють на тару.

Зразки ґрунту, призначені для транспортування в лабораторію, упаковують щільно в ящики, прокладаючи тирсою або стружками. Моноліти ґрунту під час транспортування не повинні зазнавати різких ударів. До виконання лабораторних аналізів моноліти ґрунту повинні зберігатися в спеціальних приміщеннях з відносною вологістю 70÷80% і температурою 2÷10 °С вище нуля.

Під час відбору, транспортування і зберігання монолітів важливим є збереження їх структури і природної вологості.



4. ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І РІЗНОВИДІВ ПРИРОДНИХ ДИСПЕРСНИХ ҐРУНТІВ

Природні дисперсні ґрунти – це складна багатокомпонентна система, яка складається з твердих частинок, пори між якими заповнені водою і газом (повітрям). Будівельні властивості дисперсних ґрунтів визначаються мінералогічним і гранулометричним складом, структурою, текстурою, щільністю будови, вологістю і станом у природному заляганні.

Для визначення назви, стану і властивостей ґрунту використовують фізичні і класифікаційні характеристики.

Фізичні характеристики умовно поділені на основні і похідні. Основними фізичними характеристиками вважаються – щільність ґрунту, щільність частинок ґрунту і вологість ґрунту. Їх визначають лабораторними методами.

Похідні фізичні характеристики вираховують за формулами з використанням основних фізичних характеристик. До них відносять щільність скелета ґрунту, коефіцієнт пористості ґрунту, пористість ґрунту, коефіцієнт водонасичення ґрунту тощо.

Класифікаційними характеристиками є зерновий склад, коефіцієнт пористості та коефіцієнт водонасичення для пісків і великоуламкових ґрунтів та число пластичності й показник текучості для глинистих.

Лабораторне заняття № 1. Визначення основних фізичних характеристик ґрунтів – щільності, щільності частинок, вологості.

Робота № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ

Щільністю ґрунту ρ називають масу одиниці об'єму ґрунту. Вона визначається відношенням маси зразка ґрунту m до його об'єму V .

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (4.1)$$

Для визначення щільності ґрунту застосовують такі методи:

1. Метод різального кільця;
2. Метод парафінування (зважування у воді);
3. Метод зважування в нейтральній рідині.

Метод різального кільця застосовують до ґрунтів, які легко піддаються обробці ножем. Метод парафінування – до ґрунтів, які



не піддаються вирізанню ножем, або до крихких ґрунтів. Метод зважування в нейтральній рідині (в гасі, лігроїні тощо) застосовують для визначення щільності мерзлих ґрунтів.

У даній лабораторній роботі щільність ґрунту визначають методом різального кільця. Різальне кільце, згідно з вимогами державного стандарту, повинне мати розміри, указані в таблиці 4.1, бути виготовленим з міцної неіржавіючої сталі і мати загострений край [3]. Кільця нумерують, виміряють внутрішній діаметр та висоту і зважують. За результатами вимірів вираховують об'єм кільця з точністю до $0,1 \text{ см}^3$.

Таблиця 4.1.

Розміри різальних кілець

Назва і стан ґрунту	Товщина стінки, мм	Діаметр внутрішній d , мм	Висота h	Кут заточки зовнішнього різального краю
Немерзлі глинисті ґрунти	$1,5 \div 2,0$	≥ 50	$0,8d \geq h \geq 0,3d$	не більше 30°
Немерзлі і сипучо-мерзлі піски	$2,0 \div 4,0$	≥ 70	$d \geq h \geq 0,3d$	не більше 30°
Мерзлі глинисті ґрунти	$3,0 \div 4,0$	≥ 80	$h=d$	45°

Необхідні прилади

1. Різальне кільце.
2. Ніж з прямим лезом.
3. Лабораторна вага.
4. Пластинки з гладкою поверхнею (із скла, металу тощо).
5. Плоска лопатка.

Методика визначення щільності ґрунту

1. Зважують кільце (маса m_1). Результати записують в журнал (табл. 4.2 – приклад заповнення). Всі зважування виконуються з точністю до $0,01 \text{ г}$.

2. Змащують кільце з внутрішньої сторони тонким шаром вазеліну.

3. Вирівнюють ножем поверхню ґрунту і ставлять на нього кільце гострим краєм вниз. Притримуючи кільце однією рукою, вирізують ножем ґрунт зовні кільця на глибину $5 \div 10 \text{ мм}$, формуючи стовпчик ґрунту, діаметром на $1 \div 2 \text{ мм}$ більшим, ніж зовнішній



діаметр кільця. Одночасно з цим, натискаючи на кільце, насаджують його на стовпчик ґрунту. Дію вирізування стовпчика ґрунту і насаджування на нього кільця продовжують до повного заповнення кільця ґрунтом (рис.4.1, а).

4. Після заповнення кільця ґрунт підрізують "на конус" (рис. 4.1, б) і виймають кільце з ґрунтом з моноліту.

ґрунт зрізують з двох сторін урівень з краями кільця. Зрізування виконують ножем від центра зразка до його периметра.

В пісок кільце просто втискають і зрізують надлишок ґрунту. Якщо ґрунт висипається з кільця, то його накривають заздалегідь зваженим склом і підхоплюють знизу плоскою лопаткою).

5. Кільце з ґрунтом зважують (маса m_2). Згідно з державним стандартом виконується не менше двох паралельних визначень щільності ґрунту з досліджуваного зразка ґрунту і вираховується середнє арифметичне. Різниця в паралельних визначеннях щільності ґрунту не повинна перевищувати 0,01 г/см для пісків і 0,03 г/см³ для глинистих ґрунтів. Якщо різниця перевищує допустиму, кількість визначень слід збільшити [3]. В навчальній роботі за браком часу можна виконувати по одному визначенню щільності зразків піску і глинистого ґрунту.

6. Щільність ґрунту ρ , г/см, вираховують з точністю до 0,01 г/см³ за формулою

$$\rho = \frac{m_2 + m_1}{V} \quad (4.2)$$

де m_1 – маса кільця, г;

m_2 – маса кільця з ґрунтом, г;

V – внутрішній об'єм кільця, см³.

Таблиця 4.2.

Визначення щільності ґрунту методом різального кільця (приклад заповнення)

Назва ґрунту	Маса кільця, г		Маса ґрунту $m_2 - m_1$	Об'єм кільця V , см ³	Щільність ґрунту ρ , г/см ³
	Порожнього m_1	З ґрунтом m_2			
Пісок	53,10	140,40	87,30	50	1,75
Глинистий	53,10	144,65	91,55	50	1,83

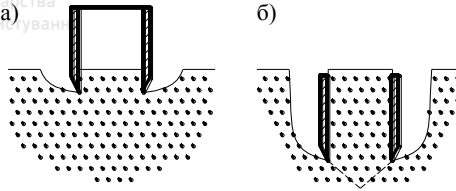


Рис. 4.1. Заглиблення кільця в ґрунт

Контрольні запитання

1. Що означає термін "ґрунт"?
2. З якою метою відбирають зразки ґрунту під час інженерних вишукувань?
3. Які фізичні характеристики ґрунтів визначають шляхом лабораторних випробувань?
4. Що називають щільністю ґрунту?
5. Якими методами можна визначити щільність ґрунту?
6. В яких випадках щільність ґрунту визначають методом парафінування?
7. В яких випадках щільність ґрунту визначають методом зважування в нейтральній рідині ?
8. З якою точністю повинна обчислюватись щільність ґрунту?

Робота № 2. **ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЧАСТИНОК ҐРУНТУ ПІКНОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ**

Щільністю частинок ґрунту ρ_s називають масу одиниці об'єму твердих скелетних частинок ґрунту. Вона визначається відношенням маси твердих частинок ґрунту m_s до їх об'єму V_s .

Щільність частинок ґрунту залежить від щільності мінералів, які входять в його склад. За наявності в більшості ґрунтів таких мінералів, як кварц (щільність $2,65 \text{ г/см}^3$), каолінит ($2,6 \div 2,63$), ортоклаз ($2,54 \div 2,57$), плагіоклаз ($2,67 \div 2,75$), біотит і мусковіт ($2,6 \div 3,0$), щільність частинок ґрунту коливається в межах $2,55 \div 2,75 \text{ г/см}^3$. Вона збільшується зі збільшенням вмісту в ґрунті важких мінералів (зі щільністю $3 \div 4$ і більше). Наявність органічних домішок знижує середню щільність частинок ґрунту. У більшості випадків щільність частинок піску дорівнює $2,65 \div 2,67 \text{ г/см}^3$, супісків $2,68 \div 2,72$, суглинків $2,69 \div 2,73$, глин $2,71 \div 2,76$. Для лесових супісків і суглинків Рівненщини вона становить $2,68 \div 2,69 \text{ г/см}^3$.



Мірна
риска



Фото 4.1.
Пікнометр

Щільність частинок пісків і глинистих ґрунтів звичайно визначається пікнометричним методом [3]. Масу твердих частинок m_s знаходять зважуванням пікнометрів як різницю між масою пікнометра з ґрунтом і масою порожнього пікнометра. Ґрунт повинен бути попередньо висушений при температурі $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$. Допускається використання ґрунту у повітряно-сухому стані, з визначенням його гігроскопічної вологості. Об'єм твердих частинок V_s визначається за масою витісненої ними рідини з відомою густиною (закон Архімеда) з допомогою спеціальних скляних колб з мірною рисою, які називають пікнометрами (фото 4.1).

Для звичайних незасолених ґрунтів використовують дистильовану воду. Для визначення щільності часток засолених ґрунтів, які містять водорозчинні солі (хлориди, бікарбонати, сульфати, карбонат натрію), воду необхідно замінити нейтральною рідиною, наприклад, гасом.

Під час заливання рідиною ґрунту в пікнометрі залишаються бульки повітря, які у випадку застосування дистильованої води видаляють кип'ятінням, а з використанням гасу – вакуумуванням. Забезпечити правильне визначення об'єму твердих частинок ґрунту пікнометричним методом можна лише за умови, що рідина, яку застосовують для цього, під час усіх зважувань має однакову густину, а це буває, коли температура води перевіряється, а після кип'ятіння доводиться до початкової (кімнатної) шляхом охолодження пікнометра у ванні з водою.

Для кожного зразка ґрунту щільність часток визначають двічі. Допустима різниця результатів паралельних визначень для щільності часток ґрунту $\rho_s < 2,75 \text{ г/см}^3$ не повинна перевищувати $0,02 \text{ г/см}^3$, а для $\rho_s > 2,75 \text{ г/см}^3 - 0,03 \text{ г/см}^3$.

Якщо різниця перевищує допустиму, кількість визначень належить збільшити. Значення ρ_s вираховують як середнє арифметичне результатів паралельних визначень з точністю до $0,01 \text{ г/см}^3$. У навчальній роботі можна виконувати по одному визначенню для піску і для глинистого ґрунту.



Необхідні прилади

1. Пікнометр ємкістю 100 см^3 (рис.4.2).
2. Сито з отворами 2 мм.
3. Ступка з фарфоровим товчачиком.
4. Лабораторна вага (терези або електронна).
5. Сушильна шафа з термометром.
6. Піщана баня (електроплитка з піском).
7. Ванна з водою.
8. Піпетка.

Методика визначення щільності частинок ґрунту

1. Зразок ґрунту в повітряно-сухому стані подрібнюють у фарфоровій ступці фарфоровим товчачиком і просіюють крізь сито з отворами сітки 2 мм.

2. Зважують на терезах добре висушений пікнометр (маса m').

3. Обережно всипають відібрану пробу ґрунту в пікнометр. Маса проби не менше 15 г. Пікнометр з ґрунтом зважують (маса m'').

4. Визначають масу ґрунту в пікнометрі в повітряно-сухому стані

$$m_1 = m'' - m' \quad (4.3)$$

5. Обчислюють масу ґрунту в пікнометрі з урахуванням поправки на гігроскопічну* вологість за формулою

$$m_0 = \frac{m_1}{1 + W_g} \quad (4.4)$$

де W_g - гігроскопічна вологість ґрунту, в частках одиниці.

6. У пікнометр з ґрунтом наливають дистильовану воду приблизно на 1/2 його ємкості. Збовтують суспензію в пікнометрі і кип'ятять на піщаній бані, не допускаючи розбризкування, для видалення адсорбованого повітря і розчленування агрегатів (сукупностей мінеральних часток). Піски і супіски кип'ятять 30 хвилин, суглинки і глини – 1 годину (в навчальній лабораторній роботі час кип'ятіння скорочують).

7. Пікнометр трохи охолоджують, доливають дистильовану воду та остаточно охолоджують у ванні з водою до кімнатної

*Гігроскопічність – здатність матеріалів і речовин, у тому числі ґрунту, поглинати вологу з оточуючого середовища, звичайно це пара води з повітря.



температури. Температуру пікнометра визначають за температурою води у ванні з точністю до $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

8. Заповнюють пікнометр дистильованою водою до рівня трохи нижчого мірної риски, а потім, додаючи воду піпеткою

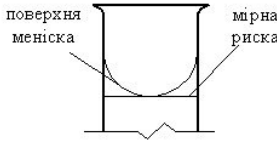


Рис. 4.2. Положення меніска відносно мірної риски пікнометра

окремими краплями, доводять нижній край меніска до рівня мірної риски (рис. 4.2). Пікнометр з водою і ґрунтом старанно витирають фільтрувальним папером (зовні і всередині вище меніска) і зважують (маса m_2)

9. Вміст пікнометра (суспензію ґрунту) виливають, пікнометр старанно промивають, наповнюють до мірної риски дистильованою водою кімнатної температури і зважують (маса m_3).

10. На підставі одержаних даних щільність частинок ґрунту ρ_s г/см³, вираховують за формулою

$$\rho_s = \frac{\rho_w \cdot m_0}{m_0 + m_3 - m_2} \quad (4.5)$$

де ρ_w – густина води (або нейтральної рідини) при температурі дослідів, г/см (в лабораторній роботі приймають $\rho_w = 1,00$ г/см або в залежності від температури приймають з табл. 4.3);

m_0 – маса сухого ґрунту, г;

m_2 – маса пікнометра з водою і ґрунтом, г;

m_3 – маса пікнометра з водою, г.

Не важко встановити, що знаменник формули ($m_0 + m_3 - m_2$) – це є маса рідини, витісненої твердими частинками ґрунту. Діленням її на густину рідини ρ_w одержуємо об'єм твердих частинок ґрунту ρ_s .

11. Результати визначень з точністю до $0,01$ г/см³ заносять в таблицю 4.4

Таблиця 4.3.

Густина води при різних температурах

Температура, °C	Густина, г/см ³	Температура, °C	Густина, г/см ³
0÷12	1,000	24÷27	0,997
13÷18	0,999	28÷30	0,996
19÷23	0,998	31÷33	0,995



Визначення щільності частинок ґрунту пікнометричним методом
(приклад заповнення)

Назва ґрунту	№ пікнометра	Маса пікнометра m' , г	Маса пікнометра з ґрунтом m'' , г	Маса ґрунту $m_1 = m'' - m'$, г	Маса сухого ґрунту $m_0 = m/(1+Wg)$, г	Маса пікнометра з водою і ґрунтом m_2 , г	Маса пікнометра з водою m_3 , г	Щільність частинок ґрунту ρ_s , г/см ³
Пісок	12	35,8	50,95	15,15	15,0	145,26	135,9	2,66
Глинистий	14	32,2	51,28	19,08	18,0	150,73	139,4	2,70

Примітка. Гігроскопічна вологість піску в прикладі $W_g=0,01$, глинистого ґрунту – $W_g=0,03$.

Контрольні запитання

1. Що називають щільністю частинок ґрунту?
2. В яких межах буває щільність частинок ґрунту?
3. Від чого залежить щільність частинок ґрунту?
4. Які прилади необхідні для визначення щільності частинок ґрунту?
5. Яким методом визначається щільність частинок ґрунту?
6. Що таке пікнометр? Нарисуйте його.
7. Як визначається об'єм твердих частинок ґрунту?
8. Яку рідину застосовують для визначення щільності частинок незасолених ґрунтів?
9. Яку рідину застосовують для визначення щільності частинок засолених ґрунтів?
10. Як видаляють повітря, адсорбоване на поверхні частинок, застосовуючи для визначення ρ_s дистильовану воду, і як, застосовуючи газ?

Робота № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ

Вологістю ґрунту W називають відношення маси води, яку містить зразок ґрунту, до маси цього ґрунту, висушеного при температурі $(105\pm 2)^\circ\text{C}$ до сталої маси.

Необхідні прилади

1. Бюкси алюмінієві або скляні.
2. Лабораторна вага.



3. Сушильна шафа з термометром.
4. Ексикатор з хлористим кальцієм (для вбирання вологи).
5. Шпатель металевий.

Методика визначення вологості ґрунту

1. Зважують порожній бюкс з кришкою (маса m_0), записують в журнал номер бюкса і його масу (табл. 4.6).

2. Кладуть в бюкс не менше 15 г досліджуваного ґрунту і щільно закривають кришкою.

3. Зважують бюкс з ґрунтом (маса m_1).

4. Висушують ґрунт в сушильній шафі в бюксі зі знятою кришкою при температурі $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ до сталої маси, тобто до тих пір, поки різниця між двома наступними зважуваннями буде не більше 0,02 г. Первинне висушування пісків проводять протягом 3 годин, інших ґрунтів – протягом 5 годин. Кожне наступне висушування пісків проводять протягом 1 години, інших ґрунтів – протягом 2 годин.

Загіпсовані ґрунти висушують при температурі $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$ протягом 8 годин. Наступні висушування протягом 2 годин.

5. Після кожного висушування ґрунт у бюксі охолоджують в ексикаторі з хлористим кальцієм до температури приміщення і зважують (маса m_2).

6. Вологість ґрунту W , %, визначають за формулою

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \quad (4.6)$$

де m_0 – маса бюкса з кришкою, г;

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

m_2 – маса висушеного ґрунту з бюксом і кришкою, г.

Для кожного зразка ґрунту виконують не менше двох визначень вологості W . Різниця результатів паралельних визначень не повинна перевищувати допустимі значення, наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5.

Допустима різниця Δ результатів паралельних визначень вологості ґрунту

Вологість ґрунту W , %					
	1÷5	5÷10	10÷50	50÷100	>100
Δ , %	0,2	0,6	2,0	4,0	5,0



8. Значення вологості W обчислюють як середнє арифметичне із результатів паралельних визначень вологості ґрунту. Під час обробки результатів дослідів вологість до 30% обчислюють з точністю до 0,1% (0,001), вологість 30% і більше – з точністю до 1% (0,01). У навчальній лабораторній роботі можна виконувати по одному визначенню вологості для зразків піску і глинистого ґрунту і по одному зважуванню.

Таблиця 4.6.

Визначення вологості ґрунту (приклад заповнення)

Назва ґрунту	№ б'юкса	Маса б'юкса, г			Вологість, W , %
		Порожнього, m_0	З вологим ґрунтом, m_1	З сухим ґрунтом, m_2	
Пісок	239	14,25	41,30	39,48	7,2
Глинистий	230	14,05	39,15	35,67	16,1

Контрольні запитання

1. Що називають вологістю ґрунту?
2. Які прилади необхідні для визначення вологості ґрунту?
3. При якій температурі повинні висушуватися ґрунти для визначення їх вологості?

Лабораторне заняття № 2. Визначення різновидів піску.

Піском називають незв'язний мінеральний ґрунт, в якому маса частинок розміром менше 2 мм складає понад 50% і число пластичності $I_p = 0$.

Різновиди піску виділяються за: гранулометричним складом, ступенем неоднорідності гранулометричного складу, коефіцієнтом пористості, коефіцієнтом водонасичення.

Робота № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ І РІЗНОВИДІВ ПІСКУ ЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧНИМ СКЛАДОМ ТА СТУПЕНЕМ НЕОДНОРІДНОСТІ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ

Гранулометричним (зерновим) складом ґрунту називається ваговий вміст в ґрунті твердих частинок різної крупності, виражений у відсотках відносно до маси проби сухого ґрунту, взятого для аналізу.

Визначення гранулометричного складу полягає в розділенні ґрунту на фракції (групи частинок близьких за крупністю) і



Фото 4.2. Набір сит

визначенні їх відсоткового вмісту.

Гранулометричний склад пісків визначають ситовим методом (набір сит - фото 4.2): без промивання водою – для виділення частинок розміром від 10 до 0,5 мм; з промиванням водою – для виділення частинок розміром від 10 до 0,1 мм.

Необхідні прилади для визначення гранулометричного складу ґрунту з промиванням водою

1. Набір сит з розмірами отворів 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм.
2. Фарфорова ступка і товчачик з гумовим наконечником.
3. Сушильна шафа.
4. Ексикатор з хлористим кальцієм.
5. Фарфорова чашка.
6. Гумова груша.
7. Лабораторні ваги.
8. Ніж.

Методика визначення

1. Сита монтують в колонку, розташовуючи їх у порядку збільшення розмірів отворів знизу догори.

2. Середню пробу повітряно-сухого ґрунту для аналізу відбирають методом квартування. Для цього розподіляють ґрунт тонким шаром на аркуші цупкого паперу або на фанері, проводять ножем у поздовжньому і поперечному напрямках борозни, розділяючи поверхню ґрунту на квадрати, і відбирають потроху ґрунту із кожного квадрата.

Маса середньої проби повинна бути: для ґрунтів, які не містять часток розміром більше 2 мм – 100 г; для ґрунтів, які містять до 10% (від ваги) часток розміром більше 2 мм – 500 г; якщо їх вміст від 10 до 30% – 1000 г, а більше 30% – не менше 2000 г.

У навчальній лабораторній роботі рекомендуються використовувати ґрунти з розміром частинок менше 2 мм.

3. Пробу ґрунту – 100 г, зважують з точністю до 0,01 г, висипають на сито з отворами 0,1 мм і промивають до повного освітлення води. В навчальній роботі за браком часу ґрунт можна не промивати.

4. Ті частинки ґрунту, що залишилися на ситі, підсушують до повітряно-сухого стану і просіюють крізь набір сит з отворами 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм горизонтальним струшуванням протягом 3÷4 хвилин. Якість просіювання перевіряють над аркушем паперу. Якщо на аркуш випадають частинки ґрунту, то їх пересипають в нижнє сито і просіювання продовжують, якщо частки не випадають, то просіювання закінчують.

5. Фракції, що залишилися на ситах, послідовно зважують з точністю до 0,01 г і виражають в % від загальної ваги.

Розрахунок процентного вмісту фракцій виконується за формулою

$$A = \frac{m_{\phi}}{m_{np}} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

де m_{ϕ} – маса даної фракції ґрунту, г;

m_{np} – маса середньої проби ґрунту, взятої для аналізу, г.

Маси окремих фракцій складають і порівнюють з масою проби. Розходження в 1% допустиме. Його величину розносять пропорційно масі фракцій. Результати зважування і розрахунок процентного вмісту фракцій записують в таблицю. Нижче наведено приклад заповнення таблиці.

Таблиця 4.7.

Результати ситового аналізу ґрунту (приклад заповнення)

Розмір отворів сит, мм	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1	Піддон
Розмір фракцій (залишок на ситі), мм	>10	10÷5	5÷2	2÷1	1÷0,5	0,5÷0,25	0,25÷0,1	<0,1
Маса фракцій, г	-	-	-	21,70	11,40	32,82	30,91	3,17
Вміст фракцій, %	-	-	-	21,70	11,40	32,82	30,91	3,17
Сумарний вміст частинок, більших даного діаметра, %	>10		>2		>0,5	>0,25	>0,1	
	0		0		33,10	65,92	96,83	
Сумарний вміст частинок, менших даного діаметра, %	<10	<5	<2	<1	66,90	<0,25	<0,1	
			100,0	78,30		34,08	3,17	



6. Різновид піску за його гранулометричним складом встановлюють послідовним підсумовуванням вмісту частинок більших даного діаметра – спочатку крупніших за 2 мм, потім – 0,50; 0,25 і 0,10 мм та порівнянням вмісту з класифікаційними критеріями (табл. 4.8). Назву приймають за першою задовольняючою ознакою.

Таблиця 4.8.

Дані для визначення різновиду великоуламкових ґрунтів і пісків

Різновид ґрунту	Розмір зернин, частинок d , мм	Вміст зернин, частинок, % за масою
Великоуламкові:		
– валунний (при переважній більшості неокатаних частинок – бриловий)	>200	>50
– гальковий (при неокатаних гранях – щебенистий)	>10	>50
– гравійний (при неокатаних гранях – дресв'яний)	>2	>50
Піски:		
– гравіюватий	>2	>25
– крупний	>0,50	>50
– середньої крупності	>0,25	>50
– дрібний	> 0,10	≥ 75
– пилюватий	> 0,10	<75

7. За даними ситового аналізу ґрунту, результати якого наведені в табл. 4.7, цей ґрунт належить до пісків середньої крупності, тому що частинок крупніших за 0,25 мм він вміщує $65,92\% > 50\%$.

8. Назва великоуламкових ґрунтів і пісків повинна доповнюватися ступенем неоднорідності зернового складу $C_u = d_{60}/d_{10}$, для визначення якого будують сумарну криву гранулометричного складу - інтегральну (сумарну) криву, котра відображує сумарний процентний вміст фракцій менших певного діаметра. Для великого діапазону визначення розмірів фракцій, наприклад, від 0,001 мм до 10 мм або від 0,01 до 10 мм крива будується в напівлогарифмічному масштабі. Для побудови кривої на осі абсцис відкладають логарифм діаметрів частинок, а на осі ординат - процентний вміст часток, діаметр яких менший від



діаметра, зазначеного на осі абсцис. Якщо діапазон визначення розмірів фракцій менший, наприклад, від 0,1 до 2 мм, криву можна накреслити у звичайному масштабі.

За ступенем неоднорідності гранулометричного складу C_u великоуламкові ґрунти і піски підрозділяють на:

- однорідний ґрунт $C_u \leq 3$;
- неоднорідний ґрунт $C_u > 3$.

За даними таблиці 4.7 крива має вигляд, показаний на рисунку 4.3, і за класифікацією пісок цей неоднорідний, тому що

$$C_u = d_{60}/d_{10} = 0,43/0,13 = 3,3 > 3, \quad (4.8)$$

де d_{60} , d_{10} – діаметри часток, мм, менше яких у ґрунті міститься відповідно 60 та 10% (за масою) частинок.

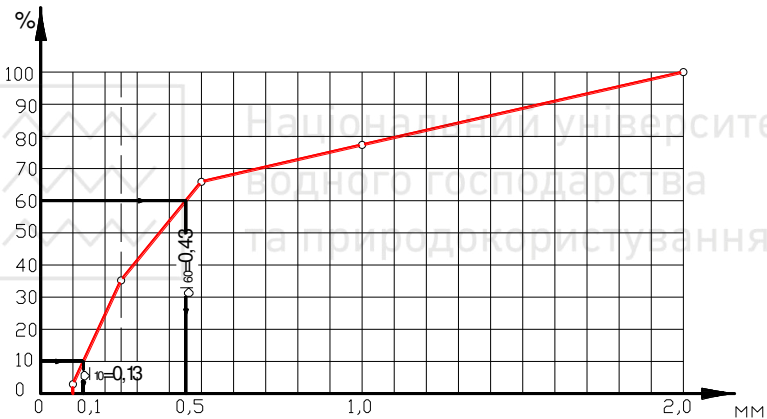


Рис. 4.3. Сумарна крива гранулометричного складу піску

Контрольні запитання

1. Які ґрунти називають великоуламковими?
2. Який ґрунт називають піском?
3. Що названо гранулометричним складом ґрунту?
4. Яким методом визначають зерновий (гранулометричний) склад піску?
5. Сита якого діаметра входять у стандартний набір?
6. Які за розміром частки виділяють ситовим методом без промивання водою?



7. Які за розміром частинки виділяють ситовим методом з промиванням водою?
8. До якого різновиду відносять пісок, якщо він вміщує (за масою) понад 50% частинок крупніших за 0,25 мм; крупніших 0,50 мм.
9. До якого різновиду відносять пісок, якщо він вміщує (за масою) менше 75% (більше 75%) частинок крупніших 0,10 мм?
10. Як підрозділяють піски і великоуламкові ґрунти за ступенем неоднорідності C_u ?

Робота № 5. ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНОВИДІВ ПІСКІВ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ПОРИСТОСТІ І ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ВОДОНАСИЧЕННЯ. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ОПОРУ ПІСКУ R_0

Будівельні властивості пісків залежать не тільки від їх зернового складу, але і від їх стану – щільності будови та водонасичення. Це видно з таблиці 4.12, в якій наведені значення розрахункового опору пісків.

За щільністю будови в залежності від коефіцієнта пористості e піски підрозділяють на щільні, середньої щільності і пухкі, за коефіцієнтом водонасичення S_r – на малого ступеню водонасичення, середнього ступеню водонасичення та насичені водою (таблиці 4.9 і 4.10).

Коефіцієнтом пористості e називають відношення об'єму пор зразку ґрунту до об'єму твердих частинок ґрунту. Його визначають за формулою

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1 \quad (4.9)$$

Різнавид піску за коефіцієнтом пористості визначається з таблиці 4.9.

Коефіцієнтом водонасичення S_r називають ступінь заповнення об'єму пор водою. Він визначається за формулою

$$S_r = \frac{\rho_s W}{\rho_w e} \quad (4.10)$$

У формулах 4.9 і 4.10:

ρ_s – щільність частинок ґрунту, г/см³;

ρ – щільність ґрунту, г/см³;



W – вологість ґрунту, в долях одиниці;

ρ_w , – густина води, що дорівнює 1 г/см^3 .

Різновид піску за коефіцієнтом водонасичення S_r , визначається з таблиці 4.10.

Для лабораторної роботи № 5 основні фізичні характеристики: щільність ґрунту ρ , вологість ґрунту W , щільність частинок ґрунту ρ_s – приймаються з лабораторних робіт №№ 1, 2 і 3; різновид піску за гранулометричним складом – з лабораторної роботи № 4.

Так для піску середньої крупності, розглянутого в лабораторних роботах № 1÷4, основні фізичні характеристики якого $\rho=1,74 \text{ г/см}^3$, $\rho_s=2,66 \text{ г/см}^3$, $W=7,2\%$, коефіцієнт пористості e дорівнює:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1 = \frac{2,66}{1,74} (1 + 0,072) - 1 = 0,639$$

а коефіцієнт водонасичення

$$S_r = \frac{\rho_s W}{\rho_w e} = \frac{2,66 \cdot 0,072}{1,0 \cdot 0,639} = 0,3$$

З таблиць 4.9 і 4.10 визначаємо, що з цими показниками пісок середньої крупності має середню щільність ($0,55 < e < 0,70$) і малий ступінь водонасичення.

Повна назва дослідженого в лабораторних роботах ґрунту пісок середньої крупності, неоднорідний, середньої щільності, малого ступеню водонасичення.

Розрахунковий опір піску середньої крупності середньої щільності $R_\theta=400 \text{ кПа}$ (див. табл. 4.12).

Таблиця 4.9.

Різновиди пісків за коефіцієнтом пористості e

Різновид піску	Коефіцієнт пористості e		
	<i>Піски гравіюваті, крупні та середньої крупності</i>	<i>Піски дрібні</i>	<i>Піски пилуваті</i>
Щільний	<0,55	<0,60	<0,60
Середньої щільності	0,55÷0,70	0,60÷0,75	0,60÷0,80
Пухкий	>0,70	>0,75	>0,80



Таблиця 4.10.

Різновиди великоуламкових ґрунтів і пісків за коефіцієнтом
водонасичення S_r

Різнovid ґрунтів	Коефіцієнт водонасичення S_r , д.о.
Малого ступеню водонасичення	$0,00 \leq S_r \leq 0,50$
Середнього ступеню водонасичення	$0,50 < S_r \leq 0,80$
Насичені водою	$S_r > 0,80$

Таблиця 4.11.

Розрахунковий опір R_0 великоуламкових ґрунтів

Великоуламкові ґрунти	Значення R_0 , кПа
Галькові (щербеністі) з заповнювачем: <i>піщаним</i>	600
<i>глинистим з показником текучості:</i> $I_L \leq 0,5$	450
$0,5 < I_L \leq 0,75$	400
Гравійні (жорств'яні) з заповнювачем: <i>піщаним</i>	500
<i>глинистим з показником текучості:</i> $I_L \leq 0,5$	400
$0,5 < I_L \leq 0,75$	350

Таблиця 4.12.

Розрахунковий опір R_0 пісків

Піски	Значення R_0 , кПа, у залежності від щільності пісків	
	щільні	середньої щільності
Крупні	600	500
Середньої крупності	500	400
Дрібні:		
<i>малого ступеню водонасичення</i>	400	300
<i>середнього ступеню водонасичення і насичені водою</i>	300	200
Пилуваті:		
<i>малого ступеню водонасичення</i>	300	250
<i>середнього ступеню водонасичення</i>	200	150
<i>насичені водою</i>	150	100



Робота № 6. ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНОВИДІВ ГЛИНИСТИХ ГРУНТІВ ТА ЇХ РОЗРАХУНКОВОГО ОПОРУ R_0

Глинистими називають зв'язні мінеральні ґрунти, що мають число пластичності $I_p \geq 1$. Глинистим ґрунтам властива пластичність – здатність при певній вологості деформуватися під дією зовнішніх сил і зберігати набуту форму після припинення їх дії без порушення цілісності цих ґрунтів.

Пластичність глинистих ґрунтів зумовлена наявністю в них глинистих частинок у вигляді лусок найбільшим розміром 0,005 мм і товщиною менше 0,001 мм. В залежності від вмісту глинистих частинок глинисті ґрунти поділяють на супіски, суглинки і глини. Супіски містять приблизно від 3 до 10% частинок менше 0,005 мм, суглинки – від 10 до 30%, глини – понад 30%. Ці межі різні для різних глинистих мінералів (каолініту, монтморилоніту, гідролюд та ін.), і це викликає труднощі у визначенні різновидів глинистих ґрунтів за їх зерновим складом. Тому різновиди глинистих ґрунтів прийнято визначати за їх пластичністю і консистенцією.

Показниками пластичності ґрунту є: границя текучості W_L , границя розкочування W_p і число пластичності I_p , що вимірюються у відсотках.

Границя текучості W_L – це вологість ґрунту в момент його переходу з пластичного стану в текучий (рис. 4.4).

Границя розкочування W_p – це вологість ґрунту в момент його переходу з твердого в пластичний стан.

Числом пластичності I_p називають різницю між вологостями, які відповідають границі текучості і границі розкочування.

$$I_p = W_L - W_p, \% \quad (4.1)$$

За числом пластичності I_p глинисті ґрунти підрозділяють на супіски, суглинки і глини згідно з таблицею 4.13.

Таблиця 4.13.

Різновиди глинистих ґрунтів за числом пластичності I_p

Різновид ґрунту	Число пластичності $I_p, \%$
Супісок	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$



В залежності від вмісту води стан глинистих ґрунтів змінюється і може бути твердим, пластичним або текучим (рис. 4.4).

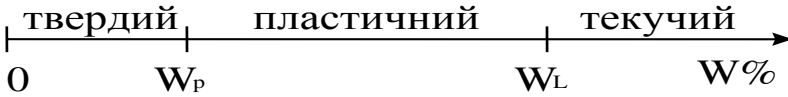


Рис. 4.4. Стан глинистого ґрунту в залежності від його вологості

Різновид глинистого ґрунту в залежності від його вологості виділяють за показником текучості I_L згідно з таблицею 4.14.

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} \quad (4.12)$$

де W – вологість ґрунту.

Таблиця 4.14.

Різновиди глинистих ґрунтів за показником текучості I_L

Різновид ґрунтів	Показник текучості I_L
<i>Супісок:</i>	
Твердий	$I_L < 0,00$
Пластичний	$0,00 \leq I_L \leq 1,00$
Текучий	$I_L > 1,00$
<i>Суглинки та глини:</i>	
Тверді	$I_L \leq 0,00$
Напівтверді	$0,00 \leq I_L \leq 0,25$
Тугопластичні	$0,25 < I_L \leq 0,50$
М'якопластичні	$0,50 < I_L \leq 0,75$
Теучопластичні	$0,75 < I_L \leq 1,00$
Текучі	$I_L > 1,00$

Необхідні прилади для визначення показників пластичності глинистих ґрунтів

1. Балансирний конус масою 76 г.
2. Фарфорова ступка і товкачик з гумовим наконечником.
3. Шпатель.
4. Сито з отворами розмірами 1 мм (сито №1).
5. Скляна посудина з покриттям.
6. Лабораторна вага.
7. Алюмінієві або скляні бюкси.
8. Сушильна шафа.
9. Технічний вазелін.



Методика визначення границі текучості W_L

1. Зразок ґрунту в повітряно-сухому стані роздрібнюють гумовим товчачиком, просіюють крізь сито №1, зволожують дистильованою водою до стану густої пасти і витримують у закритій скляній посудині не менше 2-х годин для рівномірного розподілу вологи (ґрунтову пасту готує лаборант).

2. Ґрунтову пасту щільно укладають шпателем в стандартний металевий стаканчик, не залишаючи порожнин. Поверхневий шар ґрунту вирівнюють шпателем врівень з краєм стаканчика.

3. До поверхні ґрунту підносять вістря балансного конуса, змащеного тонким шаром технічного вазеліну. Конус плавно відпускають, дозволяючи йому заглиблюватись в ґрунт під дією власної ваги. Через 5 секунд відмічають положення кільцевої риски на конусі (рис.4.5).

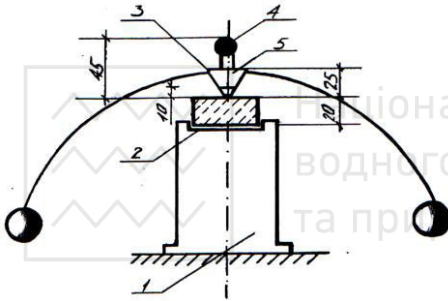


Рис 4.5. Схема приладу (балансного конуса) для визначення границі текучості

1 - підставка; 2- стаканчик; 3-кільцева риска; 4-ручка; 5-конус.

Границі текучості W_L відповідає така вологість ґрунту, при якій конус заглиблюється за 5 секунд на глибину 10 мм (до риски).

Якщо конус не заглибився до риски, то це означає, що вологість ґрунту не досягла межі текучості. У такому випадку ґрунт перекладають в посудину, доливають трохи дистильованої води, старанно перемішують її з ґрунтом і дослід повторюють.

Якщо конус заглибився більш ніж на 10 мм, то це означає, що вологість більша межі текучості. У такому випадку ґрунтову пасту із стаканчика перекладають у фарфорову чашку, перемішують шпателем, зменшуючи вологість, і дослід повторюють.

5. Після досягнення границі текучості

з пасти відбирають пробу 15-20 г, кладуть її в бюкс і визначають вологість згідно з методикою, описаною в лабораторній роботі № 3.

6. Для кожного зразка проводять 2 паралельних визначення границі текучості, при чому за границю текучості приймають середнє арифметичне результатів паралельних визначень вологості.



Розходження в паралельних визначеннях понад 2% не допускається. (У навчальній лабораторній роботі можна виконувати одне визначення границі текучості).

Методика визначення границі розкочування W_p

1. Грунтову пасту, яка залишилася після визначення границі текучості, ретельно перемішують і розкочують долонею на рівній поверхні (на аркуші глянцевого або провощеного паперу) в джгут діаметром 3 мм. Якщо джгут при цьому зберігає зв'язність і пластичність, то його переминають і знову розкочують до вказаної товщини. Для порівняння можна використати дужки балансирного конуса, які мають товщину 3 мм. Довжина джгута не повинна перевищувати ширини долоні.

Розкочування продовжують до тих пір, доки джгут діаметром близько 3 мм почне ділитися впоперек на окремі шматочки завдовжки 3÷10 мм (рис.4.6).

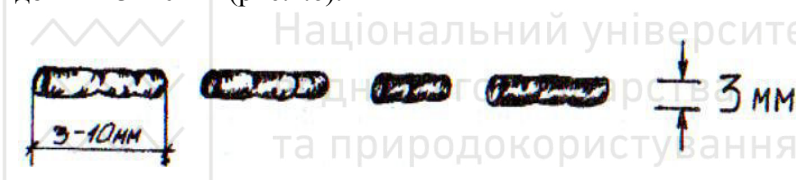


Рис. 4.6 Ділення ґрунтового ґрунту на межі розкочування

2. Одержані шматочки джгута діаметром 3 мм кладуть в заздалегідь зважений бюкс (набрати треба приблизно 10÷15 г) і визначають їх вологість за методикою, описаною в лабораторній роботі № 3.

Якщо з підготовленої ґрунтової пасти неможливо розкотити джгут діаметром 3 мм, тому що ґрунт розсипається, то такий ґрунт не має межі розкочування, або ґрунт пересушений.

Для кожного зразка ґрунту виконують не менше двох паралельних визначень границі розкочування. Розбіжність між одержаними результатами не повинна перевищувати 2%. У навчальній лабораторній роботі виконують одне визначення.

3. За границю розкочування зразка ґрунту приймають середнє арифметичне результатів паралельних визначень вологості.

Результати визначень заносять в табл.4.15.



Результати визначення границь пластичності ґрунту
(приклад заповнення)

№ бюкса	Найменування границі пластичності	Маса бюкса, г			Маса води в ґрунті $m_1 - m_2$, г	Маса сухого ґрунту $m_2 - m_0$, г	Вологість $W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100\%$
		Порожнього, m_0	З вологим ґрунтом, m_1	З сухим ґрунтом, m_2			
210	W_L	15,5	40,2	35,5	4,7	20,0	23
167	W_P	14,2	24,9	23,5	1,4	9,3	15

Визначення різновидів глинистих ґрунтів

Користуючись отриманими значеннями W_L і W_P і врахувавши число пластичності I_P , встановлюють різновид ґрунту за числом пластичності.

Приклад. Визначити різновид глинистого ґрунту, а також розрахунковий опір R_0 для нього за даними лабораторних досліджень, якщо $W_p = 23\%$, $W_L = 15\%$, $W = 18\%$; $p_s = 2,70 \text{ г/см}^3$; $p = 2,07 \text{ г/см}$.

Рішення. 1. Визначаємо різновид глинистого ґрунту за числом пластичності I_P

$$I_P = W_L - W_P = 23 - 15 = 8.$$

За таблицею 4.13, різновид ґрунту – суглинок ($7 < I_P \leq 17$).

2. Визначаємо різновид ґрунту за показником текучості I_L .

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P} = \frac{18 - 15}{23 - 15} = 0,375$$

За таблицею 4.14 це суглинок тугопластичний ($0,25 < I_L = 0,375 \leq 0,50$).

3. Обчислюємо коефіцієнт пористості

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1 = \frac{2,70}{2,07} (1 + 0,18) - 1 = 0,539.$$

Шляхом інтерполяції визначаємо з таблиці 4.16 розрахунковий опір ґрунту: $R_0 = 286 \text{ кПа}$.



Розрахунковий опір R_0 глинистих непросідаючих ґрунтів

Глинисті ґрунти	Коефіцієнт пористості e	Значення R_0 , кПа, при показнику текучості ґрунту	
		$I_L = 0$	$I_L = 1$
Супіски	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100
Глини	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

Примітки.

1. Для ґрунтів у твердому стані з $I_L < 0$ розрахунковий опір R_0 визначають як для ґрунту з $I_L = 0$.

2. Ґрунти в текучому стані з $I_L > 1$ вважаються "слабкими". Будівництво на них можливе тільки після додаткових заходів і лабораторних досліджень. Тому у будівельних нормах значення R_0 для ґрунтів з $I_L > 1$ не наведені.

3. Для ґрунтів з проміжним значенням e і I_L розрахунковий опір ґрунту R_0 визначають користуючись інтерполяцією.

Контрольні запитання

1. Які ґрунти називають глинистими?
2. За якою формулою визначається число пластичності?
3. Назвіть границі пластичності глинистих ґрунтів?
4. Що називають границею текучості?
5. Що називають границею розкочування?
6. Які прилади необхідні для визначення границі текучості?
7. Які прилади необхідні для визначення границі розкочування?
8. Як визначається границя текучості?
9. Як визначається границя розкочування?
10. Нарисуйте прилад для визначення границі текучості.
11. Як підрозділяють глинисті ґрунти за числом пластичності?
12. Який ґрунт називають супіском, а який – суглинком чи глиною?



13. Як називають зв'язний мінеральний ґрунт, якщо $I_p = 5$ ($I_p=15$, $I_p = 25$)?
14. За якою формулою визначають показник текучості I_L ?
15. В якому стані перебувають глинисті ґрунти, якщо $I_L < 0$?
16. В якому стані супісок, якщо $I_L = 0,6$?
17. В якому стані суглинок, якщо $I_L = 0,6$?
18. В якому стані глина, якщо $I_L = 0,8$ ($I_L > 1$)?
19. Визначте з таблиці розрахунковий опір ґрунту R_0 для супіску, якщо показник текучості $I_L = 0$, коефіцієнт пористості $e = 0,5$ (табл.4.16).
20. Визначте розрахунковий опір R_0 глинистого ґрунту, у $I_p = 3$; $I_L = 1,0$; $e = 0,7$ (табл.4.16).

Контрольний тест

Визначте розрахунковий опір R_0 глинистого ґрунту, якщо $W_L = 40\%$, $W_p = 20\%$, $W = 30\%$, $p_s = 2$, 70 г/см^3 , $p = 1,75 \text{ г/см}^3$.



Лабораторне заняття №4

Робота № 7. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І МАКСИМАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ

У будівельній практиці широко застосовується штучне ущільнення ґрунтів з метою поліпшення їх будівельних властивостей. Ущільненням називають штучне зменшення пористості ґрунту за допомогою ущільнюючих механізмів (важких трамбівок, котків тощо), або іншими методами – замочуванням ґрунту, вибухами, статичним навантаженням. Ущільнюють дуже стисливі ґрунти, які в природному стані не можуть слугувати основою будівель і споруд, та техногенні ґрунти з порушеною структурою, коли вони є матеріалом для створення інженерних споруд – дамб, гребель, насипів, ґрунтових подушок тощо.

Ефективність ущільнення в значній мірі залежить від вологості ґрунту. При недостатній вологості ефективність процесу ущільнення знижується, а при перезволоженні ($S_r > 0,8$) ущільнення стає практично неможливим. Вода обволікає поверхню частинок ґрунту і служить при певній вологості як би мастилом, зменшуючи тертя між частинками. З подальшим збільшенням вологості тиск від ущільнюючого навантаження починає передаватися не тільки на



скелет ґрунту, але частково і на порову воду. Тому подальше ущільнення ґрунту можливе лише за умови витіснення води, яка заповнює пори. Це потребує тривалої дії ущільнюючого навантаження, а ущільнення важкими трамбівками стає практично неможливим. Ці явища пояснюються теоретичними дослідженнями властивостей плівок фізично зв'язаної води в ґрунті, виконаними Б.В.Дерягіним. Однією з властивостей цього стану води (плівкової води) є наявність аналогічного твердим тілам опору деформаціям зсуву наявність модуля зсуву* (пружності форми) і межі текучості. Для чистої води модуль зсуву при товщині плівки води 0,09 мкм дорівнює приблизно 20 000 кПа, а при товщині плівки понад 0,15 мкм – зменшується до нуля.

Вологість, за якої досягається максимальна щільність ґрунту, називається оптимальною вологістю. Можна вважати, що оптимальна вологість при заданій ущільнюючій силі відповідає певній товщині плівок води.

Оптимальну вологість в лабораторних умовах визначають методом стандартного ущільнення. Метод полягає у виявленні залежності щільності скелета ґрунту p_d^{**} від вологості W шляхом трамбування зразків зі сталими незмінними витратами роботи на їх ущільнення і у визначенні за цією залежністю максимальної щільності скелета ґрунту p_{dmax} і відповідної їй вологості, яку називають оптимальною вологістю.

Для встановлення залежності щільності скелета ґрунту p_d від вологості W проводять серію окремих випробувань ґрунту на ущільнення з поступовим збільшенням його вологості. Результати випробувань подають у вигляді графіка. Кількість окремих випробувань не повинна бути менше шести.

Дослід проводять на приладі "СоюздорНДІ" для стандартного ущільнення ґрунту (рис.4.7) ударами вантажу масою 2,5 кг, який падає з висоти 300 мм. Результати дослідження заносять в журнал (табл.4.17).

*Модуль зсуву G – одна з величин, що характеризують пружні властивості твердого тіла. $G = \tau/\gamma$, де τ – дотичне напруження, γ – кут зсуву.

**Щільність скелета ґрунту p_d – це щільність сухого ґрунту – відношення маси сухого ґрунту (без маси води в порах) до об'єму ґрунту. Визначається за формулою $p_d = p / (1 + W)$.

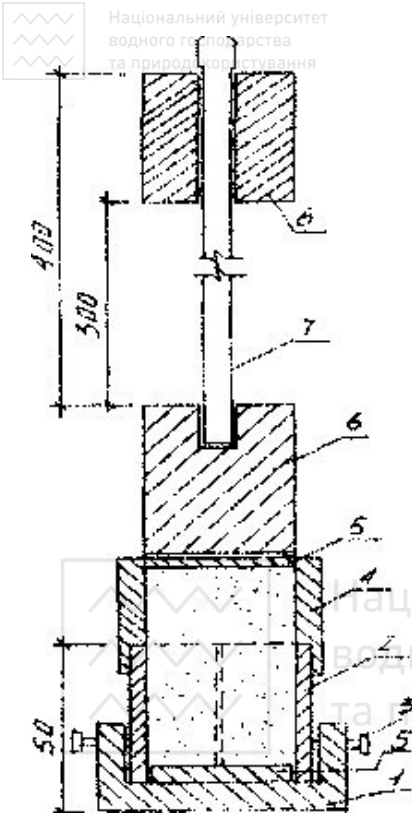


Рис. 4.7. Прилад СоюздорНДІ для стандартного ущільнення
 1- піддон; 2 - роз'ємний циліндр; 3- скріплюючий гвинт; 4 - насадка; 5 - металеві вкладки; 6 - ковадло; 7 - направляючий стержень; 8 - вантаж.

Ущільнення доцільно починати за вологості трохи більшої ніж вологість ґрунту в повітряно-сухому стані. Державний стандарт рекомендує починати дослід на пробах ґрунту з вологістю, що дорівнює 4% для пісків та гравійних ґрунтів і 8% для глинистих ґрунтів [10]. Кількість води, необхідної для отримання потрібної вологості ґрунту, визначають за формулою

$$Q = \frac{M}{1 + W_n} (W_{номп} - W_n) \quad (4.13)$$

де M – маса ґрунту, що підлягає ущільненню, г;

$W_{номп}$, W_n – вологість ґрунту, відповідно потрібна і початкова.

Необхідні прилади

1. Прилад стандартного ущільнення СоюздорНДІ.
2. Алюмінієві стаканчики – бюкси.
3. Сушильна шафа з термометром.
4. Ексикатор з хлористим кальцієм.
5. Терези.
6. Штангенциркуль, лінійка металева.
7. Ніж.

Методика визначення оптимальної вологості і максимальної щільності ґрунту

1. Беруть пробу ґрунту масою 3,0 кг у повітряно-сухому стані, роздрібнюють і просіюють крізь сито з отворами 10 мм.

2. Просіяний ґрунт звожують, перемішують і витримують в ексикаторі не менше 2 годин.



3. Дослідження проводять послідовно з окремими пробами ґрунту. Ущільнення ґрунту виконують в три шари. Кожний із прошарків ґрунту ущільнюють 40 ударами вантажу масою 2,5 кг, який падає з висоти 300 мм. (У навчальній роботі ущільнення можна виконувати десятьма ударами для кожного прошарку).

4. Після ущільнення насадку приладу знімають, виймають ґрунт із роз'ємного кільця і визначають об'єм зразка V після ущільнення. Для цього вимірюють його висоту і діаметр.

5. Зважують ґрунт з точністю до 1 г (маса M).

6. За формулою $\rho = M/V$ визначають щільність ґрунту.

7. Після зважування відбирають проби по 15÷20 г із верхньої, середньої та нижньої частини зразка для визначення вологості ущільненого ґрунту. Вологість ґрунту визначають за методикою, розглянутою в лабораторній роботі № 3.

8. Щільність скелета ґрунту визначають за формулою

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W} \quad (4.14)$$

де ρ – щільність ґрунту, г/см³.

W – вологість ущільненого ґрунту, в частках одиниці.

Всі результати визначень записують в табл. 4.17.

Таблиця 4.17.

Визначення щільності скелета ґрунту

Об'єм зразка після ущільнення V , см ³	Маса зразка після ущільнення m , г	Щільність ґрунту ρ , г/см ³	№ бюкса	Маса порожнього бюкса m_0 , г	Маса бюкса з вологим ґрунтом m_1 , г	Маса бюкса з сухим ґрунтом m_2 , г	Вологість, W , %	Щільність сухого ґрунту ρ_d , г/см ³

9. Наступний дослід починають із роздрібнення ущільненого в попередньому досліді ґрунту, після чого збільшують його вологість на 2÷3%, для чого на 3 кг ґрунту добавляють 50÷70 г води.

10. Ґрунт старанно перемішують і знову ущільнюють наведеним вище способом. Кожну окрему пробу слід досліджувати не більше трьох разів.



11. Випробування проводять поки щільність ґрунту почне зменшуватись зі збільшенням вологості.

12. За одержаними даними будують криву стандартного ущільнення (рис.4.8) і по ній визначають максимальну щільність скелета ґрунту і відповідну їй оптимальну вологість.

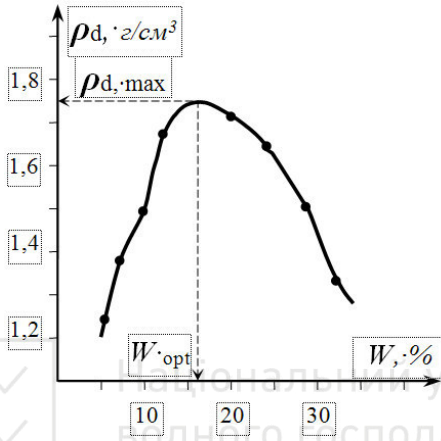


Рис. 4.8. Графік залежності щільності скелета ґрунту ρ_d від вологості W .

Контрольні запитання

1. Яка вологість ґрунту названа оптимальною?
2. Яка щільність ґрунту відповідає оптимальній вологості?
3. За якою формулою визначається щільність скелета ґрунту?
4. Які прилади використовуються для визначення оптимальної вологості ґрунту?
5. Нарисуйте схему приладу стандартного ущільнення?
6. В чому суть методу стандартного ущільнення?
7. Накресліть приблизну криву "щільність-вологість" для глинистих ґрунтів?

Контрольний тест

Визначіть оптимальну вологість ґрунту за даними лабораторних дослідів на стандартному ущільнювачі

Вологість W , д.о.	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30
Щільність ґрунту ρ , г/см ³	1,74	1,84	1,97	2,02	2,03	2,05	2,03



5. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ

Основними параметрами механічних властивостей ґрунтів, які зумовлюють несучу здатність основ і їх деформації, є міцнісні і деформаційні характеристики ґрунтів: кут внутрішнього тертя φ , питоме зчеплення c , модуль деформації ґрунтів E , межа міцності на одноосьовий стиск скельних ґрунтів R_0 , відносна деформація просідання ϵ_{st} , відносна деформація набухання ϵ_{sw} тощо.

Ці характеристики визначаються, як правило, безпосередніми випробуваннями ґрунтів в польових або лабораторних умовах з урахуванням і можливої зміни вологості ґрунту в процесі будівництва та експлуатації споруд.

Нормативні і розрахункові значення характеристик ґрунтів установлюються на основі статистичної обробки результатів дослідів за методиками, наведеними в державному стандарті [12].

Лабораторне заняття № 5

Робота № 8. ВИЗНАЧЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТІВ В КОМПРЕСІЙНОМУ ПРИЛАДІ

Основи будинків і споруд з метою забезпечення їх нормальної експлуатації розраховують за граничними станами II-ої групи – за деформаціями (осіданням, прогином, тощо). Деформації основ будівель в значній мірі залежать від стисливості ґрунтів, тобто від їх здатності зменшувати свій об'єм під дією зовнішніх сил за рахунок зменшення об'єму пор. Стисливість, в свою чергу, залежить від складу ґрунту, пористості, структури та ін. Значно впливає на неї швидкість збільшення навантаження, розміри його ступенів. Досліди показують, що збільшення швидкості зростання навантаження збільшує стисливість глинистих ґрунтів.

Основні показники, які характеризують стисливість ґрунтів і які найчастіше використовуються для визначення їх деформацій, є коефіцієнт стисливості ґрунту m_0 , модуль деформації E і структурна міцність ґрунту P_{str} .

Ці показники визначають лабораторними або польовими методами. В лабораторних умовах їх визначають за результатами випробувань зразків ґрунту в компресійних приладах в умовах одноосьового статичного ступеневого навантаження без можливості



Фото. 5.1 Компресійний
прилад

поперечного розширення (зразок розміщений в металевому кільці). Цим такі випробування відрізняються від простого одноосевого стиску.

Для випробувань використовують зразки ґрунту непорушеної будови природної вологості чи водонасичені, або зразки порушеної будови з заданими значеннями щільності і вологості.

Зразок, як правило, повинен мати форму циліндра діаметром не менше 71 мм і відношення висоти до діаметра 1:3,5. В посібнику описані випробування ґрунту на стиск в компресійному приладі (одометрі) (фото 5.1, рис.5.1, 5.2).

Вертикальний тиск на зразок ґрунту передають ступенями за допомогою важеля 4, рами 2 і штампа 6 (рис.5.2). Кожний ступінь тиску витримують до повної стабілізації деформації, коли величина стиснення (деформації ґрунту) не перевищує 0,01 мм за 16 годин для глинистих ґрунтів, 4 години для пилюватих і дрібних пісків, та 24 години – для органо-мінеральних і органічних ґрунтів.

За умов відсутності поперечного розширення ґрунту при збільшенні вертикального тиску стисливість ґрунту буде характеризуватись зміненням коефіцієнта пористості e .

Після закінчення випробувань і проведення відповідних розрахунків будують графік залежності $e = f(p)$, який називають компресійною кривою і визначають характеристики стисливості ґрунту: коефіцієнт стисливості m_0 , компресійний модуль деформації E_k^* і структурну міцність ґрунту P_{str} .

Ці характеристики використовують для обчислення деформацій основи і для загальної оцінки властивостей ґрунтів.

Кільця компресійного приладу (одометра) мають розміри:

$$d = 8,74 \text{ см}; A = 60 \text{ см}^2; h = 2,5 \text{ см}$$

*Модуль деформації, визначений в лабораторних умовах на компресійному приладі, відрізняється від визначеного в польових умовах, а тому надалі ми його називатимемо компресійним модулем деформації і позначатимемо E_k . Не слід також плутати цю характеристику стисливості ґрунту з модулем пружності, тому що на відміну від останнього, модуль деформації враховує як пружні, так і залишкові деформації ґрунту.

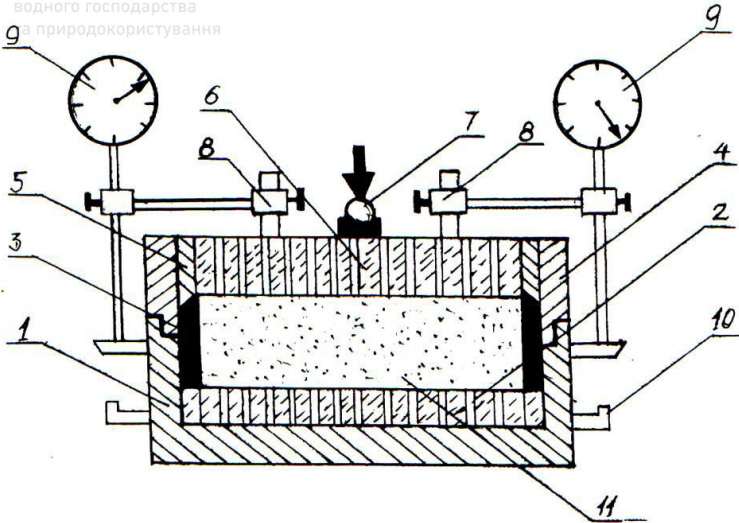


Рис. 5.1. Схематичний розріз компресійного приладу (одометра):
1 - нижня обойма; 2 - перфорований диск; 3 - ґрунтовідбірне кільце; 4 -
верхня обойма; 5 - направляюче кільце; 6 - перфорований штамп; 7 -
сталева кулька; 8 - тримач індикатора; 9 - індикатор; 10 - штуцер; 11 -
зразок ґрунту.

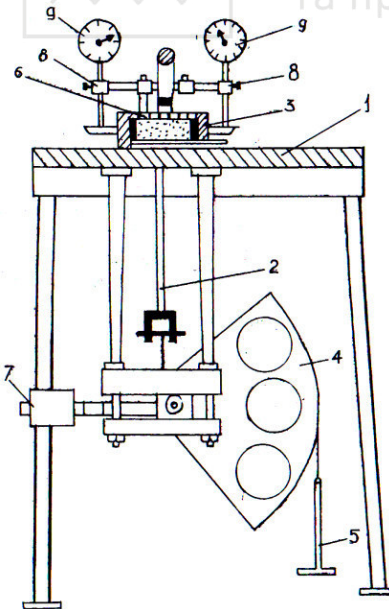


Рис. 5.2. Загальний вигляд
компресійного приладу
1- плита столу; 2 - вантажна рама; 3 -
ґрунтовідбірне кільце; 4 - важіль; 5 -
підтримувач для гирь; 6 -
перфорований штамп; 7 -
противага; 8-тримач індикатора; 9 -
індикатор.



Необхідні прилади та матеріали

1. Компресійний прилад (одометр).
2. Тарувальний металевий вкладиш.
3. Ніж з прямим лезом.
4. Вага.
5. Сушильна шафа.
6. Алюмінієві бюкси.
7. Ексикатор.
8. Паперові фільтри
9. Індикатори.
10. Годинник.

Підготовка до випробувань

1. Проводять тарування компресійного приладу для врахування його власних деформацій при ступеневому завантаженні, для чого в робоче кільце закладають металевий вкладиш, покритий з обох сторін зволженими паперовими фільтрами. Завантаження проводять ступенями тиску по 0,05 МПа, витримуючи їх по 2 хвилини. Тиск на вкладиш доводять до максимального - 1 МПа, визначають за індикаторами деформації приладу і паперових фільтрів. За результатами випробувань складають таблицю тарувальних поправок δ і будують графік $\delta = f(p)$.

Тарування виконують не рідше 1 разу на рік. Результати тарувальних випробувань компресійного приладу надаються студентам у вигляді таблиці і графіка $\delta = f(p)$ (рис.5.3).

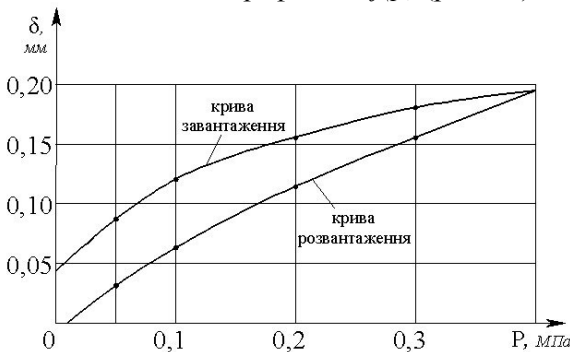


Рис. 5.3. Тарувальна крива.

2. Визначають щільність ґрунту ρ . Для цього зважують ґрунтовідбірне кільце з компресійного приладу (маса m). Вирізують



з моноліту кільцем ґрунт непорушеної структури і природної вологості, або готують зразок порушеної будови з заданими значеннями щільності і вологості. Зважують кільце з ґрунтом (маса m_1). Визначають щільність ґрунту за формулою

$$\rho = \frac{m_1 - m}{V} \quad (5.1)$$

де $V = 150 \text{ см}^3$ – об'єм кільця.

3. Визначають вологість ґрунту W . Для цього з моноліту поряд з місцем вирізання зразка відбирають у заздалегідь зважені бюкси (маса m_2) 15÷20 г вологого ґрунту і зважують їх (маса m_3). Висушують ґрунт до постійної маси в сушильній шафі при температурі $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, охолоджують бюкси з ґрунтом в ексикаторі з CaCl_2 , знову зважують (маса m_4). Визначають вологість за формулою:

$$W = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_2} \quad (5.2)$$

4. Визначають щільність частинок ґрунту ρ_s . Оскільки її визначення займає багато часу, в лабораторній роботі дозволяється прийняти $\rho_s = 2,68 \text{ г/см}^3$, або взяти її з лабораторної роботи № 2. Вираховують коефіцієнт пористості зразка ґрунту за формулою

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1 \quad (5.3)$$

Результати цих досліджень і розрахунки записують в табл. 5.1, приклад заповнення якої наведено нижче.

Таблиця 5.1.

Визначення коефіцієнта пористості зразка ґрунту (приклад)

Маса кільця, m , г	Маса кільця з ґрунтом, m_1 , г	Щільність ґрунту $\rho = (m_1 - m)/V$, г/см^3	№ бюкса	Маса порожнього бюкса, m_2 , г	Маса бюкса з вологим ґрунтом m_3 , г	Маса бюкса з сухим ґрунтом m_4 , г	Вологість ґрунту $W = (m_3 - m_4)/(m_4 - m_2)$ * 100%	Щільність частинок ґрунту, ρ_s , г/см^3	Коефіцієнт пористості e_0
198	477	1,86	5	14,1	34,97	31	0,235	2,68	0,78



6. Кільце з ґрунтом 3 накривають з відкритих торців паперовими фільтрами і встановлюють на перфорований металевий диск 2 різальним кінцем вгору (рис. 5.1).

7. Закріплюють ґрутовідбірне кільце 3 направляючим кільцем 5 і встановлюють на ґрунт штамп 6.

8. Всю систему одометра розміщують на столику компресійного приладу 1 (рис. 5.2).

9. Для вимірювання деформацій зразка ґрунту встановлюють два індикатори 9. Стрілки індикаторів виводять в положення 0.00.

Проведення компресійних випробувань

1. Випробування проводять шляхом передачі навантаження за допомогою важеля 4 на штамп 6, а той в свою чергу, передає тиск P на зразок ґрунту. Початкові ступені навантаження під час визначення стисливості пілуватих і дрібних пісків слід вибирати залежно від їх коефіцієнта пористості за табл.5.2.

Таблиця 5.2.

Початкові ступені навантаження

Коефіцієнт пористості e	$e > 0,75$	$0,75 > e > 0,6$	$e < 0,6$
Перші ступені тиску P , МПа	0,0125	0,025	0,05

Ступені тиску під час випробування пісків повинні бути рівними 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 МПа і далі з інтервалом 0,1 МПа до необхідного значення тиску.

При випробуванні глинистих ґрунтів, в тому числі органо-мінеральних, для визначення їх структурної міцності на стиск P_{str} першу і наступну ступені тиску приймають рівними 0,0025 МПа до початку стиску зразка ґрунту. За початок стиску слід вважати відносну вертикальну деформацію зразка ґрунту $\varepsilon > 0,005$.

При подальшому навантажуванні за черговий ступінь тиску приймають найближче більше значення тиску (0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 МПа і далі з інтервалом 0,1 МПа до кінцевого).

2. Після докладання кожного ступеня тиску покази індикаторів слід фіксувати через 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 60 хвилин і далі через кожну годину до досягнення умовної стабілізації деформації зразка. Під час навчальних занять за браком часу дозволяється прийняти скорочені терміни умовної стабілізації до 3÷5 хв., а ступені тиску на ґрунт P прийняти 0,05; 0,10; 0,20 і 0,40 МПа. Для цього на підтримувач 5 встановити гири загальною масою



$$M = \frac{10 \cdot p \cdot A - m}{n}, \text{ кг} \quad (5.4)$$

де p – тиск в МПа;

A – площа зразка (60 см²);

m – маса тягової рами приладу (2,3 кг);

n – кратність збільшення навантаження важелем ($n=10$).

Наприклад, щоб отримати тиск на ґрунт $P=0,05$ МПа на підтримувач треба покласти гирю масою

$$M = \frac{10 \cdot 0,05 \cdot 60 - 2,3}{10} = 2,77 \text{ кг}$$

3. Довівши тиск до максимального (в нашому випадку до 0,4МПа), починають зменшувати його, розвантажуючи зразок тими ж ступенями, якими відбувалось завантаження. При розвантажуванні останній ступінь повинен відповідати тиску, який створюється тільки вагою штампа і змонтованого на ньому вимірювального обладнання.

4. Значення тиску p і відповідні покази індикаторів, зафіксовані після настання умовної стабілізації, записують в табл. 5.3. Туди ж записують з тарувальної таблиці величину деформації приладу δ , що відповідає даному тиску.

Таблиця 5.3.

Журнал компресійних випробувань (приклад заповнення)

Тиск P , МПа	Показання індикаторів, мм		Середнє значення показань індикатора $\Delta \bar{h}$, мм	Деформація приладу δ , мм	Деформація зразка $\Delta h = \Delta \bar{h} - \delta$, мм	Відносна деформація $\varepsilon = \Delta h/h$	$\Delta e_i = \varepsilon \cdot (1 + e_0)$	$e_i = e_0 + \Delta e_i$
	лівого	правого						
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,780
0,05	0,72	0,72	0,72	0,03	0,69	0,028	0,044	0,736
0,10	1,36	1,44	1,40	0,05	1,35	0,054	0,085	0,695
0,20	2,00	2,30	2,15	0,11	2,04	0,082	0,120	0,660
0,40	2,80	2,90	2,85	0,18	2,67	0,107	0,160	0,620
0,20	2,80	2,84	2,82	0,14	2,68	0,107	0,160	0,620
0,10	2,77	2,77	2,77	0,12	2,65	0,106	0,159	0,621
0,05	2,70	2,74	2,72	0,10	2,62	0,105	0,157	0,623
0,00	2,56	2,60	2,58	0,06	2,52	0,101	0,152	0,628



Обробка результатів випробувань

1. За результатами випробувань ґрунту в компресійному приладі на основі записів в графках 1÷6 табл. 5.3 визначають:

а) величину абсолютної деформації зразка ґрунту для кожного ступеня навантаження $\Delta h_i = \Delta \bar{h}_i - \delta_i$;

б) коефіцієнт пористості ґрунту для кожного ступеня навантаження за формулою

$$e_i = e_0 - (1 + e_0)\Delta h_i / h = e_0 - \Delta e_i \quad (5.3)$$

де e_0 – коефіцієнт пористості зразка ґрунту до початку випробувань (табл.5.1);

h – початкова висота зразка ґрунту ($h = 25$ мм);

Δh_i – деформація зразка ґрунту для кожного ступеня навантаження.

2. За одержаними даними будують компресійну криву 1, тобто криву залежності коефіцієнта пористості ґрунту від тиску $\delta = f(p)$, а також декомпресійну криву 2 – криву розвантаження (рис.5.4).

3. Вираховують з точністю до $0,001$ МПа⁻¹ коефіцієнт стисливості ґрунту m_0 , за формулою

$$m_0 = \frac{e_n - e_k}{P_k - P_n} \text{ МПа}^{-1} \quad (5.6)$$

де p_n і p_k – відповідно початковий і кінцевий тиски на ґрунт (задається викладачем);

e_n і e_k – відповідно початковий і кінцевий коефіцієнти пористості ґрунту, що відповідають тискам p_n і p_k . Визначаються з компресійної кривої (рис.5.4.).

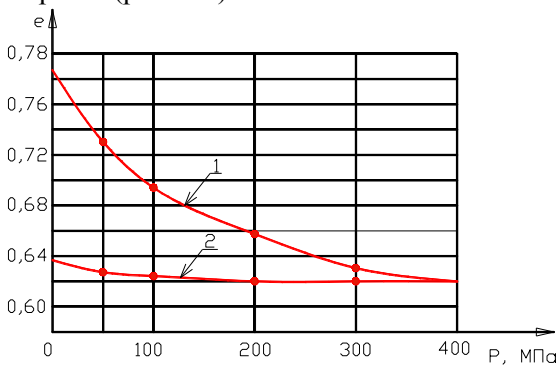


Рис. 5.4 Компресійна крива



За величиною коефіцієнта стисливості ґрунту умовно поділяють на:

- а) малостисливі, якщо $m_0 \leq 0,05 \text{ МПа}^{-1}$;
- б) середньо стисливі, якщо $0,05 < m_0 \leq 0,5 \text{ МПа}^{-1}$;
- в) дуже стисливі, якщо $m_0 > 0,5 \text{ МПа}^{-1}$.

4. Обчислюють компресійний модуль деформації з точністю 0,1 МПа за формулою

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta, \quad (5.7)$$

де e_0 – коефіцієнт пористості ґрунту до початку випробувань;

m_0 – коефіцієнт стисливості ґрунту;

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

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}, \quad (5.8)$$

де ν – коефіцієнт поперечної деформації, який визначають в приладі трьохосового стиску.

У разі відсутності експериментальних даних допускається приймати такі значення ν :

для піску і супіску	0,30÷0,35;
для суглинку	0,35÷0,37;
для глини: якщо $I_L < 0$	0,20÷0,30,
$0 < I_L \leq 0,25$	0,30÷0,38,
$0,25 < I_L \leq 1,0$	0,38÷0,45.

При цьому менші значення ν приймають при більшій щільності ґрунту.

Вважається, що значення модулів деформацій, отримані за даними компресійних випробувань, для всіх ґрунтів (за винятком сильностисливих) занижені [22], тому для розрахунку осідання фундаменту їх рекомендують коректувати за результатами паралельно проведених випробувань того ж ґрунту штампом (див. лабораторну роботу № 14). Для четвертинних супісків, суглинків і глин можна приймати коректуючий коефіцієнт m_k з таблиці 5.4., але при цьому значення E_k необхідно визначати в інтервалі тисків 0,1÷0,2 МПа.

Модуль деформації E дорівнюватиме

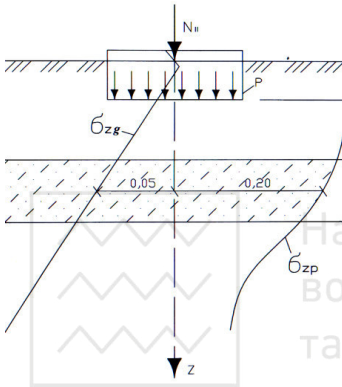
$$E = E_k \cdot m_k \quad (5.9)$$



Коефіцієнти m_k для алювіальних, делювіальних, озерних і озерно-алювіальних четвертинних ґрунтів з показником текучості $I_L \leq 0,75$

Ґрунти	Значення m_k при коефіцієнті пористості e						
	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супісок	4,0	4,0	3,5	3,0	2,0	-	-
Суглинок	5,0	5,0	4,5	4,0	3,0	2,5	2,0
Глина	-	-	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5

Примітка. Для проміжних значень e коефіцієнт m_k дозволяється визначати інтерполяцією.



Приклад. Визначити за даними компресійних випробувань, наведеними в таблиці 5.3, коефіцієнт стисливості m_0 і модуль деформації E . Ґрунт – супісок. За початковий тиск прийняти $p_n = 0,10$ МПа, за кінцевий $p_k = 0,20$ МПа.

Рішення. З компресійної кривої (рис. 5.4) визначаємо, що тиску $p_n = 0,10$ МПа відповідає коефіцієнт пористості $e_n = 0,695$, а тиску $p_k = 0,20$ МПа – коефіцієнт пористості $e_k = 0,660$.

Коефіцієнт стисливості дорівнює

$$m_0 = \frac{e_n - e_k}{p_k - p_n} = \frac{0,695 - 0,660}{0,20 - 0,10} = 0,35 \text{ МПа}^{-1}$$

Приймаємо для супіску $\nu = 0,3$, тоді

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} = 1 - \frac{2 \cdot 0,3^2}{1 - 0,3} = 0,74$$

Компресійний модуль деформації E_k дорівнює

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta = \frac{1 + 0,78}{0,35} \cdot 0,74 = 3,76 \text{ МПа}$$

Відкоректований модуль деформації E

$$E = E_k \cdot m_k = 3,76 \cdot 2,7 = 10 \text{ МПа}$$

За значенням коефіцієнта стисливості – ґрунт середньо стисливий.

Контрольні запитання

1. З якою метою виконують компресійні випробування ґрунтів?
2. Чим відрізняються компресійні випробування від простого одноосового стиску?



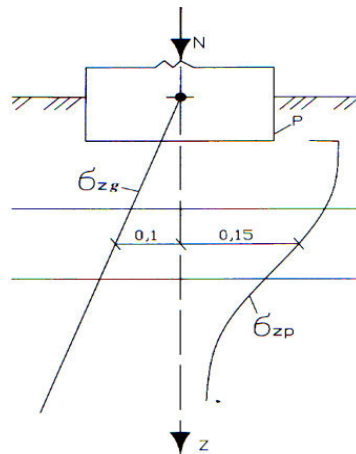
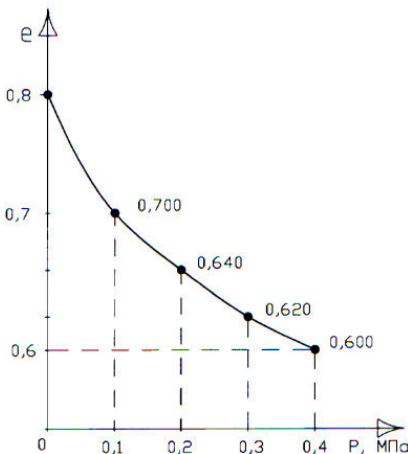
3. Які прилади необхідні для компресійних випробувань ґрунтів?
4. З яких основних частин складається компресійний прилад?
5. Нарисуйте схему компресійного приладу.
6. З якою метою виконують тарування приладу ?
7. За якою формулою визначають коефіцієнт пористості зразка ґрунту до початку випробувань, якщо відомі щільність ґрунту ρ , вологість W та щільність частинок ґрунту ρ_s ?
9. За якою формулою вираховують коефіцієнт пористості e_i , що відповідає даному ступеню тиску p_i ?
10. Побудуйте компресійну криву, якщо відомі результати компресійних випробувань

p , МПа	0,0	0,05	0,10	0,20	0,40
e	0,8	0,68	0,60	0,55	0,51

10. За якою формулою визначають коефіцієнт стисливості ґрунту m_0 ?
11. Чим відрізняється модуль деформації від модуля пружності?
12. За якою формулою визначають модуль деформації, якщо є дані компресійних випробувань?
13. Яка розмірність модуля деформації?
14. Яка розмірність коефіцієнта стисливості?

Контрольний тест

Визначіть для суглинку коефіцієнт стисливості m_0 та модулі деформацій E_k і E за даними компресійних випробувань. Коефіцієнт пористості ґрунту $e_0=0,8$.





Рота № 9. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРОСІДАННЯ ҐРУНТІВ

До просідаючих ґрунтів відносять глинисті ґрунти, у яких під дією зовнішнього навантаження чи власної ваги та зовнішнього навантаження, після замочування водою або іншою рідиною виникає додаткова вертикальна деформація - просідання і при цьому величина відносної деформації просідання $\epsilon_{sl} \geq 0,01$.

Просідання характерне для лесів і лесовидних ґрунтів зі ступенем вологості $S_r < 0,8$. Здатність додатково деформуватись внаслідок замочування в цих ґрунтах зумовлена тим, що в їх складі є багато легко та середньорозчинних солей і велика кількість різноманітних за розмірами пор, деякі з них видно неозброєним оком.

Виявлення схильності до просідання ґрунтів має велике практичне значення для проектування і спорудження різних споруд, тому що дозволяє уникнути аварій. Це пояснюється тим, що замочування таких ґрунтів призводить до значних додаткових деформацій, а непередбачене замочування може настати внаслідок аварії теплотраси, водогону чи каналізації, або проникнення атмосферних опадів.

Показниками, що характеризують величину можливого просідання ґрунту внаслідок його замочування, є відносна деформація просідання ϵ_{sl} і початковий тиск просідання p_{sb} які визначаються за результатами випробувань зразків ґрунту непорушеної структури на компресійних приладах.

Існують дві схеми проведення таких випробувань: схема "двох кривих" і схема "однієї кривої". Випробування за схемою "двох кривих" дає можливість за результатами компресійних випробувань двох зразків визначити відносну деформацію просідання ϵ_{sl} для будь-якого тиску в межах інтервалу навантажень, які використовувались в досліді. Цей метод дозволяє також визначити початковий тиск просідання p_{sb} .

Випробування за схемою "однієї кривої" дозволяє визначити відносну деформацію просідання ϵ_{sl} тільки для того тиску, при якому відбулось замочування ґрунту.

Випробування за схемою "двох кривих" проводять на зразках,

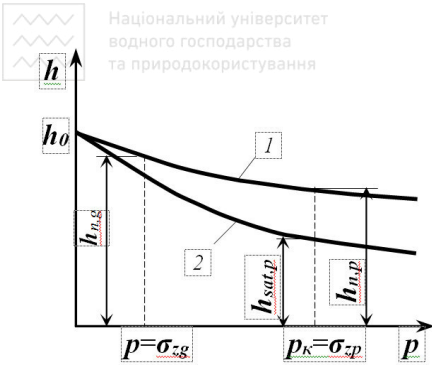


Рис. 5.5 Графік залежності $h=f(p)$
1 - природний; 2 - водонасичений.

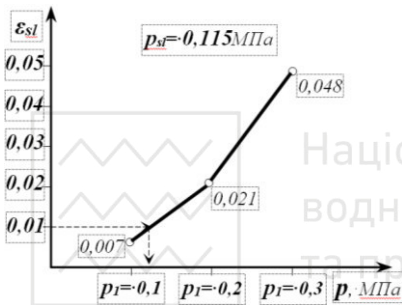


Рис. 5.6 Графік залежності $\epsilon_{sl}=f(p)$

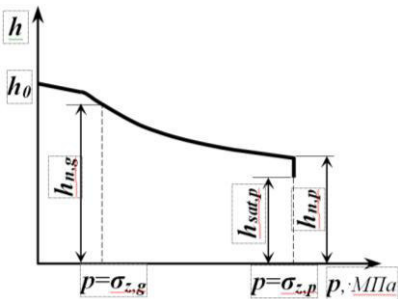


Рис. 5.7 Графік залежності $h=f(p)$

просідання від тиску $\epsilon_{sl} = f(p)$, рис. 5.6. За величину p_{sl} приймають тиск, при якому $\epsilon_{sl} = 0,01$.

За схемою "однієї кривої" на зразок природної вологості в компресійному приладі передають ступенями тиск p і, досягнувши

відібраних з одного моноліту. Перший зразок випробовують при природній вологості, а другий – після його повного водонасичення не менше ніж за 3 години до передачі першого ступеню тиску для просідаючих супісків і за 6 годин – для просідаючих суглинків і глин. Графічні залежності $h=f(p)$, отримані для першого і другого зразка, будують на спільному графіку (рис.5.5).

Відносну деформацію просідання ϵ_{sl} обчислюють за формулою

$$\epsilon_{sl} = (h_{np} - h_{satp}) / h_{ng} \quad (5.10)$$

де h_{np} , h_{satp} – висота зразків відповідно природної вологості та водонасиченого, коли на зразок діє тиск, що дорівнює тиску на ґрунт основи споруди від зовнішнього навантаження та власної ваги ґрунту $p_{\kappa} = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$;

h_{ng} – висота зразка природної вологості, ущільненого тільки тиском $p = \sigma_{zg}$.

Ґрунт вважається просідаючим, якщо $\epsilon_{sl} \geq 0,01$.

Початковий тиск просідання p_{sl} – це мінімальний тиск, при якому виявляються просідаючі властивості ґрунту за умови його повного водонасичення.

Визначають p_{sl} за графіком залежності відносної деформації



його кінцевого значення p_k , ґрунт замочують. Витримавши зразок до настання повної стабілізації просідання, за результатами випробувань будують графік залежності висоти зразка від тиску $h = f(p)$ рис. 5.7. Відносну деформацію просідання у цьому випадку визначають за формулою (5.10)

В даній лабораторній роботі відносну деформацію просідання ε_{sl} лесового ґрунту визначають за методом однієї кривої.

Прилади – ті ж самі, що і для компресійних випробувань (див. лабораторну роботу № 8).

Методика визначення відносної деформації просідання ε_{sl}

1. Відбирають кільцем компресійного приладу зразок досліджуваного ґрунту.

2. Відкриті поверхні зразка покривають паперовими фільтрами і розміщують зразок в компресійному приладі так само, як і під час проведення компресійних випробувань.

3. Передають на зразок тиск, який дорівнює природному $p = \sigma_{zg}$ (він задається викладачем), і витримують ґрунт під цим тиском до стабілізації осідання. Фіксують і записують в журнал спостережень покази індикаторів (табл. 5.5).

4. Збільшують тиск ступенями до кінцевого $p_k = \sigma_{zg} + \sigma_{zp}$, (σ_{zp} – також задається викладачем).

5. Після настання стабілізації осідання ґрунту показання індикаторів записують в журнал спостережень.

6. Підводять знизу до зразка воду і ведуть спостереження за додатковим осіданням ґрунту під тиском p_k (просіданням) до його стабілізації. Записують в журнал спостережень показання індикаторів.



Журнал випробувань просідаючого ґрунту (приклад заповнення)

Тиск, МПа	Показання індикаторів, мм		Середнє показання індикаторів $\Delta \bar{h} = (\Delta h_p + \Delta h_n) / 2$, мм	Деформація приладу δ , мм	Деформація зразка $\Delta h = \Delta \bar{h} - \delta$, мм	Висота зразка, мм			
	лівого Δh_l	правого Δh_n				h – початкова	h_{zg} – при тиску σ_{zg}	при повному тиску p_k	
								h_{np} – природної вологості	h_{satp} – насиченого водою
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,0			
0,05	0,30	0,18	0,24	0,02	0,22		24,78		
0,10	0,92	0,88	0,90	0,05	0,85				
0,20	1,84	1,72	1,78	0,10	1,68			23,32	
0,20	2,36	2,12	2,24	0,10	2,14				22,86

Примітка: у прикладі $p_n = \sigma_{zg} = 0,05$ МПа, $p_k = \sigma_{zg} + \sigma_{zp} = 0,20$ МПа.

За умовну стабілізацію осідання і просідання приймають приріст деформації зразка, який не перевищує 0,01 мм за 3 години. (У навчальній лабораторній роботі час умовної стабілізації осідання і просідання можна скоротити).

Відносну деформацію просідання визначають за формулою

$$\varepsilon_{sl} = \frac{h_{np} - h_{satp}}{h_{ng}} = \frac{23,32 - 22,86}{24,78} = 0,019$$

Висновок: ґрунт просідаючий, тому що $\varepsilon_{sl} > 0,01$.

Контрольні запитання

1. Які ґрунти називають просідаючими?
2. Яка різниця між поняттями осідання і просідання?
3. Для яких ґрунтів властиве просідання?
4. Чим зумовлена можливість виникнення просідання у лесових ґрунтах?
5. За яких умов виникає просідання основ, складених лесовими ґрунтами?
6. Як називають відношення величини просідання зразка ґрунту до його початкової висоти?
7. За якою формулою визначають відносну деформацію просідання ε_{sl} ?
8. Який прилад використовують для визначення відносної



деформації просідання?

9. Скільки зразків випробовують паралельно в компресійних приладах для визначення відносної деформації просідання за методом двох кривих?

10. Чим відрізняються випробування ґрунтів на просідання за методом однієї кривої від випробування за методом двох і кривих?

11. За якою формулою визначають можливе просідання ґрунту?

12. Визначіть можливе просідання шару ґрунту, якщо його товщина $h_i=2\text{м}$, відносна деформація просідання $\varepsilon_{sli} = 0,025$ і коефіцієнт $k_{sli} = 1,0$. (Просідання шару ґрунту визначають за формулою $S_{sli}=\varepsilon_{sli} h_i k_{sli}$).

13. Що називають початковим тиском просідання p_{sl} ?

Контрольний тест

Визначіть відносну деформацію просідання ґрунту ε_{sl} за даними лабораторних випробувань, якщо $h_{ng}=24\text{мм}$, $h_{np}=23\text{мм}$, $h_{sat p}=21\text{мм}$.

Обчисліть можливе просідання S_{sli} шару ґрунту товщиною $h_i = 2\text{ м}$ при коефіцієнті $k_{sli} = 1$ і отриманій за даними лабораторних випробувань відносній деформації просідання $\varepsilon_{sli} = 0,04$.

Робота № 10. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ВІДНОСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НАБУХАННЯ ҐРУНТІВ

Під набуханням (набряканням) ґрунтів розуміють здатність їх збільшувати свій об'єм внаслідок взаємодії з водою або іншою рідиною.

Зі зниженням вологості у набухаючих ґрунтів починається зворотний процес – усадка. У с а д к а – це зменшення об'єму ґрунту внаслідок висихання.

Здатність до набухання властива ряду глинистих ґрунтів і деяким видам промислових шлаків. Головну роль у процесі набухання мають такі мінеральні складові глинистого ґрунту, як іліт і монтморилоніт. Завдяки особливостям тонкодисперсної фракції в ґрунті утримується велика кількість фізично зв'язаної води. Остання активно виявляє здатність розклинювати тверді мінеральні частинки ґрунту, що веде до його набухання.

Під час проектування будівель та споруд на набухаючих ґрунтах необхідно враховувати можливість виникнення небажаних деформацій внаслідок підвищення рівня ґрунтових вод, або



Фото. 5.2 Прилад ПНГ

зволоження основи виробничими та атмосферними водами.

Набухаючі ґрунти характеризуються такими параметрами: початковим тиском набухання p_{sw} , вологістю набухання W_{sw} , відносною деформацією набухання ϵ_{sw} , визначеною при заданому тиску, або в умовах вільного (без тиску) набухання; відносною усадкою внаслідок висихання ϵ_{sh} . Ці параметри визначають дослідженнями зразків ґрунту непорушеної, або порушеної структури на компресійному приладі при дії заданого тиску. Відносну деформацію набухання ϵ_{sw} в умовах вільного набухання визначають на приладі ПНГ (фото 5.2, рис.5.8).

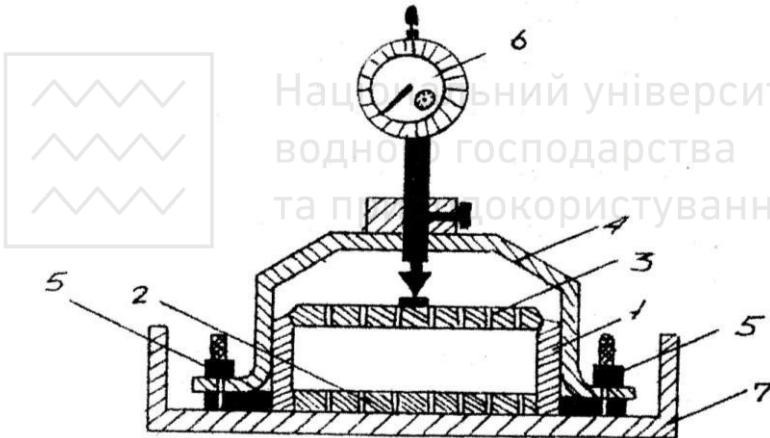


Рис. 5.8. Схема приладу ПНГ для визначення набухання ґрунтів
1 - кільце з ґрунтом; 2 - перфорований диск; 3 - перфорований поршень; 4,5 - тримач індикатора з гвинтом; 6 - індикатор; 7 - ванночка для рідини

В даній навчальній лабораторній роботі визначається відносна деформація набухання ϵ_{sw} на приладі ПНГ в умовах вільного набухання зразка глинистого ґрунту порушеної структури.

Необхідні прилади для визначення відносного набухання ґрунтів

1. Прилад ПНГ.
2. Ніж з прямим лезом.
3. Індикатор.



4. Паперові фільтри.
5. Сито з отворами 5 мм.
6. Фарфорова чашка.
7. Годинник з секундною стрілкою.

Методика визначення відносної деформації набухання ґрунту $\epsilon_{\text{ув}}$

1. На перфорований диск кладуть паперовий фільтр, змочений водою і встановлюють кільце 1, в яке вміщують ґрунт у повітряно сухому стані. На поверхню ґрунту кладуть другий паперовий фільтр.

2. На паперовий фільтр встановлюють перфорований штамп 3 і закріплюють тримач індикатора 4 гвинтом 5.

3. В тримач встановлюють індикатор 6 так, щоб він торкнувся поршня 3, закріплюють його гвинтом і ставлять стрілки індикатора в положення 0,00.

4. Складений прилад вставляють у ванночку 7 і проводять випробування:

а) записують в таблицю 5.6 початкові показання індикатора. В ванночку 7 наливають воду;

б) відмічають час заливки води в ванночку і, слідкуючи за показаннями індикатора, записують їх через визначені проміжки часу до повного закінчення набухання. Набухання вважають закінченим, якщо приріст показань індикатора не перевищує 0,02 мм/доб. У навчальній роботі за браком часу термін стабілізації можна скорочувати;

в) за результатами визначень будують графік набухання ґрунтів(рис.5.9).

Таблиця 5.6

Журнал випробувань набухаючого ґрунту (приклад заповнення)

Час t , хв	Показання індикатора Δh , мм
0,0	0,0
0,5	0,51
1,0	0,75
2,0	1,20
3,0	1,50
4,0	1,85
5,0	2,20
19,0	3,10
15,0	3,68
20,0	3,68

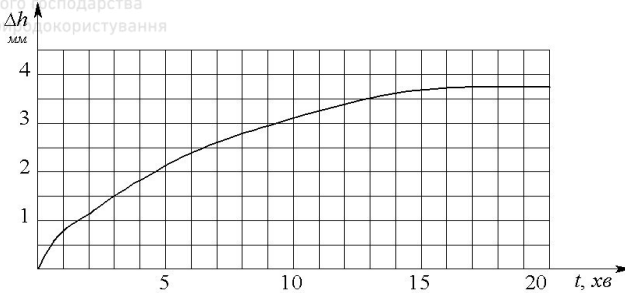


Рис. 5.9 Графік набухання ґрунтів

Величину відносної деформації набухання визначають за формулою

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h_{sat} - h_n}{h_n} = \frac{\Delta h}{h_n} = \frac{3,68}{20} = 0,184$$

де h_{sat} – висота зразка ґрунту після його вільного набухання внаслідок замочування до повного водонасичення в умовах неможливості бічного розширення;

h_n – початкова висота зразка ґрунту природної вологості, що дорівнює висоті кільця, $h_n = 20$ мм.

За величиною відносної деформації набухання глинисті ґрунти класифікують як:

ненабухаючі	$\varepsilon_{sw} < 0,04$
слабонабухаючі	$0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$
середьонабухаючі	$0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$
сильнонабухаючі	$\varepsilon_{sw} \geq 0,12$

Контрольні запитання

1. Які ґрунти відносять до набухаючих?
2. Яке явище названо набуханням ґрунтів?
3. Яке явище названо усадкою ґрунтів?
4. Нарисуйте схему приладу для визначення відносної деформації набухання.
5. За якою формулою визначають відносну деформацію набухання ґрунту?



Робота №11. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ГРУНТІВ МЕТОДОМ ОДНОПЛОЩИННОГО ЗРІЗУВАННЯ

Під дією зовнішнього навантаження або власної ваги ґрунту напруження в окремих точках ґрунтового масиву можуть перевищувати міцність внутрішніх зв'язків між частинками ґрунту, внаслідок чого виникнуть зрушення одних частинок або їх агрегатів відносно інших і порушиться суцільність ґрунту – тобто буде вичерпана його міцність. При цьому спостерігається зсув (зрушення) ґрунту.

Показники опору ґрунту зсуву – це головні показники міцності ґрунту. Вони не постійні, залежать від швидкості докладання навантажень, вологості ґрунту, тривалості навантажень тощо.

Згідно з теорією міцності Мора руйнування настає при певному співвідношенні між нормальними σ і дотичними τ напруженнями і відбувається на деякій площадці, яку називають площадкою зсуву. Тому під опором ґрунту зсуву розуміють найменше дотичне напруження τ при якому ґрунт, що знаходиться під нормальним тиском p , зрушується.

В лабораторних умовах зсув ґрунтів під дією дотичних напружень найчастіше моделюють на зрізних приладах і опір зсуву визначають як опір ґрунтів зрізуванню.

Опір ґрунтів зсуву τ є функцією нормального напруження σ і збільшується зі збільшенням останнього. Залежність між дотичним і нормальним напруженнями за даними випробувань пісків на зріз фактично зображується кривою, яка без похибок в розрахунках може бути замінена прямою.

Ця залежність установлена в 1773 р. Ш. Кулоном і формулюється так: опір незв'язних ґрунтів зсуву τ є опір тертя, прямо пропорційний нормальному напруженню σ

$$\tau = \sigma \operatorname{tg}\varphi \quad (5.13)$$

де $\operatorname{tg}\varphi$ – коефіцієнт тертя ґрунту;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту.

В глинистих ґрунтах опір зрушуючим зусиллям можна розглядати як суму опору тертя, прямо пропорційному нормальному до площини зрізу напруженню і опору зчеплення, яке залежить від нормального напруження

$$\tau = \sigma \operatorname{tg}\varphi + c \quad (5.14)$$

де c – питоме зчеплення ґрунту, кПа.



Існує велика кількість методик і приладів для визначення опору ґрунтів зрушенню як в лабораторних, так і в польових умовах. В лабораторних умовах опір ґрунтів зрушенню найчастіше визначають методом зрізування зразків ґрунту по одній фіксованій площині в одноплосинних зрізних приладах з верхньою рухомою обоймою (рис.5.10), або з нижньою рухомою обоймою для випробування пісків. Зразок ґрунту має форму циліндра діаметром не менше 70 мм і висотою не більше 0,5 і не менше 0,33 діаметра. В цих приладах досліджують піски і глинисті ґрунти, на які поширюються стандарти для досліджень [5].

Випробовуваннями ґрунтів методом одноплосинного зрізування визначаються характеристики міцності – опір ґрунту зсуву τ , кут внутрішнього тертя ґрунту ϕ та питоме зчеплення ґрунту c .

Залежно від роботи ґрунтів в основі споруди опір ґрунтів зсуву визначають за схемами:

– консолідовано-дреноване випробування – для пісків та глинистих ґрунтів у стабілізованому стані незалежно від їх ступеня вологості (коефіцієнта водонасичення);

- неконсолідовано-недреноване випробування – для водонасичених глинистих і органо-мінеральних ґрунтів у нестабілізованому стані та просідаючих ґрунтів, що доведені до водонасиченого стану замочуванням без навантаження.

У першому випадку ґрунт, після докладання нормального тиску, витримують до стабілізації деформацій, а зрізуюче напруження в площині зсуву збільшують ступенями.

У другому випадку здійснюють швидкий зсув, коли вологість та щільність ґрунту під час дії нормального тиску в процесі випробування практично не змінюється.

Одержані за методикою консолідовано-дренованого зрізування міцнісні характеристики ϕ і c використовують для визначення розрахункового опору ґрунтів, а також для оцінки несучої здатності основи, яка знаходиться в стабілізованому стані (всі напруження від зовнішніх навантажень сприймаються скелетом ґрунту).

Значення ϕ і c , одержані за методикою швидкого неконсолідовано-недренованого зрізання, використовують для визначення несучої здатності водонасичених суглинків і глин, які поволі ущільнюються, мулів, сапропелей, заторфованих ґрунтів, торфів. В таких ґрунтах можливе виникнення нестабілізованого



стану (наявність надлишкового тиску в поровій воді) внаслідок їх повільної консолідації або швидкої передачі навантаження від споруди (силоси, резервуари, склади сировини тощо).

У даній навчальній лабораторній роботі ґрунт досліджується за методом консолідовано-дренованого зрізування.

Опір ґрунту зсуву τ визначають не менш ніж для трьох різних значень нормальних напружень σ на зразках ґрунту, взятих з одного однорідного за будовою і складом моноліту, або, в окремих випадках, на зразках, підготовлених в лабораторії.

Після обробки результатів отримують характеристики міцності ґрунту ϕ і c . Ці характеристики використовують для визначення розрахункового опору ґрунту R , для розрахунків стійкості основ, земляних споруд та укосів і схилів, для визначення бічного тиску ґрунту на огорожуючі конструкції і для рішення інших задач.

Необхідні прилади і матеріали для визначення характеристики міцності ґрунтів

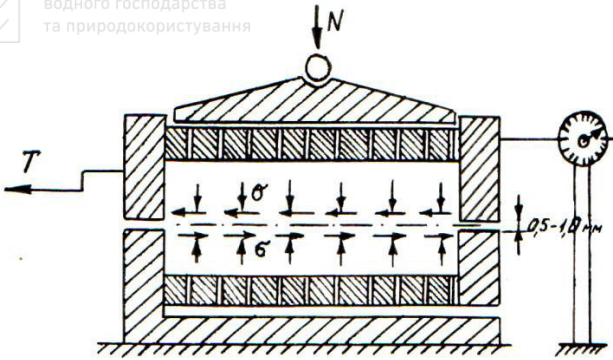
1. Прилад для зрізування ґрунтів.
2. Прилад для попереднього ущільнення ґрунтів.
3. Паперові фільтри.
4. Індикатори.
5. Зразки ґрунту.

Конструкція приладу для зрізування ґрунту



Фото. 5.3 Прилад для зрізування ґрунту

Дослід виконують на приладі зрізування ґрунту (фото 5.3, рис. 5.11). Прилад змонтований на металевій рамі зі столиком 1. На панелі стола закріплений зрізувач 3. До кронштейна 4 кріпиться індикатор 5 для вимірювання горизонтальних деформацій. Нормальний тиск на ґрунт передається механізмом, який складається із ковзуна 6, секторного важеля 7, рами 8 і рамки 12. Механізм горизонтального зрізування кріпиться на кронштейні 9. Важіль горизонтального зусилля 10, має також форму сектора. Він врівноважується проти-вагами 11. Нормальні і зрізуючі зусилля створюють докладанням гирь 13 на підвіски важелів. Співвідношення плечей важелів 1:10.



$$\tau = \frac{T}{A}$$

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

Рис. 5.10. Схема зрізання ґрунту

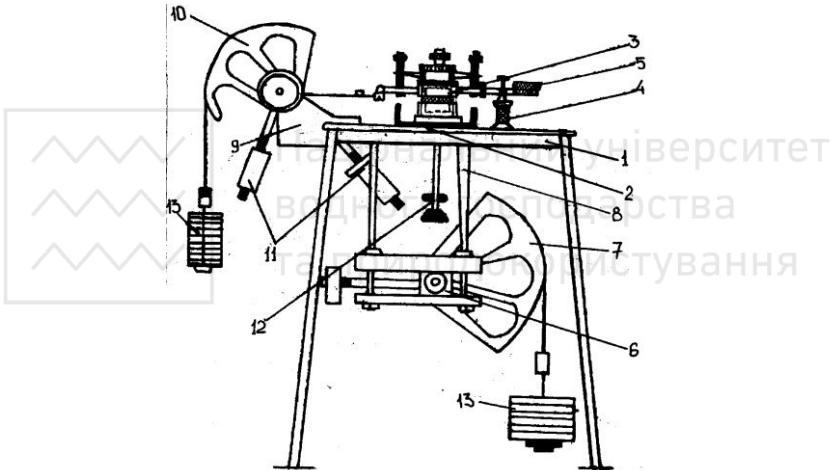


Рис. 5.11. Схема приладу для зрізання ґрунту

Зрізувач (рис.5.12) складається з нижньої 1 і верхньої 5 обойм, в котрі вкладають зразок ґрунту 6, який знаходиться в розрізній гільзі 7. Нижня обойма зі своїм гніздом 2 і вкладинкою 3 кріпиться нерухомо на панелі приладу за допомогою установлюючого гвинта 4. Верхня обойма вставляється в тяговий циліндр 8, з'єднаний з механізмом горизонтального зрізування шпилькою 9. Знизу і зверху зразка ґрунту розташовані перфоровані вкладники 10 для відведення витісненої води. На верхню вкладнику кладуть штамп 11, для передавання нормального тиску. Площа поперечного перерізу зразка ґрунту $A = 40 \text{ см}^2$.

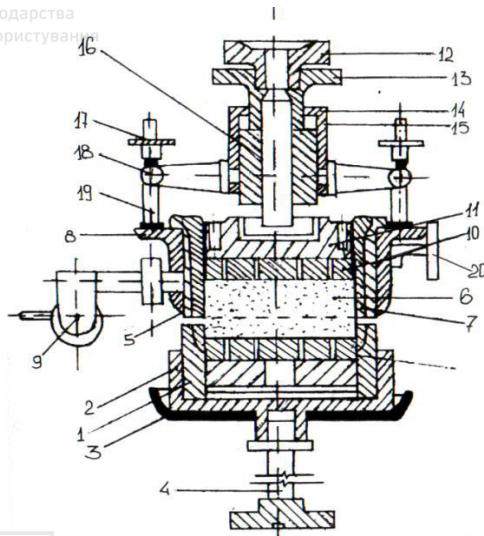


Рис. 5.12. Зрізувач

1-нижня обойма; 2-гніздо нижньої обойми; 3-установлююча вкладинка; 4-установлюючий гвинт; 5-верхня обойма; 6-зразок ґрунту; 7-розрізна гільза; 8-тяговий циліндр; 9-з'єднувальна шпилька; 10-перфоровані вкладники; 11-штамп; 12-маховичок до хвостовика штампа; 13-під'ємний гвинт; 14-хвостовичок штампа; 15-стакан натяжного пристрою; 16-верхнє коромисло механізму вертикального тиску; 17-гайка; 18-кронштейн натяжного пристрою; 19-установлююча шпилька; 20-упор індикатора.

Підготовка зразків ґрунту

В прилад попереднього ущільнення вміщують зразки глинистого ґрунту, замочують їх, після чого ущільнюють перший зразок під тиском $P = 0,1$ МПа, другий під тиском $P = 0,2$ МПа, третій під тиском $P = 0,3$ МПа. Нормальний тиск передають ступенями $\Delta p = 0,025 \div 0,1$ МПа згідно з таблицею 5.2. державного стандарту [5]. Кожний ступінь витримують не менше: для пісків 5 хвилин, для глинистих ґрунтів – 30 хвилин, а кінцевий ступінь – до умовної стабілізації деформації стиснення. За умовну стабілізацію деформації слід приймати її приріст, який не перевищує 0,01 мм за час, не менший для пісків – 20 хвилин; для супісків – 2 год; суглинків з числом пластичності $I_p < 12$ – 6 год; суглинків з $I_p > 12$ і глин – 12 год; для просідаючих ґрунтів – 3 години. Підготовку зразків ґрунту виконують в лабораторії задалегідь.



Методика визначення опору ґрунту зсуву

Зразок ґрунту 6 в гільзі 7, підготовлений в приладі попереднього ущільнення, зверху і знизу накривають паперовими фільтрами і вміщують в зрізуючій пристрій приладу для зрізування ґрунтів. Зрізуючий пристрій (зрізувач) складають так, як це показано на рис. 5.13, після чого приладу надають робочий стан. Для цього обертанням маховика 12 підіймають тяговий циліндр 8, до утворення зазору розміром $0,5 \div 1,0$ мм поміж верхньою і нижньою обоймами. Докладанням гирь на важіль нормального тиску через коромисло механізму вертикального тиску і штамп створюють на зразок обумовлений нормальний тиск.

Встановлюють індикатор для замірювання горизонтальних деформацій. Навантаження M на важіль розраховують за формулою

$$M = \frac{10 \cdot p \cdot A - m}{n}, \text{ кг} \quad (5.15)$$

де P – нормальний тиск, МПа;

A – площа поперечного перерізу зразка ($A = 40$ см);

m – маса рухомої частини механізму передачі нормального тиску ($m = 5,0$ кг);

n – кратність збільшення навантаження важеля ($n = 10$).

Для створення нормального тиску 0,1; 0,2; 0,3 МПа треба відповідно покласти гирі загальною масою 3,5; 7,5; 11,5 кг.

Горизонтальні зрушуючі зусилля створюють докладанням гирь на важіль механізму горизонтального зрізування. Величина ступеня зрушуючих зусиль повинна становити 5% від нормального тиску P , здійсненого на зразок ґрунту. З метою скорочення тривалості дослідів під час навчання дозволяється збільшувати величину ступеня до 12,5%.

Для створення певного значення m необхідно на важіль механізму горизонтального зрізування покласти гирі загальною масою

$$T_i = \frac{10 \cdot \tau_i \cdot A}{n}, \text{ кг} \quad (5.16)$$

Докладання вантажу кожного наступного ступеня виконують після того, коли деформація зсуву від попереднього ступеня навантаження не буде перевищувати 0,01 мм за 1 хвилину, що вважається умовною стабілізацією деформацій зрушення (зсуву). Після настання стабілізації записують показання індикатора. Дослід



слід вважати закінченим, якщо з докладанням чергового ступеня дотичного навантаження відбувається миттєвий зсув однієї частини зразка відносно другої, або загальна деформація зрізання перевищує 5 мм. Після цього випробовують інші зразки з іншими значеннями стискуючого навантаження. В навчальних дослідженнях випробовують три зразки ґрунту.

Результати значень деформацій зсуву записують в таблицю.

Таблиця 5.7.

Журнал випробувань опору ґрунту зсуву (приклад заповнення)

Зразок № 1 Нормальний тиск $P_1=0,1$ МПа		Зразок № 2 Нормальний тиск $P_2=0,2$ МПа		Зразок № 3 Нормальний тиск $P_3=0,3$ МПа	
Зрізуючі напруження τ , МПа	Показання індикатора Δ , мм	Зрізуючі напруження τ , МПа	Показання індикатора Δ , мм	Зрізуючі напруження, τ МПа	Показання індикатора Δ , мм
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0125	0,05	0,025	0,5	0,050	0,7
0,025	0,50	0,050	1,1	0,075	1,5
0,0375	1,20	0,075	2,5	0,100	2,5
0,050	2,00	0,080	3,0	0,125	4,0
0,055	3,20	0,085	3,5	0,1375	зріз
0,060	3,90	0,090	4,4		
0,0625	зріз	0,095	зріз		

За даними досліджень будують графік випробувань ґрунту на зрізування $\Delta l=f(\tau)$ (рис.5.13) і графік залежності опору ґрунту зсуву від нормального напруження $\tau=f(\sigma)$ (рис.5.14).

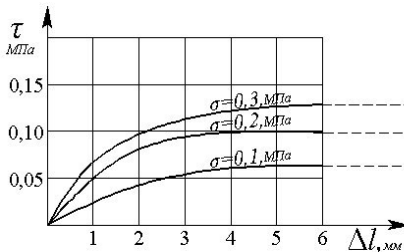


Рис. 5.13. Графіки залежності $\tau=f(\delta)$.

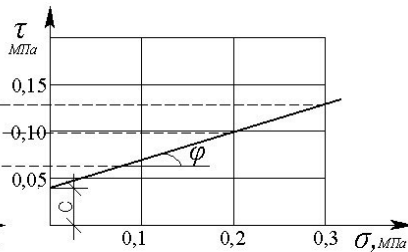


Рис. 5.14. Графік залежності $\tau=f(\sigma)$ для зв'язних ґрунтів.

За опір ґрунту зсуву слід прийняти максимальне значення τ , одержане з графіка $\Delta l=f(\tau)$ на відтинку Δl , який не перевищує 5 мм. Якщо τ зростає монотонно, то за опір ґрунту зсуву τ приймають при $\Delta l = 5$ мм.

Міцнісні характеристики ґрунту – кут внутрішнього тертя φ , град, і питоме зчеплення c , МПа – отримують з графіка залежності $\tau=f(\sigma)$. При цьому величину c визначають як відрізок, відсічений прямою $\tau=f(\sigma)$ на осі ординат, а кут нахилу цієї прямої до осі абсцис вважається кутом внутрішнього тертя φ . Коефіцієнт внутрішнього тертя $tg\varphi$, а від нього і значення кута внутрішнього тертя ґрунту φ можна визначити в лабораторній роботі за формулою

$$tg\varphi_n = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\sigma_2 - \sigma_1}, \quad (5.17)$$

де τ_1 і τ_2 – значення опору зрізуванню, відповідні нормальним напруженням σ_1 і σ_2 , МПа (визначаються з графіка).

Значення питомого зчеплення можна визначити за формулою

$$c_n = \tau - \sigma tg\varphi \text{ МПа} \quad (5.18)$$

За даними таблиці 5.7 графіка залежності $\tau=f(\sigma)$ (рис.5.14) коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту дорівнюватиме

$$tg\varphi_n = \frac{0,095 - 0,0625}{0,2 - 0,1} = 0,325.$$

Значення кута внутрішнього тертя ґрунту $\varphi=18^\circ$.

Значення питомого зчеплення

$$c_n = 0,0625 - 0,1 \times 0,325 = 0,03 \text{ МПа}$$

Всі розрахунки основ повинні виконуватись з використанням розрахункових значень характеристик ґрунтів X , які визначаються за формулою

$$X = X_n/\gamma_g, \quad (5.19)$$

де X_n – нормативне значення даної характеристики; γ_g – коефіцієнт надійності для ґрунту.

Коефіцієнт надійності для ґрунту γ_g для обчислення розрахункових характеристик φ і c визначається залежно від мінливості цих характеристик, кількості визначень і значення довірчої імовірності.

Примітка. Згідно з вимогами державних стандартів і будівельних норм мінімальна кількість однойменних окремих визначень в

дослідженнях опору ґрунту зсуву повинна становити для кожного виділеного інженерно-геологічного елемента (ІГЕ) $n=6$. Обробку результатів для визначення φ і c виконують обчисленням за методом найменших квадратів прямолінійної залежності $\tau = \sigma \operatorname{tg}\varphi + c$ для всієї сукупності дослідних значень τ в інженерно-геологічному елементі (див. розділ 7).

Контрольні запитання

1. Що розуміють під поняттям "опір ґрунтів зсуву"?
2. Які прилади використовують для випробування ґрунтів зрізування?
3. З якою метою виконують випробування ґрунтів на зрізування?
4. У яких випадках слід застосовувати метод консолидовано-дренованого, а у яких неконсолідованого-недренованого зрізування?
5. Накресліть схему приладу для зрізування ґрунтів.
6. Побудуйте графік залежності опору зсуву від нормального напруження для незв'язних ґрунтів.
7. Як формулюють закон Кулона для незв'язних ґрунтів?
8. Які характеристики міцності ґрунтів Вам відомі?
9. Який кут названо кутом внутрішнього тертя ґрунту?
10. Напишіть формулу закону Кулона для незв'язних ґрунтів.
11. Напишіть формулу закону Кулона для зв'язних ґрунтів.
12. Накресліть графік залежності опору зрізування від нормального напруження за даними лабораторних випробувань.

σ_i , МПа	0,1	0,2	0,3
τ_i , МПа	0,09	0,15	0,21

13. Визначте за спрощеною формулою кут внутрішнього тертя ґрунту, якщо відомо, що при нормальному напруженні $\sigma_1 = 0,1$ МПа опір зрізуванню $\tau_1 = 0,09$ МПа, а при $\sigma_2 = 0,2$ МПа – $\tau_2 = 0,15$ МПа.

14. Яка розмірність питомого зчеплення c ?

15. Визначте за спрощеною формулою питоме зчеплення c зв'язного ґрунту, якщо при нормальному напруженні $\sigma_1 = 0,1$ МПа опір зрізуванню ґрунту $\tau_1 = 0,07$ МПа, а коефіцієнт внутрішнього тертя $\operatorname{tg}\varphi = 0,5$.



Робота № 12. ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ СИПУЧИХ ҐРУНТІВ

Кутом природного укосу α називають кут нахилу поверхні вільно відсипаного незв'язного ґрунту до горизонтальної площини, або кут, при якому незакріплений піщаний укіс зберігає граничну рівновагу.

Кут природного укосу є однією з основних розрахункових характеристик в проектуванні гребель, дамб, дорожніх насипів та інших споруд, виконаних з пісків або великоуламкових незв'язних ґрунтів. Його використовують також у розрахунках об'ємів сипучих матеріалів на складах і складських майданчиках.

В залежності від гранулометричного складу, форми частинок і вологості кут природного укосу пісків знаходиться в межах $24^\circ \div 40^\circ$, для сухих пісків – $30^\circ \div 40^\circ$, для пісків під водою – $24^\circ \div 33^\circ$.

Лабораторні дослідження з визначенням кута природного укосу здійснюють на пісках у повітряно-сухому стані і водонасиченому (під водою).

Найбільш поширеними приладами для визначення кута природного укосу є прилад УО конструкції Д.І.Знаменського (рис. 5.15.), прилад І.М.Літвінова (рис. 5.16.) .

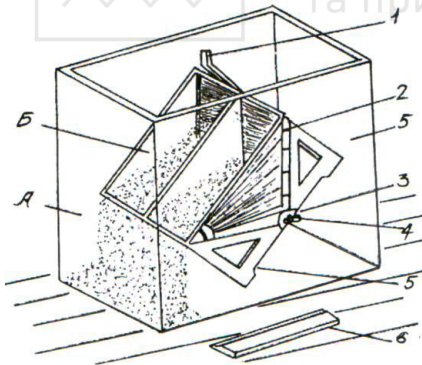


Рис. 5.15. Прилад УО конструкції Д.І.Знаменського

А - прямокутна банка; Б - укладка;
1 - ручка; 2 - кутова сітка; 3 - вісь;
4 - підшипник; 5 - упори; 6 - лінійка

Прилад УО конструкції Д.І.Знаменського (рис.5.15) складається з прямокутної банки А і укладки Б, внутрішня частина якої розділена перетинкою навпіл, що дозволяє паралельно проводити два досліді. На двох бічних поверхнях укладки помічені кутові сітки 2, а на торцевій – шкала. Укладка встановлюється в середині балки з допомогою осей 3, які заходять у пази підшипників 1, прикріплених до бічних стінок банки. Укладка може повертатися в

середині банки на кут 45° і фіксується в повернутому положенні упорами 5.

Для визначення кута природного укосу сухого ґрунту з банки виймають укладку і ставлять на рівну поверхню. Насипають досліджуваний ґрунт в обидві частини укладки. Надають піску рівну горизонтальну поверхню і видаляють надлишок піску лінійкою 6. Обережно установлюють укладку з грантом у горизонтальному положенні в середині банки, при цьому ручка 1 повинна опиратися на стінку банки. Плавню, без поштовхів, укладку повертають на осі 3 з допомогою ручки 1 на кут 45° до нижнього упору 5. Повертання виконують на протязі $5\div 7$ секунд. Під час повертання укладки ґрунт частково висипається у банку, а решта ґрунту утворює з нижньою гранню укладки кут, який і є кутом природного укосу. Визначають його з точністю до одного градуса.

Для визначення кута природного укосу піску під водою, після установлення укладки з ґрунтом у банку в горизонтальному положенні, банку наповнюють водою до верхньої позначки, розташованої на її бічній поверхні. Протягом близько 10 хвилин дають можливість ґрунту насититись водою. Обережно повертають укладку на кут 45° і заміряють кут природного укосу насиченого водою ґрунту.

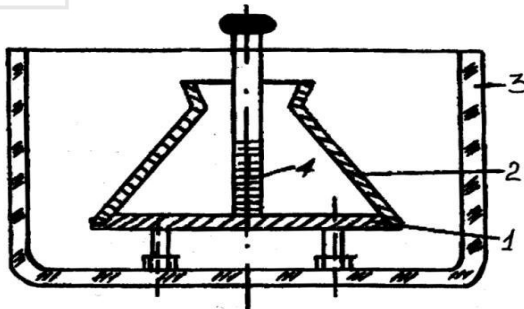


Рис. 5.16. Прилад УВТ-2

1 - мір'яльний столик; 2 - обойма; 3 - резервуар; 4 - вимірювальна шкала.

Прилад УВТ-2 (рис.5.16) складається з мір'яльного столика 1, обойми 2 і резервуару 3. Мір'яльний столик являє собою диск з вимірювальною шкалою 4, розташований на трьох опорах (ніжках). Диск перфорований отворами діаметром $0,8\div 1,0$ мм. Шкала закріплена в центрі диска і має поділки від 5° до 45° . Кожна поділка відповідає одному градусу кутового виміру.



На мір'яльному столику установлена обойма конічної форми, яка слугує для обгородження насипаного на столик піску. Резервуар являє собою скляний циліндр висотою 120 мм і діаметром 180 мм.

Для визначення кута природного укосу піску на приладі УВТ-2, установлюють резервуар на рівну поверхню. В резервуар поміщують мір'яльний столик. На столик ставлять обойму, в яку совком засипають пісок, злегка постукуючи по резервуару або обоймі. Обережно вертикально виймають обойму. На вершині утвореного конуса з ґрунту беруть відлік кута природного укосу.

Для визначення кута природного укосу пісків під водою, після заповнення обойми піском, резервуар наповнюють водою через гумову трубку. Після повного насичення піску водою, кут природного укосу визначають вище описаним способом.

В навчальному процесі перевагу надають приладу І.М.Літвінова, як найбільш зручному і малогабаритному (рис.5.17).

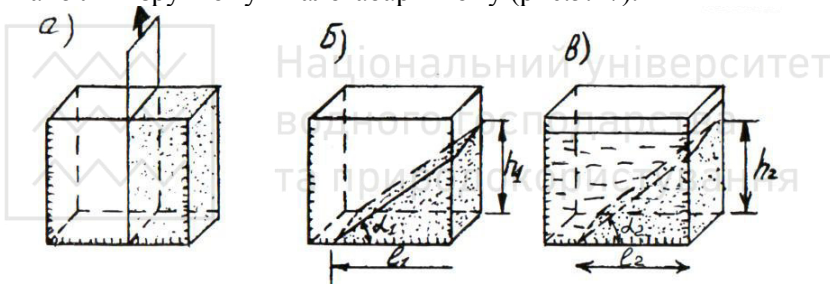


Рис. 5.17. Прилад І.М.Літвінова

Необхідні прилади і матеріали

1. Сипучий ґрунт (пісок) у повітряно-сухому стані.
2. Прилад І.М.Літвінова.
3. Вода.

Методика визначення кута природного укосу сухого піску

1. Прилад І.М.Літвінова, на якому розмічені шкали, ділять перегородкою на два відділення і ставлять на горизонтальну поверхню столу (рис. 5.17)

2. В менше відділення насипають сухий пісок.

3. Перегородку обережно виймають. Ґрунт при цьому осипається (рис. 5.17, б), утворюючи кут природного укосу α_1 , який визначають через тангенс:



$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{l_1}; \quad \alpha_1 = \operatorname{arctg} = \frac{h_1}{l_1} \quad (5.20)$$

де h_1 – висота укосу;

l_1 – основа укосу.

Значення h_1 і l_1 отримують з розміщених шкал на приладі.

Методика визначення кута природного укосу водонасиченого піску

1. Прилад І.М.Літвінова встановлюють так, як на рис.5.17, а.
2. В менше відділення насипають сухий пісок, а в більше наливають воду, ставлять на горизонтальну поверхню столу і слідкують, щоб рівень води не був нижчим за рівень піску.
3. Після повного насичення піску водою обережно і поволі підіймають перегородку. Утворюється кут природного укосу водонасиченого ґрунту α_2 , який також визначають через тангенс:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{h_2}{l_2}; \quad \alpha_2 = \operatorname{arctg} = \frac{h_2}{l_2} \quad (5.21)$$

Контрольні запитання

1. Що називають кутом природного укосу?
2. В яких межах може знаходитись кут природного укосу піску в повітряно-сухому стані?
3. Які значення може набувати кут природного укосу піску під водою?
4. Нарисуйте схему приладу І.М.Літвінова для визначення кута природного укосу.
5. За якими формулами визначають кут природного укосу сипучого ґрунту?
6. Нарисуйте схему приладу УО конструкції І.Д.Знаменського.
7. Нарисуйте схему приладу УВТ-2.



Робота № 13. ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНІСНИХ І ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ В УМОВАХ ТРЬОХОСЬОВОГО СТИСНЕННЯ

Випробовування ґрунтів в компресійних приладах для визначення модуля деформації ґрунту E і в одноплощинних зрізувальних приладах для визначення кута внутрішнього ϕ і питомого зчеплення c не повністю моделюють стан ґрунту в основі споруд під навантаженням. Це пов'язане з конструкціями самих приладів, а також з тим, що міцнісні і деформаційні характеристики ґрунтів визначаються на різних зразках ґрунту, на різних приладах і в різних умовах дослідів. Для комплексного визначення деформаційних і міцнісних характеристик використовують стабілометри (фото 5.4), ґрунти в яких випробовують в умовах трьохосьового стискання.



Перевагою стабілометра є відсутність фіксованої площини зсуву, можливість створення різного співвідношення вертикальних і горизонтальних навантажень під час дослідів. Випробування ґрунтів у стабілометрах дають можливість отримувати більш достовірні значення модуля деформації, питомого зчеплення, кута внутрішнього тертя, а також визначати коефіцієнти

Фото. 5.4 Стабілометр

бокового тиску, бокового розширення і фільтрації!

Сутність випробувань на стабілометрах в умовах просторового трьохосьового стиснення полягає в тому, що зразки ґрунтів циліндричної форми діаметром $d=4$ см і висотою $h=8$ см (діаметр має бути не меншим за 38 мм і відношення діаметра до висоти зразка від 1:2 до 1:1,25) доводять до руйнування збільшення осьового вертикального напруження σ_1 , при незмінному боковому напруженні $\sigma_2=\sigma_3$ (рис.5.18а). У процесі випробувань фіксується вертикальна деформація зразка Δh . Результат окремого випробування подається залежністю вертикальної відносної деформації $\varepsilon_1=\Delta h/h$ від різниці головних напружень $(\sigma_1-\sigma_2)$, де h – початкова висота зразка (рис.5.18а).



Початкова ділянка залежності $\varepsilon_I=f(\sigma_I-\sigma_2)$ (наближена до лінійної) – фаза ущільнення. Виділивши кінцеву точку прямолінійної ділянки (точка А на рис. 5.18, б) і визначивши відповідні їй $(\sigma_I-\sigma_2)_{npon}$ і $\varepsilon_{I_{npon}}$ можна визначити основну деформаційну характеристику ґрунту – модуль деформації:

$$E = \frac{(\sigma_I - \sigma_2)_{npon}}{\varepsilon_{I_{npon}}} \quad (5.22)$$

Міцнісні характеристики ґрунту визначаються в стані граничної рівноваги ґрунту, який виникає перед руйнуванням ґрунту (точка В на рис. 5.18б).

Напруження σ_1^P і σ_2 , що відповідають цьому стану, повинні задовольняти умову граничної рівноваги: для зв'язкого ґранту ($C \neq 0$)

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1^P - \sigma_2}{2C \cdot \text{ctg} \varphi + \sigma_1^P + \sigma_2} \quad (5.23)$$

для незв'язкого ґранту ($C=0$)

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1^P - \sigma_2}{\sigma_1^P + \sigma_2} \quad (5.24)$$

За відомих з досліду σ_1^P і σ_2 міцнісні характеристики можна знайти аналітично, розв'язанням рівнянь (5.23) і (5.24) відносно φ і c , або графічно, що буде показано далі.

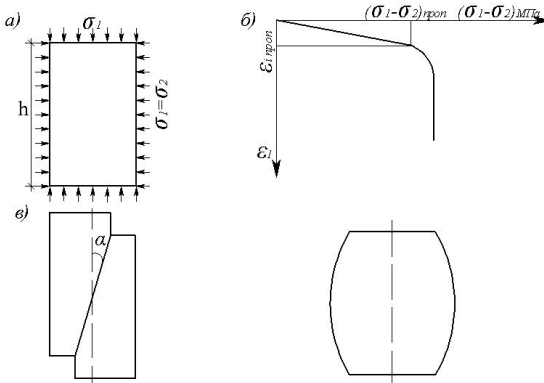


Рис. 5.18 Випробування ґрунту в умовах трьохосового стискування.
а - напружений стан зразка; б - графічна залежність $\varepsilon_I=f(\sigma_I-\sigma_2)$,
в - форми руйнування зразків.



Руйнування зразків щільних і середньої щільності пісків, твердих, напівтвердих і тугопластичних глинистих ґрунтів відбувається звичайно у вигляді явно вираженого зколу. Пухкі піски і м'якопластичні глинисті ґрунти можуть безперервно деформуватись не даючи зколу, а приймаючи бочкоподібну форму (рис. 5.18в). В цьому випадку критерієм руйнування є величина відносної деформації зразка $\epsilon_I \geq 0,15$.

Випробування ґрунтів проводять за такими схемами:

- неконсолідовано-недреноване випробування для визначення опору недренованому зсуву водонасичених глинистих, органо-мінеральних та органічних ґрунтів природної щільності;
- консолідовано-недреноване випробування для визначення характеристик міцності глинистих, органо-мінеральних та органічних ґрунтів у нестабілізованому стані;
- консолідовано-дреноване випробування для визначення характеристик міцності та деформованості будь-яких дисперсних ґрунтів у стабілізованому стані.

Для випробовувань використовують зразки непорушеної будови природної вологості або порушеної будови з заданими значеннями щільності і вологості.

У навчальному процесі для полегшення роботи краще проводити неконсолідовано-недреноване випробування на зразках глинистого ґрунту непорушеної будови.

Обладнання і прилади

До складу приладу для випробування ґрунтів методом трьохосьового стискання повинні входити:

1. Камера трьохосьового стискання зі штампами.
2. Пристрій для створення, підтримування і вимірювання тиску в камері.
3. Механізм для вертикального навантаження зразка.
4. Пристрої для вимірювання вертикальних та об'ємних деформацій.
5. Прилади для вимірювання тиску в поровій рідині.

Принципова схема камери трьохосьового стискання наведена на рис.5.19.

Конструкція камери трьохосьового стискання повинна забезпечувати бокове розширення зразка, віджимання води із зразка у випадку проведення консолідовано-дренованого випробування.

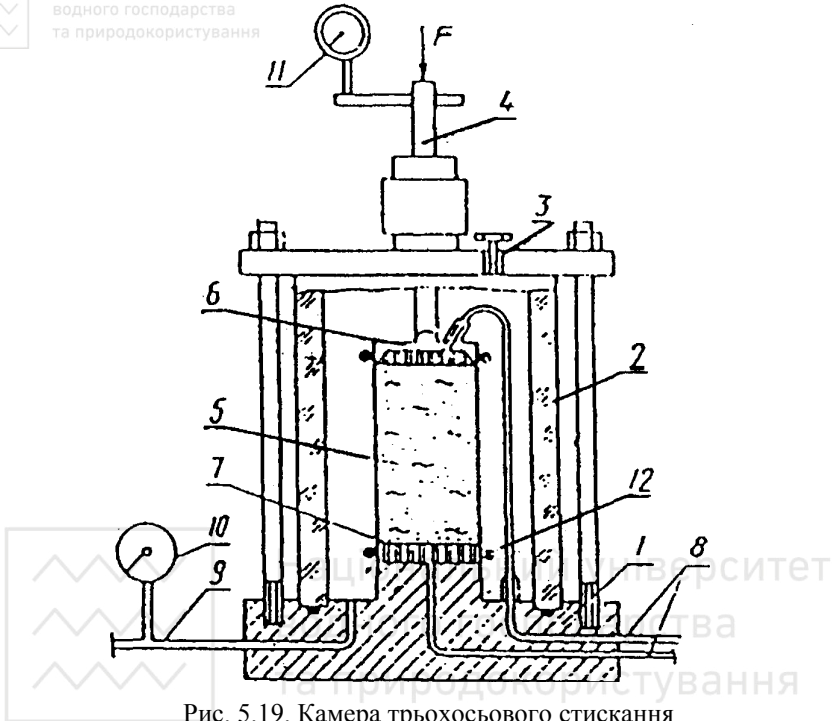


Рис. 5.19. Камера трьохосового стиснення

1- основа камери; 2- корпус камери; 3- вентиль для випускання повітря;
4- шток; 5- зразок ґрунту в оболонці; 6- верхній штамп; 7-нижній штамп;
8- трубки для дренажу тиску в поровій рідині; 9- трубка для заповнення камери і вимірювання тиску в камері; 10-манометр; 11- індикатор; 12- ущільнювач.

Вимірювальні прилади повинні забезпечувати похибку:

- при вимірюванні вертикального навантаження на зразок – не більше 1 % навантаження під час руйнування зразка;
- при вимірюванні тиску в камері – не більше 2% від заданого;
- при вимірюванні вертикальних деформацій зразка – не більше 0,01 мм;
- при вимірюванні об'ємних деформацій – не більше 0,03% від початкового об'єму зразка.



Зразок ґрунту непорушеної будови вирізають за допомогою циліндричної форми методом різального кільця. Внутрішню поверхню форми попередньо змащують тонким шаром технічного вазеліну.

За допомогою виштовхуючого пристрою зразок ґрунту дістають з форми і заміряють його діаметр d і висоту h , а також зважують (M).

Торці зразка покривають вологим паперовим фільтром і розміщують зразок між штампами. За допомогою розширювача, конструкція якого наведена на рис. 5.20, на зразок одягають гумову оболонку, товщиною не більше 0,25 мм. Оболонку закріплюють на бічних поверхнях штампів гумовими або металевими ущільнювачами.

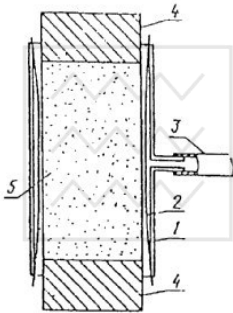


Рис. 5.20 Розширювач для поміщення зразка ґрунту в гумову оболонку.

1 - металевий циліндр; 2 - гумова оболонка; 3 - гнучка трубка до джерела розрідження; 4 - штамп; 5 - зразок ґрунту.

Зразок ґрунту зі штампами ставлять на основу камери. Корпус камери з піднятим у верхнє положення штоком встановлюють на її основу і перевіряють положення штока відносно центра зразка. Корпус камери закріплюють на її основі.

Камеру заповнюють робочою рідиною (дистильованою кип'яченою водою або гліцерином) з повним видаленням бульбашок повітря.

Встановлюють прилади для замірювання вертикальних і об'ємних деформацій.

Примітка. Прилад для досліду готує лаборант до початку заняття.



Проведення випробування

В камері протягом 5÷10 хв створюють об'ємний тиск, який можна прийняти з таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

Об'ємні тиски в камері

Найменування ґрунту	Об'ємний тиск в камері σ_2 , МПа		
Глинисті ґрунти			
з показником текучості: $0 < I_L < 0,5$	0,1	0,2	0,3
$0,5 < I_L < 1,0$	0,05	0,1	0,15
$I_L > 1,0$	0,025	0,05	0,075

Після цього зразок буде знаходитись у гідростатичному напруженому стані, коли напруження у всіх напрямках однакові:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \quad (5.23)$$

Після стабілізації деформацій від об'ємного стиснення записують початкове показання індикатора.

До зразка ґрунту повільно, не допускаючи ударів, докладають вертикальне навантаження, збільшуючи його ступенями. Ступінь вертикального тиску повинен дорівнювати 10% від об'ємного тиску в камері.

Заміряють час докладання навантаження.

Через кожну хвилину показання індикатора записують в журнал.

Коли осідання від першого ступеня навантаження стабілізуються (різниця двох послідовних відліків з індикатора стане не більше 0,02 мм), докладають другий ступінь навантаження. Випробовування продовжують до руйнування зразка, або появи пластичної деформації без збільшення навантаження.

За відсутності видимих ознак руйнування, випробовування припиняють, якщо відносна вертикальна деформація зразка ґрунту $\varepsilon_I = 0,15$.

За граничне приймають навантаження без урахування останнього ступеня, який призвів до руйнування зразка. Вертикальний тиск, що відповідає граничному навантаженню, є вертикальним тиском на зразок у стані граничної рівноваги σ_I^p .

За записами в журналі для кожного ступеня навантаження визначають абсолютну Δh і відносну $\varepsilon_I = \Delta h / h$ деформації зразка і додаткове вертикальне напруження $\sigma_I - \sigma_2$.

Креслять графік залежності $\varepsilon_I = f(\sigma_I - \sigma_2)$ (див. рис. 5.18б), на якому фіксують точку А, що відповідає кінцю ділянки лінійної залежності,



і точку B , що відповідає стану граничної рівноваги зразка.

За формулою 5.22 визначають модуль деформації E .

За напруженнями σ_1^p і σ_2 креслять коло напружень (рис. 5.21). Для побудови другого кола необхідно повторити випробування при наступному значенні σ_2 . За браком часу, дані для побудови другого кола надаються викладачем. Проводячи до кіл загальну дотичну, визначають відтинки на осі ординат (τ) – зчеплення ґрунту c і заміряють кут нахилу дотичної до осі абсцис (σ) – кут внутрішнього тертя ґрунту φ .

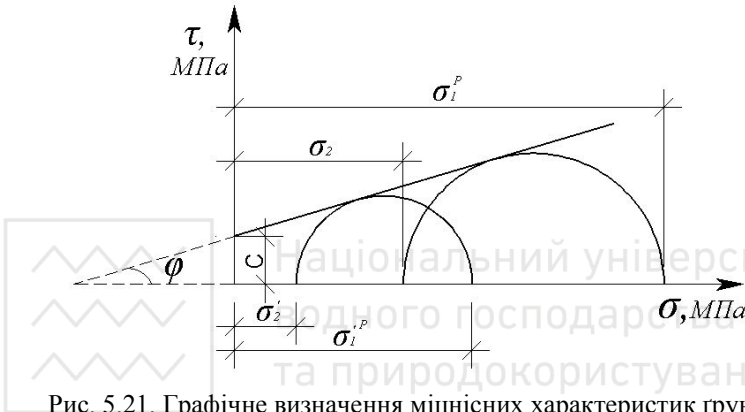


Рис. 5.21. Графічне визначення міцнісних характеристик ґрунту за результатами випробувань в стабілометрі.

Якщо виконувалось не менше трьох випробувань зразків ґрунту при різних значеннях σ_2 , кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення можна визначити за формулами:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{N-1}{2\sqrt{N}} \quad (5.26)$$

$$c = \frac{M}{2\sqrt{N}}, \quad (5.27)$$

де N і M – коефіцієнти, які вираховуються за формулами:

$$N = \frac{n \sum \sigma_2 \cdot \sigma_1^p - \sum \sigma_2 \sum \sigma_1^p}{n \sum \sigma_2^2 - \left(\sum \sigma_2 \right)^2} \quad (5.28)$$

$$M = \frac{1}{n} \left(\sum \sigma_1^p - N \sum \sigma_2 \right) \quad (5.29)$$



де σ_1^p і σ_2 – граничне значення σ_1 і σ_2 при руйнуванні зразка;
 n – число випробувань.

Модуль деформації ґрунту E і коефіцієнт поперечної деформації можна визначити за формулами:

$$E = \frac{\Delta\sigma_2(2\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_1) - (\Delta\sigma_1)^2}{\Delta\sigma_2(2\Delta\varepsilon_2 - \Delta\varepsilon_1) - \Delta\varepsilon_1\Delta\sigma_1} \quad (5.30)$$

$$\nu = \frac{\Delta\varepsilon_1\Delta\sigma_2 - \Delta\varepsilon_2\Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_1\Delta\sigma_1 + (\Delta\varepsilon_1 - 2\Delta\varepsilon_2)\Delta\sigma_2} \quad (5.31)$$

де $\Delta\sigma_1$ і $\Delta\sigma_2$ – приріст напружень σ_1 і σ_2 в заданому діапазоні;

$\Delta\varepsilon_2$ – приріст відносної поперечної деформації зразка ґрунту
вираховується за формулою:

$$\Delta\varepsilon_2 = \frac{\Delta\varepsilon_v - \Delta\varepsilon_1}{2} \quad (5.32)$$

де $\Delta\varepsilon_v$ і $\Delta\varepsilon_1$ – приріст відносних об'ємної і вертикальної деформації.

Відносна об'ємна деформація зразка ґрунту

$$\Delta\varepsilon_v = \Delta V/V,$$

де V – початковий об'єм зразка;

ΔV – абсолютна об'ємна деформація зразка.

Лабораторне заняття №9

Робота № 14. ВИЗНАЧЕНАЯ ВОДОПРОНИКНОСТІ (КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ) ПІСКІВ

Водопроникністю ґрунтів називають здатність ґрунту пропускати (фільтрувати) через себе воду. Ступінь водопроникливості різних ґрунтів різна і залежить від гранулометричного складу, пористості і структури ґрунтів, розмірів і форми пор. В пісках, де пори мають відносно великі розміри, фільтрація води проходить легше і швидше ніж в глинистих ґрунтах, які мають велику кількість пор, але з дуже малими поперечними перерізами і де значна частина об'єму пор зайнята фізично-зв'язаною водою.

Водопроникність характеризується коефіцієнтом фільтрації K_f , що являє собою швидкість фільтрації, коли напірний градієнт дорівнює одиниці.

Якщо пропускати воду через зразок ґрунту площею A і



довжиною L з різницею напору ΔH , то за певний час t згідно з формулою закону Дарсі профільтрується вода в об'ємі

$$V_w = K_\phi \cdot I \cdot A \cdot t, \quad (5.33)$$

де I – градієнт напору, який дорівнює відношенню різниці напорів води до довжини шляху фільтрації і визначається за формулою $I = \Delta H / L$. Звідси коефіцієнт фільтрації її $K_\phi = V_w / (AIt)$.

Об'єм води, що протікає за одиницю часу крізь одиницю площі поперечного перерізу ґрунту, називається швидкістю фільтрації і визначається за формулою

$$v = K_\phi \cdot I, \quad (5.34)$$

Коефіцієнт фільтрації вимірюють в см/сек або м/доб. Орієнтовні значення коефіцієнтів фільтрації для пісків і глинистих ґрунтів наведені в табл.5.9.

Таблиця 5.9.

Орієнтовні значення коефіцієнтів фільтрації ґрунтів

Ґрунти	K_ϕ , м/доб	Ґрунти	K_ϕ , м/доб
Піски гравелісті	50÷100	Піски пилюваті	0,1÷2
Піски крупні	25÷75	Супіски	0,1÷0,7
Піски середньої крупності	10÷25	Суглинки	0,005÷0,4
Піски дрібні	2÷10	Глини	<0,005

За значеннями K_ϕ ґрунти ділять на дуже сильноводопроникні ($K_\phi > 30$ м/доб); сильноводопроникні ($K_\phi = 3 \div 30$ м/доб); водопроникні ($K_\phi = 0,30 \div 3$ м/доб); маловодопроникні ($K_\phi = 0,005 \div 0,30$ м/доб); водонепроникні ($K_\phi < 0,005$ м/доб).

Коефіцієнт фільтрації використовують для визначення притоку води до котлованів, дренажних і водорозбірних пристроїв, розрахунків осідань фундаментів в часі, фільтраційних втрат води крізь земляні споруди та ін.

Необхідні прилади і матеріали

1. Прилад КФ-ООМ.
2. Лопатка.
3. Гумовий молоточок.
4. Правило.
5. Термометр.
6. Глибока тарілка (чашка).
7. Секундомір.
8. Пісок.

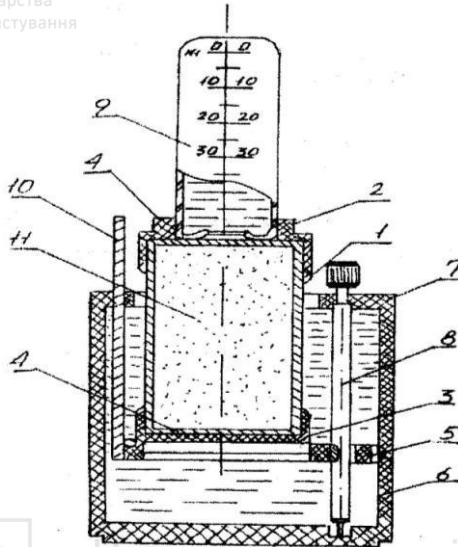


Рис. 5.22. Прилад для визначення коефіцієнта фільтрації КФ-ООМ
1 - циліндр; 2 - муфта; 3 - перфороване дно; 4 - металева сітка;
5 - підставка; 6 - корпус; 7 - накривка; 8 - підймальний гвинт;
9 - скляний балон зі шкалою об'єму фільтруючої рідини;
10 - планка зі шкалою градієнтів напору; 11 - досліджуваний зразок ґрунту.

Методика визначення коефіцієнта фільтрації

1. З корпуса приладу дістають фільтраційну трубку, яка складається з циліндра, муфти, перфорованого дна, двох металевих сіток, скляного балона, і розбирають її. Перфороване дно 3 і нижню металеву сітку 4 залишають на циліндрі 1.

2. В циліндр 1 лопаткою насипають пісок шарами 1-2 см і ущільнюють його, постукуючи гумовим молоточком по циліндру. Надлишок піску зрізують правилом.

3. В корпус приладу 6 наливають воду і, обертаючи підймальним гвинтом 8, підіймають підставку 5 до суміщення позначки "1.0" градієнта напору на планці 10 з верхнім краєм накривки корпуса 7.

4. Встановлюють циліндр 1 на підставку 5 і, обертаючи підймальний гвинт 8, поволі занурюють циліндр у воду до позначки на планці градієнта напору $I=0,8$ та залишають його в такому положенні до тієї пори, поки ґрунт не зволожиться. В



процесі водонасичення ґрунту підтримують постійний рівень води на краю корпусу 6.

5. На зразок ґрунту кладуть верхню металеву сітку 4 насаджують на циліндр верхню муфту 2, обертаючи підймальний гвинт 8, опускають фільтраційну трубку (циліндр) 1 в крайнє нижнє положення і залишають на 15 хвилин.

6. Обертанням підймального гвинта 8 устанавлюють циліндр 1 з ґрунтом на суміщенні позначки необхідного градієнта напору на планці з верхнім краєм накривки корпусу 7 і доливають воду в корпус до верхнього його краю.

7. Заміряють температуру води.

8. Наповнюють мірний скляний балон 9 водою і, затиснувши пальцем його отвір, перекидають отвором вниз, підносять якнайближче до циліндра з ґрунтом і, віднімаючи палець, швидко встановлюють в верхню муфту фільтраційної трубки так, щоб його горловина торкалася металеві верхньої сітки 4, а в балон рівномірно підіймалися дрібні бульбашки повітря. Якщо в мірний балон заходять крупні бульбашки повітря, його необхідно опустити нижче, поки не з'являться дрібні бульбашки.

9. Помічають час, коли рівень води в балоні досягає поділки шкали 10 (або 20) см³, приймаючи цей час за початок фільтрації води. Надалі фіксують час, коли рівень води досягає відповідно поділок 20, 30, 40, 50 (або 30, 40, 50, 60) см чи інших крайніх значень. Проводять чотири виміри. Записи заносять в журнал (див. таблицю 5.10).

Обробка результатів

Коефіцієнт фільтрації ґрунту $K_{\phi 10}$ м/добу, зведений до умов фільтрації при температурі 10°C, вираховується за формулою

$$K_{\phi 10} = \frac{864}{T} K_{\phi} = \frac{864V_w}{At_m T}, \quad (5.34)$$

де V_w – об'єм профільтрованої води, см³;

t_m – середня тривалість фільтрації (за замірами з однаковими витратами води), с;

A – площа поперечного перерізу циліндра фільтраційної трубки; в приладі КФ-ООМ площа $A=25$ см²;

I – градієнт напору;

$T=0,7+0,03T_{\phi}$ – поправка для зведення значення коефіцієнта



фільтрації до умов фільтрації при температурі 10°C, де T_f – фактична температура води °C під час досліду;
864–перевідний коефіцієнт з см/сек в м/доб.

Коефіцієнт фільтрації обчислюють з точністю до 0,01 м/доб.

Таблиця 5.10.

Визначення коефіцієнта фільтрації (приклад заповнення)

Час фільтрації t_m, c	Відлік на шкалі мірного балона	Об'єм профільованої води V_w, cm^3	Площа фільтрації A, cm^2	Градiєнт напору I	Температура води °C	Коефіцієнт фільтрації $K_{\phi 10}$ м/добу	Середнє значення коефіцієнта фільтрації $K_{\phi 10}$ м/добу
0	10						17,93
32	30	20	25	1	20	16,62	
0	30						
31	50	20	25	1	20	17,15	
0	50						
30	70	20	25	1	20	17,72	
0	70						
14	80	10	25	1	20	19,00	

Висновок.— Досліджуваний ґрунт відноситься до сильно-водопроникних, бо $3 \text{ м/доб} < K_{\phi 10} = 17,93 \text{ м/доб} < 30,0 \text{ м/доб}$.

Контрольні запитання

1. Що таке водопроникність ґрунтів?
2. Від чого залежить водопроникність ґрунтів?
3. Чим характеризується водопроникність ґрунтів?
4. Що називають коефіцієнтом фільтрації?
5. За якою формулою визначається коефіцієнт фільтрації?
6. Як формулюється закон Дарсі?
7. Яка формула закону Дарсі?
8. Що таке градієнт напору і яка його формула?
9. Яка формула визначення швидкості фільтрації?
10. Які прилади необхідні для визначення коефіцієнта фільтрації в лабораторних умовах?
11. Як ділять ґрунти за ступенем водопроникності?
12. Які ґрунти відносять до водонепроникних?
13. Зарисуйте схему приладу КФ-ООМ.



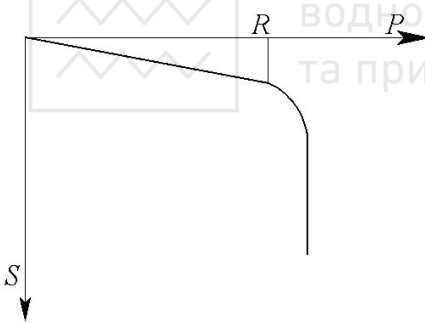
6. ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГРУНТІВ НА НАВЧАЛЬНИХ СТЕНДАХ

Лабораторне заняття №10

Робота 15. ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦІЇ ГРУНТІВ МЕТОДОМ ВИПРОБУВАНЬ ШТАМПОМ

Для розрахунків деформацій ґрунтів використовують їх модуль деформації E . Модуль деформації – це характеристика лінійного зв'язку між приростом тиску на ґрунт і його деформаціями. При певних тисках на ґрунт руйнуються структурні зв'язки і пружні деформації переходять в пластичні. Останні за величиною значно перевищують перші, тому E прийнято називати модулем загальної деформації, він враховує пружні і залишкові деформації.

У більшості випадків тиск під подошвою фундаментів P обмежується величиною R (R – розрахунковий опір ґрунту), за якої умови ще зберігається лінійна залежність між деформаціями S і тиском P (рис. 6.1). У цьому випадку модуль деформації



визначають в межах лінійної залежності.

Таким чином, для визначення E необхідно знати залежність між деформаціями ґрунтів, і діючим тиском. Таку залежність можна одержати на основі компресійних (див. роботу № 8), пресіометричних або штампових випробувань. Результати останніх є найбільш точними (еталонними). Модуль деформації

E можна також визначати з допомогою таблиць за фізичними показниками ґрунтів [14].

Суть методу штампових випробувань така: на круглий жорсткий штамп, який лежить на ґрунті, окремими ступенями передають навантаження і визначають за допомогою прогиномірів осідання штампа. Навантаження передають гідравлічним домкратом або тарованими вантажами. Випробування проводять в котлованах, шурфах (рис.6.2) або в свердловинах (рис.6.3).

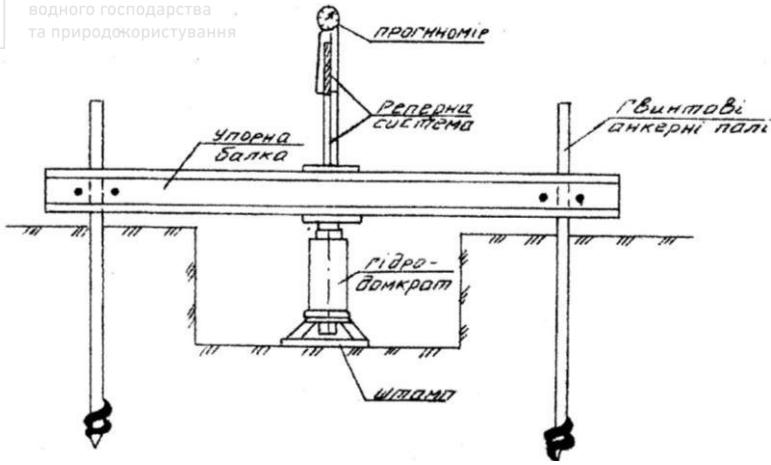


Рис. 6.2 Схема випробування ґрунтів штампом в шурфах (реперна система умовно не показана)

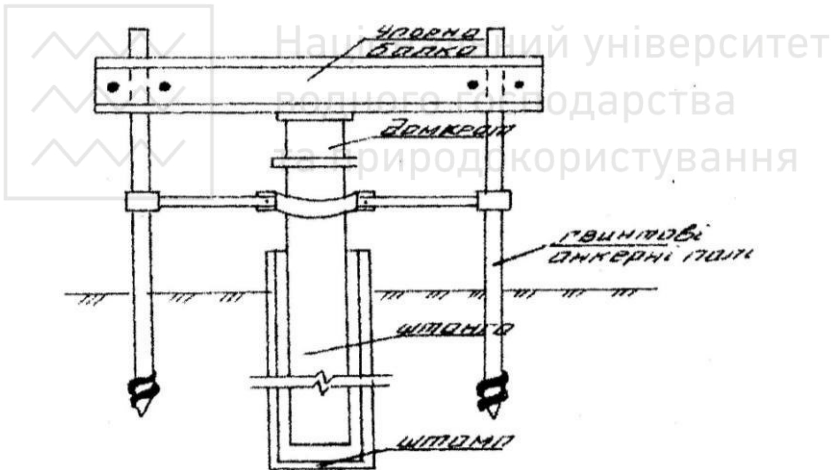


Рис. 6.3 Схема випробування ґрунтів штампом в свердловинах (реперна система умовно не показана)

Площа штампа приймається:

2500 см² – для пісків щільних і середньої щільності, глин і суглинків з $I_L < 0,25$, супісків з $I_L < 0$;

5000 см² – для великоуламкових ґрунтів, пісків пухких, глин і суглинків з $0,25 < I_L < 1$, супісків при $0 < I_L < 1$, просідаючих ґрунтів під час випробувань з замочуванням і піщаних та глинистих з домішками органічних речовин;

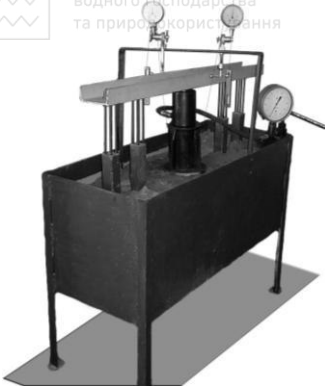


Фото. 6.1 Установа для випробування ґрунтів штампом

10000 см² – для глинистих ґрунтів з $I_L > 1$ – для випробувань у свердловинах.

Кожний ступінь навантаження витримується до моменту умовної стабілізації деформації ґрунту, за якої різниця переміщення штампа за останні 0,5; 1,0; 2,0 або 3,0 години (залежно від ґрунту) не перевищує 0,1 мм. Величина ступеня тиску також залежить від ґрунту і змінюється від 0,01 до 0,1 МПа (табл.6.1 і 6.2).

Таблиця 6.1.

Ступені тиску і час умовної стабілізації незв'язних ґрунтів

Назву ґрунту	Коефіцієнт водо-насичення	Величина ступеня тиску ΔP , МПа при щільності будови ґрунту			Час умовної стабілізації t , годин
		щільні	середньої щільності	пухкі	
Велико-уламкові	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,1	0,1	0,5
Піски крупні	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,05	0,025	0,5
Середньої крупності і дрібні	$S_r \leq 0,5$	0,1	0,05	0,025	0,5
	$0,5 \leq S_r \leq 1,0$	0,1	0,05	0,025	1,0
Пилуваті	$S_r \leq 1,0$	0,1	0,025	0,01	1,0
	$0,5 \leq S_r \leq 1,0$	0,1	0,025	0,01	2,0

Таблиця 6.2.

Ступені тиску і час умовної стабілізації глинистих ґрунтів

Показник текучості глинистих ґрунтів	Величина ступеня тиску ΔP , МПа при коефіцієнті пористості ґрунту, e				Час умовної стабілізації t , годин
	$e \leq 0,5$	$0,5 \leq e \leq 0,8$	$0,8 \leq e \leq 1,1$	$e > 1,1$	
$I_L \leq 0,25$	0,1	0,1	0,05	0,05	1
$0,25 < I_L \leq 0,75$	0,1	0,05	0,05	0,025	2
$0,75 < I_L \leq 1,0$	0,05	0,025	0,025	0,1	2
$I_L > 1,0$	0,05	0,025	0,1	0,1	3

Примітка: якщо $e > 1,1$, час умовної збільшувати на 1 годину.



Відліки з прогиномірів знімають для кожного ступеня навантаження:

– під час випробувань пісків – через кожні 10 хвилин першої півгодини, 15 хвилин другої півгодини і далі через 30 хвилин до умовної стабілізації;

– під час випробувань глинистих ґрунтів – через кожні 15 хвилин першої півгодини, 30 хвилин другої півгодини і далі через 1 годину до умовної стабілізації;

У навчальній лабораторній роботі час умовної стабілізації можна скоротити.

За результатами випробувань будують графік залежності осідання штампів від тиску P .

Кількість експериментальних точок повинна бути не менше 4-х. Через перші 4 точки проводять осереднюючу пряму використовуючи метод найменших квадратів (рис.6.4). За початкові значення P_n і S_n (перша точка, яка включається в осереднення) необхідно прийняти тиск, що відповідає природному напруженню σ_{zg} , і відповідне йому осідання. За кінцеві значення P_k і S_k – значення P_i і S_i , що відповідають

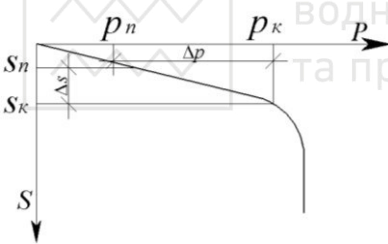


Рис. 6.4. Графів випробувань ґрунту штампом

четвертій точці з графіка на прямолінійному відрізку.

Якщо при навантаженні P , приріст осідання буде не менше як в двічі більшим ніж при попередньому ступеню тиску P_{i-1} ,

то за кінцеві значення P_k і S_k приймають P_{i-1} і S_{i-1} . При цьому кількість точок, що осереднюються, повинна бути не менше трьох. Якщо ця умова не виконується, випробування ґрунту проводять меншими ступенями тиску.

Модуль деформації ґрунту E визначають для прямолінійного відрізка графіка $S=f(p)$ за формулою

$$E = \left(-v^2 \right) \omega d \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (5.34)$$

де v – коефіцієнт Пуассона, приймається рівним 0,3 – для пісків і супісків; 0,35 – для суглинків; 0,42 – для глин;

ω – коефіцієнт, який дорівнює 0,79;



d – діаметр штампа;

ΔP – приріст тиску на штамп, $\Delta P = P_k - P_n$;

ΔS – приріст осідання штампа від ΔP визначається на осереднюючій прямій.

Випробування ґрунтів штампом проводять також для визначення відносної деформації просідання ε_{sl} (методом однієї або двох кривих) і початкового тиску просідання p_{sl} .

Завдання навчальної лабораторної роботи є ознайомлення з методикою випробувань ґрунтів штампами і визначення за результатами таких випробувань модуля деформації. Робота виконується на навчальній установці, яка моделює методику випробувань ґрунтів штампами в польових умовах. Тому приймаються деякі відхилення від наведених вище вимог державного стандарту.

Діаметр штампа лабораторної установки становить 178,4 мм, а його площа – 250 см². Час умовної стабілізації може бути зменшений до 2 хвилин. Величину кожного ступеня навантаження рекомендується прийняти 0,02 МПа (0,2 кгс/см²). Осереднюючу пряму допускається накреслити наближено.

Методика визначення модуля деформації ґрунту випробуваннями штампом

1. Монтують лабораторну установку: встановлюють штамп, гідродомкрат, упорну балку, манометр, прогиноміри.

2. Записують в журнал (табл. 6.3) початкові показання прогиномірів (рекомендується вивести стрілки прогиномірів на нульові позначки).

3. Поступово передають на штамп перший ступінь навантаження і записують показання прогиномірів. Витримують його до умовної стабілізації, записуючи показання прогиномірів через кожні 2 хвилини. В навантаження включають також вагу штампа, гідродомкрата і упорної балки. В процесі стабілізації осідання штампа зменшується навантаження від гідродомкрата, тому слід весь час підтримувати відповідний тиск.

4. Аналогічно навантажують штамп наступними ступенями (разом не менше чотирьох).

5. За результатами випробувань будують графік залежності осідання штампа S від тиску P (рис.6.4).

6. Визначають кількість розрахункових точок і проводять



осереднюючу пряму.

7. Визначають модуль деформації ґрунту E .

8. Порівнюють результати компресійних і штампових випробувань (якщо вони проводились з одним і тим же ґрунтом) та визначають коректуючий коефіцієнт m_k

$$m_k = E/E_k,$$

де E_k – модуль деформації, визначений за результатами компресійних випробувань.

Таблиця 6.3.

Результати випробувань ґрунтів штампом

№ ступеня навантаження	Показання манометра, МПа	Навантаження на штамп (загальне) N , кН	Тиск під подошвою P , МПа	Показання прогиномірів, мм			Осідання штампа S , мм	Осідання штампа за ступінь ΔS , мм	Загальне осідання штампа S , мм
				лівого	правого	середнє			

Контрольні запитання

1. Що називають модулем деформації ґрунтів?
2. Якими методами визначають модуль деформації ґрунтів?
3. Суть методу випробувань ґрунтів штампами.
4. Нарисуйте схему випробувань ґрунтів штампами в шурфах.
5. Нарисуйте графік залежності осідання штампа S від тиску P .
6. За якою формулою визначають модуль деформації за даними випробувань ґрунтів штампами?

Контрольний тест

Визначте модуль деформації ґрунту за результатами випробувань ґрунтів штампом, якщо діаметр штампа $d=79,8$ (54,4; 27,6) см, ґрунт – суглинок, осідання штампа при тиску $\Delta P=300$ кПа, $\Delta S = 1,2$ см.

Робота № 16. ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПАЛІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ СТАТИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

Несуча здатність палі – це максимальне статичне навантаження, яке вона може витримувати. Несучу здатність забивних палей можна визначити:

- розрахунками з використанням формул і таблиць будівельних норм [14];
- статичним зондуванням ґрунту;
- випробуваннями палей динамічними навантаженнями;
- випробуваннями еталонних палей статичним навантаженням, або палей-зондів статичним навантаженням;
- випробуваннями палей статичним навантаженням.

Метод випробувань натурних палей статичним навантаженням є еталонним і найбільш точним. За цим методом визначають несучу здатність палей на дію вертикальних, горизонтальних і висмикуючих навантажень, а також на сумісну дію різних навантажень.

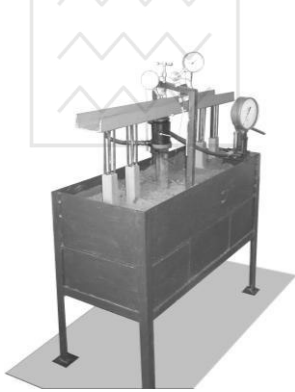


Фото. 6.2 Установка для випробування палей

Метою лабораторної роботи є ознайомлення з методикою виконання випробувань палей на дію статичних вертикальних навантажень і визначення несучої здатності палей за результатами таких випробувань. Робота виконується на модельній установці, конструкція якої відповідає найбільш поширеній схемі випробувань палей в польових умовах (фото 6.2).

Суть випробувань палей на дію вертикальних статичних навантажень полягає в тому, що на палі окремими ступенями передають навантаження і визначають їх переміщення (осідання) від кожного ступеня. Найчастіше випробування проводять за схемою, яка зображена на рис. 6.5.

Величина ступеня навантаження приймається рівною $1/10 \div 1/15$ від величини очікуваного значення несучої здатності палей. Кожен ступінь витримують до умовної стабілізації, коли переміщення палей не перевищує 0,1 мм за останню годину спостережень, якщо під



нижнім кінцем досліджуваної палі залягають піски або глинисті ґрунти від твердої до тугопластичної консистенції. Якщо консистенція глинистого ґрунту від м'якопластичної до текучої, час стабілізації становить 2 години.

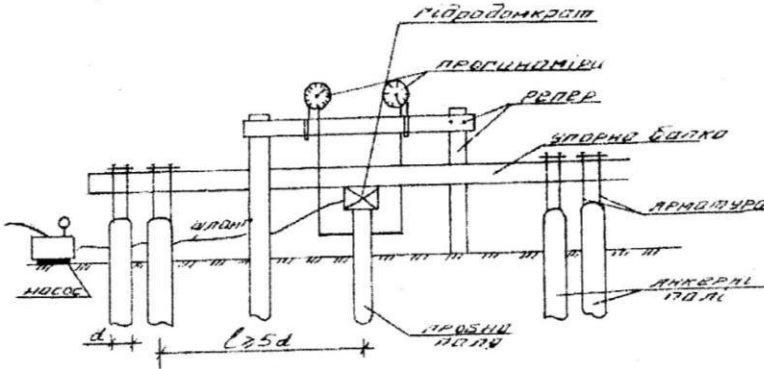


Рис. 6.5. Схема випробування паль вертикальним статичним навантаженням.

Відліки на прогиномірах знімаються зразу після передачі ступеня навантаження, потім чотири рази через 15 хвилин, 2 рази через 30 хвилин і далі кожну годину до затухання переміщень, тобто до умовної стабілізації.

Осідання палі під час досліду повинне бути доведене до величини не меншої 40 мм, крім випадків, коли паля заглиблена у великоуламкові ґрунти, щільні піски або в глинисті ґрунти твердої консистенції. Розвантаження паль виконують ступенями подвійної величини.

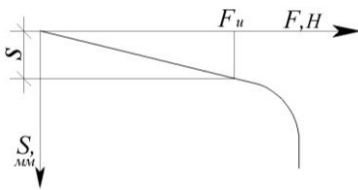


Рис. 6.6 Графік залежності $S=f(F)$

Відстань в осях між досліджуваною і анкерними палями, а також між досліджуваною палею і опорами реперної системи повинна бути не меншою п'яти найбільших розмірів поперечного перерізу палі. Кількість прогиномірів – не менше двох.

Випробування забивних паль розпочинають після їх "відпочинку": після забивки не менше трьох діб у пісках і не менше шести діб у глинистих ґрунтах. В процесі випробувань ведуть журнал (табл.6.4).

За результатами випробувань будують графік залежності осідання палі S від навантаження F (рис. 6.6)



Журнал польових випробувань паль статичними навантаженнями

№ ступеня навантаження	Величина ступеня навантаження ΔF , Н	Загальне навантаження F , Н	Показання прогиномірів, мм			Осідання палі за ступінь навантаження ΔS , мм	Загальне осідання палі S , мм
			лівого	правого	середнє		

Несуча здатність палі визначається за формулою

$$F_d = \gamma_c \frac{F_{un}}{\gamma_g} \quad (6.2)$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи, $\gamma_c=1$; F_{un} – нормативне значення граничного опору палі; γ_g – коефіцієнт надійності для ґрунту.

Якщо кількість випробуваних паль менша шести, то F_u приймається рівним найменшому значенню граничного опору, тобто $F_{un}=F_{un\ min}$, а $\gamma_g=1$. Коли випробуваних паль 6 або більше, F_{un} і γ_g визначають статистичною обробкою результатів окремих визначень величини граничних опорів паль.

В лабораторній роботі випробується одна паля, тому для цього випадку можна записати

$$F_d = F_{un} = F_u \quad (6.3)$$

За граничний опір палі приймають таке навантаження F_u від дії якого паля осідає на величину S' (рис. 6.6), яка визначається за формулою

$$S' = \xi S_{u,mt} \quad (6.4)$$

де $S_{u,mt}$ – гранично допустима величина середнього осідання споруди, що проектується; приймається за вимогами будівельних норм [14];

ξ – коефіцієнт переходу від граничного значення середнього осідання фундаменту споруди $S_{u,mt}$ до осідання палі, отриманого статичними випробуваннями з умовою стабілізацією осідання; $\xi = 0,2$.

Методика визначення несучої здатності палі

1. Монтують лабораторну установку: забивають в ґрунти модель палі, монтують гідродомкрат, упорну балку і прогиноміри.

2. Записують в журнал (табл. 6.4) показання прогиномірів при



відсутньому навантаженні (рекомендується виставити прогиноміри на нульові показники).

3. Задаються величиною ступеня навантаження (можна прийняти ступінь рівним 100 Н).

4. Поступово передають на палю перший ступінь навантаження і записують показання прогиномірів. Витримують цей ступінь до моменту умовної стабілізації. В лабораторній роботі за умовну стабілізацію можна прийняти осідання палі, яке дорівнює 0,1 мм за 1 хвилину, і тому показання прогиномірів слід записувати через кожну хвилину.

В процесі стабілізації осідань палі зменшується навантаження від гідродомкрата. Тому слід весь час підтримувати відповідний тиск.

5. Аналогічно навантажують палю наступними ступенями до того моменту коли почне спостерігатись її осідання без збільшення навантаження.

6. За результатами випробувань будують графік залежності осідання палі S від навантаження F (рис. 6.6).

7. Задають $S_{u,mb}$ і визначають осідання S , яке відповідає граничному опору палі F_u ($S'=0,2 S_{u,mb}$).

8. На графіку $S=f(F)$ визначають $F_d = F_u$.

9. Визначають допустиме навантаження на палю N за формулою

$$F_d = \frac{F_u}{\gamma_k} \quad (6.5)$$

де γ_k – коефіцієнт надійності, приймається рівним 1,2, якщо несуча здатність визначена за результатами натурних випробувань статичним навантаженням.

Контрольні запитання

1. Що називають несучою здатністю палі?
2. Назвіть основні методи визначення несучої здатності забивних палей.
3. В чому полягає суть випробувань палей статичним навантаженням?
4. Побудуйте графік залежності осідання палі S від навантаження F .
5. Як визначити несучу здатність палі за результатами випробувань статичним навантаженням?
6. Нарисуйте схему випробувань палей статичними навантаженнями.



7. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ

Результати повторних визначень характеристик ґрунтів відрізняються між собою, бо включають систематичні та випадкові похибки. Найбільш суттєвими є випадкові похибки, що зумовлено переважно високою неоднорідністю ґрунтового матеріалу. Тому для визначення характеристик ґрунтів використовують теорію випадкових похибок.

Нормативні і розрахункові показники ґрунтів встановлюються постійними для кожного інженерно-геологічного елемента (ІГЕ). Для розрахункового ґрунтового елемента (ІГЕ) ці характеристики приймаються постійними або такими, що закономірно змінюються в деякому напрямку.

За ІГЕ приймають деякий об'єм ґрунту одного й того ж походження та різновиду за умови, що в його межах відсутня закономірність зміни характеристик, або виявлена закономірність така, що нею можна знехтувати.

ІГЕ – це деякий об'єм ґрунту не обов'язково одного і того ж походження та різновиду, в межах якого характеристики можуть бути постійними чи такими, що закономірно змінюються (найчастіше з глибиною).

Нормативні величини X_n всіх фізичних та механічних показників ґрунтів приймають такими, що дорівнюють середньому арифметичному значенню \bar{X} і обчислюють за формулою

$$X_n = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (7.1)$$

де n – число визначень характеристики;

X_i – часткові значення характеристики, що одержують за результатами окремих i -тих дослідів.

Статистична перевірка на виключення грубих похибок заключається в тому, що виключають такі значення X_i , для яких виконується умова

$$\Delta X_f = |X_n - X_i| > \Delta X_f = vS \quad (7.2)$$

де v – статистичний критерій, що приймається за таблицею 7.1;

S – середнє квадратичне відхилення характеристики

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} |X_n - X_i|^2} \quad (7.3)$$



Значення статистичного критерія ν

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

Кількість однойменних визначень характеристик ґрунтів для кожного інженерно-геологічного або розрахункового ґрунтового елементів повинна бути не менше 6.

Для характеристик, що безпосередньо використовуються в розрахунках основ (E , φ , c , R_c , γ), визначають розрахункові значення X за формулою

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g} \quad (7.4)$$

де γ_g – коефіцієнт надійності по ґрунту.

Коефіцієнт γ_g визначається залежно від ступеня мінливості характеристик, кількості повторних визначень та довірчої імовірності a . Для розрахунків за другою групою граничних станів $a = 0,85$, а за першою групою – $a > 0,95$.

7.1. Визначення розрахункових значень питомої ваги, модуля деформації і опору ґрунту одноосьовому стиску

Якщо кількість дослідів, що повторюються, значна ($n > 30$), то для визначення розрахункових значень характеристик ґрунтів використовують нормальний розподіл, який має вигляд, показаний на рис. 7.1.

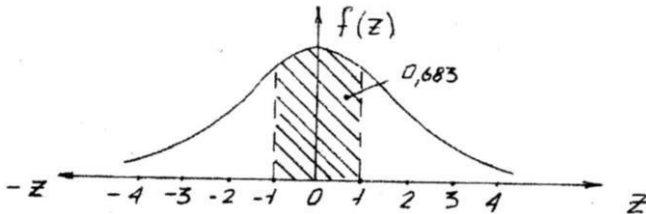


Рис. 7.1. Нормальний розподіл випадкової величини



Функція нормального розподілу

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad (7.5)$$

Інтегральна функція (площа фігури, обмеженої графіком)

$$P(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2/2} dz \quad (7.6)$$

де: $z = X / S$

X – величина похибки;

S – середнє квадратичне відхилення.

З допомогою останньої функції визначають імовірності подій, які підпорядковуються нормальному розподілу. Наведемо приклади імовірностей.

z	0	1	2	3	4
P(z)	0	0,683	0,954	0,997	0,994

Тобто, з імовірністю 0,683 можна стверджувати, що результати одного дослідження знаходяться в інтервалі $\pm Z$, імовірністю 0,954 – в інтервалі $\pm 2Z$ і т.д.

Очевидно, що середнє значення вибірки (серії дослідів) не відповідає істинному значенню величини характеристики (середньому генеральної сукупності). Цю невідповідність визначають з допомогою стандартного відхилення середнього арифметичного вимірів

$$S_{\bar{x}} = S / \sqrt{n} \quad (7.7)$$

Стандартне відхилення $S_{\bar{x}}$ дає межі ($\pm S_{\bar{x}}$), в яких згідно з функцією нормального розподілу з імовірністю 0,683 можна визначити істинне значення величини, що вимірюється. Аналогічно в межах $\pm 2S_{\bar{x}}$ – з імовірністю 0,954 і т.д.

В загальному випадку можна записати

$$X = \bar{X} \pm t_{\alpha} S_{\bar{x}} \quad (7.8)$$

Коефіцієнт t_{α} показує в скільки разів півширина довірчого інтервалу перевищує стандартне відхилення $S_{\bar{x}}$. Для пояснення останнього наведемо результати вимірів величини X (рис.7.2), визначимо \bar{X} , $S_{\bar{x}}$ і задамося довірчою імовірністю, наприклад,

$\alpha=0,95$. З таблиці для нормального розподілу, складеної за виразом (7.6) знаходимо, що $\alpha=0,95$ відповідає $t_\alpha=1,96$.

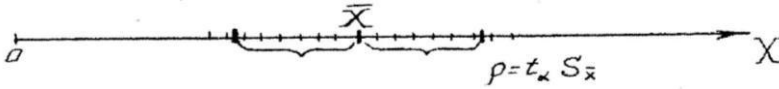


Рис. 7.2 Довірчий інтервал

В малих вибірках результати дослідів не відповідають нормальному розподілу. В цих випадках використовують розподіл Стюдента, тобто розподіл величини t_α , який має вигляд, показаний на рис. 7.3.

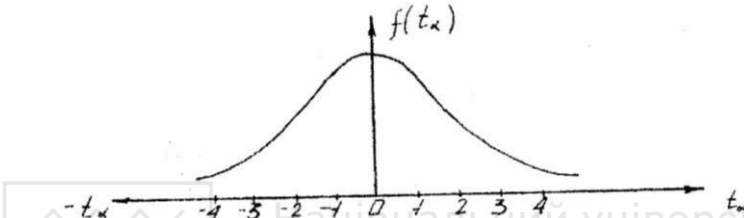


Рис. 7.3 Розподіл Стюдента

$$f(t_\alpha) = C / \left(1 + \frac{t^2}{n-1} \right)^{n/2} \quad (7.9)$$

де, $C = \frac{\left(\frac{n-2}{2} \right)!}{\left[\left(\frac{n-3}{2} \right)! \sqrt{\pi(n-1)} \right]}$

Суть розподілу Стюдента полягає в тому, що площі фігур, обмежених функцією $f(t_\alpha)$, являють собою імовірності розміщення середньої величини в межах $\pm t_\alpha$ для певної кількості дослідів. Наприклад, імовірність знаходження середньої величини в межах $\pm 1t$ для двох дослідів складає 0,5, а для нормального розподілу - 0,683; в межах $\pm 2t$ для двох дослідів ця ймовірність 0,705, для нормального розподілу - 0,954. При великій кількості спостережень розподіл Стюдента співпадає з нормальним. В загальному випадку можна записати

$$X = \bar{X} \pm t_\alpha S_{\bar{x}} \quad (7.10)$$

де t_α – визначається за табл. 7.2 залежно від довірчої ймовірності α і кількості дослідів n (кількості ступенів свободи $n-1$, або $n-2$).



Значення коефіцієнта t_α при односторонній довірчій імовірності α

Кількість Визначень $n-1$ або $n-2$	t_α при α		Кількість визначень $n-1$ або $n-2$	t_α при α	
	0,85	0,95		0,85	0,95
2	1,34	2,92	13	1,08	1,77
3	1,25	2,35	14	1,08	1,76
4	1,19	2,13	15	1,07	1,75
5	1,16	2,01	16	1,07	1,75
6	1,13	1,94	17	1,07	1,74
7	1,12	1,90	18	1,07	1,73
8	1,11	1,86	19	1,07	1,73
9	1,10	1,83	20	1,06	1,72
10	1,10	1,81	30	1,05	1,70
11	1,09	1,80	40	1,05	1,68
12	1,08	1,78	60	1,05	1,67

Перетворимо вираз (10) до форми виразу (4). Коефіцієнт варіації V , врахувавши, що коефіцієнт варіації має вигляд

$$V = S / \bar{X} \quad (7.11)$$

Тоді (7.10) приймає вигляд

$$X = \bar{X} \pm t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}} = \bar{X} \pm t_\alpha \frac{V\bar{X}}{\sqrt{n}} = \bar{X} \left(1 \pm \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}}\right)$$

Позначимо

$$\frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} = \rho_\alpha \quad (7.12)$$

Тоді

$$X = \bar{X}(1 \pm \rho_\alpha)$$

Приймаємо

$$\frac{1}{1 \pm \rho_\alpha} = \gamma_g \quad (7.13)$$

Звідки

$$X = \frac{\bar{X}}{\gamma_g}, \text{ або } X = \frac{X_n}{\gamma_g} \quad (7.14)$$

Приклад 7.1. Для інженерно-геологічного елемента проведено 6 визначень питомої ваги. Необхідно визначити розрахункові значення γ для розрахунків за першою і другою групою граничних станів для випадків, коли збільшення характеристики погіршує умови роботи конструкції і коли зменшення характеристики погіршує умови роботи конструкції. Результати дослідів і частина розрахунків наведені в *табл. 7.3*.

Таблиця 7.3

№ дослідів	γ_i	$\bar{\gamma} - \gamma_i$	$(\bar{\gamma} - \gamma_i)^2$
1	18,2	0,65	0,4225
2	19,2	-0,35	0,1225
3	19,4	-0,55	0,3025
4	19,1	-0,25	0,0625
5	18,4	0,45	0,2025
6	18,8	0,05	0,0025
Σ	113,1		0,9350

Перевіряємо експериментальні дані на наявність грубих помилок. Визначаємо складові, які входять у вираз (7.2)

$$\Delta X_f = |X_n - X_i| > \Delta X_t = \nu S$$

Середнє значення питомої ваги знайдемо за формулою (7.1):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1131}{6} = 18,85 \text{ кН/м}^3.$$

Визначимо середньоквадратичне відхилення за формулою (7.3):

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} |X_n - X_i|^2} = \sqrt{\frac{0,9350}{6-1}} = 0,432$$

За *табл. 7.1* знаходимо $\nu = 2,07$ при $n = 6$. Отже, гранично допустима помилка окремого вимірювання становить $\Delta X_t = \nu \cdot S = 2,07 \cdot 0,432 = 0,895$. Найбільша фактична помилка становить $\Delta X_f = |X_n - X_i| = 0,65$, тому результати всіх дослідів включаються в статистичну обробку.

Визначаємо розрахункові значення питомої ваги ґрунту для розрахунків за другою групою граничних станів за формулою (7.14)

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}. \text{ Знаходимо складові, що входять в цю формулу:}$$

$$X_n = \bar{X} = 18,85 \text{ кН/м}^3; \gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha},$$

де $\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} = \frac{1,16 \cdot 0,023}{\sqrt{6}} = 0,011$, де $t_\alpha = 1,16$ – визначене з



табл. 7.2 при довірчій ймовірності $\alpha = 0,85$ і числі ступенів вільності $k = n - 1 = 6 - 1 = 5$; $V = S / \bar{X} = 0,432 / 18,85 = 0,023$.

Для випадку, коли збільшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 + \rho_\alpha} = \frac{1}{1 + 0,011} = 0,989; \quad \gamma_{II} = \frac{X_n}{\gamma_g} = \frac{18,85}{0,989} = 19,06 \text{ кН/м}^3.$$

Для випадку, коли зменшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 + \rho_\alpha} = \frac{1}{1 - 0,011} = 1,011; \quad \gamma_{II} = \frac{18,85}{1,011} = 18,64 \text{ кН/м}^3.$$

Визначаємо розрахункові значення питомої ваги ґрунту для розрахунків за першою групою граничних станів. Для розрахунків за першою групою граничних станів $\alpha = 0,95$. З табл. 7.2 $t_\alpha = 2,01$.

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} = \frac{2,01 \cdot 0,023}{\sqrt{6}} = 0,019.$$

Для випадку, коли збільшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції

$$\gamma_g = \frac{1}{1 + 0,019} = 0,981; \quad \gamma_I = \frac{18,85}{0,981} = 19,21 \text{ кН/м}^3.$$

Для випадку, коли зменшення питомої ваги погіршує умови роботи конструкції

$$\gamma_g = \frac{1}{1 - 0,019} = 1,019; \quad \gamma_I = \frac{18,85}{1,019} = 18,50 \text{ кН/м}^3.$$

7.2. Визначення нормативних і розрахункових значень характеристик міцності

Характеристики міцності ґрунтів (кут внутрішнього тертя φ , і питоме зчеплення c) визначають за графіками $\tau = \sigma g \varphi + c$. Для кожного з трьох значень σ виконують не менше шести повторних дослідів, тобто в сумі не менше 18 зрізів для кожного ПЕ. За результатами цих дослідів будують прямі методом найменших квадратів, тобто сума квадратів відхилень окремих значень τ_i від прямої повинна бути мінімальною (рис.7.4). Хрестиками на рис.7.4

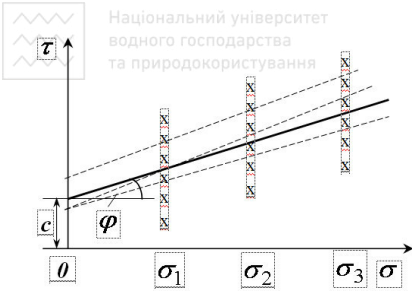


Рис. 7.4. Результати випробувань ґрунту на зсув.

нанесено експериментальні значення опорів ґрунту зсуву при певному значенні σ . Ці точки утворюють кореляційне поле. На кореляційному полі можна побудувати необмежену кількість ліній $\tau = \sigma tg \varphi + c$, які певним чином будуть описувати залежність між експериментальними $tg \varphi$, c і τ . Оптимальною буде така пряма, в якій дотримується умова

найменших квадратів, тобто експериментальних значень від теоретичних (прямої) буде мінімальною

сума квадратів відхилень окремих від теоретичних (прямої) буде мінімальною

$$W = \sum_{i=1}^n (\tau_i - (\sigma_i tg \varphi + c))^2 \rightarrow \min \quad (7.14)$$

Для цього часткові похідні $\partial W / \partial tg \varphi$ і $\partial W / \partial c$ прирівнюємо до

0. Для зручності введемо фіктивну величину $\sigma_0 = 1$, тоді

$$W = \sum_{i=1}^n (\tau_i - \sigma_i tg \varphi + c \sigma_0)^2 \quad (7.15)$$

Похідні

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial tg \varphi} &= 2 \sum_{i=1}^n (\tau_i - \sigma_i tg \varphi + c \sigma_0) \sigma_i \\ \frac{\partial W}{\partial tg c} &= -2 \sum_{i=1}^n (\tau_i - \sigma_i tg \varphi + c \sigma_0) \sigma_0 \end{aligned} \right\} \quad (7.16)$$

Систему (7.16) прирівняємо до 0 і перетворимо до такого вигляду

$$\left. \begin{aligned} tg \varphi \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + c \sum_{i=1}^n \sigma_0 \sigma_i &= \sum_{i=1}^n \tau_i \sigma_i \\ tg \varphi \sum_{i=1}^n \sigma_0 \sigma_i + c \sum_{i=1}^n \sigma_0^2 &= \sum_{i=1}^n \tau_i \sigma_0 \end{aligned} \right\} \quad (7.17)$$

В даному випадку $\sum_{i=1}^n \sigma_0^2$ дорівнює кількості проведених дослідів n . Розв'язок (7.17) має наступний вигляд:



$$tg\varphi_n = \frac{n \sum_{i=1}^n \tau_i \sigma_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n \sigma_i}{n \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2} \quad (7.18)$$

$$c_n = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i \sum_{i=1}^n \tau_i \sigma_i}{n \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2} \quad (7.19)$$

Вираз (7.19) можна звести до такого вигляду:

$$c = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \tau_i - tg\varphi_i \sum_{i=1}^n \sigma_i \right) \quad (7.20)$$

Згідно з чинним стандартом ДСТУ Б В.2.1-5-96 нормативні та розрахункові значення φ і c обчислюють або статистичною обробкою часткових значень $tg\varphi$ та c або статистичною обробкою всіх пар дослідних значень опору зрізуванню τ_i та нормального напруження σ_i – як єдиної сукупності. В останньому випадку нормативні значення характеристик міцності визначають за виразами (7.18) і (7.19) або (7.18) і (7.20).

При використанні першого методу часткові значення $tg\varphi_i$ та c_i обчислюють за результатами не менше трьох визначень опору ґрунту зрізуванню τ_i при різних значеннях нормального напруження σ_i . При цьому використовують аналогічні раніше наведеним залежностям такого виду:

$$tg\varphi_i = \frac{K \sum_{i=1}^k \tau_i \sigma_i - \sum_{i=1}^k \tau_i \sum_{i=1}^k \sigma_i}{K \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^k \sigma_i \right)^2} \quad (7.21)$$

$$c = \frac{1}{K} \left(\sum_{i=1}^k \tau_i - tg\varphi_i \sum_{i=1}^k \sigma_i \right), \quad (7.22)$$



де K – число визначень τ у кожній точці ІГЕ.

Якщо за формулою (7.22) $c_i < 0$, то приймають $c_i = 0$, а $tg\varphi_i$ обчислюють за такою формулою

$$tg\varphi_i = \frac{\sum_{i=1}^k \tau_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2} \quad (7.23)$$

За визначеними значеннями $tg\varphi_i$ та c_i знаходять нормативні значення $tg\varphi_n$ та c_n використовуючи формулу (7.1) та середні квадратичні відхилення $S_{tg\varphi}$ та S_c за виразом (7.3). Потім виконують статистичну перевірку на виключення можливих помилок у значеннях $tg\varphi_i$ та c_i у відповідності з виразом (7.2). Пару значень $tg\varphi_i$ та c_i виключають, якщо хоча б для одного з них виконувється умова (7.2). При цьому для дослідних даних, що залишилися, необхідно повторно вирахувати значення $tg\varphi_n$, c_n , $S_{tg\varphi}$ та S_c .

Після статистичної перевірки обчислюють для $tg\varphi$ та c за наведеними вище залежностями коефіцієнт варіації V , показник точності ρ_α , коефіцієнт надійності по ґрунту γ_g та розрахункові значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення.

Приклад. 7. 2. Для інженерно-геологічного елемента при трьох різних значеннях вертикального напруження σ проведено по 6 визначень опору ґрунту одноплосинному зсуву. Необхідно визначити розрахункові значення кута внутрішнього тертя φ і питомого зчеплення c для розрахунків за першою і другою групою граничних станів для випадків, коли збільшення характеристики

Таблиця. 7.4. погіршує умови роботи конструкції і коли зменшення

Вихідні дані до прикладу 7.2

$\sigma_i, \text{кПа}$	$\tau_i, \text{кПа}$					
100	65	63	68	71	70	60
200	115	111	119	121	120	112
300	160	156	172	165	160	147

характеристики погіршує умови роботи конструкції. Результати дослідів наведені в табл. 7.4.

Знаходимо середні значення



$tg\varphi$ і c за виразами (7.21) і (7.22) відповідно. Допоміжні розрахунки будемо виконувати в табл. 7.5.

Знаменник виразу (7.21) дорівнює:

$$n \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2 = 3 \cdot 140000 - 600^2 = 60000c. \text{ Отже, значення } tg\varphi$$

Таблиця 7.5 становлять

№ точки	τ_i	σ_i	$\tau_i \sigma_i$	σ_i^2
1	65	100	6500	10000
	115	200	23000	40000
	160	300	48000	90000
Σ	340	600	77500	140000
2	63	100	6300	10000
	111	200	22200	40000
	156	300	46800	90000
Σ	330	600	75300	140000
3	68	100	6800	10000
	119	200	23800	40000
	172	300	51600	90000
Σ	359	600	82200	140000
4	71	100	7100	10000
	121	200	24200	40000
	165	300	49500	90000
Σ	357	600	80800	140000
5	70	100	7000	10000
	120	200	24000	40000
	160	300	48000	90000
Σ	350	600	79000	140000
6	60	100	6000	10000
	112	200	22400	40000
	147	300	44100	90000
Σ	319	600	72500	140000

$$tg\varphi_{n,1} = \frac{3 \cdot 77500 - 600 \cdot 340}{60000} = 0,475 ;$$

$$tg\varphi_{n,2} = \frac{3 \cdot 75300 - 600 \cdot 330}{60000} = 0,465 ;$$

$$tg\varphi_{n,3} = \frac{3 \cdot 82200 - 600 \cdot 359}{60000} = 0,520 ;$$

$$tg\varphi_{n,4} = \frac{3 \cdot 80800 - 600 \cdot 357}{60000} = 0,470 ;$$

$$tg\varphi_{n,5} = \frac{3 \cdot 79000 - 600 \cdot 359}{60000} = 0,450 ;$$

$$tg\varphi_{n,6} = \frac{3 \cdot 72500 - 600 \cdot 319}{60000} = 0,435 .$$

Значення c становлять вираз (1.15)

$$c_{n,1} = \frac{340 - 0,475 \cdot 600}{3} = 18,33 \text{ кПа};$$

$$c_{n,2} = \frac{330 - 0,465 \cdot 600}{3} = 17,00 \text{ кПа};$$

$$c_{n,3} = \frac{359 - 0,520 \cdot 600}{3} = 15,67 \text{ кПа};$$

$$c_{n,4} = \frac{357 - 0,470 \cdot 600}{3} = 25,00 \text{ кПа};$$

$$c_{n,5} = \frac{350 - 0,450 \cdot 600}{3} = 21,50 \text{ кПа};$$

$$c_{n,6} = \frac{319 - 0,435 \cdot 600}{3} = 19,33 \text{ кПа}.$$



Таблиця 7.6

№ точки	$tg\varphi_i$	$tg\bar{\varphi} - tg\varphi_i$	$(tg\bar{\varphi} - tg\varphi_i)^2$	c_i	$\bar{c} - c_i$	$(\bar{c} - c_i)^2$
1	0,475	-0,006	0,000036	18,33	1,11	1,2996
2	0,465	0,004	0,000016	17,00	2,47	6,1009
3	0,520	-0,051	0,002621	15,67	3,80	14,4400
4	0,470	-0,001	0,000001	25,00	-5,53	30,5809
5	0,450	0,010	0,000361	21,50	-2,03	4,1209
6	0,435	0,034	0,001156	19,33	0,14	0,0196
Σ	2,815		0,004171	116,83		56,5619

Виконуємо статистичну перевірку на наявність грубих помилок (табл. 7.6). Середні значення $tg\varphi$ і c становлять:

$$tg\bar{\varphi}_n = \frac{2,815}{6} = 0,469 ;$$

$\bar{c} = \frac{116,83}{6} = 19,47 \text{ кПа}$. Знаходимо середньоквадратичні відхилен-

$$\text{ня за } tg\varphi \text{ і } c : S_{tg\varphi} = \sqrt{\frac{\sum (tg\bar{\varphi} - tg\varphi_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,004171}{6-1}} = 0,029 ;$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (\bar{c} - c_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{56,5619}{6-1}} = 3,363.$$

За табл. 1.1 знаходимо $q = 2,07$ при $n = 6$. Отже, гранично допустима помилка окремого вимірювання становить: для коефіцієнта внутрішнього тертя $\Delta tg\varphi_t = q \cdot \sigma_{tg\varphi} = 2,07 \cdot 0,029 = 0,060$; для питомого зчеплення $\Delta c_t = q \cdot \sigma_c = 2,07 \cdot 3,363 = 6,961$.

Найбільша фактична помилка становить: для коефіцієнта внутрішнього тертя $\Delta tg\varphi_f = |tg\bar{\varphi} - tg\varphi_i| = 0,051$; для питомого зчеплення $\Delta c_f = |\bar{c} - c_i| = 5,53$. Отже, результати всіх дослідів включаються в статистичну обробку.

Визначаємо розрахункові значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення ґрунту для розрахунків за другою групою граничних станів за формулою (7.4).

$$\text{Кут внутрішнього тертя } \varphi = \arctg \frac{tg\varphi_n}{\gamma_g(tg\varphi)}$$

що входять в цю формулу: $tg\varphi_n = tg\bar{\varphi} = 0,469$;



$$\gamma_{g(tg\varphi)} = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha}, \text{ де } \rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} = \frac{1,16 \cdot 0,062}{\sqrt{6}} = 0,029, \text{ де } t = 1,16 -$$

визначене з *табл. 7.2* при довірчій ймовірності $\alpha = 0,85$ і числі

$$\text{ступенів вільності } k = n - 1 = 6 - 1 = 5; V = \frac{S_{tg\varphi}}{tg\bar{\varphi}} = \frac{0,029}{0,469} = 0,062.$$

Для випадку, коли збільшення кута внутрішнього тертя погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{g(tg\varphi)} = \frac{1}{1 + \rho_\alpha} = \frac{1}{1 + 0,029} = 0,972;$$

$$\varphi_{II} = \arctg \frac{tg\varphi_n}{\gamma_{g(tg\varphi)}} = \arctg \frac{0,469}{0,972} = 25,76^\circ.$$

Для випадку, коли зменшення кута внутрішнього тертя погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{g(tg\varphi)} = \frac{1}{1 - \rho_\alpha} = \frac{1}{1 - 0,029} = 1,030; \varphi_{II} = \arctg \frac{0,469}{1,030} = 24,48^\circ.$$

Питоме зчеплення $c = \frac{c_n}{\gamma_{g(c)}}$. Знаходимо складові, що входять в

цю формулу: $c_n = \bar{c} = 19,47 \text{ кПа}$;

$$\gamma_{g(c)} = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha}, \text{ де } \rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} = \frac{1,16 \cdot 0,173}{\sqrt{6}} = 0,082, \text{ де } t = 1,16 -$$

визначене з *табл. 7.2* при довірчій ймовірності $\alpha = 0,85$ і числі

$$\text{ступенів вільності } k = n - 1 = 6 - 1 = 5; V = \frac{S_c}{\bar{c}} = \frac{3,363}{19,47} = 0,173.$$

Для випадку, коли збільшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{g(c)} = \frac{1}{1 + \rho_\alpha} = \frac{1}{1 + 0,082} = 0,924; c_{II} = \frac{c_n}{\gamma_{g(c)}} = \frac{19,47}{0,924} = 21,07 \text{ кПа}.$$

Для випадку, коли зменшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:



$$\gamma_{g(c)} = \frac{1}{1 - \rho_\alpha} = \frac{1}{1 - 0,082} = 1,089; \quad c_{II} = \frac{19,47}{1,089} = 17,88 \text{ кПа.}$$

Визначаємо розрахункові значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення ґрунту для розрахунків за першою групою граничних станів за формулою з табл. 7.2 при $\alpha = 0,95$, $t = 2,01$.

Кут внутрішнього тертя.

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} = \frac{2,01 \cdot 0,062}{\sqrt{6}} = 0,051.$$

Для випадку, коли збільшення кута внутрішнього тертя погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{g(tg\varphi)} = \frac{1}{1 + 0,051} = 0,951; \quad \varphi_{II} = \arctg \frac{0,469}{0,951} = 26,25^\circ.$$

Для випадку, коли зменшення кута внутрішнього тертя погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{g(tg\varphi)} = \frac{1}{1 - 0,051} = 1,054; \quad \varphi_{II} = \arctg \frac{0,469}{1,054} = 23,99^\circ.$$

Питоме зчеплення

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} = \frac{2,01 \cdot 0,173}{\sqrt{6}} = 0,142.$$

Для випадку, коли збільшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{g(c)} = \frac{1}{1 + 0,142} = 0,876; \quad c_I = \frac{19,47}{0,876} = 22,23 \text{ кПа.}$$

Для випадку, коли зменшення питомого зчеплення погіршує умови роботи конструкції:

$$\gamma_{g(c)} = \frac{1}{1 - 0,142} = 1,166; \quad c_I = \frac{19,47}{1,166} = 16,70 \text{ кПа.}$$

Отже, розрахунковими є такі пари кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення:

Для розрахунків за другою групою граничних станів

для випадку, коли збільшення характеристик погіршує умови



роботи конструкцій: $\varphi_{II} = 25,76^\circ$, $c_{II} = 21,07 \text{кПа}$.

для випадку, коли зменшення характеристик погіршує умови роботи конструкцій: $\varphi_{II} = 24,48^\circ$, $c_{II} = 17,88 \text{кПа}$.

Для розрахунків за першою групою граничних станів

для випадку, коли збільшення характеристик погіршує умови роботи конструкцій: $\varphi_I = 25,65^\circ$, $c_I = 22,23 \text{кПа}$.

для випадку, коли зменшення характеристик погіршує умови роботи конструкцій: $\varphi_I = 23,99^\circ$, $c_I = 16,70 \text{кПа}$.

В деяких випадках нормативні значення показників ґрунтів визначають за таблицями ДБН В.2.1-10-2009 "Основи та фундаменти споруд". При переході до розрахункових значень приймають коефіцієнт надійності ґрунту. В розрахунках за деформаціями $\gamma_g = 1,0$. Для розрахунків за несучою здатністю (I група граничних станів) $\gamma_g = 1,5$ – для питомого зчеплення, $\gamma_g = 1,15$ – для кута внутрішнього тертя глинистих ґрунтів і $\gamma_g = 1,1$ – для кута внутрішнього тертя пісків, $\gamma_g = 1,05$ – для питомої ваги ґрунту.



З М І С Т

стор.

- Робота №1. Визначення щільності ґрунту
- Робота №2. Визначення щільності частинок ґрунту пікнометричним методом
- Робота №3. Визначення вологості ґрунту
- Робота №4. Визначення гранулометричного складу і різновидів піску за гранулометричним складом та ступенем неоднорідності гранулометричного складу
- Робота №5. Визначення різновидів пісків за коефіцієнтом пористості і за коефіцієнтом водонасичення. Визначення розрахункового опору піску R_0
- Робота №6. Визначення різновидів глинистих ґрунтів та їх розрахункового опору R_0
- Робота №7. Визначення оптимальної вологості і максимальної щільності ґрунту
- Робота №8. Визначення стисливості ґрунтів в компресійно-му приладі
- Робота №9. Визначення відносної деформації просідання ґрунтів
- Робота №10. Визначення величини відносної деформації набухання ґрунтів
- Робота №11. Визначення характеристик міцності ґрунтів методом одноплощинного зрізування
- Робота №12. Визначення кута природного укусу сипучих ґрунтів
- Робота №13. Визначення міцнісних і деформаційних характеристик ґрунтів в умовах трьохосьового стиснення
- Робота №14. Визначення водопроникності (коефіцієнт фільтрації) пісків
- Робота №15. Визначення модуля деформації ґрунту методом випробовувань штампом
- Робота №16. Визначення несучої здатності паль за результатами випробовувань статичними навантаженнями



Робота № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ

Щільністю ґрунту називають

Прилади, які застосовують для визначення щільності ґрунту

Методика визначення щільності ґрунту

$$\rho = \frac{m_2 + m_1}{V}$$

Таблиця 1.

Результати визначення щільності ґрунту

Назва ґрунту	Маса кільця, г		Маса ґрунту $m_2 - m_1$	Об'єм кільця $V, \text{см}^3$	Щільність ґрунту ρ , г/см^3
	Порожнього m_1	З ґрунтом m_2			
Пісок					
Глинистий					

Щільність: піску

$$\rho = \text{г/см}^3$$

глинистого ґрунту $\rho = \text{г/см}^3$.

(Результати записувати з точністю до 0.01 г/см)

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

Робота №2. ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЧАСТИНОК ҐРУНТУ ПІКНОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Щільністю частинок ґрунту називають

Прилади, які застосовують для визначення щільності частинок ґрунту

Методика визначення щільності часток незасолених ґрунтів пікнометричним методом

$$\rho_s = \frac{\rho_s \cdot m_0}{m_0 + m_3 - m_2}$$



Результати визначення щільності частинок ґрунту

Назва ґрунту	№ пікнометра	Маса пікнометра m_1 , г	Маса пікнометра з ґрунтом m_2 , г	Маса ґрунту $m_1 = m_2 - m_1'$, г	Маса сухого ґрунту $m_0 = m_1 / (1 + W_g)$, г	Маса пікнометра з водою і ґрунтом m_2 , г	Маса пікнометра з водою m_3 , г	Щільність частинок ґрунту ρ_s , г/см ³
Пісок								
Глинистий								

Примітки: W_g – гігроскопічна вологість. Під час виконання даної лабораторної роботи умовно приймається для піску $W_g=0,01$, для глинистого ґрунту $W_g=0,03$; $\rho_w = 1$ г/см³ – густина води.

Щільність частинок: піску $\rho =$ г/см³
глинистого ґрунту $\rho =$ г/см³.

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

Робота № 3 **ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ**

Вологістю ґрунту називають.....

Прилади, які застосовують для визначення вологості ґрунту

Методика визначення вологості ґрунту.....

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} 100\%$$

Результати визначення вологості ґрунту

Назва ґрунту	№ бюкса	Маса бюкса, г			Вологість, W , %
		Порожнього, m_0	З вологим ґрунтом, m_1	З сухим ґрунтом, m_2	
Пісок					
Глинистий					

Вологість: піску $W =$ %

глинистого ґрунту $W =$ %.

(Результати записуються з точністю до 0,1%)

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____



Робота № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ І РІЗНОВИДІВ ПІСКУ ЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧНИМ СКЛАДОМ І СТУПЕНЕМ НЕОДНОРІДНОСТІ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ

Піском називають

Гранулометричним складом називають

Прилади, які застосовують для визначення гранулометричного складу пісків ситовим методом.....

Методика визначення гранулометричного складу.....

Таблиця 4.

Гранулометричний склад ґрунту

Розмір отворів сит, мм	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1	Піддон
Розмір фракцій (залишок на ситі), мм	>10	10÷5	5÷2	2÷1	1÷0,5	0,5÷0,25	0,25÷0,1	<0,1
Маса фракцій, г								
Вміст фракцій, %								
Сумарний вміст частинок, більших даного діаметра, %	>10		>2		>0,5	>0,25	>0,1	
Сумарний вміст частинок, менших даного діаметра, %	<10	<5	<2	<1	66,90	<0,25	<0,1	

Маса наважки _____ г.

Втрати під час просіювання ___ г (не повинні перевищувати 1%)





Висновок: Досліджуваний ґрунт називається.....(див. табл. 4.8)

Ступінь неоднорідності гранулометричного складу $C_u = d_{60}/d_{10}$ —

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

**Робота № 5. ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНОВИДІВ ПІСКУ ЗА
КОЕФІЦІЄНТОМ ПОРИСТОСТІ ТА ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ
ВОДОНАСИЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО
ОПОРУ ПІСКУ R_θ**

Різнovid піску за гранулометричним складом (див. роботу № 4) ...

Основні фізичні характеристики ґрунту:

щільність ґрунту (див. роботу № 1) $\rho = \dots$ г/см³

щільність частинок ґрунту (див. роботу № 2) $\rho_s = \dots$ г/см³

вологість ґрунту (див. роботу № 3) $W =$ (прийняти в частках від одиниці)

а) Визначення різновиду піску за коефіцієнтом пористості:

Коефіцієнт пористості $e = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1 =$

Пісок відноситься до
(вказати різновид за гранскладом) (вказати різновид піску за коефіцієн- том пористості, див. табл.4.9).

б) Визначення різновиду піску за коефіцієнтом водонасичення

Коефіцієнт водонасичення $S_r = \frac{\rho_s W}{\rho_w e} =$

Пісок відноситься до
(вказати різновид за коефіцієнтом водонасичення, див. табл. 4.10).

в) Розрахунковий опір досліджуваного піску

(вказати різновиди піску)

$R_\theta = \dots$, кПа (див. табл. 4.12).

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____



Робота № 6. ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНОВИДІВ ГЛИНИСТИХ ГРУНТІВ

Глинистими ґрунтами називають

а) Визначення границі текучості

Границя текучості визначається як вологість ґрунтової пасти, за якої балансірний конус заглиблюється під дією своєї маси за 5 сек. на глибину 10 мм.

Прилади, які використовують для визначення границі текучості

б) Визначення границі розкочування

Границя розкочування визначається як вологість, за якої ґрунтова паста, яку розкочують в джгут діаметром 3 мм, починає розпадатися на окремі шматки довжиною 3÷10 мм. Прилади, які застосовують для визначення границі розкочування

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} 100\%$$

Таблиця 5.

Результат визначення характеристик пластичності ґрунту

№ бюкса	Найменування границі пластичності	Маса бюкса, г			Маса води в ґрунті $m_1 - m_2$, Г	Маса сухого ґрунту $m_2 - m_0$, Г	Вологість на межі пластичності, W, %
		Порожнього, m_0	З вологим ґрунтом, m_1	З сухим ґрунтом, m_2			
	W_L						
	W_P						

Примітки. 1. Визначення вологості ґрунтів – див. роботу № 3.

2. 2-е зважування ґрунту виконується з метою визначення якості висушування. У зв'язку з відсутністю часу 2-е зважування в навчальній роботі не виконується.



**в) Визначення різновиду глинистого ґрунту
за числом пластичності I_p**

$$I_p = W_L - W_P = \dots\dots\dots$$

Ґрунт називається (див. табл. 4.13).

**г) Визначення різновиду глинистого ґрунту
за показником текучості I_L**

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P} = \dots\dots\dots \text{Ґрунт називається } \dots\dots\dots \text{ (див. табл. 4.14).}$$

д) Визначення коефіцієнта пористості e

Значення ρ , ρ_s , W – прийняти з робіт № 1, 2 і 3 для глинистого ґрунту.

$\rho = \dots\dots\dots \text{ г/см}^3$; $\rho_s = \dots\dots\dots \text{ г/см}^3$; $W = \dots\dots\dots$ (W – прийнята в долях одиниці)

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

Розрахунок досліджуваного ґрунту $R_0 = \dots\dots\dots \text{ кПа}$ (див. табл. 4.16)

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

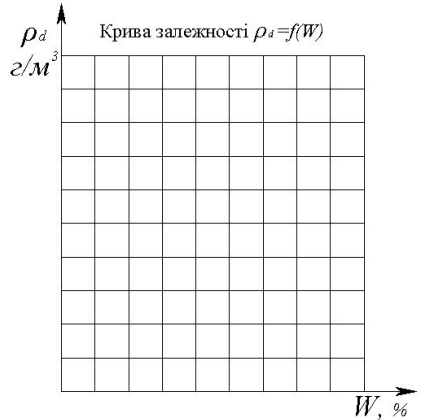
**Робота № 7. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І
МАКСИМАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ**

Оптимальною вологістю ґрунту називають.....

Необхідні прилади.....

Методика визначення оптимальної вологості ґрунту

Схема приладу





$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3; \quad W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} 100\%; \quad \rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \text{ г/см}^3$$

Таблиця 6.

Результати визначення оптимальної вологості і
максимальної щільності ґрунту

Об'єм зразка після ущільнення V , см^3	Маса зразка після ущільнення m , г	Щільність ґрунту ρ , г/см^3	№ бюкса	Маса порожнього бюкса m_0 , г	Маса бюкса з вологим ґрунтом m_1 , г	Маса бюкса з сухим ґрунтом m_2 , г	Вологість, W , %	Щільність сухого ґрунту ρ_d , г/см^3
		8 рядків						

W_{opt} _____ %, $\rho_{d \max}$ _____ г/см^3

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

Робота №8. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТІВ В КОМПРЕСІЙНОМУ ПРИЛАДІ

Схема компресійного приладу
(одометра)

Методика проведення досліду

Площа зразка $A=60 \text{ см}^2$;

висота зразка $h=25 \text{ мм}$;

об'єм зразка $V=150 \text{ см}^3$;

співвідношення плеч важеля 1:10;

маса важеля та поршня – 2,3 кг.

.....
.....
.....
.....
.....

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + W) - 1$$



Таблиця 7.

Визначення початкового коефіцієнта пористості e_0

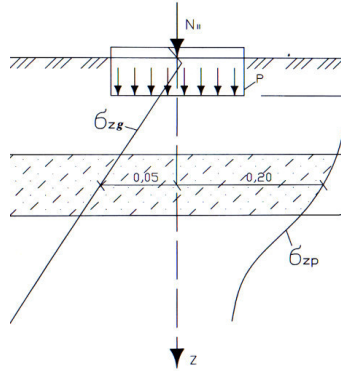
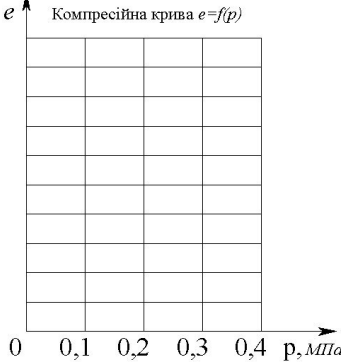
Маса кільця, m , г	Маса кільця з ґрунтом, m_1 , г	Щільність ґрунту $\rho = (m_1 - m)/V$, $г/см^3$	№ бюкса	Маса порожнього бюкса, m_2 , г	Маса бюкса з вологим ґрунтом m_3 , г	Маса бюкса з сухим ґрунтом m_4 , г	Вологість ґрунту $W = (m_3 - m_4)/(m_4 - m_2) * 100\%$	Щільність частинок ґрунту, ρ_s , $г/см^3$	Коефіцієнт пористості e_0

Таблиця 8

Результати компресійних випробувань

Тиск P , МПа	Показання індикаторів, мм		Середнє значення показань індикатора Δh , мм	Деформація приладу δ , мм	Деформація зразка $\Delta h = \Delta \bar{h} - \delta$, мм	Відносна деформація $\varepsilon = \Delta h/h$	$\Delta e_i = \varepsilon \cdot (1 + e_0)$	$e_i = e_0 - \Delta e_i$
	лівого	правого						
0,00								
0,05								
0,10								
0,20								
0,40								
0,20								
0,10								
0,05								
0,00								

Значення e_0 див. табл. №7



ЗАДАЧА: Визначити коефіцієнт стисливості m_0 і модуль деформації ґрунту E в інтервалі тисків $p_n=0,1$ МПа, $p_k=0,2$ МПа, якщо ґрунту з $I_L=$ (різновид ґрунту прийняти з роботи № 6).

Рішення:

$$m_0 = \frac{e_n - e_k}{p_k - p_n} \dots \dots \dots \text{МПа}^{-1}; \quad E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta \dots \dots \dots \text{МПа}$$

де $\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} \dots \dots \dots \quad E = m_k E_k = \dots \dots \dots$

Коефіцієнти e_n і e_k визначити з компресійної кривої відповідно до p_n і p_k). Значення коефіцієнта поперечної деформації ν – див. стор. 53. (Значення коректуючого коефіцієнта m_k – див. табл. 5.4).

Висновок: за стисливістю ґрунт відноситься до $\dots \dots \dots$, тому що $m_0 = \dots \dots \dots$. (Поділ ґрунтів за величиною коефіцієнта стисливості m_0 – див. стор. 53).

Роботу виконав $\dots \dots \dots$ Роботу прийняв $\dots \dots \dots$



Робота №9. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРОСІДАННЯ ҐРУНТІВ

Просідаючими ґрунтами називають

Методика визначення відносної деформації просідання

Дано: $p_n = \sigma_{zg} = \dots$ МПа; $\sigma_{zp} = \dots$ МПа; $p_k = \sigma_{zg} + \sigma_{zp} = \dots$ МПа.

де σ_{zg} – напруження від власної ваги ґрунту;

σ_{zp} – напруження від додаткового тиску.

Таблиця 9.

Результати випробувань ґрунту за методом однієї кривої

Тиск, МПа	Показання індикаторів, мм		Середнє показання індикаторів $\Delta h = (\Delta h_l + \Delta h_n) / 2$, мм	Деформація приладу δ , мм	Деформація зразка $\Delta h = \Delta h - \delta$, мм	Висота зразка, мм		
	лівого Δh_l	правого Δh_n				h – початкова	при повному тиску p_k	
							h_{zg} – при тиску σ_{zg}	h_{np} – природної вологості

Відносна деформація просідання $\varepsilon_{sl} = \frac{h_{np} - h_{sat, p}}{h_{ng}} =$

Висновок: ґрунт (просідаючий, непросідаючий).

Примітка. Ґрунт вважається до просідаючим, якщо $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$.

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____



Робота № 10. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НАБУХАННЯ ҐРУНТІВ

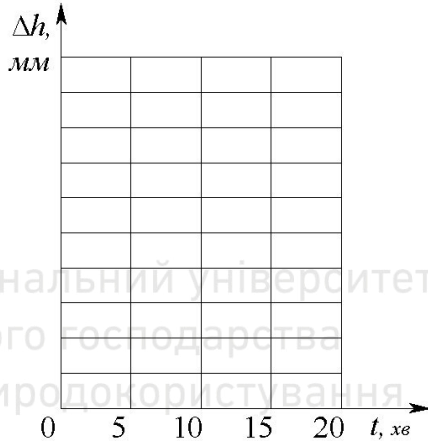
Набухаючими ґрунтами називають
 Методика визначення відносної деформації набухання

Висота зразка $h=20$ мм

Схема приладу ПНГ

Таблиця 10.

Результати визначення деформацій набухання ґрунту		
№ відліку	Час t , хв	Показання індикатора Δh , мм
1	0	
2	0,5	
3	1,0	
4	2,0	
5	3,0	
6	4,0	
7	5,0	
8	10,0	
9	15,0	
10	20,0	



Графік залежності $\Delta h = f(t)$

Відносна деформація набухання ґрунту $\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h_{\max}}{h_n} =$

Висновок: ґрунт належить до

Примітка. Ґрунт вважається до набухаючим, якщо $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$.

За величиною відносної деформації набухання глинисті ґрунти класифікують як:

- | | |
|------------------|--|
| ненабухаючі | $\varepsilon_{sw} < 0,04$ |
| слабонабухаючі | $0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$ |
| середьонабухаючі | $0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$ |
| сильнонабухаючі | $\varepsilon_{sw} \geq 0,12$ |

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____



Робота №11. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ГРУНТІВ МЕТОДОМ ОДНОПЛОЩИННОГО ЗРІЗУВАННЯ

Схема приладу

Методика проведення дослідів.....

Маса поршня і важеля приладу – 5 кг.

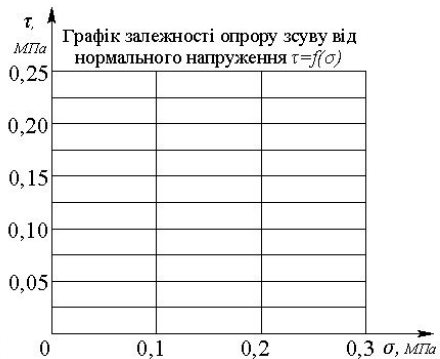
Співвідношення плеч важеля 1:10.

Площа зрізу – 40 см².

Таблиця 11.

Результати випробувань ґрунту зрізуванням

Зразок № 1 Нормальний тиск $P_1=0,1$ МПа		Зразок № 2 Нормальний тиск $P_2=0,2$ МПа		Зразок № 3 Нормальний тиск $P_3=0,3$ МПа	
Зрізуючі напруження τ , МПа	Показання індикатора Δl , мм	Зрізуючі напруження τ , МПа	Показання індикатора Δl , мм	Зрізуючі напруження, τ МПа	Показання індикатора Δl , мм





$$tg\varphi = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\sigma_2 - \sigma_1} = \varphi_n =$$

$$c_n = \tau_1 - \sigma_1 tg\varphi_n = \dots\dots\dots \text{МПа}$$

$$tg\varphi_{II} = \frac{tg\varphi_n}{\gamma_g} = \varphi_{II} =$$

$$c_{II} = \frac{c_n}{\gamma_g} = \dots\dots\dots \text{МПа}$$

Прийняти $\gamma_g = 1$.

ЗАДАЧА. Визначити розрахунковий опір R досліджуваного ґрунту* з $I_L = \dots\dots\dots$ за формулою (Е.1) ДБН В.2.1-10-2009, якщо будинок має гнучку конструктивну схему ($\gamma_{c2} = 1$). Розміри фундаменту: ширина підшви $b=2\text{м}$; глибина закладення $d=1,6 \text{ м}$, підвал відсутній ($d_b = 0$), питома вага ґрунту $\gamma_{II} = \gamma'_{II} = 18,5 \text{ кН/м}^3$.

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} \left[M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II} \right] = \dots\dots\dots \text{кН}$$

*Різновид глинистого ґрунту і показник текучості I_L прийняти з лабораторної роботи № 6. Коефіцієнт $k=1$ характеристики ґрунту визначені лабораторним методом; $k_z=1$ ширина підшви $b < 10 \text{ м}$. Питоме зчеплення c прийняти в кПа. Коефіцієнти γ_{c1} , M_γ , M_q , M_c – прийняти з таблиць ДБН В.2.1-10-2009.

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

Робота № 12. ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ α СИПУЧИХ ҐРУНТІВ

Схема приладу І.М.Літвінова

Методика визначення кута природного укусу:

а) для маловологих пісків (α_1)

.....
.....



$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{l_1} =$$

$$\alpha_1 = \arctg = \frac{h_1}{l_1} =$$

б) для водонасичених ґрунтів (α_2)

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{h_2}{l_2} =$$

$$\alpha_2 = \arctg = \frac{h_2}{l_2} =$$

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

Робота № 13. ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНІСНИХ І ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ В УМОВАХ ТРЬОХОСЬОВОГО СТИСKANНЯ

Схема стабілометра

Номер зразка _____

Діаметр зразка $d =$ _____

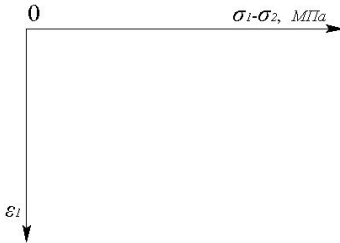
Висота зразка $h =$ _____

Маса зразка $M =$ _____

Інтенсивність об'ємного напруження в камері $\sigma_2 = \dots$ МПа.

Час створення бокового напруження σ_3	Час від початку докладання кожного ступеня вертикального навантаження $t_j \times b$	Вертикальне напруження σ_1 МПа	Показання індикатора мм	Вертикальна деформація зразка, Δh , мм	Відносна деформація зразка $\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h}$
	10 рядків				

Примітка: Кількість таблиць залежить від кількості досліджуваних зразків



Графік залежності $\varepsilon_1 = f(\sigma_1 - \sigma_2)$



Графік залежності $\tau = f(\sigma)$



σ_2 , МПа	σ_1^p , МПа	$tg\varphi$	φ , град	c , МПа

Модуль деформації $E = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)_{прон}}{\varepsilon_{1прон}} = \dots\dots$ МПа

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

**Робота № 14. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОПРОНИКНОСТІ
(КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ) ПІСКІВ**

Водопроникністю ґрунтів називають.....

Прилади, які застосовуються для визначення коефіцієнта фільтрації.....

Схема приладу КФ-ООМ

Формула для визначення коефіцієнта фільтрації, зведеного до умов фільтрації при температурі $t = 10^\circ\text{C}$,

$$k_f = \frac{864W_w}{AI t_m T}$$

Таблиця 12.

Визначення коефіцієнта фільтрації

Час фільтрації t_m , с	Відлік на шкалі мірного балона, cm^2	Об'єм профіль то-ваної води V_w , cm^3	Площа фільтрації A , cm^2	Градiєнт напору I	Температура води K_{ϕ} , $^\circ\text{C}$	Коефіцієнт фільтрації $K_{\phi 10}$ м/добу	Середнє значення коефіцієнта фільтрації $K_{\phi 10}$ м/добу
1			25				
2			25				
3			25				
4			25				

Висновок: Досліджуваний ґрунт відноситься до

Примітка. Класифікацію ґрунтів за ступенем водопроникності – див. стор. 85.

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

Робота № 15. ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ МЕТОДОМ ВИПРОБОВУВАННЯ ШТАМПОМ

Схема випробувань

Методика випробування

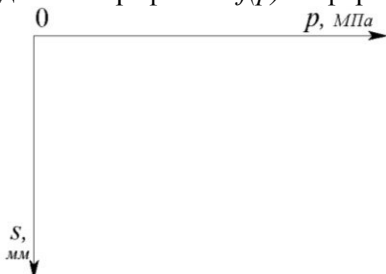
Площа поршня гідравлічного домкрата $A_d=25 \text{ см}^2$. Площа штампа $A_{ш}=250 \text{ см}^2$. Величину ступеня тиску рекомендується прийняти рівною $0,025 \text{ МПа}$ ($0,25 \text{ кгс/см}^2$). Показання ступеня тиску на манометрі. Відліки прогиномірів знімати через кожну хвилину. Наступну ступінь навантаження докладати, якщо різниця переміщень штампа за останню хвилину стане меншою від $0,1 \text{ мм}$. Цю різницю переміщень штампа за останню хвилину приймаємо в навчальній роботі за умову стабілізацію.

Таблиця 13.

Результати визначення модуля деформації ґрунту штампом

№ ступеня навантаження	Показання манометра, МПа	Навантаження на штамп (загальне) N , кН	Тиск під подошвою P , МПа	Показання прогиномірів, мм			Осідання штампа S , мм	Осідання штампа за ступінь ΔS , мм	Загальне осідання штампа S , мм
				лівого	правого	середнє			
							15 рядків		

Модуль загальної деформації вираховують для прямолінійної ділянки графіка $S=f(p)$ за формулою



$$E = (-v^2 \omega) d \frac{\Delta p}{\Delta S}$$

де v – коефіцієнт Пуассона;
 ω – коефіцієнт, рівний $0,79$;
 d – діаметр штампа; $d=178,4 \text{ мм}$;
 Δp – приріст тиску на штамп

$$\Delta p = p_k - p_n, \text{ МПа};$$

Графік залежності $s=f(p)$

графіка $S=f(p)$ на прямолінійній ділянці, МПа);

p_n – тиск від власної ваги ґрунту σ_{zg} (в лабораторній роботі



прийняти $\sigma_{zg} = p_n = \text{МПа}$;

ΔS – осідання штампа, яке відповідає тиску Δp , мм.

$$E = \left(-v^2 \right) \rho d \frac{\Delta p}{\Delta S} = \dots\dots\dots$$

Примітка. Якщо при тиску p_i приріст осідання штампа буде вдвічі більшим ніж приріст при попередньому ступені тиску p_{i-1} , а при наступному він буде дорівнювати, або буде більшим приросту осідання при p_i то за кінцеві значення p_k і S_k належить прийняти p_{i-1} і S_{i-1} . При цьому кількість точок, які включаються в усереднення, повинна бути не менше трьох.

В інших випадках під час випробування ґрунту необхідно застосувати менші за величиною ступені тиску.

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____

Робота № 16. ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПАЛЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ СТАТИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

Схема випробувань _____

Площа гідравлічного домкрата дорівнює 25 см².

Величина ступеня навантаження – 125Н(12,5кгс).

Методика випробування.....

Таблиця 14.

Результати визначення несучої здатності палі статичним випробуванням

№ ступеня навантаження	Величина ступеня навантаження ΔF , Н	Загальне навантаження F , Н	Показання прогиномірів, мм			Осідання палі за ступінь навантаження ΔS , мм	Загальне осідання палі S , мм
			лівого	правого	середнє		
						10 рядків	

$S_{u,mt} = \underline{\hspace{2cm}}$



Графік залежності $s=f(F)$

Відліки показань прогиномірів знімати через кожну хвилину. Наступний ступінь навантаження докладати, якщо різниця переміщень палі за хвилину стане меншою від $0,1$ мм. (Переміщення палі $< 0,1$ мм/хв прийняте за умовну стабілізацію осідання палі для даного навантаження). Навантаження, яке допускається на

палю $N_{max}=F_d/\gamma_k$, де $\gamma_k=1,2$; F_d – несуча здатність палі відповідна до її осідання S , визначеного за формулою

$$S = \xi \cdot S_{u,mt}$$

де, $S_{u,mt}$ – граничне значення середнього осідання фундаменту будинку; $\xi=0,2$.

$$S = \xi \cdot S_{u,mt} = 0,2 \cdot S_{u,mt} =$$

$$N_{max}=F_d/1,2=.....$$

Роботу виконав _____ Роботу прийняв _____



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б.В.2.1.-2-96 (ГОСТ 25100-95) Ґрунти. Класифікація.
2. ДСТУ Б В.2. 1-8-2001. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків.
3. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей.
4. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу.
5. ДСТУ Б.В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості.
6. ДСТУ Б В.2.1-7-2000. Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності і деформованості.
7. ДСТУ Б В.2.1-22:2009. Ґрунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання.
8. ДСТУ Б В.2.1-11:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення властивостей набухання та усадки.
9. ДСТУ Б В.2.1-23:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації.
10. ДСТУ Б В.2.1-12:2009. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності.
11. ДСТУ Б.В.2.1-1-95. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод польових випробувань паль.
12. ДСТУ Б.В.2.1-5-96 Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань.
13. ДБН А.2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва. Мінрегіонбуд, 2008 - 74 с.
14. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будинків і споруд.- Мінрегіонбуд, 2008 - 82 с.
15. Васильєв И.П., Иванов П.Л., Соколов А.Г. Исследование строительных свойств грунтов. Лабораторный практикум. -Л.:ЛПИ, 1990. -68 с.
16. М.Л.Зоценко, В.І.Коваленко, А.В.Яковлєв, О.О.Петраков, В.Б.Швець, О.В.Школа, С.В.Біда, Ю.Л.Винников. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. - Полтава: ПНТУ., 2003. - 550 с.
17. Клименко Л.І. Методичні вказівки до програмованого контролю

підготовки до лабораторних занять з механіки ґрунтів. - Рівне: УПВГ, 1990. -18 с

18. Клименко Л.І., Романенко Е.М. Журнал лабораторних робіт з механіки ґрунтів. - Рівне : УПВГ, 1989 - 27 с.

19. Козак В.В. Лабораторные работы по механике грунтов. -К., "Будывельник", 1967. - 63 с.

20. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А. и др. Грунтоведение - Издательство Московского университета, 1974. - 595 с.

21. Слюсаренко С.А. Механика грунтов: Лабораторные работы. - К.: Вища школа. Головное изд-во,1982 - 87 с.

22. Справочник проектировщика - Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под редакцией Е.А.Сорочана и Ю.Г.Трофименкова. - М.: Стройиздат, 1985. - 480 с.

23. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М.: Госгеоллиздат, 1958 - 272 с.

24. Шевченко Л.М., Клименко Л.І., Кучерук А.О., Романенко Е.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з механіки ґрунтів. Рівне: УПВГ. 1991. - 48 с.

25. ДСТУ Б А.2.4-13:2009. Умовні графічні зображення та умовні позначки в документації з інженерно-геологічних вишукувань.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Навчальне видання

Георгій Федорович Федорчук

Михайло Олександрович Фурсович

Олександр Васильович Жеребятъєв

МЕХАНІКА ГРУНТІВ. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Друкується в авторській редакції



Національний університет
водного господарства
та природокористування