

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

Геологічний факультет
Кафедра екологічної та інженерної геології
і гідрогеології

ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ

**Навчально-методичний посібник
до виконання лабораторних робіт
(для студентів спеціальностей 101 – “Екологія”
і 103 – “Науки про Землю”)**

Львів 2021

УДК 624.131.37

Інженерна геологія : навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт (для студентів спеціальностей 101 – “Екологія” і 103 – “Науки про Землю”). Укл.: П. Волошин, Г. Бучацька, Н. Кремінь. – Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2021. – 110 с.

Укладачі: доц. П. Волошин,
асист. Г. Бучацька,
доц. Н. Кремінь

Рецензенти: проф. А. Богуцький, кафедра
геоморфології і палеогеографії,
Львівський національний університет
імені Івана Франка;
доц. Ю. Андрейчук,
кафедра конструктивної географії,
Львівський національний університет
імені Івана Франка

Відповідальний за випуск: доц. П. Волошин

Відповідальний редактор: доц. Є. Сливко

Відповідальна за друк: О. Старунько

*Рекомендовано до друку вченою радою
геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка,
протокол № 71/3 від 24.03.2021 р*

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ПОНЯТТЯ “ГРУНТ”, ГЕНЕТИЧНІ ТИПИ ГРУНТІВ ТА ЇХНЯ КЛАСИФІКАЦІЯ	5
2. ВІДБИРАННЯ, ПАКУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ЗРАЗКІВ	14
3. ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ГРУНТІВ	228
<i>Лабораторна робота № 1.</i> Визначення гранулометричного складу ґрунту ситовим методом	19
<i>Лабораторна робота № 2.</i> Визначення гранулометричного складу ґрунту ареометричним методом	33
<i>Лабораторна робота № 3.</i> Визначення фізичних властивостей ґрунтів: вологості, щільності, пористості	437
<i>Лабораторна робота № 4.</i> Визначення межі пластичності глинистих ґрунтів	49
4. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРУНТІВ	636
<i>Лабораторна робота № 5.</i> Визначення стисливості ґрунтів у компресійному приладі	6559
<i>Лабораторна робота № 6.</i> Визначення просадковості ґрунтів ..	68
<i>Лабораторна робота № 7.</i> Визначення відносної деформації набрякання ґрунтів	78
<i>Лабораторна робота № 8.</i> Визначення міцнісних харак- теристик ґрунтів методом одноплощинного зрізування	903
<i>Лабораторна робота № 9.</i> Визначення кута природного укосунезв’язних ґрунтів	100
Додаток А	97
Додаток Б	98
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	12109

ВСТУП

Навчально-методичний посібник призначений для використання під час виконання лабораторних і самостійних робіт студентами, які навчаються за спеціальностями 101 – “Екологія” і 103 – “Науки про Землю”.

Посібник розроблено з метою поглиблення й закріплення теоретичних знань студентів з курсу “Інженерна геологія” та вироблення навичок щодо визначення складу і властивостей ґрунтів, оцінювання результатів виконаних досліджень, аналізування одержаного фактичного матеріалу.

Під час вивчення інженерної геології важливе значення мають лабораторні практикуми, які дають змогу студентам оволодіти практичними навичками з визначення складу і фізико-механічних властивостей ґрунтів, що є основою інженерних розрахунків з оцінки стійкості й деформативної поведінки будівель і споруд.

У посібнику стисло розглянуто основні теоретичні аспекти, які стосуються особливостей формування властивостей ґрунтів, висвітлено сучасні методи лабораторного вивчення фізико-механічних властивостей ґрунтів, наведено детальні інструкції щодо виконання лабораторних робіт. Усі лабораторні методи, викладені в посібнику, ґрунтуються на чинних будівельних нормах і правилах, Державних стандартах України.

Зазначимо, що всі лабораторні роботи проводяться винятково в академічний час (дві академічні години). У посібнику є окремі лабораторні дослідження, хід роботи яких адаптовано під проведення досліджень суто з навчальною метою. Наприклад, скорочений час на кип’ятіння чи на сушіння у витяжних шафах або змінені значення умовної стабілізації деформацій дають змогу студентам зрозуміти суть того чи іншого методу у відведені академічні години, однак такі результати не можна використовувати в разі розроблення конкретного проєкту будівництва.

Студенти виконують лабораторні дослідження самостійно під керівництвом викладача. За результатами виконання лабораторної роботи потрібно скласти скорочений звіт, який містить таку інформацію:

- 1) основні поняття про характеристику, яку визначають;
- 2) короткий опис використовуваного лабораторного обладнання;
- 3) методика проведення досліджу;

4) отримані результати вимірювань, розрахунки, побудовані графіки, зроблені висновки.

Для виконання лабораторних робіт використовують природні ґрунти різного складу і властивостей.

Кожен студент захищає перед викладачем отримані ним результати.

1. ПОНЯТТЯ “ГРУНТ”, ГЕНЕТИЧНІ ТИПИ ГРУНТІВ ТА ЇХНЯ КЛАСИФІКАЦІЯ

Ґрунтами (від нім. Grund – основа) в інженерній геології називають будь-які гірські породи, ґрунти й техногенні утворення як багатокомпонентні динамічні системи, що мають певні генетичні ознаки й є об’єктами інженерно-господарської діяльності людини. Ґрунти можуть використовувати як основу, середовище або сировину в разі спорудження будівель та інженерно-технічних споруд [5].

Ґрунти характеризують за показниками, які відображають їхній генезис, вік, склад, стан, фізико-механічні та інші властивості.

За генезою ґрунти, як і гірські породи, поділяють на магматичні, метаморфічні й осадові.

Ґрунти магматичної генези утворюються внаслідок твердіння магми чи лави, їх класифікують як скельні.

Ґрунти метаморфічної генези формуються з осадових чи магматичних порід під впливом високого тиску й температури.

Ґрунти осадової генези виникають унаслідок відкладання й нагромадження на поверхні суходолу або в різних водоймах продуктів фізичного й хімічного руйнування раніше утворених порід (магматичних, метаморфічних, осадових, а також продуктів життєдіяльності рослин і тварин). Вони можуть бути скельні та нескельні (дисперсні).

За віком ґрунти можуть належати до різних геологічних епох. Наймолодшими осадовими ґрунтами є відклади четвертинної системи. Давнішими є ґрунти неогенової, палеогенової, крейдової, юрської, тріасової, пермської, кам’яновугільної, девонської, ордовіцької, силурійської, кембрійської, протерозойської й архейської систем.

В інженерно-господарській діяльності найчастіше використовують пухкі четвертинні відклади, серед яких розрізняють певні генетичні відміни (табл. 1.1). Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів, у тім числі однакового літологічного складу, значно залежать від їхньої генези й віку. Наприклад, моренні й алювіальні глини, чи еолові і флювіогляціальні піски суттєво відрізняються за властивостями.

Таблиця 1.1

Генетичні типи ґрунтів четвертинного віку

Генетичні типи ґрунтів	Позначення
Алювіальні	a
Озерні	l
Озерно-алювіальні	la
Болотні (біогенні)	b
Делювіальні	d
Еолові	v
Гляціальні (льодовикові)	g
Флювіогляціальні (воднольодовикові)	f
Елювіальні	e
Пролювіальні	p
Колювіальні	c
Морські	m
Техногенні	t

Важливу роль під час інженерно-геологічного вивчення ґрунтів відіграє їхня класифікація – об’єднання їх у групи, підгрупи й інші підрозділи, які характеризуються певною спільністю, однорідністю властивостей, генези, складу й інших ознак. Без такої класифікації неможливо привести їх до певної системи, визначити закономірності формування їхніх властивостей, обґрунтовано й цілеспрямовано вирішувати наукові і прикладні проблеми.

В інженерній геології найпоширенішою є загальна класифікація, призначена для вирішення таких наукових і прикладних завдань:

- вибору правильної методики польових і лабораторних досліджень ґрунтів;
- визначення необхідного комплексу досліджень та їхнього об'єму;
- типізації ґрунтів під час інженерно-геологічних знімачь та складання інженерно-геологічних карт і розрізів;
- попереднього оцінювання інженерно-геологічних властивостей ґрунтів;
- прогнозування інженерно-геологічних процесів, що виникають унаслідок взаємодії ґрунтів з інженерними спорудами;
- розроблення галузевих і спеціальних класифікацій.

Загальна класифікація передбачає об'єднання всіх видів ґрунтів, які наявні в природі й мають значення в інженерно-господарській діяльності людини. Вона ґрунтується на ознаках, які найповніше характеризують ґрунти з погляду інженерної геології.

У Державному стандарті ДСТУ Б В.2.1-2-96 наведено єдину класифікацію ґрунтів, яка є обов'язковою для застосування під час виконання інженерно-геологічних розвідувань, проектування й будівництва споруд [5].

Класифікація охоплює такі таксономічні одиниці, що їх виділено за групами ознак:

клас – за загальним характером структурних зв'язків;

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

підгрупа – за походженням та умовами утворення;

тип – за речовинним складом;

вид – за назвою ґрунту (з урахуванням розміру частинок і показників властивостей);

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

Усі ґрунти розділено на такі чотири класи:

- клас природних скельних ґрунтів;
- клас природних дисперсних ґрунтів;
- клас природних мерзлих ґрунтів;
- клас техногенних ґрунтів.

Скельним називають ґрунт, що складається з одного або декількох мінералів, які мають кристалічну будову, жорсткі

структурні зв'язки конституційного чи кристалізаційного типу і залягають у вигляді суцільного або тріщинуватого масиву.

Скельні ґрунти суттєво відрізняються від нескельних генезою, характером внутрішніх зв'язків і властивостями. За характером структурних зв'язків скельні ґрунти розрізняють власне скельні та напівскельні, а за походженням та умовами утворення – магматичні інтрузивні, магматичні ефузивні, метаморфічні та осадові [5]

Скельні ґрунти поділяють на різновиди за такими показниками: межа міцності на одновісне стиснення R_c , щільність скелета ρ_d , коефіцієнт звітрілості K_{w1} , коефіцієнт розм'якливості у воді K_{sof} , ступінь водорозчинності та ступінь водопроникності.

Межею міцності на одновісне стиснення R_c називають співвідношення вертикального навантаження на зразок ґрунту, за якого відбувається його руйнування, до площі поперечного перерізу зразка. Зразок ґрунту вирізають у формі куба чи циліндра.

Щільність скелета ґрунту (щільність сухого ґрунту) ρ_d – це співвідношення маси ґрунту (без маси води й льоду в порах) до його об'єму.

Коефіцієнт звітрілості K_{w1} – співвідношення щільності звітрілого ґрунту до щільності монолітного ґрунту.

Коефіцієнт розм'якливості у воді K_{sof} – співвідношення межі міцності ґрунту на одновісне стиснення в насиченому водою й повітряно-сухому стані.

Ступінь розчинності у воді – характеристика, що відображає здатність ґрунту розчинятись у воді; її виражають кількістю водорозчинних солей q_{sr} , г/л.

Ступінь водопроникності відображає здатність ґрунтів пропускати крізь себе воду; кількісно її відображають коефіцієнтом фільтрації K_f , м/добу (використовують як для скельних, так і для дисперсних ґрунтів).

Різновиди скельних ґрунтів за різними показниками наведено в таблицях 1.2–1.7.

Таблиця 1.2

Різновиди скельних ґрунтів за межею міцності на одновісне стиснення в насиченому водою стані, R_c

Різнovid ґрунту	Межа міцності на одновісне стиснення, 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 1.4

Різновиди скельних ґрунтів за коефіцієнтом зв'язності K_{w_r}

Різнovid ґрунту	Коефіцієнт зв'язності K_{w_r} , д. о.
Незв'язний	1,00
Слабозв'язний	1,00–0,90
Зв'язний	0,90–0,80
Сильнозв'язний	< 0,80

Таблиця 1.5

Різновиди скельних ґрунтів за коефіцієнтом розм'якливості у воді K_{sof}

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

Таблиця 1.6

Різновиди ґрунтів за ступенем водопроникності

Різновид ґрунту	Коефіцієнт фільтрації K_f , м/добу
Водонепроникний	< 0,005
Слабководопроникний	0,005–0,300
Водопроникний	0,30–3,00
Сильноводопроникний	3–30
Дуже сильноводопроникний	> 30

Таблиця 1.7

Різновиди скельних ґрунтів за ступенем розчинності у воді

Різновид ґрунту	Кількість водорозчинних солей q_{sr} , г/л
Нерозчинний	< 0,01
Важкорозчинний	0,01–1,00
Середньорозчинний	1–10
Легкорозчинний	> 10

Дисперсними називають ґрунти, що складені з окремих мінеральних частинок (зерен) різного розміру. Вони утворюються внаслідок звітрювання скельних ґрунтів з наступним транспортуванням продуктів звітрювання та їхнім відкладанням або заляганням їх на місці фізичного, хімічного чи біологічного звітрювання (елювіальні ґрунти).

Дисперсні ґрунти за характером структурних зв'язків поділяють на незв'язні і зв'язні. До незв'язних належать великоуламкові ґрунти (галечники, жорства, гравій) і піски, до зв'язних – глинисті ґрунти (глини, суглинки, супіски), а також торфи, заторфовані ґрунти, мули, сапропелі.

Великоуламкові – це незв’язні мінеральні ґрунти, які містять понад 50 % за масою частинок розміром > 2 мм. Залежно від гранулометричного складу і ступеня обкатування частинок розрізняють по три відміни великоуламкових ґрунтів: необкатані – брилові, щебеневі й жорств’яні; обкатані – валунні, галечникові і гравійні.

Якщо у складі ґрунту є понад 40 % піщаного наповнювача або понад 30 % глинистого (від загальної маси повітряно-сухого ґрунту), то в назві великоуламкового ґрунту зазначають назву наповнювача і характеристику його стану. Якщо уламкового матеріалу < 50 %, то ґрунт називають щебенистим чи жорств’яним.

Якщо у незв’язному мінеральному ґрунті є понад 50 % за масою частинок розміром < 2 мм, то його називають *піском*. Піски поділяють за:

- гранулометричним складом – на гравіюваті, грубозернисті, середньозернисті, дрібні й пилюваті;
- щільністю (коефіцієнтом пористості) – на пухкі, середньої щільності та щільні;
- ступенем вологості – на маловологі ($S_r < 0,50$), вологі ($> 0,50 < 0,80$) та насичені водою ($S_r > 0,80$).

Глинисті – це зв’язні мінеральні ґрунти, яким притаманна пластичність. За числом пластичності I_p їх поділяють на супіски, суглинки і глини.

Залежно від кількості утримуваної ними води глинисті ґрунти мають різний показник текучості (консистенцію). Під консистенцією розуміють ступінь рухомості мінеральних частинок глинистого ґрунту під зовнішнім механічним впливом.

Унаслідок зволоження глинисті ґрунти можуть набрякати або просідати; відповідно, їх називають такими, що набрякають, і просадними.

Особливими видами природних дисперсних ґрунтів є *органогенні ґрунти* – мули, сапропелі, заторфовані ґрунти і торфи, які містять органічні речовини (органічні сполуки у вигляді нерозкладених, середньорозкладених і сильнорозкладених залишків рослинних і тваринних організмів, а також продуктів їхнього розкладання й перетворення).

Мул – насичений водою сучасний осад, що містить органічну речовину у вигляді рослинних залишків і гумусу. Зазвичай верхні шари мулу мають коефіцієнт пористості $e \geq 0,9$ і текучу

консистенцію ($I_L > 1$); вміст часток $< 0,01$ мм становить 30–50 % за масою. За значенням числа пластичності I_p мули поділяють на супіщані, суглинисті та глинисті.

Сапропель – прісноводний мул, який утворюється на дні водоймищ з продуктів розпаду рослинних і тваринних решток і містить понад 10 % (за масою) органічної речовини у вигляді гумусу й рослинних залишків.

Торф – органічний ґрунт, що утворюється внаслідок природного відмирання й розкладання різних рослин за умов високої вологості й нестачі кисню і містить понад 50 % (за масою) органічних речовин.

Ґрунт заторфований – пісок або глинистий ґрунт, що містить від 10 до 50 % органічних решток. Якщо вміст органічних речовин в пісках становить 3–10 %, а в глинистих ґрунтах – 5–10 %, то до назви ґрунту додають “з домішками органічних речовин”.

Відносний вміст органічних речовин у ґрунтах I_T визначають як співвідношення маси сухих рослинних залишків до маси абсолютно сухого ґрунту. Для визначення цієї характеристики беруть наважку ґрунту, висушеного за $T = 105 \pm 2$ °С, і прожарюють її в муфельній печі за $T = 950\text{--}1\,000$ °С.

Якщо температура ґрунту нижче 0 °С, він містить лід і має криогенні структурні зв'язки, то його називають *мерзлим* або *багаторічномерзлим*; якщо ґрунт перебуває у мерзломому стані періодично (наприклад, тільки протягом холодного сезону), то ґрунт називають *сезонномерзлим*.

Об'єм деяких ґрунтів під час переходу з талого в мерзлий стан збільшується (до 9 %) унаслідок утворення кристалів льоду. Якщо відносна деформація морозного здимання перевищує 0,01, то такі ґрунти називають *здимальними*.

Особливий клас ґрунтів – *ґрунти техногенні*. Це природні ґрунти, змінені й переміщені внаслідок виробничої діяльності людини, а також антропогенні утворення – тверді відходи діяльності людини, унаслідок якої відбулися докорінні зміни у складі, структурі й текстурі природної мінеральної чи органічної речовини (побутові та промислові відходи). До техногенних ґрунтів належать природні ґрунти, переміщені з місць природного залягання, ґрунти, закріпленні хімічним або термічним способами (без переміщення), ґрунти ущільнені, насипні, наливні, побутові і промислові відходи,

шлаки, шлами, золи й золошлаки. Вид і різновид ґрунту визначають лабораторними випробуваннями.

2. ВІДБИРАННЯ, ПАКУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ЗРАЗКІВ

Чи не найважливішою складовою інженерно-геологічного опробування є відбирання проб. Якість відібраних зразків, поряд із кількістю виконаних аналізів, суттєво впливає на точність проведення подальших досліджень [7].

Способи відбирання проб повинні забезпечувати показовість для кожного конкретного типу порід і можливість проведення необхідних випробувань залежно від вимог методики досліджень. Набір показників властивостей порід і методика досліджень зумовлюють вимоги до способів відбирання проб.

Розрізняють проби з порушеною та непорушеною (моноліти) природною структурою.

Зразком ґрунту слід вважати будь-який об'єм ґрунту, що його відібрали для подальших досліджень. Залежно від мети вивчення і способу відбирання зразка, його структура, текстура, щільність і природна вологість можуть бути збережені такими, як у масиві, тоді такий зразок матиме назву **моноліт**. Моноліти використовують для дослідження будови порід, їхніх міцнісних і деформативних характеристик.

Зразки з порушеною структурою призначені для визначення складу (гранулометричного, мінерального, сольового тощо), пластичних властивостей і термозволоженого стану.

Керн – це зразок (стовпчик) ґрунту, який утворюється внаслідок кільцевого руйнування ґрунту при вибої свердловини. Таке буріння виконують за допомогою спеціальної порожнистої (колонкової) трубки (колонкове буріння). Його часто провадять під час розвідки родовищ корисних копалин.

Проби (зразки) відбирають зі стінок природних відслонень, відкритих гірничих виробок (шурфи, канали, штольні тощо) і свердловин. Для цього використовують ножі, лопати, різальні кільця, бурові наконечники та ін. Розмір зразків та їхня кількість повинні бути достатні для виконання необхідного комплексу лабораторних робіт і відповідати вимогам стандартів щодо методів визначення характеристик ґрунтів.

Гірничі виробки, з яких відбирають зразки, повинні бути захищені від проникнення поверхневих вод і атмосферних опадів, а взимку – від промерзання.

Гірничі виробки для відбирання проб мерзлого ґрунту необхідно проходити без попереднього танення ґрунту за умови обертання місця відбирання зразків від танення й підтікання надмерзлотних вод. Зразки мерзлого ґрунту потрібно відбирати за від'ємної температури атмосферного повітря, а в теплий період року – за умови їхньої негайної теплоізоляції й доставляння у сховище з від'ємною температурою повітря.

Процес відбору зразків ґрунту суворо регламентується. Зразки відбирають із визначеним інтервалом по глибині та площі за точковим методом. Відбір зразків здійснюють з кожного різновиду ґрунту, але не рідше ніж через 0,5 м – для зразків порушеної структури та через 1–2 м – для монолітів.

У табл. 2.1 наведено вимоги до об'єму й маси проб ґрунтів з порушеною і непорушеною структурою та залежності від показників властивостей, які потрібно визначити.

Загалом процес відбирання проб з порушеною структурою дуже простий. Якщо для подальших досліджень не потрібно зберігати природну вологість, то зразки можна помістити в будь-яку тару (цупка тканина, водостійкий папір, поліетилен тощо). У протилежному випадку проби поміщають у герметичну тару (металеві корозійно-стійкі або пластмасові банки з кришками, що герметично закриваються). Зразки ґрунту, призначені для визначення вологості, потрібно зважити відразу після відбирання.

Складнішим є відбирання зразків з непорушеною структурою – монолітів. Це точкові проби, які відбирають з дна або стінок відкритих виробок і природних відслонень двома способами.

Перший полягає у використанні ріжучого інструменту (лопати, ножа), за допомогою якого від породи відрізають моноліт певного розміру. Спочатку вирізають бокові й верхню грані, а потім обережно підрізають нижню грань, виймають моноліт для остаточного зачищення й консервації.

Другий спосіб застосовують тільки для пухких піщано-глинистих порід. Він полягає у відбиранні монолітів за допомогою ріжучого кільця, яке обережно втискають у породу, постійно відділяючи ґрунт від його бічних стінок. Після втискання кільце підрізають, зачищають з торців і парафінують.

Тара, яку застосовують для пакування монолітів, повинна бути виготовлена з корозійно-стійких матеріалів (парафіновий папір, пластмаса).

Згідно з чинними нормами, консервація й упаковка зразків повинна відповідати певним вимогам [7]. По-перше, усі зразки повинні мати дві етикетки, на яких наведено:

- головну організацію, що виконує дослідження;
- назву об'єкта (ділянки);
- назву виробки та її номер;
- глибину відбирання зразка;
- короткий опис ґрунту (візуальний);
- посаду, прізвище виконавця і його підпис;
- дату відбирання зразка.

Таблиця 2.1

Об'єм і маса зразків для лабораторних випробувань ґрунтів

Показники стану і фізико-механічних властивостей порід	Склад і стан ґрунту та метод визначення	Кількість (маса чи об'єм) ґрунту для безпосередніх випробувань
1	2	3
Фізичні властивості		
Гранулометричний склад	Глинисті ґрунти порушеної структури, що не зберегли природної вологості, у повітряно-сухому стані (піпетковий метод)	10–20 г, отримані під час квартування з об'єму 250 см ³
	Глинисті ґрунти (аерометричний метод)	200 г
	Піски в повітряно-сухому стані з розміром зерен від 10 до 0,05 мм (ситовий метод)	100–2000 г
Щільність	ґрунти, що легко піддаються вирізанню або не зберігають форму без кільця, сипучомерзлі та з масивною криогенною текстурою (різальним кільцем)	$d_k \geq 70$ мм, $70 \geq h_k > 21$ мм, $\delta_k = 2,0-4,0$ мм
	Глинисті немерзлі ґрунти (різальним кільцем)	$d_k \geq 50$ мм, $40 \geq h_k > 15$ мм, $\delta_k = 1,5-2,0$ мм
	Глинисті немерзлі ґрунти (зважування у воді парафінованих зразків)	$V \geq 50$ см ³

Продовження табл. 2.1

1	2	3
Щільність	Глинисті мерзлі ґрунти (зважування у нейтральній рідині)	100–150 г
Щільність часточок ґрунту	Усі дисперсні ґрунти (крім великоуламкових) (пікнометричний метод)	100–200 г
Максимальна щільність	Піски, глинисті ґрунти, великоуламкові (тільки гравійні) ґрунти (пошарове трамбування ґрунту)	Не менше 10 кг
Сумарна вологість	Мерзлі ґрунти з шаруватою сітчастою криогенною текстурою (середньою пробою)	1–3 кг
Вологість, у тім числі гігроскопічна	Усі дисперсні ґрунти, крім великоуламкових (висушування до постійної маси)	15–50 г
Межа текучості й розкочування	Глинисті ґрунти, супіски порушеної структури (пенетрація конусом і розкочування в джгут)	300 г
Механічні властивості (деформованість)		
Відносне набрякання за різного тиску і тиск набрякання	Глинисті ґрунти і ґрунти, що набрякають (компресійне стискання)	Циліндр $d \geq 71$ мм за співвідношення $h/d = 1,0/3,5$
Відносна усадка (за висотою, діаметром і об'ємом)	Глинисті ґрунти й такі, що набрякають (за вільної триосьової деформації)	Те саме
Коефіцієнт фільтрації і вторинної консолідації	Глинисті, органо-мінеральні і органічні ґрунти (компресійне стискання)	– ” –
Відносне суфозійне стискання за заданого тиску	Засолені (ті, що містять легко- і середньорозчинні солі), піски (крім гравіюватих), супіски і суглинки (компресійне стискання за схемою однієї кривої)	– ” –
Відносне суфозійне стискання за різного тиску і початковий тиск	Засолені (ті, що містять легко- і середньорозчинні солі), піски (крім гравіюватих), супіски і суглинки (компресійне стискання за схемою трьох кривих)	– ” –

суфозійного стискання		
-----------------------	--	--

Закінчення табл. 2.1

1	2	3
Модуль деформації, коефіцієнт поперечної деформації	Усі дисперсні ґрунти, крім великоуламкових (дреноване випробування за триосьового стискання)	Циліндр $d \geq 38$ мм за співвідношення $h/d =$ від 2/2 до 2,5/1,0
Коефіцієнт стисливості, модуль деформації	Піски дрібні й пилюваті; глинисті ґрунти з $I_L > 0,25$; органо-мінеральні й органічні ґрунти (компресійне стискання)	Циліндр $d \geq 71$ мм за співвідношення $h/d = 1,0/3,5$
Відносна просадковість за заданого тиску	Глинисті ґрунти і піски пилюваті (просадкові різновиди) (компресійне стискання за схемою однієї кривої)	Те саме
Відносна просадковість за різного тиску і початковий просадний тиск	Глинисті ґрунти й піски пилюваті (просадкові різновиди) (компресійне стискання за схемою двох кривих)	– ” –
Механічні властивості (міцність)		
Межа міцності на одноосьове стиснення; опір недренованому зсуву	Напівскельні ґрунти і глинисті водонасичені ґрунти, які зберігають форму без кільця (одноосьове стиснення)	Циліндр $d = 40-100$ мм за співвідношення h/d від 1/1 до 2/1
Кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення, опір недренованого зсуву	Глинисті, органо-мінеральні й органічні ґрунти у нестабілізованому стані (неконсолідовано-недреноване випробування за триосьового стискання; консолидовано-недреноване випробування за триосьового стискання). Усі дисперсні ґрунти (консолідовано-недреноване випробування за триосьового стискання)	Циліндр $d \geq 38$ мм за співвідношення h/d від 2/2 до 2,5/1,0
Опір зсуву, кут внутрішнього тертя, питоме	Піски (крім гравіюватих і грубозернистих); глинисті й органо-мінеральні ґрунти (одноплщинний	Циліндр $d \geq 70$ мм за співвідношен-

зчеплення	зріз)	ня h/d від $1/3$ до $1/2$
-----------	-------	-----------------------------

Примітки: d – діаметр зразка; h – висота зразка; d_k – діаметр кільця; h_k – висота кільця; δ_k – товщина стінки кільця; V – об’єм зразка

Одну з етикеток розміщують безпосередньо зі зразком (у тарі з пробою, на верхній грані моноліту тощо), другу приклеюють поверх упакування. Етикетки заповнюють простим графітовим олівцем чи кульковою ручкою, щоб попередити розпливання чи стирання напису.

По-друге, на зразках з непорушеною структурою (монолітах) обов’язково позначають верхню й передню грані. Якщо нема потреби зберігати природну вологість, то моноліти запаковують у будь-яку тару, додаючи етикетки, захищені від розмокання шаром парафіну чи кальки. Моноліти засолених ґрунтів поміщають у мішечки з поліетилену.

Консервація монолітів відбувається безпосередньо на місці їхнього відбирання. Зачищений моноліт огортають двома шарами марлі, попередньо просякнутої парафіном з гудроном. Для ізоляції монолітів використовують парафін марки НВ 56-58 (за ГОСТ 23683) з додаванням 35–50 % (за масою) гудрону. Одну етикетку вкладають під нижній шар марлі на верхню грань моноліту, другу – на поверхневий шар парафіну.

Допускається для ізоляції монолітів застосовувати замість суміші парафіну з гудроном замітники: суміш 60% парафіну, 25% воску, 10% каніфолі та 5% мінеральної олії або суміш 37,5% воску, 37,5% каніфолі, 25% окису заліза; церезин за ГОСТ 2488.

Моноліти мерзлого ґрунту ізолюють способом наморожування на них кірки льоду завтовшки не менше 1 см. Для цього моноліт багаторазово занурюють в охолоджену воду й заморожують.

По-третє, за необхідності подальшого транспортування моноліти складають в ящики (термоси) на відстані 2–3 см один від одного і 4–5 см від стінок ящика. Порожнини заповнюють тирсою чи іншим подібним матеріалом.

Зразки транспортують за температури повітря, наближеної до температури породи (мерзлі породи – за від’ємної, немерзлі – за додатної). Під кришку ящика кладуть загорнуту в кальку відомість

зразків. Ящики нумерують, наносять відповідні написи (“Верх”, “Не кидати”, “Не кантувати”, адреси одержувача й відправника).

Під час транспортування зразки не повинні зазнавати температурного й динамічного впливу.

За лабораторних умов зразки ґрунту, для яких необхідне збереження природної вологості, слід зберігати за відносної вологості 70–80 % і температури не нижче +2 і не вище +10 °С. Моноліти мерзлих ґрунтів потрібно зберігати за відносної вологості 80–90 % і від’ємної температури.

Термін зберігання зразків з порушеною структурою, для яких потрібно зберегти природну вологість, не повинен перевищувати 20 діб.

Термін зберігання парафінованих монолітів може становити півтора місяця – для скельних ґрунтів, пісків, глинистих ґрунтів твердої й напівтвердої консистенції; один місяць – для інших різновидів ґрунтів. При зберіганні моноліти не повинні піддаватися різкому динамічному впливу, торкатися один одного чи стійок полиць. Їх слід розміщувати на полицях кімнати (камери) усією нижньою поверхнею в один рівень таким чином, щоб етикетки були зверху. На монолітах заборонено розміщувати будь-які предмети.

У разі тривалого зберігання монолітів немерзлих ґрунтів їх необхідно покривати вологою тканиною або вологою тирсою.

До початку лабораторного вивчення ґрунту перевіряють герметичність покриття зразка і у випадку пошкодження моноліт забраковують (якщо передбачено визначення деяких властивостей ґрунтів за природних умов).

Моноліти, що мають пошкоджений гідроізоляційний шар чи інші дефекти упакування, слід допускати до лабораторного вивчення тільки як зразки з порушеною структурою.

Моноліт, придатний для аналізів, розкривають ножем, зачищають поверхню і одразу відбирають проби для визначення природної вологості і щільності ґрунту.

Наступним кроком є відбір зразків для інших видів досліджень, а саме: визначення компресійних властивостей, опору зсуву, ступеню набрякання, усадки тощо.

Залишки ґрунту використовують для визначення показників вологості на межі розкочування, вологості на межі пластичності, числа пластичності і консистенції (для глинистих ґрунтів).

Усі записи щодо реєстрації і опису моноліту проводять у відповідному журналі.

Загалом увесь процес відбору зразків ґрунтів порушеної та непорушеної структури повинен забезпечувати вивчення фізико-механічних властивостей шарів ґрунту і виділення інженерно-геологічних елементів.

3. ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ГРУНТІВ

Грунт – це складна дисперсна система, що містить три фази: рідку (вода й водні розчини), тверду (мінеральні зерна й органічні сполуки) і газоподібну (кисень, метан, сірководень, водяна пара тощо). Порожнини (пори) між часточками ґрунту можуть бути заповнені як рідинною, так і газовою складовою ґрунту, що і зумовлює складність будови цієї системи.

Залежно від кількісного співвідношення у ґрунті складових різного розміру і ступеня наповнення пор водою кожен тип ґрунту має різний фізичний стан, від якого залежать властивості ґрунту та його поведінка під навантаженням.

Фізичні властивості ґрунтів – це характеристики їхнього фізичного стану в природному заляганні та при взаємодії з інженерними спорудами, які дозволяють якісно оцінювати їхню міцність та деформованість. Фізичні властивості виявляються в результаті дії на ґрунти різноманітних фізичних полів – гравітаційного, теплового, магнітного, електричного тощо [9].

Серед головних показників, що характеризують фізичні властивості ґрунтів, наведемо такі: вологість, пористість, щільність природного ґрунту, щільність сухого ґрунту, щільність часточок ґрунту.

Також умовно виділяють *основні, похідні та класифікаційні* фізичні характеристики, що притаманні ґрунтам. До основних належать щільність і вологість ґрунту, щільність часточок ґрунту. Такі показники, як коефіцієнт пористості, пористість, коефіцієнт водонасичення є похідними, оскільки їх можна обчислити з урахуванням показників основних фізичних характеристик.

До класифікаційних характеристик можна зачислити *зерновий склад* для піщаних і великоуламкових ґрунтів, *число пластичності і консистенцію* – для глинистих.

Кількість лабораторних випробувань встановлюють у програмі виконання робіт згідно з чинними держстандартами [3, 8] залежно від ступеня неоднорідності ґрунтів, класу наслідків (відповідальності) проекрованої будівлі (споруди), необхідної точності визначення характеристик ґрунтів і з урахуванням попередньо виконаних лабораторних випробувань [9].

Лабораторна робота № 1 **ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ** **ГРУНТУ СИТОВИМ МЕТОДОМ**

Мета: отримати навички з визначення гранулометричного складу ґрунту ситовим методом і навчитися опрацьовувати результати гранулометричного аналізу (ДСТУ Б В.2.1-19:2009) [3].

Основні завдання:

- 1) визначити гранулометричний склад ґрунту ситовим методом;
- 2) побудувати сумарну криву гранулометричного складу ґрунту, обчислити коефіцієнт неоднорідності ґрунту і схарактеризувати ступінь його неоднорідності.

Обладнання: набір сит, порцелянова чашка, товкачик з гумовим наконечником, вага, дощечка для квартування зразка ґрунту.

Теоретична основа роботи

Дисперсні ґрунти складені з твердої фази й порожнин, заповнених повітрям і водою. Тверда фаза ґрунту – це тверді частинки мінерального чи органічного походження. Їхній розмір змінюється в широкому діапазоні – від часток міліметра до десятків сантиметрів. Розмір уламків впливає на властивості ґрунту, і цей вплив більший у роздільно-зернистих ґрунтах, у яких нема внутрішніх зв'язків між частинками ґрунту [13].

Гранулометричний склад відображає відносний вміст у ґрунті фракцій різного розміру, виражений у відсотках (щодо маси абсолютно сухого ґрунту).

Фракція – це група часток чи уламків ґрунту певного інтервалу розмірів. Розмір часток основних фракцій ґрунту наведено в табл. 3.1.1.

Гранулометричний склад дисперсних ґрунтів є одним з елементів їхньої структури, він відображає співвідношення часток твердої фази різного розміру й форми. Гранулометричний склад є класифікаційною характеристикою.

Класифікацію великоуламкових ґрунтів і пісків за гранулометричним складом наведено в табл. 3.1.2.

Таблиця 3.1.1

Розмір часток основних фракцій ґрунту

Фракція	Розмір часток, мм
Валуни	800–200
Галька (щебінь)	200–20
Гравій (жорства)	20–2
Пісок	2,00–0,05
Пилувата	0,050–0,005
Глиниста	< 0,005

Таблиця 3.1.2

Класифікація великоуламкових ґрунтів і пісків
за гранулометричним складом [5]

Різновид ґрунтів	Розмір зерен чи часток d , мм	Вміст зерен чи часток, % за масою
Великоуламковий		
Валунний / у разі переважання необкатаних часток – бриловий	> 200	> 50
Галечниковий / щебенистий	> 10	> 50
Гравійний / жорств'яний	> 2	> 50
Пісок		
Гравіюватий	> 2	> 25
Грубозернистий	> 0,50	> 50
Середньозернистий	> 0,25	> 50
Дрібний	> 0,10	≥ 75
Пилуватий	> 0,10	< 75

За наявності у великоуламкових грунтах піщаного наповнювача $> 40 \%$ чи глинистого наповнювача $> 30 \%$ від загальної маси повітряно-сухого ґрунту у назву великоуламкового ґрунту додають назву виду наповнювача і характеристику його стану. Вид наповнювача визначають після видалення з великоуламкового ґрунту часток розміром > 2 мм.

Гранулометричний склад використовують під час інженерно-геологічних досліджень і проектування з такою метою:

- для визначення умов розвитку суфозії в основах споруд і штучних земляних насипах у разі виникнення в них гідродинамічного тиску;

- для вибору й розрахунку отворів фільтрів під час дослідних відпompовувань;

- для орієнтовного визначення коефіцієнта фільтрації в пісках за емпіричними формулами;

- для оцінки придатності ґрунтів як матеріалу для дамб та інших гідротехнічних споруд;

- для приготування оптимальних сумішей ґрунту в процесі укладання доріг та ін.

Інформацію про гранулометричний склад дисперсних порід отримують під час гранулометричного аналізу.

Метою гранулометричного аналізу є розділення ґрунту на фракції й визначення у пробі їхнього відсоткового вмісту. Методи гранулометричного аналізу ґрунтів різні, вони залежать від розміру часток, якими складений ґрунт.

За польових умов механічний склад ґрунту визначають за допомогою способу Філатова, для якого потрібно визначити число набрякання в спеціальній лійці і трубці.

За лабораторних умов часто використовують ситовий, піпетковий або аерометричний методи.

Ситовий метод є головним у разі визначення гранулометричного складу незв'язних ґрунтів. Метод полягає у просіюванні проби ґрунту й розділенні її на окремі фракції за допомогою спеціальних сит. Для визначення гранулометричного складу піщаних ґрунтів з гравієм найчастіше використовують стандартний комплект сит розміром 10, 5, 2, 1, 0,5, 0,25 і 0,1 мм.

Для визначення гранулометричного складу великоуламкових ґрунтів використовують спеціальні сита з отворами великих розмірів.

Щоб визначити вміст у ґрунті тонкодисперсних піщаних та великоуламкових фракцій, використовують **метод подвійного відкаламучування**. Цей метод ґрунтується на різниці швидкостей вільного падіння твердих часток під дією сили тяжіння в рідині.

Швидкість падіння часток визначають за формулою Стокса (1.1):

$$V = \frac{2}{9} gr^2 \frac{\rho_s - \rho_B}{\eta}, \quad (1.1)$$

де V – швидкість падіння часток у воді, см/с; g – прискорення вільного падіння, см/с²; r – радіус часток, мм; ρ_s – густина часток, г/см³; ρ_B – густина води, г/см³; η – в'язкість рідини, Па·с.

Використання цієї формули у механіці ґрунтів та ґрунтознавстві має ряд особливостей, зокрема [9]:

- часточки осаджуються незалежно одна від одної. Ця умова накладає особливість на концентрацію ґрунтової суспензії – вона не повинна перевищувати 1,5–2%;

- часточки повинні бути сферичної форми (що на практиці спостерігається досить рідко), тільки в цьому випадку формулу Стокса можна застосовувати. За будь-якої іншої форми часточок (наприклад, лускатої, пластинчатої, дендритної тощо) для них буде визначатися так званий «еквівалентний діаметр», тобто певний усереднений діаметр, котрий мали б частки, якби вони були округлої форми і їхнє падіння у рідині підкорялося закону Стокса;

- закон Стокса застосовують для певного діапазону діаметрів часточок – більш ніж 0,0001 мм та менш ніж 0,25 мм. Як відомо, часточки менші від 0,0001 мм вже піддаються впливу броунівського (теплого) руху. Їхній вміст визначити за законом вільного падіння Стокса практично неможливо. Крім того, закон Стокса використовує умови ламінарного руху часток. Це накладає умову визначення часточок діаметром тільки меншим від 0,25 мм, тому що більші часточки, ймовірно, будуть осаджуватися з виникненням турбулентних явищ.

Якщо стала швидкість падіння часток у рідині дорівнює: співвідношенню відстані, яку проходять частки, до часу падіння у хвилинах, то можна точно розрахувати глибину, на якій проявляться частки певного діаметру через певний час.

А. Сабанін виявив залежність між діаметром часток і швидкістю їхнього падіння у воді (табл. 3.1.3).

Для визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів використовують **піпетковий метод**. Цим методом виділяють частки розміром 0,10, 0,10–0,05, 0,05–0,01, 0,010–0,005, 0,005–0,001 і < 0,001 мм. Метод також ґрунтується на принципі різної швидкості падіння часток у воді. У цьому разі відкаламучування виконують один раз, а потім через певні інтервали з відомої глибини піпеткою відбирають проби. Якщо відбирати низку таких проб через рівні проміжки часу і взяти до уваги співвідношення між швидкістю падіння часток та їхнім діаметром, то можна визначити вміст різних фракцій у досліджуваній пробі.

Таблиця 3.1.3

Залежність між діаметром часток і швидкістю їхнього падіння у воді

Діаметр часток, мм	Швидкість падіння часток, см/с
0,5	0,2 (1 см за 5 с)
0,01	0,02 (1 см за 50 с)
0,005	0,0046 (1 см за 36 хв)
0,001	0,00012 (1 см за 2 год 24 хв)

Ареометричний метод гранулометричного аналізу ґрунтується на вимірюванні спеціальним приладом – ареометром щільності суспензії, що відстоюється; в осад випадають більші за розміром частки. Цей метод високоточний, і його рекомендують використовувати для визначення глинистих і піщаних фракцій розміром < 0,25 мм. За вмісту у ґрунті часток більшого розміру цей метод можна об'єднати з ситовим.

Результати гранулометричного аналізу наводять у вигляді *сумарної (кумулятивної) кривої гранулометричного складу* (рис. 1.1).

Для побудови кривої на осі абсцис відкладають десяткові логарифми розміру зерен (чи діаметр фракцій), а на осі ординат – сумарний відсотковий вміст фракцій. На кожен графік можна наносити декілька кривих, які відображають гранулометричний склад досліджуваних зразків. Характер кривої свідчить про однорідність ґрунту: що крутіша крива, то більш однорідний ґрунт за гранулометричним складом. За сумарною кривою знаходять два

показники: ефективний (або діючий) діаметр зерна та коефіцієнт неоднорідності.

Діючий (ефективний) діаметр зерна – це розмір тих часток, вміст яких у ґрунті становить до 10 %. Коефіцієнт неоднорідності ґрунту K_n визначають за формулою (1.2):

$$K_n = d_{60}/d_{10} , \quad (1.2)$$

де K_n – коефіцієнт неоднорідності; d_{60} – діаметр часток, яких у ґрунті є до 60 %; d_{10} – ефективний діаметр.

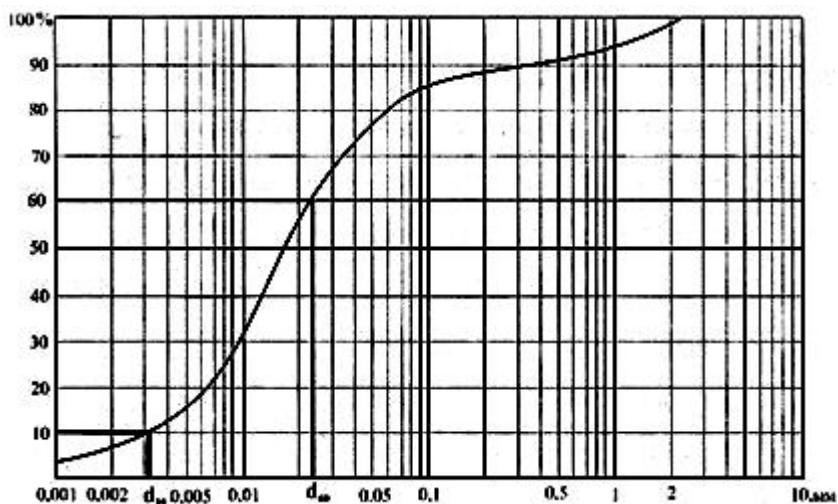


Рис. 1.1. Приклад сумарної (кумулятивної) кривої гранулометричного складу.

За коефіцієнтом неоднорідності гранулометричного складу великоуламкові ґрунти й піски поділяють на однорідні ($K_n \leq 3$) і неоднорідні ($K_n > 3$). Показник неоднорідності суттєво впливає на міцнісні й деформативні характеристики ґрунтів, особливо на швидкість фільтрації.

Методика визначення гранулометричного складу ґрунтів в Україні й за кордоном практично однакова. Відмінності полягають лише у розмірах отворів сит, що застосовують для ситового аналізу, та інтерпретації отриманих результатів. Для класифікації

великоуламкових, грубозернистих і піщаних ґрунтів за стандартами ASTM D 2487–2000 [14] проводиться розрахунок вмісту фракцій за граничними розмірами часток: 300; 76,2; 19; 4,75; 0,425 та 0,075 мм; для класифікації за стандартами ISO 17892–4:2016 [15] – 630; 200; 63; 20; 6,3; 0,63; 0,2 та 0,063 мм. Для переведення результатів аналізів, виконаних за закордонними стандартами, у ДСТУ Б В.2.1–19:2009 [3] проводиться розрахунок вмісту фракцій за граничними розмірами часток: 800; 400; 200; 100; 60; 40; 20; 10; 4; 0,5; 0,25; 0,1 та 0,05 мм.

Крім розрахунку показника неоднорідності гранулометричного складу (або ступеня фракціонованості – *uniformity coefficient*) C_u , у закордонних нормативних документах також розраховують коефіцієнт кривизни (*coefficient of curvature*) C_c , що характеризує форму кумулятивної кривої гранулометричного складу [9, 14, 15].

Завдання 1.Визначення гранулометричного складу ґрунту ситовим методом

Середню пробу для аналізу гранскладу ситовими методом а також деяких інших лабораторних досліджень відбирають за допомогою **методу квартування**. Назва методу походить від латинського слова *quarta (pars)*, що означає *чверть, четверта частина*.

Для виконання методу квартування ґрунт, масою приблизно 4–8 середніх наважок, потрібно ретельно перемішати, потім шпателем розподілити по аркушу щільного паперу (ватману) тонким рівним шаром завтовшки у кілька міліметрів та двома взаємно перпендикулярними лініями розділити на чотири рівні частини (квадрати). Два протилежних (за діагоналлю) квадрати залишити як скорочену пробу, а два інших видалити з аркуша паперу за допомогою шпателя. Кожний із квадратів, що залишилися, двома взаємно перпендикулярними лініями розділити на чотири рівні частини. Залишити по два протилежних квадрати, а два інших видалити.

Такий розподіл проби (квартування) продовжувати доти, поки на аркуші паперу не залишиться проба ґрунту необхідної ваги [9].

Хід роботи

1. Пробу ґрунту в повітряно-сухому стані обережно розтирають у порцеляновій ступці товкачиком з гумовим наконечником, щоб не було грудок і щоб не руйнувати окремі зерна.

2. Беруть середню наважку методом квартування: 100 г ґрунту, у якому нема фракцій розміром > 2 мм; 500 г ґрунту, який містить до 10 % часток > 2 мм; 1000 г ґрунту, якщо у ньому частки > 2 мм становлять 10–30 %, і не менше 2000 г за їхнього вмісту понад 30 %. Вміст у ґрунті часток > 2 мм визначають візуально.

3. Відібрану пробу зважують на технічній вазі з точністю до 0,01 г, і результати зважування записують у робочий журнал.

4. Зважену пробу висипають у сита, зібрані в колону. Розмір отворів сит зменшується зверху донизу. Верхнє сито накривають кришкою, а під нижнє підставляють піддон. Колону сит струшують, і порода розділяється на окремі фракції.

5. Вміст ґрунту з кожного сита висипають у зважену порцелянову чашку і зважують. Результати зважування виражають з точністю до 0,1 г і записують у робочий журнал (табл. 3.1.4).

Таблиця 3.1.4

Журнал результатів ситового аналізу

Діаметр сит, мм	Залишок на ситах, г			Гранулометричний склад ґрунту		
	Маса порожньої чашки	Маса чашки з ґрунтом	Маса ґрунту на кожному у ситі	Фракція ґрунту, мм	Маса фракції, г	Вміст фракції, %
10				> 10		
5				10–5		
2				5–2		
1				2–1		
0,50				1,0–0,5		
0,25				0,50–0,25		
0,10				0,25–0,10		
Піддон				<0,10		

6. Для контролю додати маси окремих фракцій і порівняти отриману суму з початковою масою взятої для аналізу проби. Різницею до 0,5 % можна знехтувати. Якщо різниця перевищує 0,5 %, то дослід потрібно повторити.

Опрацювання результатів гранулометричного аналізу ґрунту

1. Вносимо одержані дані в підготовлений журнал гранулометричного аналізу ґрунту (табл. 3.1.5).

2. Обчислюємо сумарну масу зразка породи.

3. Обчислюємо відсотковий вміст у породі часток певного розміру (фракцій). Відсотковий вміст фракцій розраховують за формулою:

$$A = \frac{m_{\phi}}{m_{пр}} \times 100 \% ,$$

де m_{ϕ} – маса даної фракції ґрунту, г; $m_{пр}$ – маса середньої проби ґрунту, взятої для аналізу, г.

4. За даними третього стовпчика таблиці заповнюємо четвертий, для чого послідовно підсумовуємо відсотковий вміст усіх фракцій.

Приклад

Для аналізу взято наважку 500 г. Після розтирання, просіювання і зважування отримано результати, які наведено в табл. 3.1.5.

Таблиця 3.1.5

Журнал результатів гранулометричного аналізу

Фракції ґрунту, мм	Маса залишку на ситах, г	Обрахунок	Відсотковий вміст, %
> 10	0	–	0
10–5	15,0	$(15 \times 100) / 500$	3
5–2	37,5	$(37,5 \times 100) / 500$	8
2–1	85,3	$(85,3 \times 100) / 500$	17

1–0,5	195,2	$(195,2 \times 100)/500$	39
0,5–0,25	107,0	$(107 \times 100)/500$	21
0,25–0,1	43,0	$(43 \times 100)/500$	9
<0,1	17,0	$(17 \times 100)/500$	3
Разом	500		100

Завдання 2. Побудова сумарної (кумулятивної) кривої

Хід роботи

1. За даними таблиці будуємо криву у напівлогарифмічному масштабі (див. рис. 1.1). На осі абсцис відкладаємо розміри часток, використовуючи логарифми чи величини, пропорційні до логарифмів. Для побудови шкали по осі абсцис найліпше взяти довжину відрізка, що дорівнює $\lg 10$. Якщо прийняти, що $\lg 10 = 1$ відповідає відрізку 4 см і на початку координат відкласти число 0,001, то через 4 см буде точка 0,01, ще через 4 см – 0,1, а потім 1 і 10. Відстань між кожними двома позначками ділять на 9 частин, пропорційних до логарифмів чисел 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Якщо $\lg 10 = 1$ відповідає відрізку 4 см, то

$$\lg 2 = 0,301 \cdot 4 = 1,2 \text{ см};$$

$$\lg 3 = 0,477 \cdot 4 = 1,9 \text{ см};$$

$$\lg 4 = 0,602 \cdot 4 = 2,4 \text{ см};$$

$$\lg 5 = 0,699 \cdot 4 = 2,8 \text{ см};$$

$$\lg 6 = 0,778 \cdot 4 = 3,1 \text{ см};$$

$$\lg 7 = 0,845 \cdot 4 = 3,4 \text{ см};$$

$$\lg 8 = 0,903 \cdot 4 = 3,6 \text{ см};$$

$$\lg 9 = 0,954 \cdot 4 = 3,8 \text{ см}.$$

Відклавши довжину обчислених відрізків від початку координат і від кожної граничної позначки, отримаємо у першому інтервалі розмір часток 0,001–0,009 мм, у другому – 0,01–0,09 мм, у третьому – 0,1–0,9 мм, у четвертому – 1–10 мм.

На осі абсцис знаходять розміри фракцій, починаючи з найменшої, а на відповідних ординатах точками позначають сумарний відсотковий вміст. Точки сполучають плавною лінією й отримують криву гранулометричного складу.

2. Визначаємо за графіком ефективний діаметр породи: на осі ординат шукаємо точку, що відповідає 10-відсотковому вмісту часток; проводимо з неї лінію, паралельну до осі абсцис, до перетину з кривою. З точки перетину проводимо перпендикуляр до осі абсцис, за яким визначаємо ефективний діаметр у міліметрах.

Опрацювання результатів

1. Визначаємо за допомогою графіка діаметр часток, який відповідає 60 % сумарного вмісту часток (аналогічно до ефективного діаметру) і знаходимо коефіцієнт неоднорідності (відсортованості) породи. На рис. 1.1 ефективний діаметр становить 0,0031, а $d_{60} - 0,024$. Отримуємо коефіцієнт відсортованості 7,7.

2. За характером кривої механічного складу і значенням коефіцієнта відсортованості характеризуємо ступінь однорідності ґрунту. Характер кривої свідчить про ступінь однорідності часток, якими складений ґрунт. Згідно зі співвідношенням d_{60}/d_{10} , якщо крива крута – то ґрунт однорідний, якщо полого – то ґрунт неоднорідний.

Контрольні питання

1. Що означає “гранулометричний склад ґрунту”?
2. Які фракції за розміром можна виділити у ґрунтах?
3. Які методи проведення гранулометричного аналізу ви знаєте?
4. Розкрийте суть проведення ситового методу.
5. Якою формулою користуються під час визначення тонкодисперсних фракцій у методі тонкодисперсного відкаламучування?
6. Що таке сумарна крива гранулометричного складу? У чому особливості її побудови?
7. Що розуміють під поняттям “діючий діаметр зерна”?
8. За якою формулою визначають коефіцієнт неоднорідності ґрунту?

Лабораторна робота № 2 ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ГРУНТУ АРЕОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Мета: отримати навички визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів ареометричним методом шляхом вимірювання щільності суспензії в процесі її відстоювання.

Основні завдання:

1) визначити гранулометричний склад ґрунту ареометричним методом;

2) побудувати сумарну криву гранулометричного складу ґрунту, обчислити коефіцієнт неоднорідності ґрунту і схарактеризувати ступінь його неоднорідності.

Обладнання: ареометр, вага, ступка з товкачиком, сушильна шафа, ексікатор, тиглі, скляний циліндр об'ємом 1 л, набір сит, термометр, мішалка, секундомір, промивач, ареометр, розчин 20 % аміаку, 25 см³ 4 % пірофосфорнокислого натрію Na₄P₂O₇, порцелянова чашка, конічна колба об'ємом 500 см³ зі зворотнім охолоджувачем.

Теоретична основа роботи

Ареометричний метод гранулометричного аналізу ґрунтів полягає у вимірюванні щільності приготованої з них суспензії спеціальним приладом (ареометром) у процесі її відстоювання (рис. 2.1). Цей метод вперше було запропоновано Г. Д. Буйюкосом (1927) і застосовано на практиці А. Казагранде (1934).

Якщо у скаламучену суспензію опустити ареометр, то в процесі відстоювання щільність її буде змінюватись у зв'язку з випадінням з неї частинок ґрунту і ареометр буде занурюватись у суспензію (рис. 2.2). Ареометричним методом можна визначити вміст фракцій розміром < 0,25 мм. Вміст більших фракцій визначають ситовим методом.

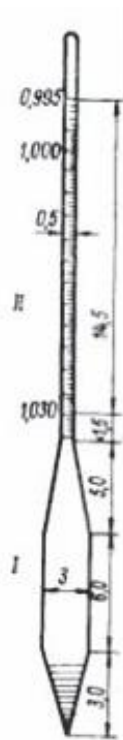


Рис. 2.1. Ареометр для вимірювання щільності суспензії:
I – цибулина; *II* – стержень.

Ареометр – це скляний обтічної форми прилад, призначений для рідин густиною від 0,995 до 1,030 г/см³ (див. рис. 2.1, 2.2.). Будова цього приладу заснована на законі Архімеда – усяке занурене у рідину тіло втрачає у своїй вазі стільки, скільки важить витиснена ним рідина. Поділки на ареометрі нанесені з точністю до 0,001. Під час гранулометричного аналізу ґрунтів позначки по ареометру беруть спрощені, оскільки одиницю відкидають, а кому переносять на три знаки вправо (наприклад, замість позначки 1,0252 читають і записують 25,2.)

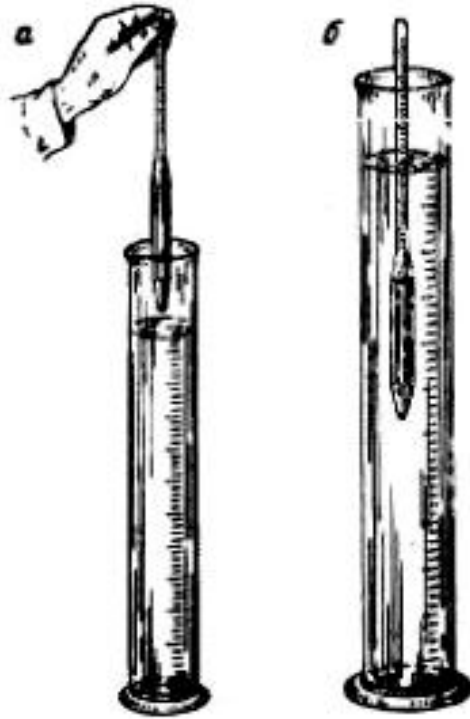


Рис. 2.2. Вимірювання щільності суспензії ареометром:
а – занурення ареометра; *б* – положення ареометра в момент вимірювання.

Ареометричний метод досить простий для використання, теоретично обґрунтований, і його виконують за допомогою простої апаратури. Проте у ньому є багато умовностей, тому результати визначення суттєво залежать від методу підготовки проб до аналізу, температури й інших чинників. Через те визначення ступеня глинистості ґрунту і його належності до того чи іншого типу або виду доцільно проводити за даними визначення числа пластичності [3, 8].

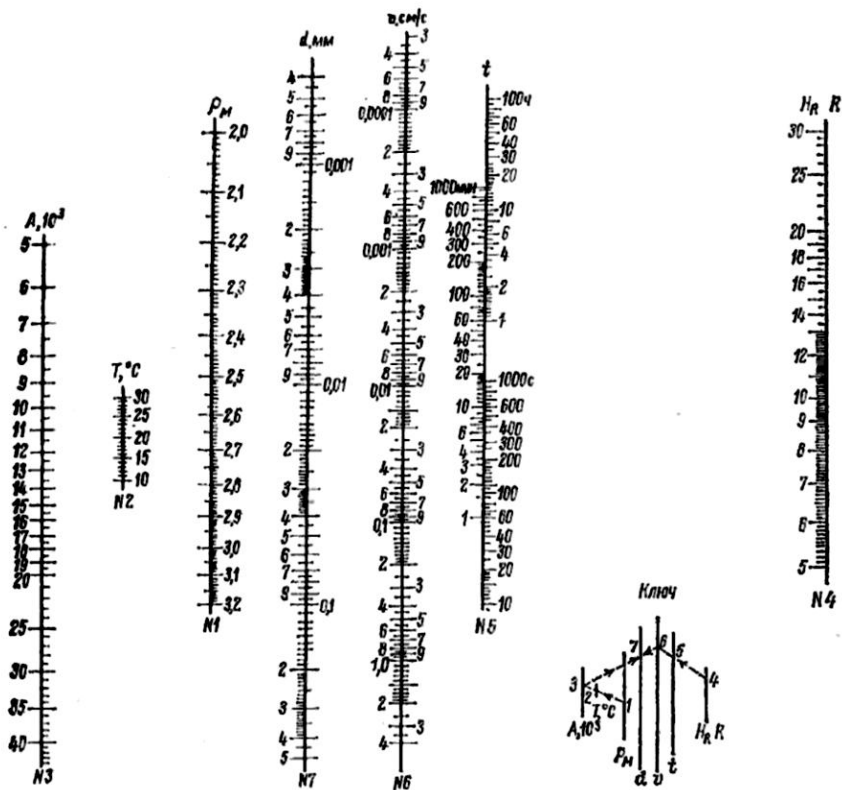


Рис. 2.3. Приклад номограми для обчислення діаметра часток під час гранулометричного аналізу ґрунтів ареометричним методом.

Шкали: № 1 – густина часток ґрунту; № 2 – температура суспензії; № 3 – множник А в підкореновому виразі формули Стокса, помножений на 10^3 ; № 4 – кінцевий вираз відліку від ареометру; № 5 – час відліку по ареометру (с, хв, год); № 6 – швидкість падіння часточок у рідині; № 7 – діаметр часточок ґрунту.

Покази з ареометра зчитують за допомогою номограми (див. рис. 2.3). В основі будови номограми є залежність, що впливає з формули Стокса, згідно з якою діаметр часток D , що пройшли одиницю шляху в рідині за певний час, такий (2.1, 2.2):

$$D = \sqrt{AV}, \quad (2.1)$$

$$V = \frac{H}{t} , \quad (2.2)$$

де A – множник; V – швидкість падіння часток, см/с; H – шлях часточок, см; t – час падіння часточок, с.

Значення множника A у підкореному виразі формули Стокса визначають з номограми.

За допомогою номограми визначають розмір часточок за даними аерометричного аналізу. Для цього на шкалі № 1 знаходять точку, що відповідає густині часток ґрунту, взятого для аналізу. Цю точку з'єднують лінійкою з точкою шкали № 2, що відповідає температурі суспензії (використовують табл. 3.2.1), і продовжують до шкали № 3. Точку позначають.

З журналу (табл. 3.2.2) беруть остаточний відлік за ареометром з поправками на меніск і температуру (R), і на правому боці шкали № 4 знаходять відповідну точку. Прикладають до неї лінійку так, щоб вона проходила через точку на шкалі № 5, що відповідає тому часу відстоювання суспензії, який пройшов до моменту заміру ареометром, і перетнула шкалу № 6, на якій зазначено швидкість падіння часток у воді.

Якщо з'єднати лінійкою останню точку на шкалі № 6 з раніше позначеною точкою на шкалі № 3, то лінія перетне шкалу № 7 у точці, яка позначатиме шуканий розмір часточок у міліметрах. На рис. 2.3 також наведено ключ з використання номограми.

У такий спосіб визначають розмір часточок для всіх вимірювань.

Завдання 1. Визначення гранулометричного складу ґрунту аерометричним методом

Хід роботи

1. Випробувати суспензію ґрунту на коагуляцію.

Методом квартування відібрати пробу ґрунту масою близько 2 г, розтерти її товчачиком із гумовим наконечником з дистильованою водою об'ємом 4–6 см³ у порцеляновій чашці. Після чого у чашку долити ще 14–16 см³ дистильованої води. Суспензію у чашці кип'ятити протягом 5–10 хв. Після цього суспензію вилити у пробірку (або мірний циліндр) ємністю від 100 см³ до 150 см³, в яку долити дистильовану воду в такій кількості, щоб загальний об'єм

суспензії у пробірці дорівнював близько 100 см^3 для глин, 70 см^3 – для суглинків і 50 см^3 – для супісків.

Потім суспензію збовтати і витримувати у спокої протягом доби. Якщо осад, що випав за цей час на дно пробірки, має пухку, пластівчасту структуру, а рідина над осадом прозора, то це вказує на те, що відбулася коагуляція суспензії. При поділі на фракції проби ґрунту, суспензія якого при випробуванні на коагуляцію не коагулює, для промивання, змивання осаду і розведення суспензії обов'язково повинна застосовуватися дистильована вода з додаванням 25% розчину аміаку (на 1 л води $0,5 \text{ см}^3$ аміаку) або 4 % пірофосфорнокислого натрію) [9].

2. Підготувати суспензію.

З ґрунту, що залишився на піддоні (розмір часточок менше $0,1 \text{ мм}$) з попередньої лабораторної роботи, потрібно взяти наважку для аналізу гранулометричного складу ареометричним методом: для глин – 20 г, суглинків – 30 г, супісків – 40 г.

Наважку ґрунту перенести в конічну колбу, залити 20-разовою кількістю дистильованої води, додати 1 мл аміаку і кип'ятити протягом 1 год на піщаній бані.

Після охолодження суспензію перенести на сито з отворами $0,1 \text{ мм}$, поставлене над великою чашкою, і промити, злегка розтираючи пальцем до повного відмулювання.

Залишок на ситі $0,1 \text{ мм}$ змити в тигель, воду випарувати, а осад висушити і просіяти через набір сит. Суспензію з чашки злити в циліндр і долити до 1 л дистильованої води. Якщо суспензія ґрунту коагулює, то перед доливанням води в циліндр додають 25 см^3 4 % пірофосфорнокислого натрію $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$.

3. Виміряти температуру суспензії в циліндрі та збовтати її до повного зникнення осаду на дні.

4. Зафіксувати час і обережно опустити в суспензію ареометр. Потрібно пильнувати, щоб його цибулина не торкалася стінок циліндра! Взяти відлік за шкалою ареометра через 30 секунд, 1, 2, 5, 30 і 60 хвилин, 3, 5, 6 і 24 години. Перші три відліки (30 секунд, 1 і 2 хвилини) знімати, не виймаючи ареометра. Для наступних відліків ареометр опустити в суспензію за 5–10 секунд до початку вимірювання, попередньо витерши його насухо. У процесі аналізу виміряти температуру суспензії. Зважаючи на обмежений час лабораторного заняття, відлік знімають до 30 хвилин від початку дослідю.

5. У кожен зі спрощених відліків за ареометром увести поправки на висоту меніска й температуру. Спрощений відлік отримують, відкидаючи одиницю, а кому переносять на три знаки вправо (наприклад, відлік 1,0154 читають як 15,4). Поправку на висоту меніска вносять до відліку зі знаком “плюс”. Температурну поправку беруть з табл. 3.2.1.

Таблиця 3.2.1

Таблиця температурних поправок

Температура суспензії, °С	Поправка до відліку за ареометром К	Температура суспензії, °С	Поправка до відліку за ареометром К	Температура суспензії, °С	Поправка до відліку за ареометром К
10,0	-1,2	17,0	-0,5	24,0	+0,8
10,5	-1,2	17,5	-0,4	24,5	+0,9
11,0	-1,2	18,0	-0,3	25,0	+1,0
11,5	-1,1	18,5	-0,3	25,5	+1,1
12,0	-1,1	19,0	-0,2	26,0	+1,3
12,5	-1,0	19,5	-0,1	26,5	+1,4
13,0	-1,0	20,0	0,0	27,0	+1,5
13,5	-0,9	20,5	+0,1	27,5	+1,6
14,0	-0,9	21,0	+0,2	28,0	+1,8
14,5	-0,8	21,5	+0,3	28,5	+1,9
15,0	-0,8	22,0	+0,4	29,0	+2,1
15,5	-0,7	22,5	+0,5	29,5	+2,2
16,0	-0,6	23,0	+0,6	30,0	+2,3
16,5	-0,6	23,5	+0,7		

6. Отримавши остаточний відлік за ареометром, визначають за номограмою діаметр частинок ґрунту.

7. Для спрощення аналізу замість номограми можна використати тільки три відліки за ареометром:

1) через 1 хв після циклу відстоювання – для визначення часточок < 0,05 мм;

2) через 30 хв – для часточок < 0,01 мм;

3) через 3 год – для часточок < 0,005 мм.

Фракцію 0,10–0,05 мм знаходять як різницю: від 100 % віднімають суму всіх фракцій, визначених за допомогою ареометра й ситовим методом.

8. Відсотковий вміст частинок обчислюють за формулою (2.3):

$$X = \frac{\rho_s(100 - k)}{(\rho_s - 1)b} R, \quad (2.3)$$

де X – відсотковий вміст частинок за сукупністю, тобто сумарний відсотковий вміст частинок розміром менше певного діаметра; ρ_s – щільність частинок ґрунту, г/см³; k – відсотковий вміст частинок діаметром > 1,0 мм, отриманий за результатами ситового аналізу; b – вага взятої наважки ґрунту в абсолютно сухому стані; R – остаточний відлік за ареометром з поправками на меніск і температуру.

Результати вимірювань і обчислень записати в журнал (табл. 3.2.2).

Приклад

Дано: густина частинок ґрунту $\rho_s = 2,65$ г/см³, маса загальної наважки – 100 г, маса наважки для аерометричного аналізу абсолютно сухого ґрунту – 30 г, вага фракції > 1,0 мм – 8 г, що становить 8 % (8 г × 100 % : 100 г). Час відстоювання суспензії від початку досліду становить 180 хв (розмір частинок < 0,005 мм). Покази ареометра $R_0 = 3,9$. Температура суспензії $t = 18$ °С, температурна поправка $K = (-0,3)$, поправка меніска $M = 0,4$. Остаточні покази ареометра:

$$R = 3,9 - 0,3 + 0,4 = 4.$$

Відсотковий вміст фракцій, які відповідають заміру ареометра 4, становитиме:

$$X = \frac{2,65 \times (100 - 8)}{(2,65 - 1) \times 30} \times 4 = 19,7 \% .$$

Отже, фракції розміром 0,005–0,001 мм становлять 19,7 %.

За таким прикладом обчислюють відсотковий вміст фракцій розміром 0,05–0,01 і 0,010–0,005 мм. Фракцію розміром 0,10–0,05 мм знаходять як різницю: від 100 % віднімають суму всіх фракцій, визначених за допомогою ареометра й ситовим методом (результати ситового аналізу беруть з попередньої лабораторної роботи).

Таблиця 3.2.2

Журнал для визначення гранулометричного складу ґрунту
ареометричним методом

Маса наважки зразка ґрунту B , г	Вологість ґрунту, %	Маса абсолютно сухого ґрунту b , г	Густина частинок ґрунту ρ_s , г/см ³	Час від початку аналізу, хв	Спрошений відлік за ареометром R_0	Спрошений відлік з поправкою на меніск $R_0 + C$	Температура суспензії, °С	Кінцевий відлік за ареометром R	Діаметр часточок, мм	Вміст фракцій у ґрунті X , %
				1						
				30						
				180						

Завдання 2. Побудова сумарної (кумулятивної) кривої

За результатами досліджень побудувати криву гранулометричного складу в напівлогарифмічному масштабі (приклад побудови наведено в попередній лабораторній роботі, дані для фракцій розміром $> 0,1$ мм беруть теж з попередньої роботи).

Контрольні питання

1. Для яких цілей використовують ареометричний метод дослідження гранулометричного складу ґрунту?
2. Уміст яких фракцій за розміром визначають у глинистих ґрунтах ареометричним методом?
3. У чому полягає ареометричний метод досліджень?
4. Схарактеризуйте будову ареометра.
5. Як приготувати суспензію для ареометричних досліджень?
6. Як побудувати криву гранулометричного складу в напівлогарифмічному масштабі?
7. Як виміряти густину суспензії ареометром?
8. За якою формулою визначають відсотковий вміст глинистих фракцій?

Лабораторна робота № 3 ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ: ВОЛОГОСТІ, ЩІЛЬНОСТІ, ПОРИСТОСТІ

Мета: оволодіти навичками визначення природної вологості і щільності ґрунту; опанувати методи розрахунку щільності сухого ґрунту, пористості і ступеня вологості (ДСТУ Б.В.2.1-17: 2009) [8].

Основні завдання:

- 1) визначити природну вологість ґрунту термоваговим методом;
- 2) визначити щільність ґрунту методом ріжучого кільця;
- 3) визначити загальну пористість і коефіцієнт пористості пісків та глинистих порід;
- 4) визначити ступінь вологості породи.

Обладнання: сушильна шафа, бюкси, ріжуче кільце, вага.

Теоретична основа роботи

Співвідношення і взаємодія трьох фаз ґрунту – твердої, рідкої й газоподібної – є тими критеріями, що визначають фізичні властивості ґрунту. Саме вони впливають на формування міцнісних і деформативних властивостей ґрунтів. Нагадаємо, що серед фізичних властивостей ґрунту розрізняють структуру, фізико-

механічні, загальні фізичні, повітряні, водні й теплові властивості [5, 6].

Грунтам як гірським породам притаманні такі головні фізичні властивості: щільність ґрунту, щільність сухого ґрунту, щільність часток ґрунту, пористість, вологість, ступінь вологості.

Значення природної вологості є важливою характеристикою фізичного стану ґрунту, що визначає його міцнісні властивості й поведінку під навантаженням. Особливо актуальним є визначення природної вологості для глинистих ґрунтів, які суттєво змінюють свої властивості залежно від ступеня зволоження.

Під **вологістю** ґрунту розуміють вміст певної кількості води, яка видаляється під час нагрівання ґрунту. Значення вологості виражають у відсотках або у частках одиниці від маси сухого ґрунту. Зазвичай вологість визначають висушуванням.

Є декілька показників вологості, що їх використовують у разі оцінки міцнісних властивостей ґрунту: *природна, вагова (абсолютна), повна вологоємність, відносна вологість*.

Природна вологість W – це кількість вільної й поверхнево зв'язаної води, що міститься в порах ґрунту за природних умов його залягання.

Ваговою (абсолютною) вологістю називають співвідношення маси води, яку містить зразок ґрунту, до маси цього ґрунту, висушеного за $T = 105 \pm 2$ °С до сталої маси.

Вологість ґрунту W у відсотках обчислюють за формулою (3.1):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100 \%, \quad (3.1)$$

де m – маса порожнього бюкса з кришкою, г; m_1 – маса вологого ґрунту з бюксом і кришкою, г; m_0 – маса висушеного ґрунту з бюксом і кришкою, г.

Можна наводити вологість ґрунту в частках одиниці.

Повна вологоємність W_p – це така вологість, за якої всі пори в ґрунті заповнені водою. Вологість у зоні аерації непостійна, а в зоні водонасичення практично не змінюється й кількісно відповідає пористості ґрунту. Цю вологість називають повною вологоємністю, а такий ґрунт – водонасиченим.

Повну вологоємність можна визначити так (3.2):

$$W_{\pi} = \frac{e}{\rho_s}, \quad (3.2)$$

де e – коефіцієнт пористості ґрунту; ρ_s – щільність часток ґрунту.

Термін *відносна вологість* (ступінь вологості, коефіцієнт водонасичення) S_r означає, яку частину об'єму пор у ґрунті займає вода, тобто характеризує співвідношення фаз у ґрунті.

Відносна вологість дорівнює співвідношенню природної вологості до повної вологоємності (3.3):

$$S_r = \frac{W}{W_{\pi}}, \quad (3.3)$$

Ступінь вологості обчислюють за однією з таких формул (3.4):

$$S_r = \frac{W\rho_s}{e}; \quad S_r = \frac{W\rho_d}{n}; \quad S_r = \frac{W\rho_s(1-n)}{n}, \quad (3.4)$$

де ρ_d – щільність сухого ґрунту; n – загальна пористість у частках одиниці.

Ступінь вологості ґрунту S_r – це класифікаційний показник для дисперсних незв'язних ґрунтів (табл. 3.3.1) [5].

Таблиця 3.3.1

Класифікація дисперсних незв'язних ґрунтів
за коефіцієнтом водонасичення
(ДСТУ Б В.2.1-2-96)

Різновид ґрунтів	Коефіцієнт водонасичення S_r , ч. од.
Малого ступеню водонасичення (маловологі)	0–0,50
Середнього ступеню водонасичення (вологі)	0,50–0,80
Насичені водою	0,80–1,0

Ще однією важливою фізичною властивістю є **щільність ґрунту**.

Щільністю ґрунту ρ називають масу одиниці об'єму ґрунту з урахуванням його пористості й вологості. Щільність часток ґрунту залежить від густини мінералів, які є в його складі. Вона зростає зі збільшенням вмісту важких мінералів, а наявність органічних домішок навпаки – знижує середню щільність ґрунту.

Показник щільності використовують для обчислення пористості.

Щільність у г/см^3 визначають за співвідношенням маси зразка ґрунту m до його об'єму V (3.5):

$$\rho = \frac{m}{V} . \quad (3.5)$$

Звичайно щільність ґрунту визначають такими методами:

- методом ріжучого кільця;
- парафінуванням (зважуванням у воді, чи гідростатичним зважуванням);
- зважуванням у нейтральній рідині (для мерзлих ґрунтів).

Метод ріжучого кільця зазвичай використовують для ґрунтів, які легко обробляти ножем, а також у випадках, коли об'єм і форму зразка потрібно зберегти за допомогою жорсткої тари.

Ріжуче кільце й ніж для зачищення повинні відповідати певним вимогам. Зокрема, ріжуче кільце має мати форму правильного циліндра з загостреним зовні нижнім краєм. Для глинистих ґрунтів внутрішній діаметр кільця повинен становити не менше 50 мм, для піщаних – не менше 70 мм, для мерзлих глинистих – 80 мм.

Ніж для зачищення зразка повинен бути з прямим лезом, довжина якого перевищує діаметр кільця.

Зваженим кільцем відомого об'єму (який визначають залежно від висоти й діаметра циліндра) вирізають з моноліту зразок ґрунту і зважують (зразок повинен повністю заповнити кільце). Якщо ґрунт висипається з кільця, то його накривають заздалегідь зваженим склом і фіксують знизу пласкою лопаткою.

Щільність ґрунту (г/см^3) обчислюють за формулою (3.6):

$$\rho = \frac{m_{п+ц} - m_{ц}}{V_{п}} , \quad (3.6)$$

де $m_{п+ц}$ – маса циліндра з породою, г; $m_{ц}$ – маса порожнього циліндра, г; $V_{п}$ – об’єм циліндра, який дорівнює об’єму породи, $см^3$.

Одночасно з цим завжди визначають вологість ґрунту.

Згідно з Держстандартом, виконують щонайменше два паралельні визначення щільності для одного зразка і обчислюють середнє арифметичне значення. Для одного зразка допускається різниця у визначеннях щільності не більше $0,01 г/см^3$ – для пісків і не більше $0,03 г/см^3$ – для глинистих ґрунтів.

У навчальній лабораторії у зв’язку з обмеженням часу дослід можна виконати один раз.

Метод парафінування. Зразок ґрунту непорушеної структури захищають ножем, щоб була гладка поверхня, і зважують з точністю $0,01 г$ (маса g_0). Потім покривають зразок ґрунту парафіною оболонкою, для чого його опускають у парафін, розігрітий до $60 °C$. Після цього зважують зразок з парафіном (маса g_1). Зразок з парафіною оболонкою зважують у воді (маса g_2) за допомогою гідростатичної ваги. Згодом повторюють контрольне зважування в повітрі.

За отриманими результатами обчислюють щільність ґрунту за формулою (3.7):

$$\delta = \frac{g_0}{\frac{(g_1 - g_2)}{\Delta} - \frac{(g_1 - g_2)}{\gamma_{п}}} , \quad (3.7)$$

де g_0 – маса зразка до парафінування, г; g_1 – маса зразка з парафіною оболонкою, г; g_2 – маса зразка з парафіном у воді, г; $\gamma_{п}$ – густина парафіну, яку приймають за $0,9 г/см^3$; Δ – густина води, $г/см^3$.

З меншою точністю можна визначити об’єм запарафінованого зразка, якщо занурити його в мірний циліндр з водою і виміряти об’єм витісненої води, що дорівнюватиме об’єму самого зразка.

Визначення щільності для мерзлих ґрунтів передбачає застосування *методу зважування в нейтральній рідині* (гасі, лігроїні тощо).

Зразок мерзлого ґрунту масою $100–150 г$ обв’язують ниткою та, аналогічно до зважування у воді (метод парафінування), зважують у нейтральній рідині. Важливо, щоб нейтральна рідина мала від’ємну температуру.

Щільність сухого ґрунту ρ_d , г/см³ – це співвідношення маси сухого ґрунту з непорушеною структурою (без води в порах) до об'єму, який займає цей ґрунт. Вона дорівнює частці від ділення маси твердих часток до об'єму всього ґрунту. Щільність сухого ґрунту характеризує концентрацію часток в одиниці об'єму ґрунту, який має непорушену будову. Значення щільності сухого ґрунту свідчить про ступінь міцності, стисливості у його природному заляганні (3.8):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \text{ або } \rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01W}, \quad (3.8)$$

де w – природна вологість ґрунту.

Щільність часток ґрунту ρ_s – це співвідношення маси сухого ґрунту без урахування пор до об'єму твердої частини цього ґрунту.

Її визначають на зразках ґрунту, відібраних з монолітів непорушеної будови та з природною вологістю, **підметричним методом**. Об'єм твердих часток визначають за масою витісненої ними рідини з відомою густиною (закон Архімеда). Для цього використовують спеціальні скляні колбочки з мірною рисою, які називають *підметрами*.

Пробу породи масою 10–20 г висушують за температури 105 ± 2 °С. З цього ж зразка відбирають пробу для визначення вологості ґрунту.

У попередньо зважений і висушений підметр насипають наважку і зважують. До половини об'єму підметра доливають дистильованої води, перемішують декілька разів і кип'ятять на піщаній бані. У разі визначення щільності суглинків і глин кип'ятити потрібно 60 хв, а піски кип'ятять протягом 30 хв (з навчальною метою час кип'ятіння можна скоротити). Вистудивши підметр, доливають дистильованої води до мірної позначки і зважують. Після зважування суспензію з ґрунтом виливають, а у промитий підметр наливають дистильовану воду для повторного зважування. На підставі отриманих даних обчислюють щільність часток ґрунту за формулою (3.9):

$$\rho_s = \frac{\rho_B m_0}{m_0 + m_3 - m_2}, \quad (3.9)$$

де m_0 – маса сухого ґрунту, г; m_2 – маса пікнометра з ґрунтом і водою, г; m_3 – маса пікнометра з водою, г; ρ_v – густина води, яку приймають за 1 г/см³.

Щільність залежить від мінерального складу ґрунту. Для визначення показника щільності часток ґрунту не враховують ані пористість, ані вологість.

Для дисперсних ґрунтів, крім мулу, торфу та ін., значення щільності ґрунту коливаються в межах 1,5–2,2 г/см³. У табл. 3.3.2 наведено середні значення щільності часток ґрунту найпоширеніших видів ґрунтів.

Пористість ґрунту – це сумарний об’єм усіх порожнин в одиниці об’єму ґрунту. Це одна з важливих фізичних характеристик ґрунту. Що більша пористість, то менш стійким є ґрунт до впливу навантажень і вологості. Пористість залежить від мінерального і гранулометричного складу, а також від умов формування ґрунтів і ступеня дисперсності ґрунту: що більш дисперсний ґрунт, то більший у ньому об’єм займають пори. У ґрунтознавстві використовують два показники: загальна пористість n і коефіцієнт пористості e .

Таблиця 3.3.2

Середнє значення щільності часток основних видів ґрунтів

Ґрунт	Середнє значення щільності часток ґрунту, г/см ³
Пісок	2,65
Супісок	2,67
Суглинок	2,70
Глина	2,74
Лес	2,68
Торф	0,60

Загальна пористість – це співвідношення об’єму пор до загального об’єму ґрунту (3.10):

$$n = \frac{V_n}{V} \times 100 \% , \quad (3.10)$$

де V_n – об’єм порожнин у породі, см³; V – об’єм ґрунту, см³.

Коефіцієнт пористості – це співвідношення об'єму пор до об'єму твердої частини (або скелету) ґрунту (3.11):

$$e = \frac{V_{п}}{V_c}, \quad (3.11)$$

де $V_{п}$ – об'єм пор у ґрунті, см^3 ; V_c – об'єм скелета ґрунту або твердої частини, см^3 .

Пористість роздільно-зернистих ґрунтів можна визначити експериментально **методом насичення**.

Пористість зв'язних ґрунтів таким методом визначити неможливо, тому її визначають розрахунками за значеннями щільності сухого ґрунту ρ_d і щільності часток ґрунту ρ_s .

Для обчислення загальної пористості використовують формулу (3.12):

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \times 100 \%, \quad (3.12)$$

а для коефіцієнта пористості використовують формулу (3.13):

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}, \quad (3.13)$$

Між загальною пористістю і коефіцієнтом пористості співвідношення такі (3.14, 3.15):

$$n = \frac{e}{1 + e}, \quad (3.14)$$

$$e = \frac{n}{1 - n}. \quad (3.15)$$

Загальна пористість і коефіцієнт пористості – це показники щільності дисперсних гірських порід: що менші їхні значення, то щільніша порода. За коефіцієнтом пористості дисперсні ґрунти поділяють на малопористі ($e < 0,5$), середньопористі (0,5–0,7) і сильно пористі ($e > 0,7$).

Будівельні властивості піщаних ґрунтів залежать від характеру їхньої будови (пухка, щільна).

Для оцінки піщаних ґрунтів використовують *відносну щільність*, або *ступінь щільності D*. Ступінь щільності виражають у частках одиниці. Обчислюють її за формулою (3.16):

$$D = \frac{(n_{\max} - n)(100 - n_{\min})}{(n_{\max} - n_{\min})(100 - n)} = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}, \quad (3.16)$$

де n , e – відповідно, пористість і коефіцієнт пористості піску природної будови; n_{\max} , e_{\max} – пористість і коефіцієнт пористості піску в разі пухкої будови; n_{\min} , e_{\min} – пористість і коефіцієнт пористості за щільної будови піску.

За коефіцієнтом щільності піщані ґрунти поділяють на щільні ($D = 0,67-1,00$), середньощільні ($0,33-0,67$) і пухкі ($D < 0,33$).

Завдання 1. Визначення вологості ґрунту

Хід роботи

1. Зразок ґрунту для визначення його вологості відбирають способом квартування масою від 10 г до 20 г.

ґрунт розтирають, просіюють крізь сито з діаметром отворів 1 мм.

Пробу поміщають у заздалегідь висушений, зважений і пронумерований бюкс.

2. Зразок ґрунту зважують.

3. Бюкс поміщають у нагріту сушильну шафу. ґрунт висушують до постійної маси за температури 105 ± 2 °С. Загіпсовані ґрунти висушують за $T = 80 \pm 2$ °С.

4. Піщані ґрунти висушують протягом 3 год, а інші – протягом 5–6 годин.

Наступні висушування піщаних ґрунтів виконують протягом 1 год, інших – протягом 2 год.

5. Загіпсовані ґрунти висушують протягом 8 год. Наступні висушування виконують протягом 2 год. У навчальній лабораторії час висушування скорочують.

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

7. Якщо під час повторного зважування ґрунту, що містить органічні речовини, фіксують збільшення маси, то як результат зважування приймають найменшу масу.

8. Результати досліджень записують у таблицю (табл. 3.3.3).

Таблиця 3.3.3

Журнал визначення вологості ґрунту

Номер бюкса	Маса бюкса m , г	Маса вологого ґрунту m_1 , г	Маса сухого ґрунту m_0 , г	Вологість W , %

Приклад

Дано: маса бюкса з вологим ґрунтом становить 95,16 г, маса порожнього бюкса – 15 г, маса бюкса з сухим ґрунтом – 75,66 г.

За формулою 3.1 обчислюємо вологість ґрунту:

$$W = \frac{(95,16 - 15) - (75,66 - 15)}{(75,66 - 15)} \times 100 \% = 32 \%$$

Завдання 2. Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця

Хід роботи

1. Зважити циліндр, яким вирізають з моноліту ґрунт для дослідів ($m_{ц}$). Результат записують у журнал (табл. 3.3.4).
2. Обчислити об'єм циліндра $V_{ц}$.
3. Зваженим циліндром без дна і кришки вирізати з моноліту зразок ґрунту, зважити його ($m_{п+ц}$).
4. За формулою 3.6 обчислити щільність ґрунту ρ .

Таблиця 3.3.4

Журнал визначення щільності ґрунту

Маса циліндра $m_{ц}$, Г	Маса циліндра з грунтом $m_{п+ц}$, Г	Об'єм циліндра $V_{ц}$, см ³	Щільність грунту ρ , г/см ³

Приклад

Дано: маса кільця з породою становить 227,25 г, маса порожнього кільця – 25 г, висота кільця – 2,5 см, діаметр кільця – 7 см. Знаходимо внутрішній об'єм кільця за формулою об'єму циліндра:

$$V = \pi R^2 h = \pi \frac{d^2}{4} h = 3,14 \times \frac{7^2}{4} \times 2,5 = 96 \text{ см}^3$$

За формулою 3.6 обчислюємо щільність ґрунту:

$$\rho = \frac{227,25 - 25}{96} = 2,11 \text{ г/см}^3$$

Завдання 3. Визначення пористості ґрунту (розрахункове завдання)

Хід роботи

У процесі визначення пористості піску до зразка ґрунту попередньо визначеного об'єму було долито певний об'єм води й виміряно отриманий загальний об'єм. Результати дослідів наведено в табл. 3.3.5. Визначити загальну пористість і коефіцієнт пористості, схарактеризувати ступінь вологості ґрунту.

Приклад

Дано: об'єм V зразка породи становить 350 см³, об'єм доданої води – 350 см³, загальний об'єм породи й води – 550 см³.

Обчислюємо об'єм пор у породі $V_{п}$:

$$V_{п} = 350 + 350 - 550 = 150 \text{ см}^3.$$

За формулою 3.10 розраховуємо загальну пористість:

$$n = \frac{150}{350} \times 100 \% = 45 \%$$

Щоб розрахувати коефіцієнт пористості, за формулою (3.11) обчислюємо V_c :

$$V_c = V - V_{II} = 350 - 150 = 200 \text{ см}^3.$$

Тоді

$$e = \frac{150}{200} = 0,75.$$

Коефіцієнт пористості також можна обчислити за формулою (3.15):

$$e = \frac{0,43}{1 - 0,43} = 0,75.$$

Таблиця 3.3.5

Результати визначення пористості піщаного ґрунту

Об'єм, см ³	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм зразка породи	400	100	300	300	400	250	150	210	250	200
Об'єм доданої води	300	100	300	300	400	250	150	210	200	200
Загальний об'єм породи й води	600	175	500	520	700	420	260	400	400	365

Опрацювання результатів

1. Вологість ґрунту W у відсотках обчислюємо за формулою (3.1).

2. За формулою (3.6) розраховуємо щільність породи.

3. Для визначення загальної і зведеної пористості методом насичення необхідно мати три характеристики зразка породи: загальний об'єм породи, об'єм порожнин та об'єм твердої фази. Загальний об'єм породи відомий з умови. Припустимо, що об'єм

порожнин у породі дорівнює нулю, тоді отриманий загальний об'єм дорівнюватиме сумі об'ємів зразка породи й води. Різниця між цими об'ємами відповідає об'єму порожнин. Щоб знайти об'єм твердої фази або скелета породи, віднімаємо розрахований об'єм порожнин від об'єму досліджуваної породи. Підставляємо отримані характеристики у відповідні формули для розрахунку загальної пористості й коефіцієнта пористості.

Контрольні питання

1. Які ви знаєте фізичні властивості ґрунтів?
2. Що таке вологість ґрунту?
3. Як можна визначити вологість ґрунту в лабораторії?
4. Що називають щільністю ґрунту?
5. Наведіть основні методи визначення щільності ґрунту.
6. Що таке пористість ґрунту?
7. З якою метою розраховують пористість і коефіцієнт пористості?
8. Розкрийте суть пікнометричного методу.
9. У чому полягає метод парафінування?
10. Для чого застосовують метод ріжучого кільця?

Лабораторна робота № 4 ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖИ ПЛАСТИЧНОСТІ ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ

Мета: оволодіти методикою визначення межі пластичності глинистих ґрунтів, навчитись обчислювати показники вологості на межі текучості й межі пластичності та число пластичності ґрунтів (ДСТУ Б.В.2.1-17: 2003) [8].

Основні завдання:

- 1) визначити верхню межу пластичності породи за допомогою балансирного конуса;
- 2) визначити нижню межу пластичності методом розкочування;
- 3) обчислити число пластичності і показник текучості досліджуваного ґрунту.

Обладнання: сушильна шафа, порцелянова чашка, бюкси, балансирний конус, вага, пластикова дощечка, шпатель.

Теоретична основа роботи

Зміна вологості ґрунту призводить до зміни його стану або до появи в ньому нових властивостей. Оскільки ці властивості виявляються в разі взаємодії ґрунту з водою, то їх називають водними. Умовно їх поділяють на водно-фізичні й водні.

Водні властивості – це здатність ґрунту містити, віддавати і пропускати крізь себе воду [1].

До водно-фізичних властивостей належать пластичність, консистенція, липкість і розмокання.

Пластичністю називають здатність глинистого ґрунту під дією зовнішніх навантажень змінювати форму без утрати суцільності, а після припинення зовнішнього впливу зберігати цю форму. Пластичність – властивість, протилежна до пружності. Ця властивість характеризує можливість прояву у ґрунті залишкових деформацій.

Пластичність ґрунтів залежить від вологості й умісту глинистих мінералів, розмір часточок яких звичайно становить від 0,005 до $< 0,001$ мм. Що більше у ґрунті глинистих мінералів, то вища його пластичність. Проте є ґрунти, які не містять глинистих мінералів, однак вони пластичні: це карбонатні породи (крейда) і кременисті (діатоміти). Зазначимо, що показник пластичності характеризує не ґрунт загалом, а тільки окремі його складові (головно глинисті часточки); цей показник опосередковано свідчить про мінеральний склад ґрунту, ступінь його дисперсності, концентрацію порового простору та ін.

Пластичними ґрунти бувають за певної вологості. Залежно від вмісту вологи стан ґрунтів може бути твердим, пластичним чи текучим (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Стан ґрунту залежно від його вологості

Цю вологість називають **межа пластичності**. *Верхня межа пластичності* (чи *межа текучості*) W_L означає таку вологість ґрунту, за якої він переходить з пластичного стану в текучий. *Нижня межа пластичності* (або *межа розкочування*) W_p – вологість, за якої ґрунт переходить з пластичного у напівтвердий чи твердий стан. Ці дві межі означають таку вологість, за якої

відбувається зміна стану ґрунту або його консистенції, і для різних ґрунтів вона різна.

Як класифікаційний показник, зазвичай, використовують не власне межі пластичності, а різницю між ними – **число пластичності I_p** .

Число пластичності глинистих ґрунтів – це різниця між вологістю на межі текучості й вологістю на межі розкочування. За числом пластичності глинисті породи поділяють на *високопластичні* – значення $I_p > 17$ (глини), *пластичні* – 17–7 (суглинки), *слабко пластичні* – 7–0 (супіски) і *непластичні*, у яких число пластичності дорівнює нулю (піски).

Для визначення числа пластичності використовують формулу (4.1):

$$I_p = W_L - W_P, \quad (4.1)$$

де W_L – межа текучості; W_P – межа розкочування.

За значенням числа пластичності можна визначити тип ґрунту (табл. 3.4.1).

Таблиця 3.4.1

Характеристика пілуватого-глинистих ґрунтів
за числом пластичності

Тип пілуватого-глинистих ґрунтів	Значення числа пластичності I_p
Супіски	$1 < I_p < 7$
Суглинки	$7 \leq I_p \leq 17$
Глини	$I_p > 17$

Якщо відомо природну вологість ґрунту W , то можна визначити **консистенцію** глинистого ґрунту, тобто з'ясувати, у якому стані перебуває ґрунт. Консистенцію характеризують **показником текучості I_L** , який обчислюють за формулою (4.2):

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P} = \frac{W - W_P}{I_p}, \quad (4.2)$$

де W – природна вологість ґрунту; W_L – межа текучості; W_P – межа розкочування.

За показником текучості можна визначити тип ґрунту (табл. 3.4.2).

Межу пластичності глинистих ґрунтів визначають методами А. Васильєва, В. Розоренова, А. Казагранде. У нашій лабораторній роботі використано метод А. Васильєва.

Межу текучості визначають за допомогою балансирного конуса масою 76 г (рис. 4.2). Межа текучості в цьому випадку – це вологість приготованої з досліджуваного ґрунту пасти, за якої балансирний конус проникає під дією власної ваги на глибину 10 мм за 5 секунд.

Показники межі пластичності та числа пластичності, зазвичай, використовують під час класифікації глинистих ґрунтів, оцінювання стійкості ґрунтів у виїмках і котлованах, будівництва автомобільних шляхів та ін.

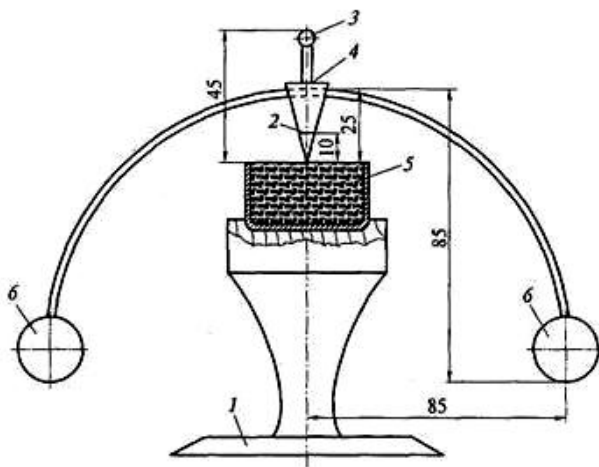


Рис. 4.2. Схема балансирного конусу А. М. Васильєва для визначення межі текучості ґрунту:

1 – підставка; 2 – позначка на конусі; 3 – ручка; 4 – конус; 5 – блок зі зразком ґрунту; 6 – балансувальні кульки.

Таблиця 3.4.2

Поділ пілуватого-глинистих ґрунтів за показником текучості

Тип ґрунтів	Різновид	Показник текучості	Різновид	Тип ґрунтів
Суглинки і глини	Тверді	$I_L < 0$	Тверді	Супіски
	Напівтверді	$0,00 \leq I_L \leq 0,25$	Пластичні $1,0 \leq I_L \leq 0$	
	Тугопластичні	$0,25 < I_L \leq 0,50$		
	М'якопластичні	$0,50 < I_L \leq 0,75$		
	Текучопластичні	$0,75 < I_L \leq 1,00$		
	Текучі	$I_L > 1,0$	Текучі	

Завдання 1. Визначення межі текучості

Хід роботи

Для визначення межі текучості W_L використовують моноліти або взірці ґрунту порушеної структури, для яких не потрібно збереження природної вологості. Для ґрунтів, що містять органічні речовини, межу текучості визначають відразу після розкриття проби. Для ґрунтів, що не містять органічних речовин, допускають використання зразків ґрунту в повітряно-сухому стані.

Зразок ґрунту природної вологості розминають шпателем у порцеляновій чашці або нарізають ножом у вигляді тонкої стружки (з додаванням дистильованої води, якщо це потрібно), видаливши з нього рослинні залишки розміром понад 1 мм. Відбирають з подрібненого ґрунту методом квартування пробу масою близько 300 г і протирають її крізь сито з діаметром отворів 1 мм. Зразок витримують у закритій скляній посудині не менше 2 годин.

Для видалення надлишку вологи зі зразків мулу ґрунтової пасту закладають у бавовняну тканину між аркушами фільтрувального паперу під тиском (прес, вантаж). Ґрунтової пасту з мулу не витримують у закритій скляній посудині.

Підготовлену ґрунтовою пасту ретельно перемішують шпателем і невеликими порціями щільно (без повітряних порожнин) наповнюють нею бюкс. Поверхню пасти вирівнюють з краями бюкса шпателем.

Балансирний конус (див. рис. 4.2) підносять до поверхні ґрунтової пасти так, щоб його вістря торкалося пасти. Потім плавно відпускають конус, щоб він занурився в пасту під дією власної ваги.

Якщо конус занурився в пасту протягом 5 с на глибину 10 мм, то це свідчить, що ґрунт має вологість, яка відповідає межі текучості.

У разі занурення конуса протягом 5 с на глибину, меншу від 10 мм, ґрунтову пасту вилучають з бюкса, зволожують і повторюють дослід. У разі занурення конуса за 5 с на глибину, більшу від 10 мм, ґрунтову пасту з бюкса перекладають у порцелянову чашку, підсушують на повітрі, перемішуючи шпателем, і повторюють дослід.

Для кожного зразка виконують два паралельні визначення. Коли виконано всі вимоги щодо занурення балансирного конуса, з бюкса відбирають пробу ґрунту для визначення вологості.

Завдання 2. Визначення межі розкочування

Хід роботи

Межа розкочування (або нижня межа пластичності) W_p у нашому випадку – це вологість приготованої з досліджуваного ґрунту пасти: пасту розкочують у джгут діаметром 3 мм, і вона починає розпадатися на шматочки завдовжки від 3 до 10 мм.

Підготовану ґрунтову масу підсушують, перемішуючи шпателем. Беруть невеликий шматочок і розкочують долонею на скляній або пластмасовій пластинці до утворення джгута діаметром 3 мм. Якщо за цієї товщини джгут зберігає зв'язність і пластичність, то його збирають у грудку і знову розкочують до утворення джгута діаметром 3 мм. Розкочувати треба злегка натискаючи на джгут. Довжина джгута не повинна перевищувати ширину долоні. Розкочування продовжують доти, доки джгут не починає розпадатися на шматочки завдовжки від 3 мм до 10 мм. Шматочки джгута збирають у бюкс. Коли маса ґрунту в скляночках становитиме від 10 до 15 г, бюкс кладуть у сушильну шафу і визначають вологість ґрунту.

Результати дослідів записують у журнал (табл. 3.4.3).

Вологість ґрунту W у відсотках обчислюють за формулою (4.3):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100 \%, \quad (4.3)$$

де m – маса порожнього бюкса, г; m_1 – маса вологого ґрунту з бюксом, г; m_0 – маса висушеного ґрунту з бюксом, г. Можна наводити значення вологості ґрунту в частках одиниці.

Таблиця 3.4.3

Журнал визначення меж пластичності

Межі пластичності	Спосіб визначення	Номер бюкса	Маса бюкса, г	Маса бюкса з вологим ґрунтом, г	Маса бюкса з висушеним ґрунтом, г			Постійна маса бюкса з ґрунтом, г	Вологість, %
					1	2	3		
W_L									
W_P									

Приклад

Дано: результати визначення вологості на межі текучості такі: маса порожнього бюкса – 5,7 г, маса вологого ґрунту з бюксом – 65,9 г, маса висушеного ґрунту з бюксом – 37,6 г. Обчислюємо вологість на межі текучості:

$$W_L = \frac{65,9 - 37,6}{37,6 - 5,7} \times 100 \% = 89 \%$$

Результати визначення вологості на межі розкочування: маса порожнього бюкса – 5,6 г, маса вологого ґрунту з бюксом – 45,7 г, маса висушеного ґрунту з бюксом – 32,5 г. Обчислюємо вологість на межі розкочування:

$$W_P = \frac{45,7 - 32,5}{32,5 - 5,6} \times 100 \% = 49 \%$$

Знаходимо число пластичності за формулою (4.1):

$$I_p = 89 - 49 = 40.$$

Отже, за числом пластичності досліджуваний ґрунт належить до категорії глин ($I_p > 17$).

Показник текучості I_L обчислюємо за формулою (4.2). Для цього необхідно мати показник природної вологості. Цей показник беремо з результатів першого завдання лабораторної роботи № 3:

$$I_L = \frac{32 - 49}{40} = -0,43.$$

Отже, за показником текучості досліджуваний ґрунт належить до категорії твердих глин ($I_L < 0$).

Опрацювання результатів дослідів

1. За результатами виконаних досліджень обчислюємо вологість на межі текучості й межі пластичності.
2. Обчислюємо число пластичності породи і класифікуємо ґрунт за пластичністю.
3. Обчислюємо показник текучості ґрунту і класифікуємо ґрунт за консистенцією.

Контрольні питання

1. Що таке пластичність ґрунтів? Від чого вона залежить?
2. Схарактеризуйте поняття “межа пластичності”.
3. Схарактеризуйте поняття “межа розкочування”.
4. У чому полягає відмінність між методами визначення верхньої й нижньої меж пластичності?
5. Що таке число пластичності? Як його обчислюють?
6. За допомогою яких методів можна визначити верхню й нижню межі пластичності?
7. У чому полягає метод А. Васильєва?
8. Для яких цілей можна використовувати результати обчислення показників пластичності?

4. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

Механічні властивості ґрунтів – це властивості, які характеризують поведінку ґрунту під впливом зовнішніх зусиль і приводять до зміни об'єму ґрунту або порушення його міцності й щільності. Їх поділяють на деформаційні, міцнісні та реологічні [1, 5, 10–13].

Умови порушення міцності ґрунтів і стійкості ґрунтових масивів, а також деформації ґрунтів під навантаженням, які передаються на них від споруд, вивчає один з розділів будівельної механіки – *механіка ґрунтів*.

Механічні властивості ґрунтів є основними параметрами, що впливають на несучу здатність основ будівель та їхні можливі деформації. Вони виявляються в разі впливу на ґрунти зовнішніх навантажень і виражені, головню, в опорі їх стисненню і зсуву. Деформації відбуваються, головню, завдяки взаємному зміщенню окремих часток ґрунту.

Деформаційні властивості ґрунтів виявляються у зміні форми й об'єму ґрунту під впливом на нього зовнішніх зусиль, які не приводять до руйнування ґрунту. Пухкі і зв'язні глинисті ґрунти у разі навантажень ущільнюються, зменшують свою пористість і, як наслідок, – змінюють форму: зменшуються товщина шару (зниження позначок поверхні, на яку діє навантаження) чи висота зразка, який стискають у приладі. Усі ці зміни називають деформаціями. Такі деформації будуть помітніші зі збільшенням навантаження і залежать також від первинного стану ґрунту: його виду, структури, пористості, складу, вологості.

Міцнісні властивості дисперсних ґрунтів зумовлені опором зсуву ґрунтів і виявляються у втраті міцності основи або порушенні стійкості земляних споруд.

Реологічні властивості ґрунтів полягають у зміні міцності ґрунту з часом. У дисперсних ґрунтах ці властивості виявляються релаксацією, повзучістю і тривалою міцністю. Під *релаксацією* розуміють процес переходу пружної деформації у пластичну, причому цей процес відбувається тривало і супроводжується поступовим зменшенням напруг, подрібненням агрегатів, зміщенням часток. *Повзучістю* називають здатність ґрунтів тривалий час деформуватися за постійного навантаження, меншого, ніж руйнівне.

Реологічні властивості залежать від структури ґрунту у зразку чи масиві та нерівномірного розподілу напруг на контактах частинок. Ці властивості мають важливе значення під час прогнозування осадки й міцності основ споруд, особливо на слабких ґрунтах.

Головною деформативною характеристикою ґрунтів є їхнє **стиснення під навантаженням**. Воно зумовлене зменшенням об'єму порожнин унаслідок зміщення частинок стосовно одна одної, деформації самих частинок і водно-колоїдних плівок, витіснення води й повітря з пор ґрунту.

Стисливість ґрунту вивчають у трьох напрямках:

- 1) за вільного розширення його в боки, що відбувається завдяки одновісному стисненню зразка ґрунту;
- 2) обмеженому бічному – під час дослідження в приладах триосового стиснення та методом вдавлювання штампа в ґрунт;
- 3) без можливості бічного розширення – під час компресійних досліджень у кільці.

Основними показниками, що характеризують стисливість, є модуль пружності (модуль Юнга – для скельних порід і модуль загальної деформації – для пухких), коефіцієнт просадковості, коефіцієнт набрякливості й усадки, коефіцієнт консолідації. Деформаційна поведінка скельних масивних порід підпорядкована закону Гука, закону пропорційності між діючим навантаженням і деформацією.

Важливою міцнісною характеристикою ґрунту є **опір зсуву** [6].

У разі появи зовнішнього навантаження в окремих зонах ґрунту зв'язки між його часточками руйнуються, що призводить до зсуву одних часток ґрунту щодо інших, а власне ґрунт набуває властивості деформуватись під цим навантаженням. Залежність між зусиллям, необхідним для зсуву τ і вертикальним навантаженням σ , виражена в межах невеликих навантажень прямою лінією й підпорядкована закону Кулона–Мора. Для піщаних ґрунтів ця залежність така:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi.$$

де τ – зсувне зусилля; σ – вертикальне навантаження; φ – кут внутрішнього тертя.

Опір зсуву пісків визначений, головню, силою тертя між частинками. Опір зсуву глинистих ґрунтів визначений силою тертя між частинками ($tg \varphi$) і міцністю структурних зв'язків (питомим зчепленням C); його описують таким рівнянням:

$$\tau = \sigma tg\varphi + C.$$

Отже, міцність пухких ґрунтів характеризують кутом внутрішнього тертя і питомим зчепленням, міцність скельних ґрунтів – опором на одновісне стиснення R_c .

Усі міцнісні характеристики ґрунтів визначають як за польових, так і за лабораторних умов. Важливо брати до уваги можливу зміну вологості ґрунту під час будівництва й експлуатації споруд.

Лабораторна робота № 5 **ВИЗНАЧЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ҐРУНТІВ** **У КОМПРЕСІЙНОМУ ПРИЛАДІ**

Мета: оволодіти методикою визначення стисливості ґрунтів; навчитися опрацьовувати результати визначення компресійних властивостей ґрунтів (ДСТУ Б В.2.1-4-96) [6].

Основні завдання:

- 1) виконати компресійні дослідження;
- 2) побудувати компресійну криву і обчислити коефіцієнт ущільнення й модуль деформації; за цими показниками схарактеризувати стисливість породи.

Обладнання: ріжуче кільце, одометр, гирі, вага.

Теоретична основа роботи

Стисливістю ґрунтів називають здатність ґрунтів зменшуватись в об'ємі під дією зовнішнього тиску. Стисливість залежить від характеру і структури ґрунту. Стисливість піщаних ґрунтів невелика, відбувається швидко, залежить від гранулометричного, мінерального складу й щільності будови і не залежить від вологості. Стисливість глинистих ґрунтів залежить від мінерального складу, дисперсності ґрунту, складу обмінних катіонів, пористості, складу породи й умов стиснення. Найбільш гідрофільні монтморилонітові глини – вони стискаються набагато більше, ніж каолінові глини. За однакових умов досліду стисливість глинистих

порід тим більша, чим вища їхня дисперсність. Глини, що містять Na, стискаються більше, ніж глини, що містять Ca. Що більша пористість, то більша стисливість породи [13].

Для глинистих ґрунтів важливе значення мають гідратні оболонки навколо мінеральних часток. За навантаження вони сприймають частину навантаження й деформуються під час стиснення. Стисливість однієї й тієї ж глини може бути різною залежно від стану структури за однакової пористості й вологості, однакового складу води; зразки з порушеною структурою стискаються швидше.

Під час лабораторних досліджень навантаження зростає швидше, ніж за природних умов чи в разі будівництва, тому отримують підвищені показники стискання, а реальні осідання споруд часто значно менші від розрахованих за даними *компресійних досліджень*.

Компресійні властивості ґрунтів залежать від:

- 1) структури ґрунту: роздільно-зернисті ґрунти стискаються швидше, а кінцеві осідання за однакових умов менші, ніж у ґрунтів глинистих (у глинистих процес стискання відбувається повільно);
- 2) мінерального складу і вмісту тонкодисперсної фракції;
- 3) типу і характеру внутрішніх зв'язків: що міцніший зв'язок, то менше стискується порода;
- 4) фізичного стану ґрунту – щільності сухого ґрунту і природної вологості: що більша щільність укладання часток ґрунту, то менше він стискається; що вища вологість ґрунту, то довше триває процес стискання глинистих ґрунтів.

Стисливість порід визначають у *компресійних приладах* (рис. 5.1). Під *компресією* розуміють одновісне стиснення ґрунту за неможливості його бічного розширення.

Графічно залежність пористості (чи вологості) від тиску зображають компресійною кривою (рис. 5.2). Для її побудови по осі абсцис відкладають значення навантаження P , а по осі ординат – коефіцієнти пористості e . Ця крива дає змогу класифікувати ґрунти за значенням стискання, визначати величину структурної міцності ґрунту і модуль деформації ґрунту.

На компресійній кривій можна виділити ділянку кривої з ординатами e_1, e_2 як пряму. Тоді співвідношення ординат $e_1 - e_2$ до різниці абсцис $P_2 - P_1$ відповідатиме $\operatorname{tg} \alpha$ чи a (5.1):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_1 - P_2} = a. \quad (5.1)$$

Що більше значення a на певній ділянці компресійної кривої, то більш стислимим буде ґрунт. Значення a називають *коефіцієнтом ущільнення*.

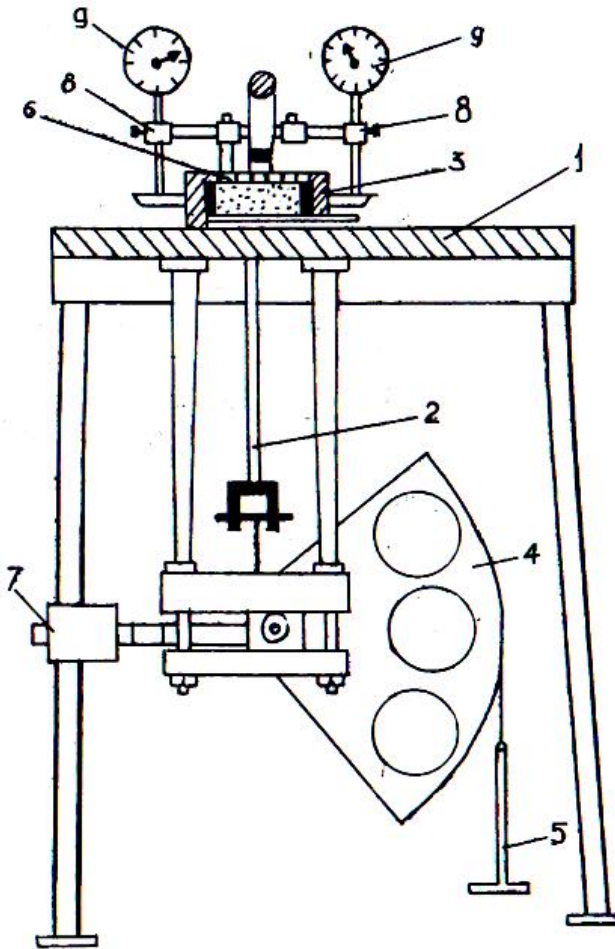


Рис. 5.1. Компресійний прилад КП (одометр) у розрізі:

1 – плита столу; 2 – вантажна рама; 3 – ґрунтовідбірне кільце; 4 – важіль; 5 – підтримувач для гир; 6 – перфорований штамп; 7 – противага; 8 – тримач індикатора; 9 – індикатор годинникового типу.

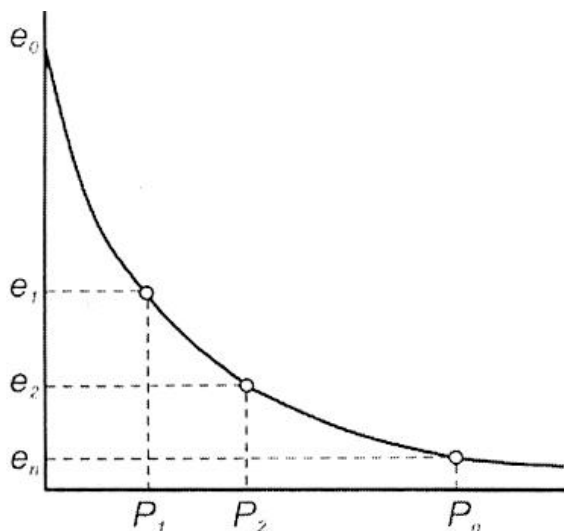


Рис. 5.2. Компресійна крива.

Коефіцієнт ущільнення є важливим показником, який дає змогу поділяти ґрунти за ступенем стисливості (табл. 4.5.1).

Таблиця 4.5.1

Поділ ґрунтів за коефіцієнтом ущільнення

Ступінь стисливості ґрунту	Коефіцієнт ущільнення a
Практично не стискається	$< 0,001$
Слабко стискається	$0,001-0,005$
Середньої стисливості	$0,005-0,010$
Підвищеної стисливості	$0,01-0,10$
Сильно стискається	$> 0,1$

За результатами визначення коефіцієнта ущільнення обчислюють **модуль загальної деформації** (відносний модуль деформації) E , МПа або кгс/см² (5.2):

$$E = \frac{(1 - \beta)(1 + 2\beta)}{1 + \beta} \times \frac{1 + e_0}{a}, \quad (5.2)$$

де β – безрозмірний коефіцієнт, який враховує неможливість бічного розширення. За відсутності експериментальних даних числові значення коефіцієнта β беруть з табл. 4.5.2 [11].

Таблиця 4.5.2

Числові значення коефіцієнта β залежно від типу ґрунту [11]

Тип ґрунту	β
Пісок	0,35–0,41
Суглинок	0,50–0,70
Глина	0,70–0,74

Згідно з ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості), модуль деформації E можна обчислити в інтервалі тиску P_i та P_{i+1} з точністю 0,1 МПа за формулою (5.3) [6]:

$$E = \frac{P_{i+1} - P_i}{e_{i+1} - e_i} \beta, \quad (5.3)$$

де e_i та e_{i+1} – коефіцієнти пористості, які відповідають тискові P_i і P_{i+1} , відповідно.

Ще однією характеристикою компресійних властивостей ґрунтів є **модуль осідання** L , мм/м. Модуль осідання означає величину стискання зразка чи осідання шару ґрунту потужністю 1 м за зовнішнього навантаження P (5.4):

$$L = 1000 \frac{\Delta h}{h}, \quad (5.4)$$

де Δh – стиснення зразка чи осідання шару ґрунту за навантаження P , мм; h – висота зразка чи потужність шару ґрунту, мм.

М. М. Маслов запропонував класифікацію ґрунтів за модулем компресії (табл. 4.5.3).

Таблиця 4.5.3

Класифікація ґрунтів за модулем осідання, за М. М. Масловим

Ступінь стисливості ґрунту	Модуль осідання, мм/м
Не стискається	< 1
Слабко стискається	1–5
Середньої стисливості	6–20
Підвищеної стисливості	21–60
Сильно стискається	> 60

Завдання 1. Проведення компресійного випробування

Хід роботи

Ще до проведення досліду у компресійному приладі потрібно з'ясувати основні характеристики ґрунту: щільність часток ґрунту, щільність ґрунту за природної вологості й непорушеної структури та природну вологість.

Моноліт очищають від парафіну й обережно видаляють верхній сухий шар. На горизонтальну поверхню моноліту встановлюють кільце приладу. По зовнішньому периметру кільця ґрунт обрізають і легко втискають кільце в моноліт. Його потрібно втискати горизонтально без перекосів, щоб не порушити структуру зразка. Важливо слідкувати, щоб ґрунт у кільці не викришувався, не було тріщин, а також порожнин між внутрішньою стінкою кільця і ґрунтом.

Кільце врізають у моноліт, поки над верхнім краєм кільця не з'явиться 1–2 мм ґрунту. Згодом кільце відділяють від моноліту і ножем зрізують залишки ґрунту.

Поверхню ґрунту покривають зволуженим фільтрувальним папером для ліпшого прилипання до зразка. Кільце вставляють у камеру одометра. Зверху кільце покривають перфорованим штампом і встановлюють індикатори годинникового типу для вимірювання деформацій з точністю 0,01 мм. Індикатор

годинникового типу встановлюють на нульову позначку. Навантаження на зразок передають поступово у такій послідовності:

- для піщаних і глинистих ґрунтів – 0,05, 0,1, 0,2, 0,3 і т. д. через 0,1 МПа до кінця досліду;
- для суглинистих ґрунтів – 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3 МПа;
- для торфо-мулистих ґрунтів – 0,01, 0,025, 0,05, 0,075, 0,1, 0,15 МПа.

Значення ваги Q , яку необхідно прикласти на підвіску, обчислюють за формулою (5.5):

$$Q = \frac{PF - g}{f}, \quad (5.5)$$

де P – заданий тиск на зразок, кгс/см²; F – площа кільця, см²; g – вага поршня приладу з кулькою і пористою прокладкою, кгс; f – передавальне число системи важелів (1:10).

Після прикладання першого навантаження спостерігають за деформацією ґрунту, знімаючи покази індикатора через такі проміжки часу: 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 120, 180 хв від початку досліду. Подальші вимірювання виконують двічі на добу: на початку робочого дня і наприкінці.

Кожне навантаження витримують до повної стабілізації осідання, коли різниця між показами індикатора через 3 год не перевищуватиме 0,01 мм. За дотримання такої умови до зразка прикладають наступне навантаження, а дані вимірювань записують у журнал (приклад заповнення у разі навантаження на зразок 0,5 кгс/см² див. у табл. 4.5.3).

Під час проведення навчальних занять термін умовної стабілізації за кожного нового навантаження скорочують до 3–5 хв. Результати таких навантажень записують у таблицю 4.5.4 (як приклад див. табл. 4.5.3).

Значення коефіцієнта пористості за певного навантаження визначають за формулою (5.6):

$$e_n = e_0 - \frac{\Delta h_n}{h_0}(1 + e_0), \quad (5.6)$$

де Δh_n – деформація зразка за заданого навантаження, мм; h_0 – початкова висота зразка, мм; e_0 – коефіцієнт пористості ґрунту у природному стані, який обчислюють за формулою (5.7):

$$e_0 = \rho_s \frac{1 + 0,01W}{\rho} - 1, \quad (5.7)$$

де W – природна вологість; ρ_s – щільність часток ґрунту, г/см³; ρ – щільність ґрунту, г/см³.

Таблиця 4.5.3

Журнал компресійних досліджень

Навантаження		Дата	Покази індикатора S , мм			Деформація приладу δ , мм	Деформація зразка $\Delta h = \Delta h' - \delta$	Відносна деформація $\varepsilon = \Delta h/h$	Зміна коефіцієнта пористості $\Delta e_i = \varepsilon \times (1 + e_0)$	Коефіцієнт пористості $e_i = e_0 - \Delta e_i$	Модуль деформації E
Вага на підвісці Q , кгс	Тиск на зразок P , кгс/см ²		1	2	Середнє $\Delta h'$						
3	0,5	25.01	0,13	0,14	0,135	0,010	0,125	0,005	0,006	0,831	14,8
6	1,0	27.01	0,22	0,22	0,220	0,010	0,210	0,008	0,020	0,817	25,9
9	1,5	30.01	0,36	0,38	0,370	0,010	0,360	0,014	0,038	0,798	40,1
12	2,0	01.02	0,46	0,48	0,480	0,010	0,470	0,019	0,055	0,782	50,6
15	2,5	05.02	0,60	0,60	0,600	0,015	0,585	0,023	0,072	0,765	87,0
18	3,0	07.02	0,78	0,80	0,790	0,020	0,770	0,031	0,080	0,757	91.1

Приклад

Дано: показник стиснення зразка ґрунту за навантаження 0,5 кгс/см² становить 0,56 мм (Δh). Початкова висота зразка ґрунту – 25 мм, щільність часток ґрунту – 2,7 г/см³ (ρ_s), щільність ґрунту – 2,32 г/см³ (ρ), природна вологість – 32 % (W), показник β – 0,6.

Обчислюємо модуль осідання за формулою (5.3):

$$L = 1000 \frac{0,56}{25} = 22,4 \text{ мм/м}$$

Отже, згідно з класифікацією М. М. Маслова, за навантаження 0,5 кгс/см² досліджуваний ґрунт має підвищену стисливість.

Таблиця 4.5.4
Журнал компресійних досліджень (навчальний)

Навантаження		Час від початку досліду, хв	Покази індикатора S, мм			Деформація приладу δ, мм	Деформація зразка Δh	Відносна деформація ε	Зміна коефіцієнта пористості Δe _i	Коефіцієнт пористості e _i	Модуль деформації E
Вага на підвісі Q, кгс	Тиск на зразок P, кгс/см ²		1	2	Середнє Δh'						
3	0,5	0–3									
6	1,0	3–6									
9	1,5	6–9									
12	2,0	9–12									
15	2,5	12–15									
18	3,0	15–18									

Для побудови компресійної кривої потрібно обчислити коефіцієнт пористості ґрунту, який відповідає кожному навантаженню на зразок. За формулою (5.7) обчислюємо коефіцієнт пористості ґрунту у природному стані:

$$e_0 = 2,7 \times \frac{1 + 0,01 \times 32}{2,32} - 1 = 0,54.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт пористості, що відповідає навантаженню на зразок 0,5 кгс/см², за формулою (5.6):

$$e_n = 0,54 - \frac{0,56}{25}(1 + 0,54) = 0,51.$$

Так обчислюємо коефіцієнт пористості, що відповідає навантаженню P на зразок 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 кгс/см². За одержаними даними будемо компресійну криву (приклад див. на рис. 5.2).

За отриманими результатами обчислюємо коефіцієнт ущільнення за формулою (5.1). Припустимо, що $e_1 = 0,51$ за тиску на зразок $P_1 = 0,5$ кгс/см²; $e_2 = 0,49$ за $P_2 = 1,5$ кгс/см². Тоді

$$a = \frac{0,51 - 0,49}{1,5 - 0,5} = 0,02.$$

Отже, за коефіцієнтом ущільнення ґрунт належить до категорії підвищеної стисливості (див. табл. 4.5.2).

Знаючи показник a , обчислюємо модуль загальної деформації за формулою (5.2):

$$E = \frac{(1 - 0,6) \times [1 + (2 \times 0,6)]}{1 + 0,6} \times \frac{1 + 0,54}{0,02} = 42,35 \text{ кгс/см}^2.$$

Опрацювання результатів компресійних досліджень

1. За результатами компресійних досліджень ґрунту, занесеними в табл.4.5.4, за формулою (5.2) обчислюємо модуль осідання для кожного вертикального навантаження.

2. Характеризуємо стисливість породи за модулем осідання з питомим навантаженням 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 2,5, 3,0 кгс/см².

3. За результатами компресійних випробувань будемо компресійну криву. На компресійній кривій обираємо прямолінійну ділянку і за нею визначаємо коефіцієнт ущільнення породи. Характеризуємо стисливість породи за коефіцієнтом ущільнення.

4. Обчислюємо модуль загальної деформації.

Контрольні питання

1. Які механічні властивості ґрунтів ви знаєте?
2. Від яких показників залежить стисливість ґрунту?
3. Розшифруйте поняття “компресія”.
4. У чому полягає суть компресійних досліджень?
5. Як за допомогою одометра можна визначити деформаційні характеристики ґрунту?

6. Які основні фізичні характеристики ґрунтів потрібно знати для проведення компресійних досліджень?
7. Що таке модуль деформації?

Лабораторна робота № 6 **ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСАДКОВОСТІ ҐРУНТІВ**

Мета: оволодіти методикою визначення просадковості ґрунту; навчитися опрацьовувати результати визначення просадковості ґрунту (ДСТУ Б В.2.1-22:2009) [4].

Основне завдання:

виконати дослідження з визначення коефіцієнта просадковості методом однієї кривої.

Обладнання: одометр, гирі, вага, а також обладнання для визначення вологості й щільності ґрунту.

Теоретична основа роботи

Просадковість – це зменшення об'єму ґрунту в разі зволоження. Просадковість властива лесовим і лесоподібним ґрунтам, які, згідно з будівельними правилами, належать до макропористих ґрунтів. Лесам притаманна наявність каналів, які вертикально пронизують усю їхню товщу. Дослідження просадковості ґрунтів має важливе значення для проектування й будівництва на таких ґрунтах [1, 4].

Літологічно лесові ґрунти представлені супісками, суглинками і глинами зі значним вмістом пилюватої фракції. Серед лесових ґрунтів виділяють леси як первинні породи еолового походження.

Лесові ґрунти містять пилюваті частинки розміром 0,01–0,05 мм (понад 50 %), легко- й середньорозчинні солі та карбонати. У мінеральному складі наявні кварц і польові шпати (до 50 %, роздрібнені до розміру 0,01–0,10 мм), глинисті мінерали (до 25 %) і карбонати кальцію (10–30 %), трапляються домішки оксидів і гідрооксидів заліза й алюмінію. Особливістю лесових ґрунтів є значний вміст карбонатів і водорозчинних солей – сульфатів і хлоридів. Наприклад, на півдні України лесоподібні суглинки містять до 10–15 % гіпсу.

Характерними ознаками є палевий (ясно-жовтий) колір, значна пористість (часто помітна незброєним оком) і борошністість на дотик.

У сухому стані леси мають велику міцність і можуть слугувати надійними основами, проте особливістю лесів є їхня здатність просідати під час зволоження внаслідок ущільнення. Вони легко розмокають і розмиваються, а в разі повного водонасичення можуть переходити в пливунний стан (на схилах утворюють зсуви).

Лесові ґрунти значно поширені в Україні, охоплюють понад 60 % її території. Наприклад, у північній частині Волинської височини потужність шару лесових ґрунтів змінюється від 3 до 15 м.

Просадковість з'являється у разі природного зволоження дощовими водами й підняття рівня ґрунтових вод, а також унаслідок штучного зволоження під час аварій трубопроводів чи каналізації. Поверхня землі опускається на глибину від декількох до десятків сантиметрів, що спричиняє деформації основ споруд.

Морфологічними ознаками території, де можливе просідання в лесових ґрунтах, є специфічні форми рельєфу – поди (своєрідні “блюдця” діаметром 50–100 м і глибиною 0,5–1,0 м на земній поверхні), промивини, понори, суфозійні і просадні лійки вздовж берегів річок.

Головні причини просідання такі:

- низька природна вологість ґрунтів;
- висока пористість (до 0,5–0,6);
- низький ступінь наповнення пор водою ($< 0,6$);
- незначна водостійкість агрегатів, якими складений лесовий ґрунт, що приводить до їхнього розм'якшення в разі змочування;
- достатнє зволоження, за якого значно знижується міцність ґрунту;
- розчинення водою карбонатів та інших солей, які цементують зерна ґрунту;
- осмотичний тиск у товщах лесових ґрунтів;
- наявність навантаження, здатного в разі зволоження перевищити сили зчеплення ґрунту.

Головним проявом просадковості є ущільнення ґрунту внаслідок переміщення і компактніше укладання окремих частинок та їхніх агрегатів, завдяки чому пористість знижується до стану, що відповідає наявному тиску.

Лесові ґрунти вивчало багато вчених (Ю. М. Абелев, Л. С. Берг, І. П. Герасимов, М. Н. Гольдштейн, В. І. Крігер, В. Д. Обручев, А. П. Павлов, П. О. Тутковський, С. М. Клепіков та ін.). Вони запропонували низку оригінальних теорій

щодо походження лесових ґрунтів: еолову, водно-льодовикову, пролювіальну, делювіальну, алювіальну. Нині найбільше поширені еолова, водно-льодовикова і пролювіальна теорії (утворення недоущільненого стану лесових порід еолового, делювіального або пролювіального походження за умов сухого клімату) [1, 11].

Для оцінки ступеня просадковості ґрунтів використовують спеціальні кількісні показники: відносна просадковість $\delta_{\text{пр}}$, початковий просадковий тиск $P_{\text{пр}}$ і початкова просадкова вологість $W_{\text{пр}}$. До просадкових належать ґрунти з $\delta_i \geq 0,01$.

Щоб з'ясувати ступінь просадковості лесових і лесоподібних ґрунтів, визначають їхню стисливість.

Просадковість визначають за відносною деформацією, значення якої отримують за результатами дослідження зразків ґрунту непорушеної структури в компресійних приладах.

Дослідження просадкових ґрунтів у компресійних приладах виконують трьома методами:

1) метод однієї кривої – для визначення відносної просадковості за заданого тиску;

2) метод двох кривих – для визначення відносної просадковості за різних значень тиску і початкового просадкового тиску;

3) спрощений метод.

Зразки для досліду відбирають, головню, з котлованів, шурфів, рідше свердловин.

У разі дослідження методом однієї кривої навантаження штампа на зразок ґрунту природної вологості проводять ступенями до заданого тиску P_z . Значення P_z повинно дорівнювати сумарному тиску від власної ваги ґрунту у водонасиченому стані і проектованого фундаменту або тільки від ваги ґрунту на глибині відбирання зразка. Після умовної стабілізації осідання зразка ґрунту з природною вологістю на останньому ступені навантаження, що відповідає P_z , зразок ґрунту треба зволожити водою й фіксувати його осідання до умовної стабілізації просадки (рис. 6.1).

Дослідження методом однієї кривої дає змогу визначити відносну просадковість за заданого тиску й характеристики стиснення ґрунту з природною вологістю. Такі дослідження доцільно проводити тоді, коли фактичний тиск на певній глибині в основі проектованого фундаменту відомий (наприклад, у разі

визначення просідання ґрунту від його власної ваги, за відомих навантажень і розмірів фундаменту).

За методом двох кривих дослід проводять на двох зразках ґрунту, які відібрано з одного моноліту.

Один зразок досліджують методом однієї кривої, а інший перед прикладанням тиску необхідно зволожити до повного насичення водою (рис. 6.2).

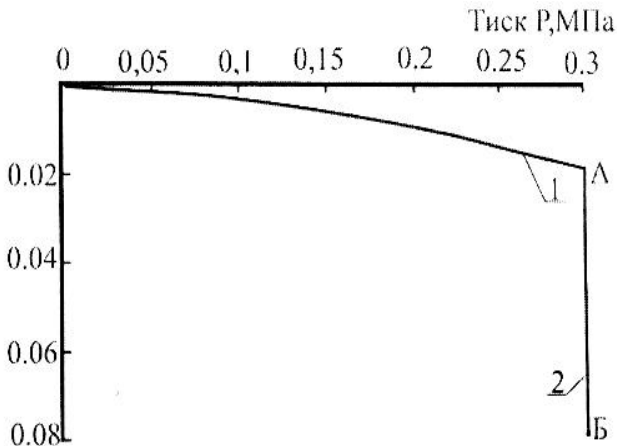


Рис. 6.1. Графік залежності відносного стиснення просадкового ґрунту від тиску за методом однієї кривої:

- 1 – відносне стиснення з природною чи заданою вологістю;
- 2 – відносна просадковість ґрунту (різниця ординат точок А і Б).

Для сушісків зволоження потрібно проводити за 3 год до прикладання першого ступеня навантаження, а для суглинків і глин – за 6 год. Потім необхідно прикладати навантаження ступенями до заданого тиску P_3 .

Значення P_3 у досліді методом двох кривих приймають в інтервалі 2,0–4,0 кгс/см² з урахуванням допустимого сумарного тиску в основі проєктованих фундаментів.

Зразки ґрунту, які досліджують методом двох кривих, не повинні відрізнятися за щільністю більше, ніж на 0,03 г/см³, і за вологістю – на 2 % (0,02 частки одиниці).

Ступені тиску в разі дослідження двома методами приймають за 0,5 кгс/см². В окремих випадках під час досліджень методом однієї кривої і $P_3 < 1,5$ кгс/см² ступені тиску повинні становити

0,25 кгс/см². Кожний ступінь тиску необхідно витримати до умовної стабілізації осідання й просідання зразка ґрунту. За цю умовну стабілізацію приймають приріст деформації зразка, що не перевищує 0,01 мм за 3 год.

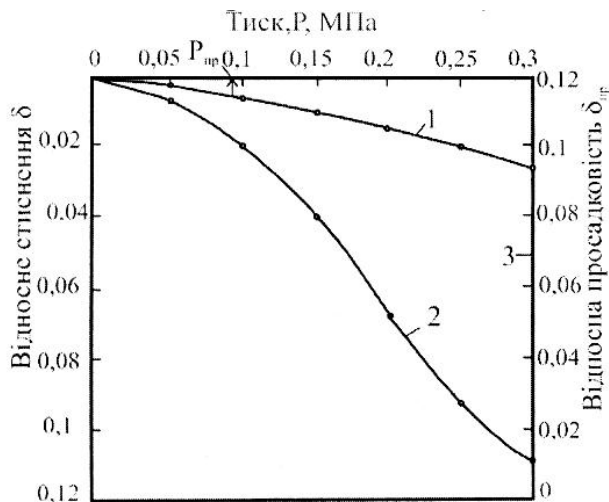


Рис. 6.2. Графік залежності відносного стиснення просадкового ґрунту від тиску за методом двох кривих:

1 – відносне стиснення ґрунту з природною вологістю; 2 – відносне стиснення ґрунту у водонасиченому стані; 3 – відносна просадковість ґрунту на останньому ступені навантаження (різниця ординат кривих 1 і 2); $P_{пр}$ – початковий просадковий тиск, за якого відносна просадковість становить 0,01.

Після прикладання кожного ступеня тиску чи після зволоження зразка ґрунту знімають покази індикатора, який фіксує деформацію зразка: через 5, 10 і 30 хв від початку дослідження, потім через кожну годину до кінця робочого дня, а в наступні дні – через кожні 3 год до умовної стабілізації деформації.

Спрощений метод є комбінацією методів однієї і двох кривих. Дослід проводять на одному зразку ґрунту, який навантажують за природної вологості до 1,5–2,0 кг/см², а після стабілізації осідання зволожують. Подальше навантаження ґрунту проводять у зволоженому стані. Значення осідання ґрунту природної вологості й насиченого водою від 1,5 кг/см² до кінцевого й початкового

навантажень отримують інтерполяцією, і так визначають просадковість за всіх значень вертикального навантаження.

Після закінчення дослідів потрібно:

- 1) злити воду з приладу;
- 2) швидко вийняти кільце з ґрунтом;
- 3) за допомогою фільтрувального паперу видалити краплі води;
- 4) зважити кільце з ґрунтом для наступного визначення щільності ґрунту;
- 5) відібрати дві проби для визначення вологості ґрунту.

За результатами досліджень ґрунту в компресійному приладі визначають:

абсолютне стиснення (осадку) зразка ґрунту Δh_i (мм) з точністю 0,01, обчислене як середнє арифметичне значення показів індикаторів;

відносне стиснення зразків ґрунту δ_i з точністю 0,001 за відповідних значень тиску P_i і умовно стабілізованих деформацій за формулою (6.1):

$$\delta_i = \frac{\Delta h_i - r}{h_0} , \quad (6.1)$$

де r – поправка на пружну деформацію приладу за тиску P_i , що визначається таруванням, мм; h_0 – висота зразка ґрунту з природною вологістю за природного тиску (на глибині відбору зразка):

$$h_0 = h_n - \Delta h_\delta,$$

де h_n – початкова висота зразка ґрунту (висота робочого кільця), мм; Δh_δ – абсолютне стиснення ґрунту з природною вологістю за природного тиску, мм.

За значенням відносного стиснення зразків δ будують графік залежності $\delta = f(P)$.

Відносна просадковість $\delta_{пр}$ – це співвідношення зміни висоти шару ґрунту внаслідок замочування за заданого вертикального тиску до його товщини в природному заляганні (висоти зразка за природного тиску).

Відносну просадковість ґрунту δ_{np} за заданого тиску P_3 за дослідями методом однієї кривої визначають як додаткове відносне стиснення зразка ґрунту внаслідок змочування за формулою (6.2):

$$\delta_{np} = \frac{\Delta h_{np}}{h_0} = \frac{h^1 - h_{np}}{h_0}, \quad (6.2)$$

де Δh_{np} – додаткове стиснення (просідання) ґрунту під час змочування; h^1 – висота зразка ґрунту з природною вологістю за заданого тиску; h_{np} – висота зразка ґрунту після додаткового стиснення (просідання) після змочування.

Значення відносної просадковості δ_{np} для різних тисків у разі дослідження методом двох кривих визначають як різницю відносного стиснення зразків у водонасиченому стані δ_v і природної вологості δ_e або як різницю ординат відповідних кривих графіка $\delta = f(P)$. За значенням δ_{np} будують графік залежності відносної просадковості від тиску $\delta = f(P)$.

Відносна просадковість є однією з основних характеристик просадкових ґрунтів; її використовують для розрахунку можливого просідання від фундаментів та під навантаженням від власної ваги, для загальної оцінки просадковості ґрунтів, визначення типу ґрунтових умов за здатністю до просідання, критеріїв початку розвитку просідання – початкового просадкового тиску й початкової (критичної) вологості.

Початковий просадковий тиск P_{np} визначають з графіка залежності відносної просадковості від тиску $\delta = f(P)$, приймаючи за P_{np} такий тиск, за якого відносна просадковість становить 0,01. Початковий просадковий тиск є мінімальним тиском від навантаження фундаментів чи власної ваги ґрунту, за якої починає виявлятися просадковість, за повного водонасичення ґрунту.

Результати визначення відносної просадковості виражають з точністю до 0,001, початкового просадкового тиску – з точністю 0,1 кгс/см²; їхні значення реєструють у журналі дослідів.

Початкова (критична) вологість – це мінімальна вологість, за якої під діючим тиском відбувається просідання ґрунту (відносна просадковість $\delta_{np} = 0,01$). Її використовують під час визначення залежності просадкових властивостей від ступеня підвищення вологості, можливості прояву просідання лесових ґрунтів у разі підвищення їхньої вологості не до повного водонасичення (наприклад, під екранами з ущільненого ґрунту).

Залежно від типу ґрунтових умов вибирають заходи для попередження можливих просадкових деформацій або для усунення наслідків, спричинених просіданням. Це може бути водозахист, конструктивні заходи, ущільнення, термічне закріплення, силікатизація тощо.

Завдання 1. Визначення просадковості лесових ґрунтів

Хід роботи

Просадковість визначають на ґрунтах з непорушеною структурою за природної вологості. Для визначення просадковості використовують компресійні прилади.

1. Спочатку зважують кільце приладу на технічній вазі з точністю до 0,01 г (g_0), заміряють його висоту (h_0), діаметр та обчислюють площу і об'єм.

2. Кільце встановлюють на зачищену поверхню моноліту і легко втискають у ґрунт, щоб не було перекосів. Коли ґрунт наповнить кільце, його відділяють від моноліту і зрізують залишки ґрунту, вирівнюючи з краями кільця. Одночасно відбирають пробу для визначення вологості й щільності часток ґрунту. Кільце з ґрунтом зважують (g_1).

3. Кільце ґрунту покривають фільтрувальним папером, змоченим у воді, встановлюють на дно приладу, а нижню частину приладу закріплюють.

4. Загвинчують верхню частину корпусу. На ґрунт встановлюють штамп, загвинчують аретир, що фіксує розміщення консолей, на які спираються ніжки індикатора. У гніздо штампів вкладають кульку.

5. Зібраний прилад поміщають на центр стола компресійного приладу.

6. Прикладають до зразка навантаження 0,5, 1, 2 і 3 кгс/см², витримуючи кожний ступінь навантаження протягом 24 год. Відлік за індикаторами беруть для моменту $t = 24$ год. З навчальною метою термін дії навантаження скорочують до 5–10 хв.

7. Після витримування ґрунту під навантаженням 3 кгс/см² зразок зволожують (зволоження проводять знизу вверх) і витримують ще 24 год без збільшення навантаження.

Дані досліду записують у журнал (табл. 4.6.1).

Приклад

Дано: показник абсолютного стиснення зразка ґрунту за навантаження 0,5 кгс/см² за природної вологості становить 0,67 мм (Δh); поправка на пружну деформацію приладу за тиску $P_{0,5} = 0,001$; початкова висота зразка ґрунту – 25 мм; висота зразка ґрунту з природною вологістю за заданого тиску $P_{0,5} = 24,33$ (25–0,67) мм (h^1); висота зразка ґрунту після додаткового стиснення (просідання) після змочування – 24,18 мм ($h_{пр}$).

Таблиця 4.6.1

Журнал визначення просадковості ґрунтів (навчальний)

Дата	Час, хв	Вага на підвісіці вагеля, кгс	Тиск на зразок, кгс/см ²	Покази індикаторів			Деформація зразка, мм	Відносне стиснення зразка $\delta_{пр}$	Примітка
				1	2	середнє			
	5	3	0,5						
	10	6	1						
	15	12	2						
	20	18	3						

Обчислюємо відносне стиснення зразка ґрунту $\delta_{0,5}$ за тиску $P_{0,5} = 0,5$ кгс/см² за формулою (6.1):

$$\delta_{0,5} = \frac{0,67 - 0,001}{25} = 0,027.$$

Так само обчислюємо показники відносного стиснення, що відповідають навантаженню P на зразок 1, 2 і 3 кгс/см². За одержаними даними будуємо графік (див. приклад на рис. 6.1).

Обчислюємо відносну просадковість ґрунту $\delta_{пр}$ за заданого тиску $P = 3$ кгс/см² за формулою (6.2):

$$\delta_{пр} = 0,08 - 0,02 = 0,06.$$

Початковий просадковий тиск $P_{\text{пр}}$ визначають з графіка залежності відносної просадковості від тиску $\delta = f(P)$, приймаючи за $P_{\text{пр}}$ такий тиск, за якого відносна просадковість становить 0,01.

Опрацювання результатів

1. За результатами дослідів побудувати графік залежності відносного стиснення просадкового ґрунту від тиску методом однієї кривої.

Для цього на осі абсцис у вибраному масштабі відкладають значення тиску P_n , кгс/см³, а на осі ординат – відповідні значення відносного стиснення δ .

2. Визначити відносну просадковість і початковий просадковий тиск.

Контрольні питання

1. Що таке просадковість ґрунту? Від чого вона залежить? Яким породам притаманна?
2. Яку методику використовують під час вивчення просадковості ґрунтів? У чому її суть?
3. Як можна обчислити відносну просадковість ґрунту?
4. З якою метою визначають початковий просадковий тиск і початкову вологість ґрунту?
5. У чому особливості метода однієї кривої та метода двох кривих?

Лабораторна робота № 7 ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НАБРЯКАННЯ ГРУНТІВ

Мета: освоїти методику визначення відносної деформації набрякання й усадки ґрунтів; навчитись опрацьовувати результати проведених випробувань (ДСТУ Б В.2.1-11:2009) [2].

Основні завдання:

1) визначити відносну деформацію набрякання, початковий тиск набрякання, відносну усадку висихання;

2) за результатами випробувань і значенням відносної деформації набрякання виконати класифікацію досліджуваних зразків ґрунту.

Обладнання: ріжуче кільце, одометр, індикатори годинникового типу, гирі, вага, трубки для підведення води.

Теоретична основа роботи

Під *набряканням* ґрунтів розуміють здатність їх збільшувати свій об'єм унаслідок взаємодії з водою або іншою рідиною. Набрякання ґрунтів часто простежують під час розробки котлованів і виїмок; воно призводить до деформації укріплень, полотна доріг, фундаментів тощо.

Зі зниженням вологості у ґрунтах, що набрякають, починається зворотний процес – усадка. *Усадка* – це зменшення об'єму ґрунту внаслідок висихання.

Здатність до набрякання властива глинистим ґрунтам і деяким видам промислових шлаків. Основна роль у процесі набрякання належить, головню, таким мінеральним складовим глинистого ґрунту, як іліт і монтморилоніт. Цим мінералам притаманна рухома кристалічна ґратка, завдяки чому в разі зволоження об'єм, наприклад, монтморилоніту може збільшитись у 18 разів. Наявність тієї чи іншої кількості цього мінералу в ґрунті створює передумови для різного за абсолютною величиною набрякання й усадки.

Набрякання залежить від: 1) виду і стану ґрунту; 2) потужності шару, що набрякає; 3) площі замочування; 4) властивостей рідини та ін.

Важливе значення для набрякання має тиск від споруди, які побудована на таких ґрунтах, адже значний тиск може перешкодити набряканню. Однак у цьому випадку зволоження знижує первісну міцність основи, унаслідок чого можливе додаткове осідання, яке нагадує просідання. Причини зволоження ті самі, що й у просадкових ґрунтах.

Під час проектування будівель і споруд на ґрунтах з такими властивостями потрібно брати до уваги можливість виникнення небажаних деформацій унаслідок підвищення рівня ґрунтових вод або зволоження основи виробничими й атмосферними водами.

ґрунти, що набрякають, характеризуються такими параметрами, як *початковий тиск набрякання* p_{sw} , *вологість*

набрякання W_{sw} , **відносна деформація набрякання** ε_{sw} , визначена за заданого тиску або за умов **вільного** (без тиску) **набрякання** ε_{sw0} , **відносна усадка** внаслідок **висихання** ε_{sh} (**відносна лінійна та об'ємна усадка**).

Ці параметри визначають під час дослідження зразків ґрунту непорушеної або порушеної структури в спеціальному приладі для вивчення вільного набрякання (ПНГ) або компресійному приладі за заданого тиску [2].

Значення **вільного набрякання** ε_{sw0} обчислюють за формулою (7.1):

$$\varepsilon_{sw0} = \frac{h_{sat} - h_n}{h_n}, \quad (7.1)$$

де h_{sat} – висота зразка після його вільного набрякання в одометрі ($P = 0$) під час змочування до повного водонасичення; h_n – початкова висота зразка природної вологості (висота різального кільця).

Цю характеристику використовують для класифікації ґрунтів.

Якщо $\varepsilon_{sw0} < 0,04$, то ґрунти не набрякають;

$0,04 \leq \varepsilon_{sw0} < 0,08$ – набрякають слабо;

$0,08 < \varepsilon_{sw0} \leq 0,12$ – набрякають середньо;

$0,12 < \varepsilon_{sw0}$ – набрякають сильно.

Показник **відносної деформації набрякання** ε_{sw} важливий для розрахунків підняття основи споруд під час набрякання ґрунтів, його визначають за формулою (7.2):

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h_{sat,p} - h_{n,p}}{h_{n,p}}, \quad (7.2)$$

де $h_{n,p}$ – висота зразка ґрунту природної вологості, обтиснутого в одометрі заданим тиском p ; $h_{sat,p}$ – висота того ж зразка, обтиснутого за тих самих умов після зволоження до повного водонасичення.

Тиск p задають за аналогією з просадковими ґрунтами. Зразки звожують у такий спосіб, як це описано в лабораторній роботі з вивчення просадковості ґрунтів. Деформації вимірюють після їхньої стабілізації.

Тиск набрякання p_{sw} – це такий тиск на водонасичений і обтиснутий в одометрі ґрунт, за якого деформації набрякання дорівнюють нулю. За допомогою цього тиску визначають глибину нижньої межі зони набрякання.

Вологість набрякання W_{sw} – це така вологість, яку отримують після завершення набрякання зразка, обтиснутого в одометрі із заданим тиском (або за $p = 0$). Її значення потрібне для розрахунків, пов'язаних зі штучним зволоженням основ будівель.

Відносну усадку ε_{sh} визначають за формулою (7.3):

$$\varepsilon_{sh} = \frac{h_{sat\ p} - h_d}{h_d}, \quad (7.3)$$

де h_d – висота зразка ґрунту, обтиснутого в одометрі з заданим тиском після зменшення вологості внаслідок висихання.

Цей показник використовують для розрахунку усадки основи в процесі висихання ґрунту, що набрякає.

Завдання 1. Визначення початкового тиску набрякання, відносної деформації набрякання та відносної усадки висихання

Хід роботи

1. Робоче кільце одометра заповнюють ґрунтом.
2. Визначають для ґрунту значення природної вологості w , щільності ґрунту ρ , коефіцієнт пористості e_0 .
3. Кільце з фільтрувальним папером поміщають в одометр і приводять його в робоче положення. Показники індикаторів годинникового типу встановлюють на нуль.
4. За допомогою трубок в дно одометра підводять воду і змочують зразки до повного водонасичення. Потрібно слідкувати за позначками індикаторів і записувати покази через 10, 20, 30 хв, 1, 2, 3, 4, 5, 6 годин і згодом через добу після початку досліду. Дослід вважають завершеним, якщо приріст показників індикаторів не перевищує 0,02 мм/добу. З навчальною метою час на стабілізацію деформацій умовно скорочують до 3–5 хв.
5. Вимірявши залишкові значення h_{sat} , обчислюють показник вільного набрякання ε_{sw0} . Результати записують у журнал (табл. 4.7.1).
6. Припинити подавання води до зразка. Після його остаточного висихання виміряти кінцеве значення h_d і обчислити показник відносної усадки ε_{sh} .

7. На штамп одометра передати тиск 0,01 МПа. Виміряти остаточну висоту h_d і зволожити зразок. Дочекавшись стабілізації набрякання, зафіксувати $h_{sat,p}$ й підрахувати показник відносної деформації набрякання ϵ_{sw} . Результати записати в таблицю 4.7.1.

8. Після завершення досліді вилучити кільце з ґрунтом з одометра, витерти і зважити (m_3). Помістити його в сушильну шафу й сушити за $T = 105 \pm 2$ °С до постійної маси (m_4). З навчальною метою час сушіння зразка скорочуємо до 30 хв.

9. Після висихання остудити кільце в ексікаторі і зважити. Обчислити початкову вологість ґрунту за формулою (7.4):

$$W_0 = \frac{m_b - m_c}{m_c} \times 100 \%, \quad (7.4)$$

де $m_b = m_2 - m_1$, маса вологого ґрунту до досліді (m_2 – маса кільця з ґрунтом до досліді, m_1 – маса кільця); $m_c = m_4 - m_1$, маса сухого ґрунту (m_4 – маса кільця з висушеним ґрунтом).

Таблиця 4.7.1

Журнал випробувань ґрунту, що набрякає

Висота кільця приладу h , мм	Маса кільця m_1 , г	Маса кільця з ґрунтом до досліді m_2 , г	Маса кільця з ґрунтом після досліді m_3 , г	Маса кільця з ґрунтом після висушування m_4 , г	Маса вологого ґрунту до досліді m_b , г	Маса вологого ґрунту після досліді m , г	Маса висушеного ґрунту m_c , г	Початкова вологість W_0 , %	Вологість набрякання W_{sw} , %	Приріст висоти зразка $h_{sat,p}$, мм	Вільне набрякання ϵ_{sw0}	Відносна деформація набрякання ϵ_{sw}	Відносна усадка ϵ_{sh}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

10. Обчислити кінцеву вологість W_0 , що їй відповідатиме вологості набрякання W_{sw} , за формулою (7.5):

$$W_0 = \frac{m - m_c}{m_c} \times 100 \%, \quad (7.5)$$

де $m = m_3 - m_1$, маса вологого ґрунту після дослідів (m_3 – маса кільця з вологим ґрунтом після дослідів).

Приклад

Дано: маса кільця становить 80 г (m_1), маса кільця з ґрунтом до початку дослідів – 285 г (m_2); висота зразка після його вільного набрякання в одометрі ($P = 0$) у разі замочування до повного водонасичення – 27,12 мм (h_{sat}); початкова висота зразка природної вологості – 25 мм (h_n); висота зразка ґрунту природної вологості, обтиснутого в одометрі заданим тиском 1 кгс/см², – 24,56 мм ($h_{n,p}$); висота того ж зразка, обтиснутого за тих самих умов, після замочування до повного водонасичення – 26,11 мм ($h_{sat,p}$).

Після завершення дослідів маса кільця з вологим ґрунтом становить 315,26 г (m_3); маса кільця з висушеним ґрунтом – 225,24 г (m_4); висота зразка ґрунту, обтиснутого в одометрі з заданим тиском після зменшення вологості внаслідок висихання, – 23,15 мм (h_d).

Обчислюємо початкову вологість ґрунту за формулою (7.4):

$$W_0 = \frac{(285 - 80) - (225,24 - 80)}{225,24 - 80} \times 100 = 40 \%.$$

Обчислюємо значення вільного набрякання ε_{sw0} за формулою (7.1):

$$\varepsilon_{sw0} = \frac{27,12 - 25}{25} = 0,085.$$

Отже, за значенням вільного набрякання досліджуваній зразок належить до ґрунтів, що набрякають середньо ($0,08 < \varepsilon_{sw0} \leq 0,12$).

Обчислюємо показник відносної деформації набрякання ε_{sw} за тиску $P = 1 \text{ кгс/см}^2$ за формулою (7.2):

$$\varepsilon_{sw1} = \frac{26,11 - 24,54}{24,54} = 0,064..$$

Розраховуємо відносну усадку ε_{sh} за формулою (7.3):

$$\varepsilon_{sh} = \frac{26,11 - 23,15}{23,15} = 0,13.$$

Обчислюємо кінцеву вологість W_0 , яка відповідає вологості набрякання, за формулою (7.5):

$$W_0 = \frac{(315,26 - 80) - (225,24 - 80)}{225,24 - 80} \times 100 = 62 \text{ \%}.$$

Опрацювання результатів

1. За результатами досліджень і наведеними вище формулами обчислюємо значення відносної деформації набрякання, відносної усадки, початкової вологості й вологості набрякання. Усі дані записуємо в журнал (див. табл. 4.7.1).

2. Характеризуємо ґрунт за показником відносної деформації набрякання.

Контрольні питання

1. Які ґрунти належать до таких, що набрякають?
2. Яке явище названо набряканням ґрунтів?
3. Яке явище названо усадкою ґрунтів?
4. За якою формулою визначають відносну деформацію набрякання ґрунту?
5. Як обчислюють вологість набрякання?

Лабораторна робота № 8 ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ МЕТОДОМ ОДНОПЛОЩИННОГО ЗРІЗУВАННЯ

Мета: оволодіти методикою визначення опору зсуву ґрунту (ДСТУ Б В.2.1-4-96) [6].

Основні завдання:

- 1) виконати дослід з визначення опору зсуву;
- 2) побудувати залежність зусилля зсуву від вертикального навантаження й обчислити коефіцієнт зсуву, кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення.

Обладнання: прилад для визначення опору зсуву, ріжуче кільце, гири, вага.

Теоретична основа роботи

У разі дії значних навантажень на ґрунт у ньому виникають дотичні зусилля, які прагнуть змістити одну частину ґрунту щодо іншої. Це призводить до порушення міцності основ або до втрати стійкості укосу. В обох випадках умовою міцності є опір зсуву, який зумовлений силами внутрішнього тертя у незв'язних ґрунтах, тертям і зчепленням – у зв'язних ґрунтах.

Внутрішнім тертям у пісках та інших роздільно-зернистих ґрунтах називають сили тертя, що діють на контактах між частинками. Воно залежить від розміру, форми, характеру поверхні й мінерального складу пісків, а також від ступеня їхнього ущільнення. Що більші частки, що більш шорсткувата поверхня й гостріші кути, то більший їхній опір тертю. Цей опір виражають коефіцієнтом внутрішнього тертя f , від якого, головне, залежить опір зсуву чистих пісків.

Показники опору зсуву визначають за допомогою спеціальних приладів у лабораторії та за польових умов. Один із таких приладів для проведення дослідів за лабораторних умов зображено на рис. 8.1.

Дані випробувань наносять на графік (рис. 8.2), де по осі абсцис відкладають нормальне (вертикальне) навантаження σ , МПа, по осі ординат – граничне зусилля зсуву τ , МПа.

У 1773 р. французький фізик Кулон виявив таку залежність: питомий опір сипучих ґрунтів зсуву є опором тертю і прямо пропорційний до нормальному тиску. Геометрично цю залежність виражають у системі координат τ - P (опір зсуву–нормальний тиск) прямою, що проходить через початок координат (див. рис. 8.2). Її можна записана у вигляді рівнянь (8.1):

$$\tau = fP; \quad \tau = P \operatorname{tg} \varphi, \quad (8.1)$$

де τ – зсувне зусилля, МПа; f – коефіцієнт внутрішнього тертя; P – нормальне навантаження, МПа.

З графіка 8.2 видно, що f у рівнянні є кутовим коефіцієнтом, який дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі тиску (8.2):

$$f = \operatorname{tg} \varphi, \quad (8.2)$$

Кут φ – це кут внутрішнього тертя, а рівняння $\tau = P \operatorname{tg} \varphi$ – це рівняння Кулона для незв'язних ґрунтів.

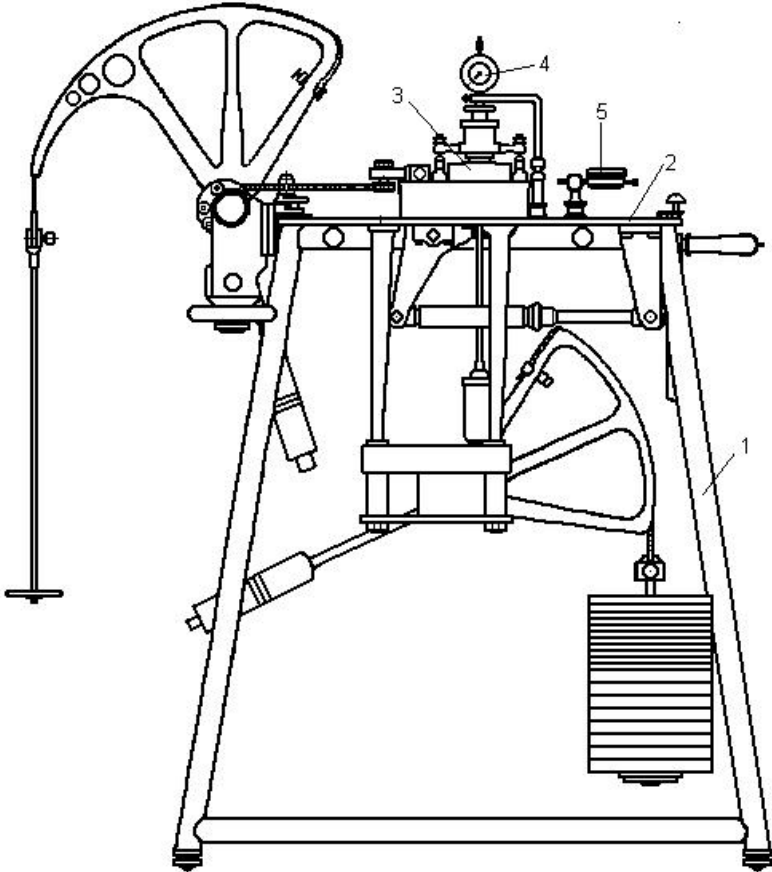


Рис. 8.1. Схема приладу для зрізування ґрунту ПСГ:

1 – станина; 2 – металева панель; 3 – зрізувач; 4, 5 – індикатори для вимірювання вертикальних (4) і горизонтальних (5) деформацій.

На опір зсуву впливає ступінь ущільнення пісків: за щільного стану часток породи опір зсуву зростає внаслідок тертя стиснутих поверхонь. Розмір зерен породи також впливає на кут внутрішнього тертя: порода, складена дрібнішими зернами, має менший кут внутрішнього тертя, ніж ґрунт, складений великими зернами.

У зв'язних ґрунтах, крім сил внутрішнього тертя, є сили зчеплення між частками, зумовлені внутрішніми зв'язками (цементаційні, водно-колоїдні). Зчеплення залежить від вологості ґрунту. Вода призводить до послаблення внутрішніх зв'язків, знижує внутрішнє тертя і зчеплення в ґрунті.

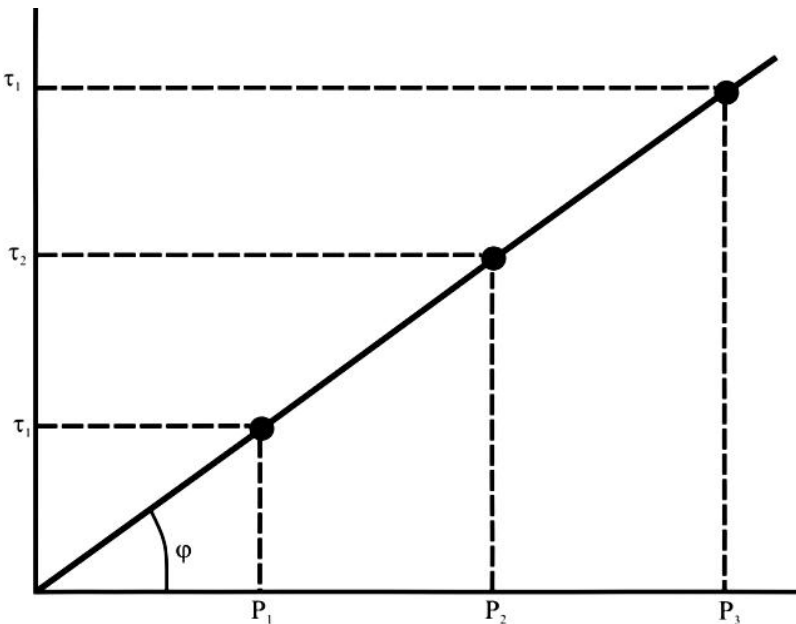


Рис. 8.2. Графік опору зсуву незв'язних ґрунтів:

τ_1 , τ_2 , τ_3 – зсувне зусилля; P_1 , P_2 , P_3 – відповідне нормальне навантаження; φ – кут внутрішнього тертя.

Сили, зумовлені опором внутрішніх зв'язків у зв'язному ґрунті, не залежать від нормального навантаження. Рівняння Кулона матиме такий вигляд (8.3):

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (8.3)$$

де C – зчеплення, МПа.

Ця залежність також виражена прямою в координатах τ – P (опір зсуву–нормальний тиск), проте вона не проходить через початок координат (рис. 8.3).

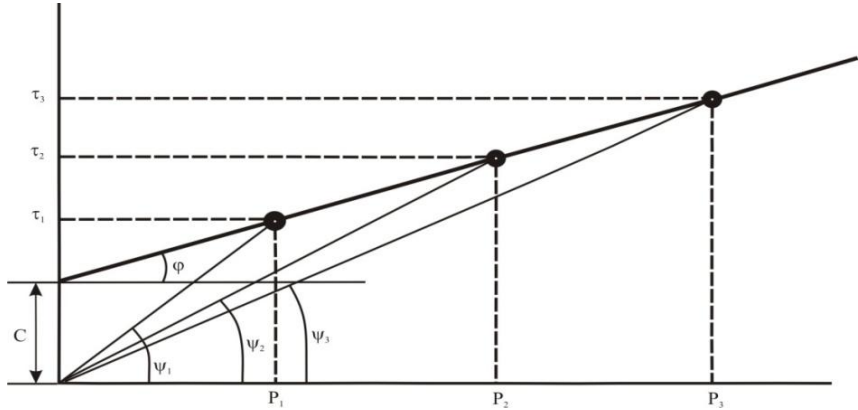


Рис. 8.3. Графік опору зсуву для зв'язних порід:

τ – зсувне зусилля, МПа; P – нормальне навантаження, МПа; φ – кут внутрішнього тертя; C – зчеплення; ψ – кут зсуву.

На графіку 8.3 сили тертя також характеризують за значенням кута φ , а зчеплення – відрізком, що відтинає пряма на осі ординат.

Опір зсуву характеризують коефіцієнтом зсуву, який визначають діленням граничного зусилля зсуву на нормальне навантаження:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\tau}{\sigma} = \operatorname{tg} \varphi + \frac{C}{\sigma} = \operatorname{tg} \varphi + C_0 \quad (\text{для зв'язних порід}), \quad (8.4)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\tau}{\sigma} = \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{для пухких порід}) \quad (8.5)$$

Для піщаних ґрунтів $\operatorname{tg} \psi$ дорівнює $\operatorname{tg} \varphi$ і приблизно відповідає куту природного укосу пісків. Для глинистих ґрунтів коефіцієнт зсуву – величина змінна: вона зменшується зі збільшенням нормального тиску. У таких ґрунтах загальний опір

зсуву зростає зі збільшенням вмісту глинистої фракції, хоча внутрішнє тертя в цьому разі зменшується.

Вивчення опору ґрунтів зсувним зусиллям, що виникають унаслідок впливу різних інженерних споруд, має важливе значення для правильного розрахунку стійкості основ споруд, оцінки стійкості схилів, розрахунку тиску ґрунтів на підпірні стінки й інших інженерних розрахунків.

Завдання 1. Проведення зсувного випробування

Хід роботи

Зважують кільце приладу з точністю до 0,01 г, вимірюють його висоту, діаметр, обчислюють площу й об'єм.

На горизонтальну поверхню моноліту встановлюють кільце приладу. По зовнішньому периметру кільця ґрунт обрізають і легко втискають у моноліт. Кільце потрібно втискати горизонтально, без перекосів, щоб не порушити структуру зразка. Треба слідкувати, щоб ґрунт у кільці не викришувався, не було тріщин, а також порожнин між внутрішньою стінкою кільця і ґрунтом.

Кільце врізують у моноліт, поки над верхнім краєм кільця не з'явиться 1–2 мм ґрунту. Потім кільце відділяють від моноліту. Ножем зрізують залишки ґрунту.

Кільце з ґрунтом зважують і результат записують у таблицю (табл. 4.8.1).

Кільце поміщають у прилад. За винятком зразків просадкових ґрунтів, які випробовують у водонасиченому стані, попереднє ущільнення зразка виконують за нормального тиску P , за якого і визначають опір зрізу τ .

На підвіску важеля встановлюють гирі, вагу яких визначають за формулою (8.6):

$$Q = \frac{pF}{f}, \text{ кгс}, \quad (8.6)$$

де P – задане навантаження, кгс/см²; F – площа поперечного перерізу зразка, яка становить 40 см²; f – кратність важеля (1:10).

Нормальний тиск передають на зразок ґрунту ступенями, що відповідає напруженням σ :

- для глинистих ґрунтів, що мають консистенцію від 0,75 до ≤ 1 , – 0,1, 0,3 і 0,5 кгс/см² і надалі по 1 кгс/см²;

- для глинистих ґрунтів, що мають консистенцію $\leq 0,75$, і піщаних ґрунтів – по $0,5 \text{ кгс/см}^2$ до сумарної величини 3 кгс/см^2 і надалі по 1 кгс/см^2 .

Кожний ступінь навантаження витримують не менше 5 хв для піщаних ґрунтів і 30 хв – для глинистих. Кінцевий ступінь навантаження витримують до умовної стабілізації деформації стиснення зразка. За умовну стабілізацію деформації стиснення приймають деформацію зразка ґрунту, що не перевищує $0,01 \text{ мм}$ за 30 хв для піщаних ґрунтів, 3 год – для супісків, 12 год – для суглинків і глин. З навчальною метою термін умовної стабілізації скорочують до 3–5 хв.

Таблиця 4.8.1

Вихідні параметри для визначення опору зсуву

Характеристики	Позначення	Числові значення
Висота кільця, мм	h_0	
Площа кільця, см^2	F	
Об'єм кільця, см^3	V	
Маса кільця, г	m_0	
Маса кільця з ґрунтом до досліді, г	m_1	
Маса кільця з ґрунтом після досліді, г	m_2	
Маса кільця з ґрунтом після висушування, г	m_3	
Вологість ґрунту до досліді, %	$W_0 = (m_1 - m_3) : (m_3 - m_0) \cdot 100$	
Вологість ґрунту після досліді, %	$W_k = (m_2 - m_3) : (m_3 - m_0) \cdot 100$	
Щільність ґрунту до досліді, г/см^3	$\rho = (m_1 - m_3) : V$	
Щільність часток ґрунту, г/см^3	ρ_s	
Коефіцієнт пористості до досліді	$e_0 = (\rho_s : \rho)(1 + 0,01 w_0)$	

Коефіцієнт пористості після дослідів	$\epsilon_k = \rho_s w_k : 100$	
--------------------------------------	---------------------------------	--

Прикладають горизонтальне зусилля. Для цього після прикладання нормального навантаження за допомогою тросу приєднують важіль, що передає горизонтальне зусилля до скоби і тяги зрізувача. Встановлюють індикатор для вимірювання горизонтальних деформацій.

Одночасно відгвинчують гвинти і встановлюють проміжок від 0,5 до 1 мм між обоймами зрізувача.

Горизонтальне навантаження прикладають ступенями, які становлять 10 % від вертикального (від 100 до 1000 г). Кожний ступінь витримують до загасання деформації (за 1 хв пройде не більше двох-трьох поділок індикатора). Дослід вважають завершеним, якщо без прикладання наступного навантаження відбувся зсув.

Зсувне зусилля вираховують за формулою (8.7) як найменше дотичне навантаження, за якого зразок ґрунту зрізується по фіксованій площині за нормального навантаження (8.8):

$$\tau = \frac{Q_c f_c}{F}, \text{ кгс/см}^2, \quad (8.7)$$

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (8.8)$$

де Q_c – вага на підвісці важеля горизонтального зусилля, кгс; f_c – передаточне число важеля, яке дорівнює 10; F – площа зрізу, см²; P – нормальне навантаження до площини зрізу, кгс.

Таблиця 4.8.2

Журнал визначення опору зсуву

Навантаження для ущільнення P , кгс/см ²	Вертикальне навантаження під час зсуву		Горизонтальне навантаження	
	Вага вантажу на підвісці Q , кгс	Нормальне навантаження σ , кгс/см ²	Вага вантажу на підвісці Q_c , кгс	Зсувне зусилля τ , кгс/см ²
			2,24	0,560

			2,64	0,660
1	4	1	2,64	0,660
			3,3	0,825
			3,4	0,850
2	8	2	3,3	0,825
			4,0	1,000
			4,1	1,030
3	12	3	4,2	1,050

У разі визначення параметрів зсуву за вертикальних навантажень 1, 2, 3 МПа тангенс кута внутрішнього тертя $\operatorname{tg} \varphi$ визначають за формулою (8.9):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau_3 - \tau_1}{2}. \quad (8.9)$$

Кут внутрішнього тертя вибирають з таблиці тангенсів (див. додаток А).

Питоме зчеплення обчислюють за формулою (8.10):

$$C = \frac{4\tau_1 + \tau_2 - 2\tau_3}{3}. \quad (8.10)$$

Результати досліду записують у журнал (табл. 4.8.2).

Приклад

Дано: вертикальне нормальне навантаження σ становить 1 кгс/см²; площа поперечного перерізу зразка – 40 см² (F); передаточне число важеля – 10 (f_c). Тоді загальна вага вантажу на підвісці Q становить 4 кгс. Вага на підвісці важеля горизонтального зусилля – 2,64 кгс (Q_c).

Обчислюємо зсувне зусилля за формулою (8.7):

$$\tau = \frac{2,64 \times 10}{40} = 0,66 \text{ кгс/см}^2.$$

Обчислюємо коефіцієнт зсуву для нормального навантаження $\sigma = 1 \text{ кгс/см}^2$ за формулою (8.4):

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{0,66}{1} = 0,66.$$

Тоді кут зсуву за навантаження 1 кгс/см^2 $\psi = 33^\circ 30'$.

Обчислюємо кут внутрішнього тертя за формулою (8.9), причому показники τ_3 і τ_1 беремо з останнього стовпчика таблиці 4.8.2 для відповідних навантажень:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1,05 - 0,66}{2} = 0,195.$$

Кут внутрішнього тертя визначаємо за таблицею тангенсів (див. додаток А): $\varphi = 11^\circ$.

Обчислюємо показник питомого зчеплення за формулою (8.10):

$$C = \frac{4 \times 0,66 + 0,825 - 2 \times 1,05}{3} = 0,455.$$

Опрацювання результатів

1. За результатами лабораторних випробувань обчислюємо коефіцієнт і кут зсуву для кожного значення нормального навантаження й порівнюємо їх між собою для одного зразка породи. Обчислюємо кут внутрішнього тертя і показник питомого зчеплення.

2. Будуємо графік залежності зусилля зсуву від нормального навантаження (див. рис. 8.3) і відбраковуємо аномальні точки.

3. За графіком визначаємо зчеплення, коефіцієнт і кут внутрішнього тертя.

З рис. 8.4 бачимо, що зчеплення C – це відрізок, який відтинає пряма на вертикальній осі ($C = 0,5 \text{ кгс/см}^2$). Кут внутрішнього тертя φ дорівнюватиме $12^\circ 30'$ (кут нахилу кривої до осі абсцис). Коефіцієнт внутрішнього тертя $\operatorname{tg} \varphi$ має значення 0,222 (знаходимо за таблицею тангенсів кутів у *Додатку А*).

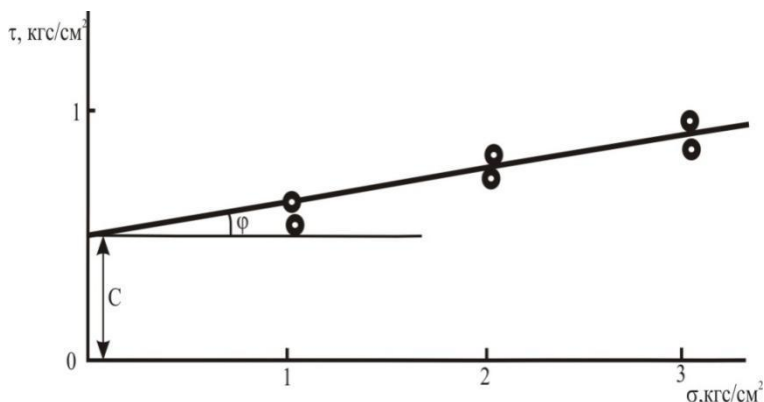


Рис. 8.4. Графік залежності зсувного зусилля від вертикального навантаження.

Контрольні питання

1. Схарактеризуйте поняття “опір зсуву”.
2. Наведіть чинники, що визначають опір зсуву для піщаних ґрунтів.
3. Наведіть чинники, що визначають опір зсуву для глинистих ґрунтів.
4. Що таке питоме зчеплення?
5. Як можна описати рівняння Кулона для зв’язних і незв’язних ґрунтів?
6. Як визначити коефіцієнт внутрішнього тертя?
7. Як визначити кут внутрішнього тертя?

Лабораторна робота № 9 ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ НЕЗВ’ЯЗНИХ ГРУНТІВ

Мета: навчитись визначати кут природного укосу сипучих ґрунтів; опанувати методи обчислення кутів природного укосу сипучих ґрунтів на прикладі сухих і насичених вологою пісків [1, 12].

Основні завдання:

- 1) визначити кут природного укосу для сухих пісків відомого гранулометричного складу;
- 2) визначити кут природного укосу для насичених вологою пісків відомого гранулометричного складу;

3) порівняти значення кутів природного укосу для сухих і насичених вологою пісків.

Обладнання й матеріали: пісок у сухому стані, вода, бюкси, вага, прилад для визначення кута природного укосу.

Теоретична основа роботи

Під час вивчення пухких сипучих ґрунтів *кут внутрішнього тертя* можна визначити завдяки визначенню *кута природного укосу*.

Кут природного укосу α – це кут нахилу поверхні вільно відсипаного незв’язного ґрунту до горизонтальної площини, або кут, за якого незакріплений піщаний укіс зберігає граничну рівновагу.

Саме кут природного укосу є однією з важливих характеристик під час розрахунків і проектування гребель, дамб, дорожніх насипів чи інших споруд, які можна будувати з пісків або великоуламкових незв’язних ґрунтів. Цей показник важливий також і в разі обчислення об’єму сипучих матеріалів, тому його часто використовують на складах і складських майданчиках.

Кут природного укосу пісків залежить від гранулометричного складу, форми частинок і вологості порід; він змінюється від 24 до 40°. Для сухих пісків показник α становить 30–40°, а для пісків під водою – 24–33°.

Тому лабораторні дослідження з визначення кута природного укосу виконують на пісках як у повітряно-сухому стані, так і волого-насиченому (під водою).

Серед приладів, якими користуються для визначення кута природного укосу, найбільше поширені прилад УО конструкції Д. І. Знаменського, а також прилад І. М. Литвинова (рис. 9.1) – він зручний і малогабаритний, тому його часто використовують з навчальною метою.

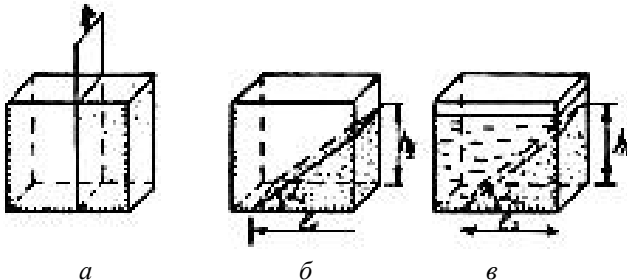


Рис. 9.1. Прилад І. М. Литвинова:

a – прилад до початку досліду; b – сухий пісок у приладі після усунення перегородки; c – волого-насичений пісок у приладі після усунення перегородки.

Прилад складається з прозорого резервуара, поділеного на два відділення рухомою перегородкою. На бічній стінці резервуара є розмітка в сантиметрах.

В одне з відділень, залежно від мети досліду, насипають сухий або попередньо насичений вологою пісок. Перегородку вилучають, і пісок осипається, утворюючи кут природного укосу α . Знаючи відстань l , яку становить основа укосу, і висоту укосу h , визначають кут природного укосу через $\operatorname{tg} \alpha$ (формули 9.1 і 9.2).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l}, \quad (9.1)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{h}{l}. \quad (9.2)$$

Значення h_1 і l_1 отримують зі шкал на приладі.

Завдання 1. Визначити кут природного укосу для сухих пісків

Хід роботи

На горизонтальну поверхню стола встановлюють прилад для визначення природного укосу. В одне з відділень насипають сухий пісок, гранулометричний склад і маса якого відомі.

Перегородку в приладі обережно вилучають. Під час цього ґрунт осипається, утворюючи кут природного укосу α_1 , який визначають через тангенс співвідношень висоти укосу h_1 до основи l_1 . Їхні показники беруть зі шкал на приладі. Одержані результати записують у журнал (табл. 4.9.1).

Таблиця 4.9.1

Журнал визначення природного укосу сипучих ґрунтів

Номер досліду	Опис зразка	Кут природного укосу ґрунту, °	
		у повітряно-	у волого-

		сухому стані	насиченому стані
1	Пісок дрібнозернистий		
2			

Завдання 2. Визначити кут природного укосу для насичених вологою пісків

Хід роботи

На горизонтальну поверхню стола встановлюють прилад для визначення природного укосу. В одне з відділень насипають сухий пісок з попередньо визначеним гранулометричним складом і масою. Наливають воду, стежачи, щоб рівень води не був нижчий від рівня піску.

Після повного насичення піску водою поволі вилучають перегородку. У цьому разі насичений вологою пісок осипається, утворюючи кут природного укосу α_2 , який визначають через тангенс співвідношень висоти укосу h_2 до основи l_2 (ці показники беруть зі шкал на приладі). Одержані результати записують у журнал (див. табл. 4.9.1).

Приклад

Дано: після дослідження кута природного укосу піску в сухому стані визначено, що висота укосу становить 6,7 см (h), а відстань, на яку змістився пісок після підняття перегородки, – 7,5 см (l).

Обчислюємо значення $\operatorname{tg} \alpha$ за формулою (9.1):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{6,7}{7,5} = 0,893,$$

тоді з таблиці тангенсів кутів (див. додаток А) з'ясуємо, що кут $\alpha = 41^\circ 30'$.

Опрацювання результатів

Проаналізувати й порівняти результати визначень кута природного укосу для ґрунтів різного гранулометричного складу і різного стану – повітряно-сухого й волого-насиченого.

Контрольні питання

1. Що називають кутом природного укосу?
2. Яке числове значення може мати кут природного укосу піску в повітряно-сухому стані?
3. Які межі значень кута природного укосу волого-насиченого піску?
4. У чому полягає особливість будови приладу для визначення кута природного укосу?
5. За якими формулами можна визначити кут природного укосу сипучого ґрунту?

ТАНГЕНСИ КУТІВ

°	'	tg	°	'	tg	°	'	tg
0	0	0,000	16	0	0,287	32	0	0,625
	30	0,009		30	0,296		30	0,637
1	0	0,017	17	0	0,306	33	0	0,649
	30	0,026		30	0,315		30	0,662
2	0	0,035	18	0	0,325	34	0	0,675
	30	0,044		30	0,335		30	0,687
3	0	0,052	19	0	0,344	35	0	0,700
	30	0,061		30	0,354		30	0,713
4	0	0,070	20	0	0,364	36	0	0,727
	30	0,079		30	0,374		30	0,740
5	0	0,087	21	0	0,384	37	0	0,754
	30	0,096		30	0,394		30	0,767
6	0	0,105	22	0	0,404	38	0	0,781
	30	0,114		30	0,414		30	0,795
7	0	0,123	23	0	0,424	39	0	0,810
	30	0,132		30	0,435		30	0,824
8	0	0,141	24	0	0,445	40	0	0,839
	30	0,149		30	0,456		30	0,854
9	0	0,158	25	0	0,466	41	0	0,869
	30	0,167		30	0,477		30	0,885
10	0	0,176	26	0	0,488	42	0	0,900
	30	0,185		30	0,499		30	0,916
11	0	0,194	27	0	0,510	43	0	0,933
	30	0,203		30	0,521		30	0,949
12	0	0,213	28	0	0,532	44	0	0,966
	30	0,222		30	0,543		30	0,983
13	0	0,231	29	0	0,554	45	0	1,000
	30	0,240		30	0,566			
14	0	0,249	30	0	0,577			
	30	0,259		30	0,589			
15	0	0,268	31	0	0,601			
	30	0,277		30	0,613			

ПРИКЛАД ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

Фізичні властивості ґрунтів

1. Природна вологість ґрунту – це:

- а) співвідношення ваги води в ґрунті до ваги сухого ґрунту;
- б) співвідношення ваги води до об'єму ґрунту;
- в) співвідношення об'єму води до об'єму ґрунту.

2. Щільність природного ґрунту – це:

- а) співвідношення об'єму природного ґрунту до його ваги;
- б) співвідношення ваги природного ґрунту до його об'єму;
- в) співвідношення ваги природного ґрунту до об'єму сухого ґрунту.

3. Щільність сухого ґрунту – це:

- а) співвідношення ваги сухого ґрунту до його об'єму;
- б) співвідношення об'єму сухого ґрунту до його ваги;
- в) співвідношення ваги сухого ґрунту до об'єму вологого ґрунту.

4. Щільність частинок ґрунту – це:

- а) співвідношення ваги ґрунту до його об'єму;
- б) співвідношення об'єму ґрунту до його ваги;
- в) співвідношення ваги ґрунту, за винятком пор, до його об'єму.

5. Пористість ґрунту – це:

- а) співвідношення об'єму пор до об'єму породи;
- б) співвідношення об'єму пор до об'єму сухої породи;
- в) співвідношення об'єму ґрунту до об'єму пор.

6. Коефіцієнт пористості – це:

- а) співвідношення об'єму пор до ваги ґрунту;
- б) співвідношення об'єму пор до об'єму сухого ґрунту;
- в) співвідношення об'єму пор до об'єму вологого ґрунту.

7. Пластичність – це властивість, яка притаманна:

- а) піщаним ґрунтам;
- б) глинистим ґрунтам;
- в) дисперсним ґрунтам.

8. Верхня межа пластичності – це:

- а) вологість ґрунту, у разі перевищення якої він переходить у текучий стан;
- б) вологість ґрунту, у разі перевищення якої він переходить у твердий стан;
- в) вологість ґрунту, у разі перевищення якої він переходить у пластичний стан.

9. Нижня межа пластичності – це:

- а) вологість ґрунту, за перевищення якої ґрунт переходить у текучий стан;
- б) вологість ґрунту, за перевищення якої він переходить у пластичний стан;
- в) вологість ґрунту, за перевищення якої ґрунт переходить у текучий стан.

10. Число пластичності – це:

- а) показник, який характеризує ступінь пластичності ґрунту;
- б) показник, який характеризує ступінь вологості ґрунту;
- в) показник, який характеризує ступінь чутливості частинок ґрунту до зволоження.

11. Як називається ґрунт, що має число пластичності 6:

- а) суглинок;
- б) супісок;
- в) глина.

12. Як називається ґрунт, що має число пластичності 20:

- а) глина;
- б) суглинок;
- в) супісок.

13. Як називається ґрунт, що має число пластичності 12:

- а) глина;
- б) суглинок;

в) супісок.

14. Яку властивість ґрунту характеризує консистенція?

- а) ступінь рухомості частинок ґрунту;
- б) ступінь дисперсності ґрунту;
- в) здатність до пластичності.

15. Яку консистенцію має ґрунт за значення показника $I_1 = 0,30$?

- а) напівтверду;
- б) м'якопластичну;
- в) тугопластичну.

16. Яку консистенцію має ґрунт за значення показника $I_1 = 0,52$?

- а) напівтверду;
- б) м'якопластичну;
- в) тугопластичну.

17. Яку консистенцію має ґрунт за значення показника $I_1 = 0,92$?

- а) тверду;
- б) м'якопластичну;
- в) текучопластичну.

18. Яку консистенцію має ґрунт за значення показника $I_1 < 0,0$?

- а) тверду;
- б) м'якопластичну;
- в) текучопластичну.

19. Які чинники впливають на число пластичності ґрунту?

- а) вологість ґрунту;
- б) щільність ґрунту;
- в) дисперсність ґрунту.

20. Які чинники впливають на щільність частинок ґрунту?

- а) пористість;
- б) мінеральний склад;
- в) гранулометричний склад.

21. Які чинники впливають на консистенцію ґрунту?

- а) пористість;
- б) вологість;
- в) гранулометричний склад.

22. Розкрийте суть поняття «ґрунт» в інженерній геології:

- а) це будь які гірські породи і підземні води;
- б) це будь які гірські породи, підземні води і геологічні процеси;
- в) це будь які породи і ґрунти як підґрунтя і середовище розміщення будівель і споруд

23. Які одиниці вимірювання природної вологості?

- а) %;
- б) г/см³;
- в) МПа.

24. Які одиниці вимірювання щільності?

- а) %;
- б) г/см³;
- в) МПа.

25. Назвіть лабораторний метод визначення щільності піщано-глинистих ґрунтів

- а) аерометричний;
- б) парафінування;
- в) ріжучого кільця.

Механічні властивості ґрунтів

1. Що таке міцність ґрунту?

- а) здатність деформуватися під навантаженням;
- б) здатність змінювати свою форму під навантаженням;
- в) здатність чинити опір зовнішньому впливу.

2. Які показники характеризують міцність скельних ґрунтів?

- а) опір на одновісне стиснення і розрив;
- б) кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення;

в) модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона.

3. Які чинники визначають міцність скельних ґрунтів?

- а) мінеральний склад;
- б) тип структурних зв'язків;
- в) вологість.

4. Наведіть методи визначення міцності скельних ґрунтів:

- а) одометричні випробування;
- б) зрізні випробування;
- в) роздавлювання кубиків ґрунту.

5. Як впливає ступінь звітності ґрунту на його міцність?

- а) підвищує міцність;
- б) знижує міцність;
- в) не впливає.

6. Як впливає зволоження ґрунту на його міцність?

- а) не впливає;
- б) підвищує;
- в) знижує.

7. Чи впливає розмір досліджуваного зразка на показник опору ґрунту на одновісне стиснення?

- а) впливає;
- б) не впливає;
- в) впливає в разі насичення водою.

8. Як впливає розмір зерен скельного ґрунту на його міцність?

- а) не впливає;
- б) підвищує;
- в) знижує.

9. Які показники характеризують міцність пухких ґрунтів?

- а) кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення;
- б) коефіцієнт Пуассона;
- в) коефіцієнт бічного розширення.

10. Які чинники визначають міцність піщаних ґрунтів?

- а) мінеральний і хімічний склад;
- б) щільність і розмір зерен;
- в) вологість і мінеральний склад.

11. Як впливає збільшення розміру частинок на міцність піщаного ґрунту?

- а) підвищує міцність;
- б) знижує міцність;
- в) не впливає.

12. Як впливає збільшення величини пористості на міцність піщаного ґрунту?

- а) не впливає;
- б) знижує;
- в) підвищує.

13. Якими чинниками зумовлена наявність зчеплення у ґрунтах?

- а) розміром частинок;
- б) мінеральним складом;
- в) наявністю структурних зв'язків.

14. Яким типам ґрунтів найбільше притаманне зчеплення?

- а) глинистим;
- б) піщаним;
- в) великоуламковим.

15. Чи залежить опір ґрунту на зсув від вертикального навантаження?

- а) ні;
- б) так;
- в) частково.

16. Які ґрунти мають найбільше значення кута внутрішнього тертя?

- а) великоуламкові;
- б) піщані;
- в) глинисті.

17. Які ґрунти мають найбільше значення питомого зчеплення?

- а) великоуламкові;
- б) піщані;
- в) глинисті.

18. Чи залежить величина міцності пухкого ґрунту від методики її визначення?

- а) залежить суттєво;
- б) залежить несуттєво;
- в) не залежить.

19. Чи залежить величина міцності глинистого ґрунту від вологості?

- а) не залежить;
- б) залежить суттєво;
- в) залежить несуттєво.

20. Яким лабораторним методом визначають міцність піщано-глинистих ґрунтів?

- а) методом зрізу ґрунту;
- б) одометричним методом;
- в) пікнометричним методом.

21. Назвіть лабораторний метод визначення щільності скельних ґрунтів:

- а) метод гідростатичного зважування;
- б) пікнометричний;
- в) гравіметричний.

22. Назвіть лабораторний метод визначення щільності піщано-глинистих ґрунтів.

- а) парафінування;
- б) метод ріжучого кільця;
- в) ареометричний.

23. Деформативність ґрунту – це:

- а) здатність ґрунту змінювати об'єм під впливом зовнішнього навантаження;

- б) здатність ґрунту чинити опір зовнішньому навантаженню;
- в) здатність ґрунту змінювати форму під зовнішнім впливом.

24. Наведіть основні показники, що характеризують деформаційні властивості скельних порід:

- а) модуль загальної деформації;
- б) модуль Юнга;
- в) модуль осідання.

25. Назвіть основний показник деформаційних властивостей пухких ґрунтів:

- а) загальний модуль деформації;
- б) коефіцієнт Пуассона;
- в) модуль просідання.

26. Чи належить до показників деформативності ґрунту коефіцієнт просідання?

- а) ні;
- б) так;
- в) частково.

27. Чи належить до показників деформативності ґрунту коефіцієнт набрякання?

- а) так;
- б) ні;
- в) частково.

28. Чи належить до показників деформативності ґрунту коефіцієнт консолідації?

- а) частково;
- б) ні;
- в) так.

29. Чи впливає на значення модуля деформації щільність ґрунту?

- а) ні;
- б) так;
- в) частково.

30. Як впливає на значення модуля деформації зростання вологості ґрунту?

- а) значення підвищується;
- б) значення знижується;
- в) не впливає.

31. Як впливає на значення модуля деформації зростання зернистості піщаного ґрунту?

- а) значення знижується;
- б) не впливає;
- в) значення підвищується.

32. Як впливає на значення модуля деформації збільшення консистенції ґрунту?

- а) значення знижується;
- б) не впливає;
- в) значення підвищується.

33. Що таке просадковість ґрунту?

- а) здатність ґрунту просідати від впливом навантаження;
- б) здатність ґрунту просідати внаслідок зволоження;
- в) здатність ґрунту просідати після заморозування.

34. Які товщі ґрунтів, що просідають, належать до типу І?

- а) з сумарним просіданням під власною вагою ґрунту < 5 см;
- б) з сумарним просіданням під власною вагою ґрунту < 10 см;
- в) з сумарним просіданням під власною вагою ґрунту < 20 см.

35. Які товщі ґрунтів, що просідають, належать до типу ІІ?

- а) з сумарним просіданням під власною вагою ґрунту < 5 см;
- б) з сумарним просіданням під власною вагою ґрунту > 5 см;
- в) з сумарним просіданням під власною вагою ґрунту < 20 см.

36. Назвіть основні методи лабораторного визначення просідання ґрунтів:

- а) метод трьох кривих;
- б) метод компресійних випробувань;
- в) метод двох кривих.

37. Чи впливає природна вологість ґрунту на величину просідання ?

- а) значно впливає;
- б) не впливає;
- в) впливає частково.

38. Що означає “початкова вологість просідання”?

- а) за перевищення цієї вологості ґрунт не просідає;
- б) за цієї вологості ґрунт починає просідати;
- в) за цієї вологості просідання ґрунту завершується.

39. Як впливає на просадковість ґрунту збільшення його щільності?

- а) просадковість збільшується;
- б) не впливає;
- в) просадковість зменшується.

40. Які одиниці вимірювання НЕ використовують при визначенні модуля деформації?

- а) кгс/см²;
- б) МПа;
- в) г/см³.

ГЛОСАРІЙ

Ареометричний метод – це метод визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів за допомогою ареометра.

Великоуламкові ґрунти – це незв'язні мінеральні ґрунти, які містять понад 50 % за масою частинок розміром > 2 мм.

Вологість ґрунту – це вміст певної кількості води, яка видаляється під час нагрівання ґрунту.

вагова (абсолютна) вологість – це співвідношення маси води, яку містить зразок ґрунту, до маси цього ґрунту, висушеного за $T = 105 \pm 2$ °С до сталої маси.

природна вологість, W – це кількість вільної й поверхнево зв'язаної води, що міститься в порах ґрунту за природних умов його залягання.

повна вологоємність, W_n – це така вологість, за якої всі пори в ґрунті заповнені водою.

відносна вологість, S_r – це співвідношення природної вологості до повної вологоємності.

Глинисті ґрунти – це зв'язні мінеральні ґрунти, яким притаманна пластичність.

Гранулометричний склад ґрунту – відносний вміст у ґрунті фракцій різного розміру, виражений у відсотках (щодо маси абсолютно сухого ґрунту).

ґрунт (від нім. Grund – основа) в інженерній геології – будь-які гірські породи, ґрунти й техногенні утворення як багатокомпонентні динамічні системи, що мають певні генетичні ознаки й є об'єктами інженерно-господарської діяльності людини.

ґрунт заторфований – пісок або глинистий ґрунт, що містить від 10 до 50 % органічних решток.

ґрунт техногенний – це природний ґрунт, змінений і переміщений внаслідок виробничої діяльності людини.

Деформаційні властивості ґрунтів виявляються у зміні форми й об'єму ґрунту під впливом на нього зовнішніх зусиль, які не приводять до руйнування ґрунту.

Дисперсні ґрунти – це ґрунти, що складені з окремих мінеральних частинок (зерен) різного розміру.

Діючий (ефективний) діаметр зерна – це розмір тих часток, вміст яких у ґрунті становить до 10 %.

Зразок ґрунту – будь-який об'єм ґрунту, що його відібрали для подальших досліджень.

Квартування проби ґрунту (англ. quartering, quartation, coning; нім. Quartscheidung) – це метод, що полягає у послідовному виконанні за встановленими правилами розподілу об'єднаної проби, розміщеної рівним шаром на площині у вигляді квадрату, з метою її зменшення для одержання аналітичної та контрольної проб.

Керн – це зразок (стовпчик) ґрунту, який утворюється внаслідок кільцевого руйнування ґрунту при вибої свердловини.

Коефіцієнт неоднорідності ґрунту, K_n – це співвідношення діаметру часток, менше від якого в ґрунті міститься (за масою) 60% часток до діаметру часток, менше від якого в ґрунті міститься 10% часток.

Компресія ґрунту – одновісне стиснення ґрунту за неможливості його бічного розширення.

Кут природного укосу, α – це кут нахилу поверхні вільно відсипаного незв'язного ґрунту до горизонтальної площини, або кут, за якого незакріплений піщаний укіс зберігає граничну рівновагу.

Кут внутрішнього тертя, φ – кут, який визначає залежність напружень зрізу від прикладених нормальних напружень і характеризує опір породи зрізу за рахунок тертя між частинками ґрунту.

Межа міцності на одновісне стиснення, R_c – це співвідношення вертикального навантаження на зразок ґрунту, за якого

відбувається його руйнування, до площі поперечного перерізу зразка.

Метод подвійного відкаламучування – метод визначення гранскладу, що ґрунтується на різниці швидкостей вільного падіння твердих часточок ґрунту під дією сили тяжіння в рідині.

Міцнісні властивості дисперсних ґрунтів зумовлені опором зсуву ґрунтів і виявляються у втраті міцності основи або порушенні стійкості земляних споруд.

Моноліт – зразок ґрунту, який залежно від мети вивчення і способу відбирання має збережені такими, як у масиві структуру, текстуру, щільність і природну вологість.

Мул – насичений водою сучасний органогенний ґрунт, що містить органічну речовину у вигляді рослинних залишків і гумусу.

Набрякання ґрунтів – це здатність їх збільшувати свій об'єм унаслідок взаємодії з водою або іншою рідиною.

вологість набрякання, W_{sw} – це така вологість, яку отримують після завершення набрякання зразка, обтиснутого в одометрі із заданим тиском (або за $p = 0$).

тиск набрякання, P_{sw} – це такий тиск на водонасичений і обтиснутий в одометрі ґрунт, за якого деформації набрякання дорівнюють нулю.

Питоме зчеплення, C – сили зчеплення між частками у зв'язних ґрунтах, зумовлені внутрішніми зв'язками (цементацийними, водно-колоїдними).

Пластичність – це здатність глинистого ґрунту під дією зовнішніх навантажень змінювати форму без утрати суцільності, а після припинення зовнішнього впливу зберігати цю форму.

верхня межа пластичності (чи межа текучості), W_L означає таку вологість ґрунту, за якої він переходить з пластичного стану в текучий.

нижня межа пластичності (або межа розкочування), W_p – вологість, за якої ґрунт переходить з пластичного у напівтвердий чи твердий стан.

число пластичності глинистих ґрунтів, I_p – це різниця між вологістю на межі текучості й вологістю на межі розкочування.

Пористість ґрунту – це сумарний об'єм усіх порожнин в одиниці об'єму ґрунту.

загальна пористість, n – це співвідношення об'єму пор до загального об'єму ґрунту.

коефіцієнт пористості, e – це співвідношення об'єму пор до об'єму твердої частини (або скелету) ґрунту.

Просадковість – це зменшення об'єму ґрунту в разі зволоження.

початковий просадковий тиск, P_{np} – це такий тиск, за якого відносна просадковість становить 0,01.

відносна просадковість, δ_{np} – це співвідношення зміни висоти шару ґрунту внаслідок замочування за заданого вертикального тиску до його товщини в природному заляганні (висоти зразка за природного тиску).

початкова (критична) вологість – це мінімальна вологість, за якої під діючим тиском відбувається просідання ґрунту.

Сапрпель – це прісноводний мул, який утворюється на дні водоймищ з продуктів розпаду рослинних і тваринних решток і містить понад 10 % (за масою) органічної речовини у вигляді гумусу й рослинних залишків.

Скельні ґрунти – це ґрунти, що складається з одного або декількох мінералів, які мають кристалічну будову, жорсткі структурні зв'язки конституційного чи кристалізаційного типу і залягають у вигляді суцільного або тріщинуватого масиву.

Стисливість ґрунтів – це здатність ґрунтів зменшуватись в об'ємі під дією зовнішнього тиску.

Ступінь розчинності у воді, q_{sr} – характеристика, що відображає здатність ґрунту розчинятись у воді; її виражають кількістю водорозчинних солей.

Ступінь водопроникності, K_f – це показник, який відображає здатність ґрунтів пропускати крізь себе воду; кількісно її відображають коефіцієнтом фільтрації.

Торф – органічний ґрунт, що утворюється внаслідок природного відмирання й розкладання різних рослин за умов високої вологості й нестачі кисню і містить понад 50 % (за масою) органічних речовин.

Усадка – це зменшення об'єму ґрунту внаслідок висихання.

відносна усадка, ε_{sh} – це об'ємне або лінійне зменшення розміру зразка при випаровуванні з нього вологи.

вологість на межі усадки, W_{sh} – це вологість ґрунту в момент різкого зменшення усадки; відповідає мінімальній пористості ґрунту.

Фракція – це група часток чи уламків ґрунту певного інтервалу розмірів.

Фізичні властивості ґрунтів – це характеристики фізичного стану ґрунтів у природному заляганні і при взаємодії з інженерними спорудами, які дозволяють якісно оцінювати їхню міцність та деформованість.

Щільність ґрунту – це маса одиниці об'єму ґрунту з урахуванням його пористості й вологості.

щільність сухого ґрунту, ρ_d – це співвідношення маси сухого ґрунту з непорушеною структурою (без води в порах) до об'єму, який займає цей ґрунт.

щільність часток ґрунту, ρ_s – це співвідношення маси сухого ґрунту без урахування пор до об'єму твердої частини цього ґрунту.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Волошин П.* Інженерна геологія : навч.-метод посіб. до вик. лаб. робіт (для студентів спеціальностей 101 – “Екологія” і 103 – “Науки про Землю”) / Укл. П. Волошин, Г. Бучацька, Н. Кремень. – Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2021. – 110 с.
2. ДСТУ Б В.2.1-11:2009. Методи лабораторного визначення властивостей набухання та усадки. – 2010. – 25 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу. – 2010. – 29 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-22:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання. – 2010. – 13 с.
5. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Класифікація. – К. : Укрархбудінформ, 1997. – 43 с.
6. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. – К. : Укрархбудінформ, 1997. – 102 с.
7. ДСТУ Б В.2.1-8-2001 (ГОСТ 12071-2000). Грунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків. – 2002. – 24 с.
8. ДСТУ Б.В.2.1-17: 2003. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. – 2003. – 36 с.
9. *Корнеєнко С. В.* Дослідження складу, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів: навчальний посібник / С. В. Корнеєнко / К., 2016. – 217 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/soils_properties.pdf
10. *Мельничук В. Г.* Інженерна геологія : навч. посібник / В. Г. Мельничук, Я. О. Новосад, Т. П. Міхницька. – Рівне : НУВГП, 2013. – 351 с.
11. *Мельничук В. Г.* Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інженерна геологія” студентами за напрямом підготовки 6.060101 “Будівництво” денної та заочної форм навчання / В. Г. Мельничук, Г. І. Бровко. – Рівне : НУВГП, 2013. – 27 с.

12. Федорчук Г. Ф. Механіка ґрунтів. Лабораторний практикум : навч. посібник / Г. Ф. Федорчук. – Рівне : НУВГП, 2004. – 141 с.
13. Холоденко В. С. Методичні вказівки до навчальної практики з дисципліни “Інженерна геологія та гідрогеологія” студентами за напрямом підготовки 6.170202 “Охорона праці” денної форми навчання / В. С. Холоденко. – Рівне : НУВГП, 2011. – 30 с.
14. ASTM D 2487-2000 Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
15. ISO 17892-4:2016. Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil – Part 4: Determination of particle size distribution