Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Геологічний факультет
Кафедра гідрогеології та інженерної геології

М.М. КОСТЮЧЕНКО, О.В. МОКІЄНКО

Лабораторний практикум із визначення фізичних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів

Посібник

Київ – 2013

УДК 624.131

Р е ц е н з е н т и :
канд. техн. наук, асистент А.В. Шостак
нач. відділу інженерних вишукувань
ДП «УКРДІПРОДОР» Яковенко М.П.

Рекомендовано до друку вченою радою
геологічного факультету
(протокол №5 від 23 грудня 2013 року)

Костюченко М.М., Мокієнко О.В.

Лабораторний практикум із визначення фізичних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів: посібник/ М.М.Костюченко, О.В.Мокієнко. – Інтернет-ресурс Київського університету. – geol.univ@kiev.ua. – 65 с.

У посібнику розглянуті основні поняття та сучасні методи визначення фізичних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів: вологості, щільності, пластичності, гранулометричного складу, коефіцієнта фільтрації, величини набухання та розмокання.

Для студентів геологічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 624.131

©Костюченко М.М., Мокієнко А.В., 2014

ЗМІСТ

Вступ……..5
Розділ 1. Основні поняття та визначення……6
1.1 Класифікації ґрунтів……..……...…6
1.2. Види води в гірських породах……..…….....10
1.3. Гранулометричний склад гірських порід……...…17
1.4. Пористість гірських порід……...…....22
1.5. Гідрофільтраційні властивості гірських порід..……....23
1.6. Фізичні властивості ґрунтів…….....…….....25
1.7. Фізико-хімічні властивості ґрунтів……..…….....…28
Розділ 2. Методика визначення показників фізичних
та фізико-хімічних властивостей ґрунтів…….....…33
Робота №1 Визначення вологості ґрунту……..……...…33
Робота № 2 Визначення вологості ґрунту на межі
текучості…….....……...…35
Робота №3 Визначення вологості ґрунту на межі
розкочування…….....……...…38
Робота №4 Визначення щільності ґрунту…….....……...…40
Робота №5 Визначення щільності скелету ґрунту
та щільності частинок ґрунту…….....…45

Робота №6 Визначення гранулометричного складу піщаних ґрунтів методом з промиванням водою……49
Робота №7 Визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів ареометричним методом шляхом вимірювання щільності суспензії в процесі її відстоювання…….....……...……52
Робота №8 Визначення коефіцієнту фільтрації незв'язних ґрунтів за допомогою трубки СПЕЦГЕО……..…..……...…56
Робота №9 Визначення величини набухання ґрунтів…….....……59
Робота №10. Визначення розмокання ґрунтів….....……..…62
Література…….....……..…64

ВСТУП

Лабораторні заняття є обов’язковою і важливою складовою частиною учбового процесу при вивченні студентами навчальної дисципліни “ Інженерна геологія “.

Головною метою практичних занять є закріплення та поглиблення знань, отриманих під час аудиторних занять в процесі вивчення теоретичних основ спеціальності.

На лабораторних заняттях студенти ознайомлюються з методами, приладами та обладнанням, які регламентуються відповідними чинними нормативними документами (вказаними в переліку літератури) і використовуються при вивченні фізичних та фізико-хімічних властивостей гірських порід.

Програмою лабораторних занять передбачається визначення таких найважливіших показників властивостей ґрунтів, як природної вологості W, вологості на межі текучості W_l, вологості на межі розкочування W_p, числа пластичності $I_p = W_l - W_p$, щільності ґрунту ρ, щільності скелету ґрунту ρ_d, щільності частинок ґрунту ρ_s, гранулометричного складу піщаних ґрунтів, гранулометричного складу глинистих ґрунтів, коефіцієнта фільтрації незв’язних ґрунтів $K_ф$ величини набухання та розмокання ґрунтів.

При виконанні лабораторних робіт значну увагу треба приділяти організації, раціональній послідовності проведення досліджень та обробці і інтерпретації отриманих результатів.

РОЗДІЛ 1. Основні поняття та визначення

1.1 Класифікації ґрунтів

Згідно діючого ДСТУ Б.В.2.1-2-96 ґрунтом є гірські породи, ґрунти рослинного шару, техногенні утворення, що являють собою багатокомпонентну та багатообразну геологічну систему та є об'єктом інженерно-господарської діяльності людини.

При класифікації ґрунтів використовуються такі таксономічні одиниці:

- **клас** - за загальним характером структурних зв'язків (скельні, дисперсні);
- **група** - за особливостями структурних зв'язків
- (скельні, напівскельні; зв'язні, незв'язні);
- **підгрупа** - за походженням та умовами утворення
- (інтрузивні, ефузивні, метаморфічні);
- **тип** - за речовим складом (силікатні, карбонатні, полімінеральні);
- **вид** - за найменуванням ґрунтів з урахуванням розмірів часток та показників властивостей (глини, піски);
- **різновиди** - за кількісними показниками речовинного складу, властивостей та структури ґрунтів:
  1. гранулометричним складом;
  2. числом пластичності;
  3. ступенем неоднорідності гранулометричного складу;
  4. показником текучості;
  5. відносною деформацією набухання;
  6. відносною деформацією просідання;
  7. коефіцієнтом водонасичення;
  8. коефіцієнтом пористості;
  9. ступенем щільності;
  10. коефіцієнтом вивітрілості;

11. коефіцієнтом стирання;
12. відносним вмістом органічної речовини;
13.ступенем розкладання ;
14. ступенем зольності;
15. ступенем засоленості;
16. відносною деформацією здимання;
17. температурою.

Існують і інші класифікації, серед них найважливіші відображені в таких нормативних документах, як європейський стандарт ISO 14688, класифікація ґрунтів США, міжнародна класифікаційна система World Reference Base for Soil Resources(WRB), та інші.

Згідно зі стандартом ISO 14688 розмір часток, є основою для класифікації мінеральних ґрунтів, де фракції зернистості допомагають ідентифікувати механічне поведінку ґрунту. Для кожної фракції та підфракції разом з обраним діапазоном зернистості використовуються прийняті для них терміни (символи). Базовими ґрунтами є ті ґрунти, які мають однорідний гранулометричний склад (тобто вони складаються з частинок одного розмірного діапазону). У назвах змішаних ґрунтів, що складаються з основних і вторинних фракцій, є іменник (головний термін), яке називає основну фракцію, а також одне або кілька прикметників (визначальні терміни), які називають вторинні фракції.

Ідентифікація ґрунтів доповнюється іншими показниками, включаючи стан ґрунту, вторинні складові частини, додаткові характеристики, такі як карбонатність, форма частинок, поверхнева нерівність часток, запах, а також всі загальні назви та геологічні класифікації.

Система класифікації ґрунтів, яка в даний час використовується в США, була розроблена Міністерством сільського господарства США в 1951 - 1975 роках. Система, опублікована під назвою ґрунтової таксономії (1975), була

розроблена для класифікації всіх у світі ґрунтів, а програма подальших досліджень ґрунтів припускала розробку більш точних визначень властивостей ґрунтів, що було неможливо на основі попередніх їх класифікацій.

Ґрунти класифікуються в шести ієрархічних категоріях. Від вищого рангу до нижчого (тобто в порядку зростання відмінних характеристик), це такі категорії: замовлення, підряду, велика група, підгрупа, сім'я і серія.

Замовлення відображають ґрунту певного генезису і вказують на наявність або відсутність основних діагностичних горизонтів. Підряди відображають властивості, які впливають на формування ґрунтів (наявність вологи, кліматичні умови) і важливі для росту рослин. Велика група відображає наявність або відсутність специфічних діагностичних ознак основного стану, температури і режими вологості ґрунту і розділяється на три підгрупи. Сім'ї виділяються на основі фізичних і хімічних властивостей.

Серії відрізняються характеристиками розташування горизонтів, кольором, текстурою, структурою, консистенцією, хімічними і мінералогічними властивостями горизонтів.

Міжнародна класифікаційна система - World Reference Base for Soil Resources (WRB), 2006 створена, як міжнародна мова ґрунтознавців, якого не було майже 100 років з початку історії генетичного ґрунтознавства. Більше 30 років знадобилося для створення міжнародної класифікації в сучасному вигляді.

Структура WRB успадкована від Легенди до ґрунтової карті Світу ФАО-ЮНЕСКО (1974) і, по суті, є продовженням розробки міжнародної системи, що дозволяє використовувати її для визначення класифікаційного положення ґрунтів різних регіонів світу.

Проект WRB існує з 1980 р., але для широкого обговорення був вперше опублікований в 1994 р. Перша офіційна версія прийнята на 16 конгресі ґрунтознавців у Монпельє в 1998 р. У

2006-2007 рр. вийшла друга редакція. Ретельне опрацювання проекту, зіставлення його з національними класифікаціями, прагнення максимально полегшити польову діагностику ґрунтів поступово зробили WRB широко використовуваною системою міжнародної класифікації ґрунтів.

WRB не є класифікацією в звичайному сенсі. Її основне призначення - кореляція національних ґрунтових класифікацій, створення загальнозрозумілого мови, не підміняє водночас національні системи.

Номенклатура WRB змішана. Тут використана традиційна термінологія наукових шкіл різних країн світу. Щоб уникнути плутанини слід пам'ятати, що визначення для цих термінів можуть бути іншими, ніж в класифікаціях - джерелах.

На відміну від російських систем класифікації ґрунтів, що використовують багаторівневу ієрархічну систему таксономічних одиниць, WRB має дворівневу, неієрархічну систему. На першому рівні виділяються 32 реферативні групи. Для визначення приналежності ґрунту до реферативної групи використовуються діагностичні горизонти і інші діагностичні ознаки. Система діагностичних горизонтів, запозичена з ґрунтової таксономії США (Soil Taxonomy), проте в процесі роботи над створенням Світової реферативної бази, перелік діагностичних горизонтів був дещо змінений і розширений, а деякі кількісні параметри спрощені в прагненні зробити класифікацію WRB більш зручною для польової роботи. Діагностичні горизонти відрізняються хімічними, фізичними, мінералогічними особливостями, характеристикою поверхні частинок, текстурою і кольором.

Для більш детальної характеристики ґрунтового профілю в WRB (2006) передбачені два списки кваліфікаторів (специфікаторів) уточнюючих назва реферативних ґрунтових груп. Визначення ґрунту за WRB складається з трьох етапів - кроків:

Крок 1. Визначення діагностичних горизонтів, ознак, матеріалу.

Крок 2. Визначення за ключем приналежність ґрунту до реферативної групи.

Крок 3. Визначення (вибір) кваліфікаторів (другий рівень класифікації).

Реферативні ґрунтові групи об'єднані в 10 «спільностей» наступним чином:

1) об'єднує ґрунту, з високим вмістом органічної речовини.

2) об'єднує всі штучні ґрунту.

3) об'єднує мінеральні ґрунту, чиї властивості значною мірою обумовлені особливостями материнської породи.

4) об'єднує мінеральні ґрунту, чиї властивості значною мірою визначено рельєфом місцевості.

5) об'єднує ґрунту, слаборозвинені в силу обмеженості періоду ґрунтоутворення або омолодження почвообразующей породи (наприклад, внаслідок ерозії).

6) об'єднує червоні і жовті ґрунти, типові для вологих тропічних і субтропічних регіонів.

7) об'єднує реферативні ґрунтові групи аридних і семіарідних областей, де перерозподіл карбонатів кальцію і гіпсу є важливим механізмом диференціації профілю на горизонти.

8) об'єднує ґрунту, що зустрічаються в степовій зоні.

9) об'єднує бурі і сірі ґрунти помірних гумідних областей.

10) об'єднує ґрунти областей поширення мерзлоти.

1.2. Види води в гірських породах

Практично всі гірські породи вміщують у собі воду, яка може знаходитись у твердому, рідкому, пароподібному, фізично або хімічно зв'язаному стані. З середини 30-х років аж до нашого часу було запропоновано багато різних класифікацій

води в гірських породах. О.Ф.Лебедєв на основі багаторічного досвіду запропонував класифікаційну схему видів води в гірських породах, яка з деякими переробками і доповненнями виглядає так:

Вода у вигляді пари.

Фізично зв'язана вода:

а) міцнозв'язана;

б) пухкозв'язана.

Вільна вода:

а) капілярна (капілярно-нерухома, капілярно-рухома, капілярно-легкорухома);

б) гравітаційна вода (інфільтраційна вода та вода водоносних горизонтів).

Вода у твердому стані.

Кристалізаційна та хімічно зв'язана вода.

Вода у вигляді пари

Значна частина пор і порожнин гірської породи заповнена підземною атмосферою, газовий склад якої не такий як наземної, але все ж таки вона утримує певну кількість водяної пари.

Силою, яка визначає напрямок переміщення пароподібної води, є пружність водяної пари. Пароподібна вода рухається від місць з більшою пружністю до місць з меншою пружністю.

Фізично зв'язана вода

а) Міцнозв'язана (гігроскопічна) вода утримується на поверхні частинок гірської породи електромолекулярними силами.

Тиск електромолекулярних сил досягає 10–20 тис. атм. За своїми властивостями зв'язана вода наближається до твердого тіла: щільність $\approx 2{,}0\frac{г}{см^3}$; температура замерзання $t = -78^0$ С;

розірвати зв'язки цієї води з часточками ґрунту можна за $t = +105–110^0$ С.

Стан, за якого частинки породи обволікаються суцільним шаром зв'язаної води, називається *максимальною гігроскопічністю*.

Гігроскопічна вологість визначається за формулою:

$$W_h = \frac{q_2 - q_3}{q_3 - q_1} 100\%,$$ де:

q_1 – вага бюкса;

q_2 – вага бюкса з повітряно-сухим ґрунтом;

q_3 – вага бюкса з ґрунтом, висушеним при $t = +105–110^0$ С.

Гігроскопічна вода вкриває частинки гірської породи навіть за дуже низької вологості, її не слід плутати з конденсаційною, яка утворюється тільки при пересиченні підземної атмосфери водяною парою.

б) пухкозв'язана (плівкова) вода теж утримується на поверхні частинок гірської породи внаслідок дії електромолекулярних сил, вона обволікає частинки в декілька рядів молекул. Товщина плівки становить $\approx$ 0,0005 мм. Вона теж не зазнає дії сили тяжіння.

Пухкозв'язана вода не заповнює цілком пори гірської породи і тому не передає гідростатичного тиску.

Ця вода замерзає за $t < 0^0$ С, вилучається при нагріванні до $t = +105–110^0$ С. Вона може переміщуватися від товстіших плівок до тонших.

Максимальна кількість води, що здатна утримуватися на частинках гірської породи у вигляді плівки, називається ***максимальною молекулярною вологоємністю*** (ММВ):

Вид ґрунту, переважаючий	d **, мм**	**ММВ, %;**
Крупнозернистий пісок	1,0–0,5	1,57;
Дрібнозернистий пісок	0,25–0,1	2,73;
Супісок	0,05–0,005	10,18;
Глина	$<$ 0,005	44,85

Плівкова вода, як і гігроскопічна, не засвоюється кореневою системою рослин.

Вільна вода

При насиченні гірської породи водою в кількості, що перевищує максимальну молекулярну вологоємність, залишки води переходять у групу вільної (незв'язаної) води.

а) капілярна вода.

При незначному перевищенні ММВ зайва вода знаходиться в кутах між частинками породи й утримується силою поверхневого натягу, яка перевищує силу земного тяжіння. Така вода не має змоги рухатися. Це – капілярна нерухома вода.

При повному насиченні пор водою утворюється капілярна рухома вода або капілярно-підвішена вода. Капілярна рухома вода підпорядковується як дії сил тяжіння, так і дії сили поверхневого натягу. Досліди показують, що капілярно-підвішена вода може утворюватися в породі, складеній зернами розміром d $<$ 2-2,5 мм.

Капілярно-легкорухома вода сполучається з поверхнею води підземного водоносного горизонту. Оскільки вона заповнює пори ґрунту, то й передає гідростатичний тиск і наближається за властивостями до гравітаційної води, проте зберігає деякі властивості зв'язаної води: замерзає за $t < 0^0$ С. Легко засвоюється рослинами.

б) гравітаційна вода.

Гравітаційна вода заповнює всі пори і порожнини, передає гідростатичний тиск, підпорядкована виключно силам земного тяжіння і не залежить від сил поверхневого натягу чи електромолекулярних сил. Гравітаційна вода є основним об'єктом гідрогеологічних досліджень. Рухається вода під дією власної ваги, утворюючи підземні потоки і басейни напірних вод.

Вода у твердому стані

Вода у твердому стані міститься в гірських породах, температура замерзання $t = 0^0$ С і нижче.

При замерзанні гірської породи не вся вода переходить у твердий стан: гігроскопічна та плівкова замерзає за досить низьких температур (до -78^0 С).

У середніх широтах земної кулі промерзання ґрунтових шарів – сезонне явище, а в приполярних та високогірних областях зустрічаються величезні площі, зайняті багаторічною мерзлотою, яка існує багато сотень і тисяч років.

Кристалізаційна та хімічно зв'язана вода

Кристалізаційна вода у вигляді молекул H_2O є складовою частиною кристалізаційної решітки деяких мінералів. При нагріванні гіпсу до $t \approx 400^0$ С вода видаляється, гіпс перетворюється в ангідрит:

$$CaSO_4 \cdot H_2O \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$$

Цеолітна вода подібна, але відношення числа молекул H_2O до числа молекул безводної речовини може змінюватися в ній в широких межах без порушення фізичної однорідності речовини. Прикладом мінералу, що утримує цеолітну воду, є опал $SiO_2 \cdot nH_2O$.

Конституційна або хімічно зв'язана вода є складовою частиною кристалізаційної решітки мінералів у вигляді іонів H^+ та OH^-. При нагріванні до $t \approx 500^0$ С решітка руйнується і перебудовується, прикладом мінералів що утримують конституційну воду, є діаспор $AlO(OH)$; мусковіт

$KAl_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]$.

За класифікацією Р.І. Злочевської (1988) вода в гірських породах може відноситися до трьох категорій: зв'язаної, перехідного типу та вільної (табл. 1).

Таблиця 1. **Класифікація води у гірських породах (за Р.І. Злочевською, 1988)**

Категорія (тип) води	Вид і різновид води
1.Зв’язана вода.	1. Вода кристалічної решітки мінералів (конституційна, кристалічно-зв’язана). 2. Адсорбційна вода (мономолекулярна та полі мінеральної адсорбції).
2. Вода перехідного типу (від зв’язаної до вільної).	1. Осмотично-поглинена вода. 2. Капілярна вода (капілярної конденсації і капілярного вбирання).
3. Вільна вода.	1. Замкнута в крупних порах. 2. Текуча.

Відповідно до цієї класифікації, зв'язана вода утримується в породі за рахунок хімічних і фізичних сил зв'язку (з енергією 0,1 - 800 кДж/моль), що діють з боку поверхні мінералів і змінюють структуру і властивості води. Вона буває двох видів.

До першого відноситься вода, що входить до складу кристалічних решіток різних мінералів. Це так звана конституційна, не молекулярна форма води, кристалізаційна вода різних кристалогідратів (якщо вони є в даній гірській породі), а також вода, "зв'язана" координаційно- ненасиченими атомами та іонами кристалічної решітки мінералів. До другого виду належить адсорбційна вода, що утворюється за рахунок адсорбційного "тяжіння" молекул води до активних адсорбційних центрів поверхні мінералів. Серед неї виділяються два різновиди

а) з найбільшою енергією тяжіння до поверхні (близько 40 - 120 кДж / моль) – вода мономолекулярної адсорбції і

б) з меншою енергією зв'язку (< 40 кДж / моль) – вода полімолекулярної адсорбції .

Зв'язана вода утворює адсорбційні плівки товщиною в один або кілька молекулярних шарів і в гірських породах міститься в порах або мікротріщинах розміром менше 0,001 мкм.

Вода перехідного типу (від зв'язаної до вільної) у меншій мірі піддається дії поверхневих сил, вона утримується поблизу поверхні мінералів за рахунок більш слабких зв'язків. Тому її структура менш спотворена, а відмінності у фізичних властивостях порівняно з вільною водою менш значні або майже не істотні. У межах цього типу виділяється два види води: осмотично - поглинена і капілярна .

Перший вид утворюється в гірських породах за рахунок процесів вибіркової дифузії молекул води в напрямку до мінеральної поверхні, зумовленої наявністю в останньої "іонної атмосфери" - так званого подвійного електричного шару, що складається зазвичай з катіонів порового розчину, "компенсуючих" негативний заряд мінеральних часток. Подвійний електричний шар має дві частини : внутрішню - адсорбційний шар, і зовнішню - дифузний шар. Концентрація катіонів експоненціально збільшується по нормалі до мінеральної поверхні і це обумовлює наявність градієнта концентрації, що викликає "осмотичне" пересування молекул води з об’єму вільного порового розчину в межі подвійного електричного шару.

"Осмотичною" цю воду назвали тому, що її утворення пов'язане з явищем мікроскопічного поверхневого осмосу, що нагадує звичайний макроскопічний осмос - рух води через напівпроникну мембрану (тобто пропускає відносно малі за розміром молекули води, але не пропускає крупніші катіони) під дією градієнта концентрації. У гірських породах роль цієї

"напівпроникної мембрани" виконує зовнішня межа подвійного електричного шару. З цією категорією води тісно пов'язана здатність багатьох глинистих порід набухати - збільшувати свій об'єм при вбиранні вологи.

Другий вид води перехідного стану - це капілярна вода. Вона утворюється в порах капілярного розміру (діаметром від 10 - 3 до 103 мкм) за рахунок капілярного тиску і утримується в гірській породі капілярними силами водних менісків (силами поверхневого натягу), що утворюються на межі фаз вода-повітря-тверда поверхня. Капілярні сили практично не змінюють структури води і тому капілярна вода за основними фізичними властивостями практично не відрізняється від вільної. Вона може формуватися в гірських породах двояко:

а) за рахунок так званого явища капілярної конденсації, коли молекули води поступово конденсуються на поверхні плівки адсорбованої вологи, огортає частинки породи, і, зливаючись в місцях контакту, утворюють водні меніски.

б) за рахунок капілярного вбирання води по сполучених порам, тріщинах і каналах при контакті породи з вільною водою.

До третього типу відноситься власне вільна вода, що має фізичними властивостями звичайної води. У гірських породах вона поділяється на два види:

а) вода, яка замкнута (іммобілізована) у великих порах породи і тому не бере участь у процесах фільтрації підземних вод.

б) текуча вільна вода (вода ґрунтового потоку).

1.3. Гранулометричний склад гірських порід

При гідрогеологічних дослідженнях одним із важливих показників, що характеризує фільтраційні властивості гірських порід, є їхній гранулометричний склад.

Гранулометричний склад характеризує осадові породи щодо їх дисперсності, тобто розмірів частинок, що їх складають. При дослідженнях гранулометричного складу порід складові

частинки прийнято поділяти на групи різних розмірів – фракції, розмір фракцій вимірюється в міліметрах. За даними гранулометричного складу вивчаються колекторські властивості ґрунтів, водопроникність тощо.

Гранулометричний склад гірських порід вивчається в лабораторних умовах різними методами, основними з яких є ситовий і піпеточний методи.

Ситовий метод. Цим методом за допомогою набору сит з отворами 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм вивчають, головним чином, піщані ґрунти. Щоб визначити вміст окремих фракцій в гірській породі, набір сит ставлять на піддон, беруть 200–500 г (до 2 кг) сухого піску, висипають на верхнє сито, закривають кришкою і просівають.

Відсотковий вміст кожної фракції визначають за формулою: $P = \frac{q}{Q} 100\%$.

Таблиця 2. **Класифікація гранулометричних фракцій (назва фракцій, частинок, мм)**

Валуни і каміння	
Великі	> 800
Середні	800–400
Дрібні	400–200
Галька і щебінь	
Великі	200–100
Крупні	100–60
Середні	60–40
Дрібні	40–20
Гравій і дресва	
Крупні	20–10
Середні	10–4
Дрібні	4–2

Продовження *таблиці 2*

Піщані частинки	
Великі	2–1
Крупні	1–0,5
Середні	0,5–0,25
Дрібні	0,25–0,1
Дуже дрібні	0,1–0,05л
Пилуваті частинки	
Крупні	0,05–0,01
Дрібні	0,01–0,001
Глинисті	<0,001

Для визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів використовуються піпеточний та ареометричний методи, що ґрунтуються на закономірностях падіння частинок ґрунту у воді: за формулою Стокса:

$$V = \frac{2}{9} q r^2 \frac{\rho_s - \rho_w}{\mu},$$

де: V – швидкість падіння частинок ґрунту у воді;

q – прискорення сили тяжіння;

r – діаметр частинок ґрунту;

ρ_s – щільність часток ґрунту;

ρ_w – щільність води;

μ – коефіцієнт в'язкості води.

Піпеточний метод. Поділ частинок ґрунту на фракції заснований на різній швидкості осідання їх у воді. Вміст фракцій визначають відбором проби піпеткою з приготовленої суспензії з відповідної глибини і через відповідні проміжки часу. Суспензію з піпетки зливають у зважений бюкс, воду випаровують, осад висушують і зважують на аналітичних терезах.

Ареометричний метод полягає у вимірюванні щільності суспензії в процесі її відстоювання. Знімаючи показання ареометра і користуючись спеціальною номограмою, визначають частинок та їх відсотковий склад.

Результати гранулометричного аналізу зображують у вигляді циклограм, діаграм, графіків – кривих однорідності (рис1).

Криві однорідності будують у прямокутних координатах у звичайному або напівлогарифмічному масштабі. За характером кривої можна судити про однорідність гірської породи, визначити відсотковий вміст фракцій в межах будь-яких діаметрів, а також діючий або ефективний діаметр, що дає змогу кількісно оцінити неоднорідність породи за допомогою коефіцієнта неоднорідності.

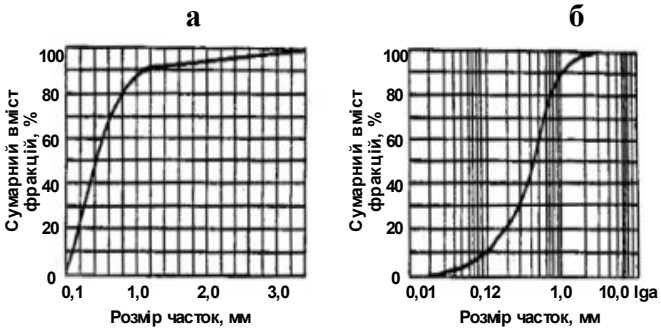

Рис. 1. Крива гранулометричного складу в простому масштабі (а): $d_{еф}$ = 0,12 мм;
l = 0,54 мм; f = 4,5.
Крива гранулометричного складу в напівлогарифмічному масштабі (б): $d_{еф}$ = 0,12 мм; l = 0,50 мм; f = 4,2

Під діючим (ефективним) діаметром $d_{еф}$ розуміють діаметр частинок, який на кривій гранулометричного складу перетинається з лінією 10 %. Коефіцієнт неоднорідності виражають як

$$C = \frac{d_{60}}{d_{еф}}.$$

За величиною $d_{еф}$ можна визначити коефіцієнт фільтрації за формулою Хазена: $K = cd_{еф}^{2}\left(0,70 + 0,03T\right)$,

або за формулою Сліхтера: $K = 88,3d_{еф}^{2}m\frac{1}{\mu}$.

У гідрогеології та ґрунтознавстві існує декілька класифікацій осадових порід за гранулометричним складом. Однією з таких є класифікація В.В.Охотіна (табл. 2).

***Таблиця 3*. Гранулометрична класифікація ґрунтів (за В.В.Охотіним)**

Ґрунт	**Різновиди ґрунту**	**Вміст фракцій, у % за вагою**			
		Глинистих 0,002 мм	**пилуватих 0,05–0,002 мм**	**піщаних 0,05–2,0 мм**	**гравійних 2–40 мм**
Глина	Важка глина	>60	не регламентується	не регламентується	<10
	глина	60–30			
Суглинок	Важкий	30–20	менше, ніж піщаних і гравійних разом		<10
	Середній	20–15			
	Легкий	15–10			
Пилуватий суглинок	Важкий	30–20	більше, ніж піщаних і гравійних разом	не регламентується	<10
	Середній	20–15			
	Легкий	15–10			
Супісок	Важкий крупний	10–5	<30	50	<10
	Легкий крупний	5–2		50	
	Важкий дрібний	10–5		50	
	Легкий дрібний	5–2		50	

Продовження *таблиці 3*

Пилуватий супісок	Важкий	10–5 <5	30	не регламентується	<10
Пісок	Крупний Середній Дрібний	<2	<10	Частинок, грубіших від 0,5 > 50 % 0,25 > 50 % 0,25 < 50 %	<10
Пилуватий пісок	Пилуватий	<2	10–30	не регламентується	<10
Гравій	Крупний Дрібний	не регламентується		Частинок, грубіших від 2 мм > 50 % Частинок 4>35 % 2>50 % 4<35 %	

1.4. Пористість гірських порід

Підземні води накопичуються і циркулюють у порожнинах гірських порід, кількість, величина і форми яких можуть бути різними залежно від характеру самих порід. Це можуть бути тріщини, канали, каверни, печери, пори. Пори або пористість найбільш характерні для осадових порід і є результатом нещільного прилягання твердих часток. Величина пористості визначається як відношення об'єму пор до загального об'єму зразка породи:

$$n = \frac{Vp}{V} = \frac{V_p}{Vp + Vs}.$$

Виражається пористість найчастіше у відсотках. Крім того, пористість може бути виражена через коефіцієнт пористості.

Коефіцієнт пористості визначається як відношення об'єму пор до об'єму твердої компоненти (скелета):

$$\varepsilon = \frac{V_P}{V_S}, \varepsilon = \frac{\rho_S - \rho_d}{\rho_d}.$$

1.5. Гідрофільтраційні властивості гірських порід

Водопроникність – це здатність гірських порід пропускати крізь себе воду. Водопроникність залежить головним чином від величини порожнин (пор, тріщин, каверн тощо), по яких рухається вода, а не від загальної пустотності – пористості. Так, наприклад, глина, пористість якої нерідко сягає 60 %, практично є водотривкою (неводопроникною), а пісок, пористість якого до 30 %, має добру водопроникність.

За ступенем водопроникності гірські породи поділяються на:

Водопроникні: галька, гравій, пісок крупнозернистий чистий, закарстовані та тріщинуваті породи з відкритими тріщинами;

Напівпроникні: глинисті піски, торф, скельні й напівскельні тріщинуваті й закарстовані породи, пустоти в яких заповнені дрібнозернистими та глинистими частинками;

Практично непроникні (водотривкі) – безтріщинні масивно кристалічні породи і глини.

Водопроникні властивості гірських порід характеризуються коефіцієнтом фільтрації, який визначається як швидкість фільтрації при гідравлічному градієнті, рівному одиниці. Для визначення коефіцієнта фільтрації користуються польовими методами (відкачка, закачування води в свердловини, налив води в шурфи), лабораторними методами (за допомогою трубки СПЕЦГЕО) та емпіричними залежностями (за формулами Хазена, Сліхтера).

Фільтрація (рух води в ґрунтах під дією перепаду тиску) у повністю водонасичених ґрунтах при ламінарному режимі течії описано законом Дарсі:

$$V = K\frac{\Delta H}{l} = KI \ .$$

Капілярні властивості мають важливе значення при оцінці іригаційних, будівельних властивостей гірських порід і залежать від розмірів пор, щільності води, мінералогічного складу тощо. Висота капілярного підняття тим більша, чим більш дрібнозерниста порода. Граничну висоту капілярного підняття в породах різного гранулометричного складу можна обчислити приблизно за формулою Козені:

$$H_k = 0,446\frac{1-n}{n}\frac{1}{d_{еф}} \ .$$

Водовіддачею називається здатність гірської породи, насиченої водою, віддавати певну кількість води при наявності вільного стоку. Відношення об'єму стікаючої гравітаційної води до об'єму всієї породи називається коефіцієнтом водовіддачі.

Водовіддача гірських порід визначається гранулометричним складом, або розміром і станом тріщин та порожнин для кристалічних порід.

Майже всю воду при вільному стіканні віддають галечнику та гравійні гірські породи. У дрібнозернистих, глинистих пісках значна частина води залишається у вигляді гігроскопічної, плівкової та капілярної. Глини, якщо вони не мають макропор, майже всю воду утримують.

Таблиця 4. **Середні значення коефіцієнта водовіддачі для різних пісків**

Крупнозернисті, гравелисті піски	0,25–0,35
Середньозернисті піски	0,2–0,25
Дрібнозернисті глинисті піски	0,15–0,20
Тонкозернисті піски та суглинки	0,10–0,15

Майже всі лабораторні методи визначення водовіддачі базуються на використанні принципу високих колон, коли в колону заввишки 100-150 см, виготовлену з органічного скла, завантажують досліджуваний ґрунт. Знизу колона має сітчасте дно, яке дає змогу насичувати ґрунт водою і вільно стікати їй, а також утримує ґрунт у колоні. Після завантаження колони ґрунтом його насичують водою, а потім дають воді вільно стекти. Узявши зразки ґрунту з верхньої частини колони, визначають вологість, яку й прирівнюють до найменшої вологомісткості НВ. Водомісткість ґрунту в нижній частині колони прирівнюють до повної водомісткості ПВ. Водовіддачу визначають як різницю між ПВ і НВ.

1.6. Фізичні властивості ґрунтів

До фізичних властивостей відносяться: вологість ґрунту, щільність, пористість.

Під ***вологістю ґрунту*** розуміють вміст в її порах, тріщинах тієї чи іншої кількості води. Уся вода, яка є в породі в природних умовах, називається природною вологістю ґрунту. Як правило, вологість виражають відношенням ваги води, яка вміщується в породі, до ваги сухої породи (вагова вологість) у відсотках:

$$W = \frac{q_в}{q_c} 100\% .$$

Для визначення вологості в лабораторних умовах зважений зразок ґрунту висушують при температурі 100–105^0 С. Віднімаючи від ваги зразка до висушування його вагу після висушування, отримуємо вагу води в зразку ґрунту. Відношення її до ваги сухого зразка, помножене на 100 %, і є шуканою величиною. Розрізняють ще відносну вологість, або ступінь вологості, яка показує, яку частину об'єму пор у ґрунті займає вода.

Вплив природної вологості на міцність ґрунтів змінюється залежно від типу ґрунтів. У піщаних ґрунтах вологість впливає на міцність і стійкість в дрібнозернистих і глинистих їхніх різновидах. На оцінку властивостей середньо- і крупнозернистих пісків, а також уламкових порід вологість практично не впливає.

У глинистих ґрунтах спостерігається різка зміна властивостей зі зміною вологості. Сухі глини поводять себе як тверді тіла. При збільшенні вологи вони поступово втрачають міцність, переходять у м'який стан аж до розтікання, тобто повністю втрачають міцність. Практично вологість не впливає на властивості гірських порід з жорсткими зв'язками (скельних, частково напівскельних).

Щільністю скелета ґрунту називається маса одиниці об'єму твердих часток (скелета) ґрунту (ρ_s). Визначається він як відношення маси твердої частини ґрунту до її об'єму і виражається в г/см^3. Щільність скелета ґрунту залежить тільки від мінеральної складової ґрунту і збільшується зі збільшенням у ґрунті важких мінералів. Для більшості піщано-глинистих ґрунтів щільність скелета знаходиться в межах 2,5–2,8 г/см^3.

Щільністю ґрунту називається відношення маси ґрунту (включаючи масу води в його порах) до об'єму, який займає цей ґрунт. Визначається щільність на зразках з непорушеною структурою і природною вологістю:

$$\rho = \frac{q_г}{V_г}.$$

Для визначення щільності піщано-глинистих ґрунтів найчастіше використовують метод ріжучих кілець та метод парафінування. Для більшості дисперсних ґрунтів щільність змінюється в межах 1,5–2,2 г/см^3.

Розрізняють ще поняття ***щільність сухого ґрунту*** – відношення маси сухого ґрунту з непорушеною структурою до

об'єму, який він займає. Воду із зразка видаляють висушуванням при температурі 100–105^0 С. Обраховують щільність сухого ґрунту за формулою:

$$\rho_д = \frac{q_c}{V_г}.$$

Значення щільності сухого ґрунту для більшості ґрунтів знаходиться в межах 1,3–1,85 г/см^3.

На такі властивості ґрунтів, як водопроникність, стискання, міцність, щільність будови пісків великий вплив має пористість. Про її природу нами було сказано в розділі "Гідрогеологія". Що стосується ґрунтів скельних і напівскельних, то тут значно більшу роль відіграє тріщинуватість, яку можна характеризувати як додаткову пористість, що виникає в породах у результаті тектонічних рухів та екзогенних процесів (вивітрювання, зсувних, просідання денної поверхні тощо). При інженерно-геологічному вивченні тріщин і тріщинуватості необхідно в першу чергу встановити походження переважаючих систем тріщин, тому що від генетичного типу тріщин залежать їхні особливості – густота, переважаючий напрямок, глибина розповсюдження, ширина, характер заповнювача, які визначають фізико-механічні властивості порід у зразку і в масиві. Л.І.Нейштадт виділяє такі основні генетичні типи: первинної окремості, напластування, тектонічні, вивітрювання. Для кількісної оцінки тріщинуватості ґрунтів Л.І.Нейштадт запропонувала – ***коефіцієнт тріщинної пустотності*** (K), під яким вона розуміє відношення площі тріщин на ділянці, що вивчається, до площі всієї ділянки, виражений у відсотках:

$$K = \frac{S_{тр}}{S_д} 100\%.$$

Залежно від величини коефіцієнта тріщинної пустотності K усі ґрунти поділяються на:

слаботріщинуваті при К = 2 %;

середньотріщинуваті при К = 2–5 %;

сильнотріщинуваті при К = 5–10 %;

дуже сильнотріщинуваті при К = 10–20 %;

виключно сильнотріщинуваті при К > 20 %.

Крім того, про величину тріщинуватості можна судити за відсотком виходу керна при бурінні, за водопоглинанням чи водоприпливом у свердловини тощо. За шириною тріщини поділяються на:

тонкі	< 1 мм;
дрібні	1–5 мм;
середні	5–20 мм;
великі	20–100 мм;
дуже великі	> 100 мм.

Вивчаються тріщини і тріщинуватість в інженерній геології за спеціальними методиками, які викладаються в курсі "Методика інженерно-геологічних досліджень".

1.7. Фізико-хімічні властивості ґрунтів

Ми вже знаємо, що вода впливає на стан та властивості ґрунтів. З водою пов'язано виникнення і розвиток різних фізико-геологічних та інженерно-геологічних процесів і явищ. Особливо вода впливає на стан і властивості глинистих порід. За незначної вологості ці породи знаходяться у твердому стані, при зволоженні вони розм'якшуються, при дуже значному перезволожені можуть переходити в текучий стан. Ці зміни фізичного стану глинистих ґрунтів характеризуються певними формами консистенції. При цьому під *консистенцією* розуміють ступінь рухомості часток, які складають глинисту породу під впливом зовнішньої механічної дії за різної вологості.

Виділяють три види консистенції: тверду, пластичну і текучу. А також проміжні – напівтверду, тугопластичну, м'якопластичну і текучопластичну. Межами зміни форм консистенції є певні значення вологи, які визначають момент переходу ґрунту з одного стану в інший. Визначають ці межі як відношення маси води в ґрунті до маси сухого ґрунту, виражені у відсотках і називають межами різних форм консистенції, а в практичній інженерній геології – межами пластичності (верхня і нижня).

Верхня межа пластичності, або *межа текучості*, – це значення вологості, при якій ґрунт переходить з пластичного стану в текучий (W_l). Нижня межа пластичності, або *межа розкочування*, – це значення вологості, при якій ґрунт переходить з пластичного стану у твердий (W_p). Різниця між верхньою і нижньою межами пластичності називається *числом пластичності* ($I_p = W_l - W_p$). Це інтервал вологи, у межах якого ґрунт знаходиться в пластичному стані. *Пластичністю* ми будемо називати здатність деяких ґрунтів змінювати свою форму – деформуватися під впливом зовнішніх зусиль без розриву суцільності й зберігати цю форму після припинення дії цих сил. Пластичні властивості мають тільки глинисті ґрунти. Серед факторів, що можуть впливати на пластичність ґрунтів, слід назвати: гранулометричний склад, мінералогічний склад, форму часток, склад обмінних катіонів, хімічний склад порового розчину.

За числом пластичності дисперсні ґрунти прийнято поділяти на:

супіски при числі пластичності	1–7
суглинки	7–17
глини	>17

Перевага такої класифікації, порівняно з класифікацією за гранулометричним складом, полягає в тому, що коагуляція може дуже спотворювати вміст глинистої фракції у зв'язку з

утворенням агрегатів, а це може призводити до помилкового визначення типу ґрунту (супісок замість суглинку, суглинок замість глини).

Визначаються верхня і нижня межі пластичності в лабораторних умовах на зразках з порушеною структурою. Нижня межа визначається методом розкочування ґрунту в джгутики товщиною 3мм. Вологість, при якій ці джгутики будуть ламатися, втрачаючи здатність деформуватися пластично, вважається нижньою межею пластичності. Верхня межа пластичності визначається за допомогою балансирного конусу А.М.Васильєва. За допомогою конуса визначається вологість ґрунту, при якій консистенція така, коли балансирний конус (кут загострення 30^0, вага 76г) занурюється в ґрунт на 10мм за 5 с.

Деякі ґрунти при взаємодії з водою можуть змінювати свій об'єм. Ця властивість ґрунтів називається *набуханням*. Таку властивість мають глинисті ґрунти, а також деякі слабозцементовані осадові породи з глинистим цементом. При набуханні відбувається збільшення пористості ґрунту та його вологості у зв'язку зі збільшенням товщини гідратних оболонок на поверхні глинистих часток. Величина набухання залежить від співвідношення між концентрацією солей в поровому розчині та у вільній воді, що діє на ґрунт. Максимальне набухання спостерігається в дистильованій воді. Якщо концентрація солей порового розчину і вільної води буде однаковою, то набухання взагалі не буде. Для характеристики набухання користуються такими показниками, як: величина набухання – збільшення об'єму набухлого ґрунту відносно початкового; тиск набухання – тиск, який розвивається в ґрунті при набуханні. Процес набухання відіграє певну роль при розкритті глинистих порід в котлованах, гірничих виробках, при будівництві каналів та інших гідротехнічних споруд.

При видаленні води з ґрунтів іноді спостерігається зворотний процес – зменшення об'єму ґрунту. Цей процес називається

усадкою. Він характерний для глинистих ґрунтів і ґрунтів з глинистим цементом. Усадка супроводжується утворенням тріщин, що призводить до зниження міцності ґрунтів, збільшення водопроникності, зменшення стійкості ґрунтів на схилах та в бортах штучних виїмок. Усадка може бути ***об'ємною*** або ***лінійною***. Визначаються вони відповідно відношенням зменшення об'єму або довжини зразка до його початкового об'єму чи довжини, виражених у відсотках:

$$\Delta V = \frac{V_o - V_y}{V_o} 100\% \,, \quad \Delta L = \frac{L_o - L_y}{L_o} 100\% \,.$$

Визначати усадку рекомендується паралельно на зразках з порушеною і непорушеною структурою.

Ще однією з важливих характеристик ґрунтів, зумовлених взаємодією їх з водою є ***липкість***. Під липкістю розуміють здатність зв'язних ґрунтів за певної вологості налипати на різні предмети, які контактують з ними. Липкість зумовлюється силами відриву, які виникають на межі розділу "ґрунт – побічний предмет", тобто між частками ґрунту, оточеними гідратними оболонками, і поверхнею побічного тіла. Виражається вона в паскалях і визначається в лабораторних умовах на приладі В.В.Охотіна. Максимальна величина липкості для даного ґрунту досягається при вологості, яка відповідає границі липкості й лежить між межею текучості та межею розкочування.

Деякі ґрунти при взаємодії з водою взагалі можуть руйнуватися, втрачаючи суцільність і міцність. Ця властивість ґрунтів називається ***розмоканням*** і відбувається воно в результаті ослаблення або руйнування внутрішніх зв'язків. До таких ґрунтів належать у першу чергу леси і лесоподібні суглинки, солонці, пилуваті ґрунти. Як і інші водно-фізичні властивості, розмокання залежить від мінералогічного складу, складу увібраного комплексу, характеру внутрішніх зв'язків, а також від початкової вологості ґрунтів. Розмокання опосередковано характеризує невисоку ущільненість ґрунтів, низьку міцність внутрішніх

зв'язків, схильність до просідання. Характеризують розмокання швидкістю розмокання (часом), вологістю зразка, що розмокає, і характером розпаду зразка у воді.

РОЗДІЛ 2. Методика визначення показників фізичних та водно-фізичних властивостей ґрунтів

Робота №1 Визначення вологості ґрунту

Відомо, що ґрунти можуть містити в собі різні види води, причому в різних кількісних співвідношеннях для різних типів ґрунтів. В даній роботі ми будемо визначати тільки вагову вологість гірських порід, яка виражається відношенням маси води, видаленої з ґрунту при висушуванні до маси висушеного ґрунту за температури $105^0 \pm 2^0 C$ (температура сталої маси). Метод, за допомогою якого визначається вологість ґрунтів, є відносно простим серед інших методів лабораторного визначення фізичних характеристик ґрунтів.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис.2.): сушильна шафа (1), технічні ваги (2), ексикатор (3), алюмінієві бюкси, пронумеровані (4).

Рис.2. Обладнання для проведення досліду по визначенню вологості ґрунту:

Хід роботи

1. Алюмінієві бюкси необхідно попередньо зважити.Два бюкси необхідні для того, щоб визначити середнє значення вологості для одного зразка ґрунту.

2. Переконавшись в тому, що наданий для досліду зразок ґрунту зберігається в герметичній упаковці (наприклад, поліетиленовий мішечок), розкрити його і ретельно перемішати для того, щоб волога була розподілена по всьому зразку однаково. Відібрати зі зразка проби ґрунтув два бюкси вагою 15-50г, закрити бюкси кришечкою. Зважити бюкси разом з відібраним ґрунтом.

3. Далі відкриті бюкси разом з кришечкою ставлять до сушильної шафи і висушують ґрунт до сталої ваги (при t $105^0 \pm 2^0 C$) протягом 3–6 годин (наприклад 3 години – для піщаних ґрунтів).

4. Після висушування бюкси виймають із сушильної шафи ставлять в ексикатор, дотримуючись при цьому правил техніки безпеки, знову зважують, отримуючи значення ваги абсолютно сухого ґрунту, записують до журналу.

5. Далі визначають вагову вологість ґрунту у відсотковій формі, використовуючи співвідношення:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} 100 \quad , \quad \textit{де:}$$

m_0 *- маса висушеного ґрунту разом з бюксом та кришечкою, г;*

m_1 *- маса вологого ґрунту разом з бюксом та кришечкою, г;*

m *- маса порожнього бюксу разом з кришечкою, г;*

Між парою значень вологості, отриманих в результаті розрахунків, для одного ґрунту (див. п.1.) визначають середнє значення вологості. При цьому різниця між двома спільними значеннями вологості не повинна перевищувати 0,02 г або 2%. В іншому випадку дослідження проводять повторно.

Робота №2. Визначення вологості ґрунту на межі текучості

Мета цього досліду полягає у визначенні вологості ґрунту, при перевищенні якої ґрунт переходить із пластичної консистенції в текучу, тобто при якій балансирний конус заглиблюється під дією власної ваги на глибину 10мм у ґрунтову пасту, що приготовлена на основі дослідного зразка. Перед тим як проводити випробування, необхідно дати попередню оцінку вологості зразка ґрунту.

Якщо ґрунт сухий, його треба підготувати: обережно розтерти в ступці, виймаючи крупні грудки, та за допомогою додавання дистильованої води довести його до пастоподібного стану (на зразок замішування тіста).

Якщо ґрунт має достатньо велику природну вологість або містить органічні речовини – дослід виконують одразу після розкриття упаковки зразка. А якщо зразок ґрунту є перезволоженим, то надлишок вологи забирають фільтровим папером.

Після доведення зразка ґрунту до належного стану, приступають до проведення дослідження..

Слід також пам’ятати, що методи конусу Васильєва та розкочування для визначення меж текучості і розкочування застосовуються для ґрунтів, що містять глинисту фракцію.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис.3.): сушильна шафа (1), технічні ваги (2), ексикатор (3),

груша резинова (4),дистильована вода (5), конус Васильєва (6), шпатель (7), порцелянова чашка (8), сито з сіткою №1 (9), алюмінієві бюкси.

Рис.3. Обладнання необхідне для проведення досліду по визначенню вологості ґрунту на межі текучості

Хід роботи

1. Підготовте 2 бюкси, як у попередній лабораторній роботі. У подальшому, визначена середня вологість ґрунту і буде характеризувати величину його вологості на межі текучості.

2. Частину приготовленої заздалегідь ґрунтової пасти щільно вкладають до циліндричного бюксу, що входить в комплект до балансирного конусу. Потім над центром поверхні зразка ґрунту встановлюють конус, змащений вазеліном, і повільно відпускають, спостерігаючи за його відміткою (позначкою 10 мм). Якщо конус заглиблюється в ґрунт до цієї позначки протягом 5 с, то вологість останнього і є показником стану ґрунту на межі текучості.

3. Якщо конус занурився швидше, ніж за 5с, або глибше відмітки за 5 с – ґрунтова паста є перезволоженою. У такому випадку ґрунтову пасту треба підсушити на повітрі, ретельно перемішуючи її шпателем.

4. Якщо конус не встиг зануритися на глибину 10 мм за 5 с, то він має недостатню вологість і не дійшов до межі текучості. У цьому випадку необхідно вийняти ґрунтову пасту з бюксу, змішати її з рештою пасти, і, додаючи дистильованої води «крапля за краплею» досягти необхідного стану. Потім знову провести дослід.

5. Якщо досягнута межа текучості ґрунту, ґрунтову пасту виймають з циліндричного бюксу і відбирають проби по половині для визначення вологості.

6. Далі виконують визначення вологості, як у попередній лабораторній роботі. Вологість знаходять як середнє арифметичне між двома пробами.

Робота №3. Визначення вологості ґрунту на межі розкочування

Межа розкочування, тобто нижня межа пластичності є граничною вологістю між напівтвердим і пластичним станом ґрунту, вона характеризує мінімальну вологість, при якій частинки здатні переміщуватися одна відносно одної без порушення суцільності ґрунту.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання: сушильна шафа (1), технічні ваги(2), ексикатор (3), алюмінієві бюкси (4), шпатель (5),скляна(6) чи пластмасова дошка (7).

Рис.4. Обладнання необхідне для проведення досліду по визначенню вологості ґрунту на межі розкочування

Хід роботи

1. Перед проведенням досліду ґрунт треба підготувати. Прийоми приготування ґрунтової пасти наведені в попередній лабораторній роботі. Від ґрунтової пасти відривають шматочок і пальцями рук розкочують на дошці. В результаті такого розкочування маємо отримати джгутик діаметром 3 мм.

2. Якщо при подальшому розкочуванні джгутик почав розпадатися на менші джгутики довжиною 3-10 мм, ми досягли межі розкочування ґрунту. Поміщаємо отримані джгутики до бюксів і щільно закриваємо кришечкою до моменту зважування.

3. Дослід виконується до тих пір, доки не отримаємо наважку ґрунту для кожного з 2 бюксів до 15-20 г.

   Кожного разу, після переміщення джгутиків до бюксів, кришечки треба закривати, щоб уникнути випарування вологи (що може призвести до значної похибки в обрахунках)

4. Далі вираховуємо вологість у послідовності, описаній вище.

Робота №4. Визначення щільності ґрунту

Щільність ґрунту відповідає масі одиниці його об'єму, тобто характеризується відношенням маси ґрунту до його об'єму.

В залежності від виду ґрунту, його агрегатного стану, а також ступеню руйнування вихідного зразка, застосовують ряд методів визначення щільності. Щільність ґрунтів, що піддаються вирізанню без опору, або таких, що не тримають форми без кільця, визначається за допомогою методу «ріжучого кільця». Якщо ж ґрунт дуже крихкий, то використовують «метод зважування парафінованих зразків у воді». Дані методи дозволяють визначати щільність ґрунту природної вологості та непорушеної будови.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис.5): прес (1), технічні ваги : ВЛК-500, Santorius GM 1502 (2), вазелін або технічне масло (3), кільце (4), штангель циркуль (5), ніж (6), пробовідбірник, насадка для вдавлювання кілець.

Хід роботи:

1. Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця за наступними пунктами:

1. Необхідно виміряти розміри ріжучого кільця: за допомогою штангенциркуля визначають висоту (h) і внутрішній діаметр кільця (d), потім розраховують об'єм кільця як об'єм циліндра.

Рис.5. Обладнання необхідне для проведення досліду по визначенню щільності ґрунту.

2. Ріжуче кільце та зразок ґрунту необхідно підготувати перед виконанням досліду. Підготовку ріжучого кільця виконують наступним чином: змащують внутрішні стінки кільця вазеліном, перевіряють рівність країв кільця (це можна зробити, поставивши кільце на рівну плоску поверхню). Поверхню зразка ґрунту зачищають і

вирівнюють за допомогою гострого ножа. Для перевірки рівності поверхні зразка прикладають вістря ножа і проводять його по всій поверхні. Якщо вістря пересувається плавно, то поверхня зразка рівна. Зачищати поверхню необхідно для того, щоб кільце рівно увійшло в ґрунт під час досліду, а частина ґрунту, в свою чергу, була рівномірно розподілена всередині кільця.

3. Підготовлене кільце своєю гострою поверхнею прикладається до зачищеної поверхні ґрунту і поступово, повністю, під прямим кутом вдавлюється у нього, причому сила вдавлювання має бути розподілена по всій поверхні кільця рівномірно (для цього до поверхні кільця можна прикласти дерев'яну рівну дошку і прикласти втискуюче зусилля до неї). Під час вдавлювання треба слідкувати за тим, щоб кільце входило рівномірно, інакше об'єм вирізаного ґрунту не буде відповідати об'єму кільця – залишаться пусті зазори всередині – що призведе до великої похибки у визначенні об'єму ґрунту.

4. Поверхню кільця з відібраним зразком ґрунту зачищають з двох сторін таким же способом, як вказано в п.1. Потім поверхню закривають з двох сторін пластинками і зважують.

5. Щільність ґрунту визначають за формулою:

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

m_1 - маса кільця у грамах із зразком ґрунту разом з пластинками;

m_2 - маса пластинок, г;

m_0 - маса кільця, г;

V - внутрішній об'єм кільця, см^3;

7. Дослідження по визначенню щільності ґрунту проводять для двох відібраних зразків. Різниця між результатами двох паралельних визначень не повинна перевищувати: для піщаних ґрунтів 0,03-0,04 г/см^3.

2. Визначення щільності ґрунту методом зважування парафінованих зразків у воді

Додатковий опис обладнання: ваги технічні,обладнання для гідростатичного зважування, парафін без домішок, ніж, фільтрувальний папір.

1) Із ґрунту вирізають зразок, закруглюючи гострі краї. Об'єм даного зразка має бути не менше 50 см3. Далі його обмотують ниткою таким чином, щоб не залишилося зазорів, а також залишають 15-20 см вільного кінця нитки з петлею. Обмотаний ниткою зразок зважують (m). Результат зважування заносять до журналу 2.

2) Підготовлений і зважений зразок ґрунту занурюють у нагрітий до 50- 70^0 парафін на 2-3 с. Далі виймають і перевіряють зразок на наявність повітряних бульбашок на плівці, що утворилась. Бульбашки протикають нагрітою голкою, потім знову парафінують зразок, повторюючи процедуру до повного усунення останніх.

3) Після охолодження запарафінований зразок зважують (m_1).

4) Запарафінований зразок підвішують петлею за коромисло вагів і опускають у посудину з водою. Причому зразок має бути повністю занурений у воду, а його краї не повинні торкатися дна та стінок посудини. Зважують зразок у воді (m_2).

5) Після зважування запарафінованого зразка у воді, його перевіряють на герметичність - витягують з води і

зважують на електронних вагах. Зразок є герметичним, якщо його маса не збільшилася більш, ніж на 0,02 г після зважування у воді. В іншому випадку – зразок не є герметичним, його відбраковують і дослід повторюють знову.

6) Щільність ґрунту для даного досліду визначають за формулою:

$$\rho = \frac{m\rho_p\rho_w}{\rho_p(m_1 - m_2) - \rho_w(m_1 - m)}, \text{ де :}$$

m – маса зразка до парафінування, г;

m_1 - маса запарафінованого зразка, г;

m_2 - результат зважування зразка у воді, г;

ρ_p - щільність парафіну (0,9 г/ см^3).

ρ_w - щільність води при температурі вишукувань, г/см^3.

Робота 5. Визначення щільності скелету ґрунту та щільності часток ґрунту

У попередній роботі визначалася щільність ґрунту як його об'ємна маса. Але в інженерній геології прийнято визначати також щільність часток ґрунту та щільність скелету ґрунту (щільність «сухого» ґрунту). ***Щільність скелету ґрунту*** характеризує масу його твердої компоненти без врахування маси води і льоду в одиниці об'єму і значною мірою залежить від пористості. Щільність сухого ґрунту можна визначити розрахунковим методом. Для цього необхідно попередньо визначити вологість зразка ґрунту та його щільність при цій вологості одним із методів, що описані раніше. Потім визначити щільність сухого ґрунту, користуючись формулою:

$\rho_d = \dfrac{\rho}{1+0{,}01W}$, де ρ - щільність ґрунту в г/см3,

W - вологість ґрунту у %.

Щільність частинок ґрунту характеризує середню щільність мінералів, органічних та органо-мінеральних речовин, яка виражається відношенням маси твердих часток ґрунту до їх об'єму. Величину щільності частинок ґрунту можна визначити пікнометричним методом.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис. 6): сушильна шафа (1), технічні ваги(2), ексикатор (3), пікнометри (4;9), баня піщана (5), електропіч (6), вода дистильована (7), лійка скляна (8), алюмінієві бюкси (10), шпатель (11), ложка(12).

Рис.6. Обладнання необхідне для визначення щільності скелету ґрунту та щільності часток ґрунту.

Хід роботи:

***Підготовка до випробування*:**

Зразок ґрунту необхідно розтерти в ступці, уникаючи руйнування частинок ґрунту, з яких складається скелет. Розтерту масу просіяти крізь сито з номером 2. Відібрати наважку ґрунту шляхом квартування масою 15-30 г (із розрахунку 15 г на кожні 100 мл ємності пікнометра) і висушити до сталої маси.

***Проведення дослідження*:**

1. Пікнометр необхідно залити підготовленою дистильованою водою на 1/3 і зважити. Потім через лійку засипати висушену пробу ґрунту до пікнометра з водою і знову зважити.

2. Пікнометр з водою ретельно збовтати і поставити на піщану баню і довести до кипіння. Час кип'ятіння після моменту закипання залежить від типу ґрунту: для піщаних ґрунтів – це 0,5 год., для глинистих – 1 година.

3. Далі у пікнометр треба долити дистильованої води до мірної риски, а потім охолодити до кімнатної температури. Положення меніску необхідно поправити після охолодження пікнометра. Користуючись крапельницею, треба досягти такого положення меніску, при якому його нижній край співпадає з мірною рискою.

4. Обтерти пікнометр і зважити його.

5. Далі отриманий розчин виливають, а пікнометр промивають під водою. Потім наливають дистильовану воду при тій же кімнатній температурі, регулюють положення меніску (п.3) і зважують пікнометр з водою.

6. Щільність часток ґрунту далі обраховують за формулою:

$\rho_s = \rho_\omega m_0 /(m_0 + m_2 - m_1)$, де

m_0 - маса сухого ґрунту, г;

m_1 - маса пікнометра з водою та ґрунтом після кип'ятіння при заданій температурі, г;

m_2 - маса пікнометра з водою при заданій температурі, г;

ρ_w - щільність води при температурі тарування, г/см3;(див. табл.№1)

Таблиця № 5. **Щільність води при різних температурах**

Температура, ^{0}C	**Щільність, г/см^{3}**
0-12	1,000
12-18	0,999
19-23	0,998
24-27	0,997
29-30	0,996
31-33	0,995

Робота №6. Визначення гранулометричного складу піщаних ґрунтів ситовим методом з промиванням водою

Під гранулометричним складом розуміють відносний вміст у породі первинних часток різного розміру. Для різних типів ґрунтів існують відповідні методи визначення гранулометричного складу. Для піщаних ґрунтів – це ситовий метод з промивкою або без промивки (в залежності від розміру часток), для глинистих ґрунтів застосовують ареометричний метод.

Ситовий аналіз з промивкою водою застосовується для глинистих пісків, а ситовий аналіз без промивки – для чистих пісків.

Обладнання

Для проведення дослідження необхідне таке обладнання (рис.7): сушильна шафа (1), ексикатор (2), технічні ваги (3), набір стандартних сит з діаметром отворів 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5 мм (4), груша гумова (5), бюкси (6), фарфорова ступка (7), пестик з резиновим наконечником (8).

Рис.7. Обладнання необхідне для визначення гранулометричного складу піщаних ґрунтів ситовим методом з промивкою водою.

Хід роботи:

1. Із загальної проби ґрунту, наданої для аналізу, відібрати зразки для визначення величини природної вологості. Загальну пробу ґрунту необхідно висушити до сталої ваги.
2. Із висушеної проби відібрати для досліду 100 – 200 г методом квартування (чим більший розмір частинок ґрунту, тим більшою має бути наважка).
3. Далі виконують промивку відібраної маси ґрунту наступним способом: ґрунт на 1/3 заливають водою, розтирають товкачиком і відстоюють 8-10 с, після чого отриману суспензію обережно зливають крізь сито 0,1 у попередньо зважену фарфорову чашку. Решту ґрунту, що залишилась на ситі змивають у чашку, знову заливають водою, розтирають і зливають крізь сито 0,1 мм. Таким чином виконують відмулювання до тих пір, поки шар води над ґрунтом (з розміром часток >0,1) не стане майже прозорим.
4. Частині ґрунту з водою, що була злита крізь сито 0,1мм дають відстоятися декілька хвилин, після чого воду зливають. Отриманий залишок ґрунту висушують до повітряно-сухого стану і зважують. Одержана величина і є вагою частинок ґрунту розміром <0,1 мм.
5. Промитий ґрунт, що не пройшов крізь сито 0,1, також висушують до сталої ваги. За допомогою товкачика позбавляються грудочок - розтирають дану пробу ґрунту в ступці до повітряного стану, а далі - просіюють крізь набір сит з піддоном з номерами 5;2;1;0,5;0,25 мм.
6. Якщо просіювання відбувається вручну, тоді кожну фракцію, що залишилась на ситах, треба висипати в ступку і додатково розтерти, після чого – знову просіяти.
7. Повноту просіювання перевіряють. Для цього кожне сито протрушують над білим папером. Якщо на лист випадають частки, то їх пересипають у наступне, менше за розміром сито.

Просіювання виконують до тих пір, доки на папір перестануть випадати частинки.

8. Після повного просіювання кожну фракцію, що залишилася на ситах та у піддоні пересипають до попередньо зважених бюксів і зважують. Маси всіх фракцій сумують. Якщо результат більший, ніж на 1 % від початкової маси проби, просіювання слід повторити.

9. Вміст кожної фракції (А, %) розраховують за формулою:

$A = \frac{q_{\varphi}}{q_1} \times 100$, де

q_{ϕ} - вага даної фракції, г;

q_1 - вага проби ґрунту, відібраної для досліду, з поправкою на вологість, г;

Робота №7. Визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів ареометричним методом шляхом вимірювання щільності суспензії в процесі її відстоювання.

Метод заснований на вимірюванні густини суспензії ареометром в процесі її відстоювання.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис.7): технічні ваги (1), ступка з товкачиком (2), сушильна шафа (3), ексикатор (4), тиглі (5), скляний циліндр об'ємом 1л (6), термометр (7), мішалка (8), секундомір (9), промивач (10), ареометр (11), розчин 20% аміаку (12), порцелянова чашка (13), конічна колба об'ємом 500 см^3 зі зворотнім охолоджувачем.

Рис.7. Обладнання необхідне для визначення гранулометричного складу глинистих ґрунтів ареометричним методом шляхом вимірювання густини суспензії в процесі її відстоювання.

Хід роботи:

1. Суспензію готують наступним чином:

- з глинистого ґрунту беруть 2 наважки : одну для визначення вологості ґрунту; другий - для аналізу гранулометричного складу (для глин - 10г., для суглинків - 15г., для супісків - 20г.).

- наважку ґрунту переносять в конічну колбу, заливають 20 - разовою кількістю дистильованої води, додають 1 мл аміаку і кип'ятять протягом 1 години на піщаній бані.

- після остигання суспензію переносять на сито з отворами 0,1мм., поставлене над великою чашкою і промивають, злегка розтираючи пальцем до повного відмучування.

- залишок на ситі 0,1 мм змивають в тигель, воду випарюють, а осад висушують і просіюють через набір сит. Потім кожну фракцію зважують і обчислюють процентний їх вміст.

- Суспензію з чашки зливають в циліндр і доливають до 1л. дистильованою водою

2. Після вимірювання температури суспензію в циліндрі збовтують до повного зникнення осаду на дні.

3. Відмічають час і обережно опускають в суспензію ареометр. При цьому спостерігають, щоб цибулина його не торкалася до стінок циліндра, і беруть відліки по шкалі ареометра через 30 секунд ; l, 2,5,30 і 60 хвилин ; 3,5,6 і 24 години. Перші три відліку (30 с. 1 і 2 хв.) Проводять, не виймаючи ареометра.

При наступних відліках ареометр опускають в суспензію за 5 - 10 секунд до початку вимірювання, попередньо витерши його насухо. У процесі аналізу роблять виміри температури суспензії.

4. В кожен із спрощених відліків по ареометру вводять поправки на висоту меніска і температуру. Спрощений відлік отримують, відкидаючи одиницю, а кому переносять на три знаки вправо (наприклад, відлік 1,0154 читають як 15,4).

Поправка на висоту меніска вноситься до відлік зі знаком «плюс». Температурну поправку беруть по таблиці 5.

Таблиця № 6. **Таблиця температурних поправок.**

Температура суспензії, °С	Поправка до відліку за арео-метром, К	Температура суспензії, °С	Поправка до відліку за арео-метром, 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	-Р,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		

5. Отримавши таким чином остаточний відлік по ареометру, визначають за номограмою діаметр частинок ґрунту.

Процентний вміст частинок обчислюють за формулою:

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

X - відсотковий вміст частинок за сукупністю, тобто сумарний відсотковий вміст частинок, розміром менше певного діаметру; k - відсотковий вміст частинок діаметром більше 1,0 мм, отриманий в результаті ситового аналізу;. b - вага взятої наважки ґрунту в абсолютно сухому стані; ρ_s - щільність частинок ґрунту, г/см^3; R - остаточний відлік по ареометру з поправками на меніск і температуру.

6. За результатами досліджень будується крива гранулометричного складу в напівлогарифмічному масштабі. За отриманою кривою графічно визначається процентний вміст фракцій розміром 0,5-0.25 ; 0,25-0,1 ; 0,1-0,05 ; 0,05 - 0,01 ; 0,01-0,005 і менше 0,005 мм.

Робота №8. Визначення коефіцієнту фільтрації незв'язних ґрунтів за допомогою трубки СПЕЦГЕО

Трубка СПЕЦГЕО сконструйована і призначена для лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації піщаних та глинистих порід. В трубці СПЕЦГЕО є можливість:

1) проводити дослідження порід у природному стані і складі, що важливо для глинистих порід ;

2) вести дослідження порід при постійному градієнті, що важливо для піщаних порід.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис. 9): технічні ваги (1), термометр (2), секундомір (3), лопатка (4), циліндри (5), дно з латунною сіткою (6), сталевий стакан (7), ковпачок з сіткою (8), фільтрувальний папір (9), скляний циліндр, що моделює посудину Маріота (10).

Рис.9. Обладнання необхідне для визначення коефіцієнту фільтрації незв'язних ґрунтів за допомогою трубки СПЕЦГЕО.

Хід роботи:

Підготовка трубки СПЕЦГЕО до роботи.

1. На сталевий стакан надіти сітчасте дно і поставити стакан в чашу з водою, рівень якої повинен бути на 1-2 см вище сітки стакану.

2. Загрузити ґрунт у стакан невеликими порціями, чекаючи поки відбудеться насичення ґрунту водою, і підливаючи воду у чашу. Після заповнення стакану водонасиченим ґрунтом до країв закрити стакан зверху сіткою і надіти ковпачок.

*3.*Виставити циліндри у середнє положення $l = 0,6$ і поставити їх в чашу, налити воду так, щоб вона виступила з пазух. Поставити стакан з ґрунтом у внутрішній циліндр і привести циліндри у нульове положення $l = 0$.

4. В стакан з ґрунтом налити поверх сітки воду, поступово виставити циліндри у робоче положення при $l = 0,6$, при цьому весь час необхідно доливати воду у стакан з ґрунтом та в пазухи.

Заповнити водою скляному циліндрі, що моделює посудину Маріота і, прикриваючи вказівним пальцем отвір, швидко перевернути посудину і закріпити над приладом в затискачах ковпачка. З моменту появи бульбашок повітря прилад знаходиться у робочому стані.

Скляний циліндр, що моделює посудину Маріота завжди повинна бути заповнена водою. Якщо треба її зняти з приладу, необхідно підливати воду в ковпачок. У випадку, коли дослід не вдалося закінчити, його слід переробити, при цьому прилад повертається у нульове положення.

Проведення дослідження:

1. При проходженні рівня води в скляному мірному циліндрі, що моделює посудину Маріота через нульову поділку включити секундомір та виключити його в той момент, коли рівень води досягне поділки 50. Дослід повторити тричі при *I =0,6,* визначити температуру води, яка профільтрувалася.
2. Перевести прилад в нове положення при *I =0,8* для цього спочатку повернутися в нульове положення, а потім у положення *I = 0,8,* весь час підливаючи воду, дослід повторити тричі.
3. Перевести прилад у положення *1 = 1,0* аналогічним чином, дослід повторити тричі.

Результати досліджень занести в таблицю 3.

Обробка результатів досліджень.

1. Коефіцієнт фільтрації визначається за формулою:

$K_ф = \frac{Q}{FI}$, *де*:

Q - витрати води в см^3 / сек;

F - площа поперечного перерізу, см^2;

I - напірний градієнт,

2. Розрахувати середнє значення, внести температурну поправку і визначити значення коефіцієнта фільтрації в розмірності м / добу.

Результати досліджень записуємо в журнал. За результатами досліджень розрахувати середнє значення, внести температурну поправку і визначити значення коефіцієнта фільтрації в розмірності м / добу.

Робота №9. Визначення величини набухання ґрунтів

Характеристики набухання слід визначати за відносної деформації в умовах, що виключають можливість бічного розширення при насиченні ґрунту водою.

Набухання ґрунтів характеризується показниками: відносною деформацією набухання (ε_{sw}) вологістю вільного набухання (W_{sw}) і тиском набухання (P_{sw}); кінетика процесу набухання характеризується швидкістю набухання (V_{sw}) і періодом набухання (t_{sw}).

При визначенні величини набухання ґрунтів застосовується прилад ПНГ конструкції Д.І.Знаменского.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис. 10): прилад набрякання ґрунтів (ПНГ) (1), ніж (2), технічні ваги (3), сушильна шафа (4), ексикатор (5), додаткове кільце (6).

Рис.10. Обладнання необхідне для визначення величини набуханння ґрунтів.

Хід роботи:

1. За допомогою ріжучого кільця приладу, попередньо зваженого на технічних вагах (g_1), відбирають з моноліту пробу ґрунту. Кільце з ґрунтом ретельно зачищається, тобто зрізується ножем ґрунт, з обох сторін кільця і знову зважується (g_2).

2. Кільце з ґрунтом встановлюється у прилад, який складається з перфорованого піддону з гніздом для кільця і верхнього перфорованого штампа. Знизу і зверху ґрунт прокладається фільтрувальної папером. Зверху на робоче кільце одягається направляюче кільце.

3. Зібраний таким чином прилад встановлюється в металеву або скляну ванночку. На приладі за допомогою кріпильних гвинтів встановлюють індикатор годинникового типу. При цьому ніжка індикатора повинна торкатися виступу на штампі, а стрілки виставляються у нульове положення.

4. У ванночку наливається вода до середини робочого кільця. Відліки за індикатором беруть через 5, 10, 20, 30 хвилин, далі через 2 години протягом робочого дня, а потім через 24 години до досягнення умовної стабілізації. Дослід вважається закінченим, якщо приріст показань індикатора за одну добу не перевищує 0,02 мм.

5. Після завершення набухання зразка ґрунту необхідно кільце з вологим ґрунтом (без фільтрів) зважити (g_3), а ґрунт з кільця висушити в сушильній шафі і після охолодження в ексикаторі зважити (g_4).

Обробка результатів.

1. Початкова і кінцева вологості розраховуються відповідно за формулами:

$$W_0 = \frac{g_2 - g_1 - g_4}{g_4} \quad ; \qquad W_k = \frac{g_3 - g_1 - g_4}{g_4} \quad ;$$

2. Визначається також величина абсолютної деформації (набухання) ґрунту (Δh), мм:

$$\Delta h = h_k - h_0 \quad ;$$

де: h_k - кінцеве показання індикатора, мм; h_0 - початкове показання індикатора, мм.

3. Величина відносного набухання зразка (ε_{sw}) розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h} \quad ;$$

де: h - початкова висота зразка (висота кільця), мм.

4. Будується графік зміни величини абсолютного набухання в часі.

Робота №10. Визначення розмокання ґрунтів

Під розмоканням розуміється здатність глинистих ґрунтів при зволоженні втрачати зв'язність і перетворюватися на пухку масу з повною втратою несучої здатності.

Показниками розмокання є:

I) час розмокання (t_p),

2) швидкість розмокання зразка,

3) характер розмокання:

а) час, протягом якого зразок ґрунту, розміщений у воді, втрачає зв'язність і розпадається ;

б) характер розпаду.

Залежно від цілей дослідження швидкість і характер розмокання ґрунтів визначають на зразках природного складу і вологості або на зразках порушеного складу, але потім ущільнених до певного стану при відповідній вологості.

Обладнання

Для проведення досліду необхідне таке обладнання (рис. 11): Прилад для визначення швидкості і характеру розмокання ґрунтів ПРГ-1 (1), ніж (2), ріжуче кільце (3), секундомір (4).

Рис.11. Обладнання необхідне для визначення розмокання ґрунтів.

Хід роботи

1) Посудина приладу ПРГ-1 заповнюється водою дистильованою або близької за складом до неї, впливу якої буде піддаватися ґрунт) на 10 мм нижче верхнього краю посудини, при цьому стрілка має займати нульове положення.

2) З моноліту вирізують кубики розміром 30 х 30 х 30 мм або циліндрики діаметром 30 мм і висотою 30 мм. одночасно відбирають пробу для визначення природної вологості ґрунту.

3) Кубик ґрунту встановлюється на сітку приладу, яку потім плавно занурюють у воду і записують початковий відлік.

Показання шкали знімають у наступні проміжки часу: 1 та 30 хвилин, 1, 6, 24 та 48 годин. Пізніше інтервал між спостереженнями змін стану зразку збільшується до одного разу на добу. Дослід вважається закінченим, коли ґрунт повністю провалиться крізь сітку на дно посудини, або коли процес розмочуваності призупиняється і зразок зберігає свій стан без змін тривалий час.

Для описання процесу розмокання іноді обчислюють відсоток розпаду зразка за певний час:

$$P = \frac{H - H_p}{H} \cdot 100\%;$$

де: P - відсоток розпаду ґрунту; H - початкова числова відмітка шкали; H_p - позначка шкали в процесі розмокання.

При визначенні швидкості розмокання ґрунту з порушеною структурою розтертий і просіяний через сито (0,5 мм) повітряно-сухий і ґрунт заливають водою і готують робочу ґрунтову масу такої консистенції, при якій вона не прилипає до рук при розкочуванні. Після цього відбирають пробу і визначають швидкість розмокання так само, як і з ґрунтом непорушеної структури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ю.Г. Бабаскин. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна: Учебное пособие - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013
2. Полшкова И.Н. Грунтоведение. Механика грунтов: Учебное пособие –М. МГУ, 2009 г.
3. Королёв В. А., Самарин Е. Н., Николаева С. К. Лабораторные работы по грунтоведению - М.: Высшая школа, 2008.
4. Трофимов В.Т., Королёв В.А., Грунтоведение, –М. МГУ, 2005
5.Ломтадзе В.Д. Методы лабораторних исследований физико-механических свойств горных пород, Ленинград: Недра. 1972
6. Злочевская Р. И., Королёв В. А. Электроповерхностные явления в глинистых породах — М.: Изд-во МГУ, 1988
7 Бабков В.Ф.Основы ґрунтоведения и механики ґрунтов, М., Высшая школа. 1964
8. Сергеев Е.М. ґрунтоведение, М., МГУ, 1983
9. Костюченко М.М. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни „Гідрогеологія та інженерна геологія”, К.: ВПЦ Київський університет. 2004
10.Шабатин В.С., Шостак А.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу « ґрунтоведение», К., КГУ,1988
11.БН А.2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва
12. ДСТУ Б В.2.1-11:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення властивостей набухання та усадки
13. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей

14. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу
14. ДСТУ Б В.2.1-23:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації