

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, АРХІТЕКТУРИ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ  
Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

**МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ  
ЧАСТИНА 1. МЕХАНІКА ҐРУНТІВ**

**Методичні рекомендації до виконання практичних робіт  
та індивідуальних розрахункових завдань  
для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей  
192 Будівництво та цивільна інженерія, 194 Гідротехнічне будівництво,  
водна інженерія та водні технології**

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2024

**Механіка** ґрунтів, основи і фундаменти. Частина 1. Механіка ґрунтів [Електронний ресурс]: методичні рекомендації до виконання практичних робіт та індивідуальних розрахункових завдань для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 192 Будівництво та цивільна інженерія, 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / уклад.: О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, С.М. Гапєєв, О.В. Скобенко, Н.В. Хозяйкіна, Г.П. Іванова; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – 74 с.

Укладачі:

О.М. Шашенко, д-р техн. наук, проф.,

В.Г. Шаповал, д-р техн. наук, проф.,

С.М. Гапєєв, д-р техн. наук, доц.,

О.В. Скобенко, канд. техн. наук, доц.,

Н.В. Хозяйкіна, канд. техн. наук, доц.,

Г.П. Іванова, канд. техн. наук, доц.

Затверджено науково-методичними комісіями спеціальностей 192 Будівництво та цивільна інженерія, 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології (протокол № 6 від 02.12.2024) за поданням кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки (протокол № 6 від 02.12.2024).

Уміщено скорочені теоретичні відомості, що відповідають темам лекційного курсу. Структура і форма методичних рекомендацій орієнтована на самостійну форму підготовки до виконання розрахункових робіт та виконання їх під керівництвом викладача, що дозволяє найбільш ефективно вивчити та зрозуміти принципи проєктування основи і фундаменту відповідно до різних геологічних і кліматичних умов.

Вирішення завдань підтверджує правильність розуміння основ теорії й поглиблює вивчення лекційного матеріалу. При цьому студент набуває практичних навичок з методики визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Рекомендації також можуть бути корисними у підготовці курсових проєктів та виконанні кваліфікаційних робіт.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки С.М. Гапєєв, д-р техн. наук, доц.

**ЗМІСТ**

<b>Вступ.....</b>	<b>4</b>
<b>Основні терміни та визначення механіки ґрунтів.....</b>	<b>5</b>
<b>Номенклатура ґрунтів основ.....</b>	<b>13</b>
<b>Тема 1. Фізичні характеристики ґрунтів.....</b>	<b>15</b>
<b>Тема 2. Механічні характеристики ґрунтів.....</b>	<b>28</b>
<b>Тема 2. Закономірності розподілу напружень у ґрунтах основ.....</b>	<b>37</b>
<b>Тема 3. Розрахунок осідання фундаментів.....</b>	<b>42</b>
<b>Тема 4. Опір ґрунтів зрушенню.....</b>	<b>58</b>
<b>Тема 5. Тиск ґрунту на підпірні стіни .....</b>	<b>64</b>
<b>Список використаної літератури.....</b>	<b>64</b>
<b>Додатки.....</b>	<b>65</b>
<b>Умовні позначення.....</b>	<b>72</b>

## ВСТУП

Вивчення курсу «Механіка ґрунтів, основи і фундаменти» дозволяє майбутнім будівельникам отримати уявлення про ґрунти не тільки з погляду інженерної геології, але і як про об'єкт інженерної діяльності фахівця в цивільному і промисловому будівництві. Отримані знання дозволять інженеру-будівельнику правильно проектувати основи і фундаменти, а також здійснювати роботи по їх улагодженню у різних геологічних і кліматичних умовах.

При цьому оволодіння будь-яким розділом механіки, у тому числі і механікою ґрунтів, неможливо без рішення відповідних задач. Вирішуючи ці задачі, студент не тільки перевіряє правильність розуміння їм основ теорії, але й поглиблює це розуміння, закріплює у своїй пам'яті пройдений курс за рахунок розв'язання практичних задач.

Ці методичні рекомендації мають на меті ознайомити студентів зі способами рішення основних задач, що зустрічаються у механіці ґрунтів.

На початку методичних рекомендацій наводяться терміни та визначення згідно з Державним стандартом України (ДСТУ Б В.2.1-2-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація), правильне застосування яких є обов'язковим. Окремо наведені умовні позначення, що використані при укладанні задач.

По кожному розділу курсу пропонується по 2-4 типові задачі та виконання індивідуальних розрахункових завдань за варіантами задля отримання професійних навичок.

Всі необхідні для розрахункових завдань допоміжні матеріали розміщені в додатках методичних рекомендацій та посилання на нормативні документи, якими майбутній фахівець будівельник легко користується та знає саме якими у конкретних випадках.

Базовим підручником при вивченні дисципліни рекомендується підручник «Механіка ґрунтів» (автори: О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, С.М. Гапеев, О.В. Скобенко, Н.В. Хозяйкіна) та розроблений конспект лекцій з дисципліни, що завантажено на дистанційній платформі НТУ «Дніпровська політехніка».

## ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ

*Гірські породи, ґрунти* – техногенні утворення, що являють собою багатокомпонентну геологічну систему та є об'єктом інженерно-господарської діяльності людини.

*Ґрунт* – поверхневий родючий шар землі, що утворюється під впливом біогенних та атмосферних чинників.

Ґрунти можуть служити:

- 1) матеріалом основ будинків і споруд;
- 2) середовищем для розміщення в них споруд;
- 3) матеріалом самої споруди.

*Ґрунт скельний* – ґрунт, що складається з кристалічного одного чи декількох мінералів, які мають жорсткі структурні зв'язки кристалізаційного типу.

*Ґрунт напівскельний* – ґрунт, що складається з одного чи декількох мінералів, які мають жорсткі структурні зв'язки цементаційного типу.

Умовна границя між скельними та напівскельними ґрунтами приймається по їх міцності на одноосьовий стиск ( $R_c \geq 5$  МПа - скельні ґрунти,  $R_c < 5$  МПа - напівскельні ґрунти).

*Ґрунт дисперсний* – ґрунт, що складається з окремих мінеральних часток (зернин) різного розміру, слабозв'язаних одне з одним; утворюється у результаті вивітрювання скельних ґрунтів з наступним переміщенням продуктів вивітрювання водним чи еоловим шляхом, їх відкладання та поступового ущільнення.

*Структура ґрунту* – просторова організація компонентів ґрунту, що характеризується сукупністю морфологічних (розмір, форма часток, їх кількісне співвідношення), геометричних (просторова композиція структурних елементів) та енергетичних ознак (тип структурних зв'язків та загальна енергія структури) і

визначається складом, кількісним співвідношенням та взаємодією компонентів ґрунту.

**Текстура ґрунту** – просторове розташування елементів, що складають ґрунт (шаруватість, тріщинуватість та ін.).

**Склад ґрунту речовинний** – категорія, що характеризує хіміко-мінеральний склад твердих, рідких та газових компонентів.

**Органічна речовина** – органічні сполуки, що входять у склад ґрунту у вигляді нерозкладених залишків рослинних та тваринних організмів, а також продуктів їх розкладання та перетворення.

**Ґрунт глинистий** – зв'язний мінеральний ґрунт, що має число пластичності  $I_n \geq 1$ .

**Пісок** – незв'язний мінеральний ґрунт, в якому маса часток розміром менше 2 мм складає більше 50 % ( $I_n = 0$ ).

**Ґрунт великоуламковий** – незв'язний мінеральний ґрунт, в якому маса часток розміром більше 2 мм складає більше 50 %.

**Мул** – водонасичений сучасний осад переважно морських акваторій, що містить органічну речовину у вигляді рослинних залишків та гумусу. Звичайно верхні шари мулу мають коефіцієнт пористості  $e \geq 0,9$ , текучу консистенцію  $I_L > 1$ , вміст часток менше 0,01 мм складає 30...50 % за масою.

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

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

**Ґрунт заторфований** - пісок та глинистий ґрунт, що містить від 10 до 50 % (за масою) торфу.

**Ґрунт набухаючий** – ґрунт, який при замочуванні водою чи іншою рідиною збільшується в об'ємі та має відносну деформацію набухання (в умовах вільного набухання)  $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$ .

**Ґрунт просідний** - ґрунт, який під впливом зовнішнього навантаження та власної ваги чи тільки від власної ваги при замочуванні водою або іншою рідиною зазнає вертикальну деформацію (просідання) та має відносну деформацію просідання  $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$ .

**Ґрунт здимальний** – ґрунт, який при переході з талого у мерзлий стан збільшується в об'ємі внаслідок утворення кристалів льоду та має відносну деформацію морозного здимання  $\varepsilon_{\rho h} \geq 0,01$ .

**Ступінь морозної здимальності** – характеристика, що відбиває здатність ґрунту до морозного здимання, виражається деформацією морозного здимання, що вимірюється у % та визначається за формулою  $\varepsilon_{fh} = \frac{h_{0,f} - h_0}{h_0}$ , де  $h_{0,f}$  - висота зразка мерзлого ґрунту, см;  $h_0$  - початкова висота зразка талого ґрунту до замерзання, см.

**Ступінь засоленості** – характеристика, що визначає кількість водорозчинних солей у ґрунті  $D_{sal}$ , %.

**Границя міцності ґрунту на одноосьовий тиск**  $R_c$ , МПа, – відношення навантаження, при якому виникає зруйнування зразка, до площі первісного поперечного перерізу.

**Щільність кістяку ґрунту** – щільність сухого ґрунту  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup>, що визначається за формулою  $\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}$  де  $\rho$  - щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $W$  - вологість ґрунту, %.

**Коефіцієнт вивітрілості**  $K_{wr}$ , % – відношення щільності вивітрілого ґрунту до щільності монолітного ґрунту.

**Коефіцієнт розм'якливості у воді**  $K_{sof}$ , % – відношення границь міцності ґрунту на одноосьовий стиск у водонасиченому та у повітряно-сухому стані.

**Ступінь розчинності у воді** – характеристика, що відбиває здатність ґрунтів розчинятися у воді та виражається у кількості водорозчинних солей  $q_{sr}$ , г/л.

**Ступінь водопроникності** – характеристика, що відбиває здатність ґрунтів пропускати крізь себе воду та кількісно виражається у коефіцієнті фільтрації  $K_{\phi}$ , м/добу.

**Гранулометричний склад** – кількісне співвідношення часток різної крупності у дисперсних ґрунтах.

**Ступінь неоднорідності гранулометричного складу**  $C_u$  - показник неоднорідності гранулометричного складу визначається за формулою  $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ , де  $d_{60}, d_{10}$  - діаметри часток, мм, менше яких у ґрунті міститься відповідно 60 та 10 % (за масою) часток.

**Число пластичності**  $I_p$  – різниця вологостей, що відповідають двом станам ґрунту: на границі текучості  $W_L$ , і на границі розкочування  $W_p$ .

**Показник текучості**  $I_L$  – відношення різниці вологостей, що відповідають двом станам ґрунту: природному  $W$  і на границі розкочування  $W_p$ , до числа пластичності  $I_p$ .

**Відносна деформація набухання без навантаження**  $\epsilon_{sw}$ , % – відношення збільшення висоти зразка ґрунту після вільного набухання в умовах неможливості бокового розширення до початкової висоти зразка природної вологості.



**Відносна деформація просідання**  $\varepsilon_{sl}$ , % – відношення різниці висот зразків, відповідно, природної вологості та після його повного водонасичення при визначеному тиску до висоти зразка природної вологості.

**Коефіцієнт водонасичення**  $S_r$ , % – ступінь заповнення об'єму пор водою.

Визначається за формулою  $S_r = \frac{W \rho_s}{e \rho_w}$ , де  $W$  - природна вологість ґрунту, %;  $e$  - коефіцієнт пористості;  $\rho_s$  - щільність часток ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_w$  - щільність води, що дорівнює 1 г/см<sup>3</sup>.

**Коефіцієнт пористості**  $e$  визначається за формулою  $e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$ , де  $\rho_s$  - щільність часток ґрунту у природньому стані, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_d$  - щільність сухого ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

**Ступінь щільності пісків**  $I_D$  визначається за формулою  $I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$ , де  $e$  - коефіцієнт пористості при природному чи штучному складанні;  $e_{\max}$  - коефіцієнт пористості у гранично-щільному складанні;  $e_{\min}$  - коефіцієнт пористості у гранично-пухкому складанні.

**Коефіцієнт вивітрілості великоуламкових ґрунтів**  $K_{wr}$ , %, визначається за формулою  $K_{wr} = \frac{K_1 - K_0}{K_1}$ , де  $K_1$  - відношення маси часток розміром менше 2 мм до маси часток розміром більше 2 мм після випробування на стирання у поличковому барабані;  $K_0$  - те саме, у природному стані.

**Коефіцієнт стираності великоуламкових ґрунтів**  $K_{fr}$ , %, визначається за формулою  $K_{fr} = \frac{q_1}{q_0}$ , де  $q_1$  - маса часток розміром менше 2 мм після випробування великоуламкових фракцій ґрунту (частки розміром більше 2 мм) на стирання у поличковому барабані;  $q_0$  - початкова маса проби великоуламкових фракцій (до випробування на стирання).

**Відносний вміст органічної речовини  $I_r$ , %** – відношення маси сухих рослинних залишків до маси абсолютно сухого ґрунту.

**Ступінь розкладення торфу  $D_{dp}$ , %** – характеристика, що відбиває відношення маси безструктурної (повністю розкладеної) частини, яка включає гумінові кислоти та мілкі частки негуміційованих залишків рослин, до всієї маси торфу.

**Ступінь зольності торфу  $D_{as}$ , %** – характеристика, що відбиває відношення маси мінеральної частини ґрунту до всієї маси торфу в абсолютно сухому стані.

**Ґрунт мерзлий** – ґрунт, що має мінусову чи нульову температуру, та містить у своєму складі видимі льодяні включення і (або) лід-цемент та характеризується криогенними структурними зв'язками.

**Ґрунт багаторічномерзлий (синонім - "ґрунт вічномерзлий")** – ґрунт, що знаходиться у мерзлому стані постійно протягом трьох та більше років.

**Ґрунт сезонномерзлий** - ґрунт, що знаходиться у мерзлому стані періодично протягом холодного сезону.

**Ґрунт морозний** – скельний ґрунт, що має мінусову температуру і не містить у своєму складі лід та незамерзлу воду.

**Ґрунт сипкомерзлий (синонім - "суха мерзлота")** – великоуламковий та піщаний ґрунти, що мають мінусову температуру, але не зцементовані льодом та не мають сил зчеплення.

**Ґрунт охолоджений** – засолений великоуламковий, піщаний та глинистий ґрунти, мінусова температура яких вища за температуру початку їх замерзання.

**Ґрунт мерзлий розздимальний** - дисперсний ґрунт, який при відтаванні зменшує свій об'єм.

**Ґрунт твердомерзлий** - дисперсний ґрунт, міцно зцементований льодом, що характеризується відносно крихким зруйнуванням та практично нестикуваний під зовнішнім навантаженням.

**Ґрунт пластичномерзлий** - дисперсний ґрунт, зцементований льодом, але такий, що не має в'язких властивостей та стисливості під зовнішнім навантаженням.

**Температура початку замерзання (відтавання)  $T_{bf}$  ( $T_h$ )** – температура, С, при якій у порах ґрунту з'являється (зникає) лід.

**Кріогенні структурні зв'язки ґрунту** – кристалізаційні зв'язки, що виникають у вологих дисперсних та тріщинуватих скельних ґрунтах при мінусовій температурі в результаті зацементування льодом.

**Кріогенна текстура** – сукупність ознак складу мерзлого ґрунту, що обумовлена орієнтуванням, відносним розташуванням та розподілом різних за формою і розмірами льодяних включень та льоду-цементу.

**Лід (синонім - "ґрунт льодяний")** – природне утворення, що складається з кристалів льоду з можливими домішками уламкового матеріалу та органічної речовини не більше 10 % (за об'ємом), і характеризується кріогенними структурними зв'язками.

**Коефіцієнт стисливості мерзлого ґрунту  $\delta_p$ ,  $\text{кПа}^{-1}$**  – відносна деформація мерзлого ґрунту під навантаженням.

**Ступінь заповнення об'єму пор мерзлого ґрунту льодом та незамерзлою водою  $S_r$ , %**, визначається за формулою  $S_r = \frac{(1,1W_{ic} + W_w)\rho_s}{e_f\rho_w}$ , де  $W_{ic}$  - вологість мерзлого ґрунту за рахунок порового льоду, який цементує мінеральні частки (лід-цемент), %;  $W_w$  - вологість мерзлого ґрунту за рахунок незамерзлої води, що міститься в ньому при даній мінусовій температурі, %;  $\rho_s$  - щільність часток ґрунту,  $\text{г/см}^3$ ;  $e_f$  - коефіцієнт пористості мерзлого ґрунту;  $\rho_w$  - щільність води, що дорівнює  $1 \text{ г/см}^3$ .

**Техногенні ґрунти** – природні ґрунти, змінені та переміщені в результаті виробничої і господарської діяльності людини, та антропогенні утворення.

**Антропогенні утворення** - тверді відходи виробничої та господарської діяльності людини, в результаті якої виникла докорінна зміна складу, структури та текстури природної мінеральної чи органічної сировини.

**Природні переміщені утворення** – природні ґрунти, переміщені з місць їх природного залягання, які підлягли частковій виробничій переробці в процесі їх переміщення.

**Природні утворення, змінені в умовах природного залягання** – природні ґрунти, для яких середні значення показників хімічного складу змінені не менш ніж на 15 %.

**Ґрунти, змінені фізичним впливом**, – природні ґрунти, в яких техногенний вплив (ущільнення, заморожування, тепловий вплив та інше) змінює будову та фазовий склад.

**Ґрунти, змінені під хіміко-фізичним впливом**, – природні ґрунти, у яких техногенний вплив змінює їх речовинний склад, структуру та текстуру.

**Насипні ґрунти** – техногенні ґрунти, переміщення та укладення яких здійснюються з використанням транспортних засобів, вибуху.

**Намивні ґрунти** – техногенні ґрунти, переміщення та укладення яких здійснюються за допомогою засобів гідромеханізації.

**Побутові відходи** – тверді відходи, утворені в результаті побутової діяльності людини.

**Промислові відходи** – тверді відходи виробництва, отримані в результаті хімічних та термічних перетворень матеріалів природного походження.

**Шлаки** – продукти хімічних та термічних перетворень гірських порід, що утворюються при спалюванні.

**Шлами** – вискодисперсні матеріали, що утворюються у гірничо-збагачувальному, хімічному та деяких інших видах виробництва.

**Золи** – продукти спалювання твердого палива.

**Золошлаки** – продукти комплексного термічного перетворення гірських порід та спалювання твердого палива.

## НОМЕНКЛАТУРА ҐРУНТІВ ОСНОВ

*Номенклатура ґрунтів* – це назва ґрунтів залежно від їх властивостей та місця у класифікації.

Частина типів ґрунту була названа за місцем їхнього розташування в ландшафті та в просторі: болотні, лучні, тундрові, арктичні. Для номенклатури ґрунтів застосовують терміни, що визначають характерні властивості ґрунту: солончак, солонець, солодь, торф'яно-глейовий ґрунт тощо.

У кожному генетичному типі виділяють «центральный» підтип, для назви якого використовують терміни «типовий» або «звичайний». Для кількісної характеристики властивостей окремих видів ґрунту використовують терміни мало-, середньо-, багато або слабко-, середньо-, сильно-. Повна назва ґрунту починається з назви типу, далі називають підтип, рід, вид, різновид, розряд. *Наприклад*, чорнозем (тип), типовий (підтип), солонцюватий (рід), мало-гумусний глибокий (вид), середньосуглинковий (різновид), на лесовидному середньому суглинку (розряд).

Система номенклатури ґрунтів в Україні зберегла народну основу і ґрунтується на державній мові і постійно збагачується новими термінами. Сучасна вітчизняна номенклатура ґрунтів дає змогу з повної назви ґрунту дістати інформацію про його основні властивості.

Ґрунти, які використовуються в якості основ будівель і споруд, підрозділяються на:

- ✓ **скельні** - вивержені, метаморфічні й осадові породи з твердим зв'язком між зернами (спаяні і зцементовані), що залягають у виді суцільного масиву чи тріщинуватого шару, що утворює подобу сухої кладки;
- ✓ **великоуламкові** - незцементовані ґрунти, що містять більш 50% по вазі уламків кристалічних чи осадових порід з розмірами часток більш 2 мм;
- ✓ **піщані** - сипучі в сухому стані ґрунти, що не володіють властивістю пластичності ( $I_n < 1$ ), які містять менш 50 % по вазі часток крупніше 2 мм;
- ✓ **глинисті** - зв'язні ґрунти, для яких число пластичності  $I_n \geq 1$ .

Великоуламкові, піщані і глинисті ґрунти поєднуються загальним найменуванням - **нескельні ґрунти**.

Примітка: Числом пластичності  $I_n$  ґрунту називається різниця вагових вологостей, виражених у відсотках, що відповідають двом станам ґрунту: на границі текучості  $W_T$  і на границі розкочування  $W_p$ .

**Скельні ґрунти** розрізняються за тимчасовим опором стиску в насиченому водою стані, за розчинністю і за розм'якшенням їх у воді. Такими, що розм'якшуються, називаються скельні ґрунти, в яких відношення тимчасових опорів одноосьовому стиску в насиченому водою й у повітряно-сухому стані менше 0,75.

Великоуламкові і піщані ґрунти в залежності від зернового складу підрозділяють на види згідно табл. 1 (Додатки).

Показники фізичних властивостей скельних і нескельних ґрунтів між собою значно розрізняються. Фізичні характеристики підрозділяються на основні, похідні та класифікаційні. Основними є характеристики, що визначаються на основі лабораторних досліджень. Інші фізичні характеристики є розрахунковими.

## ТЕМА 1. ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ҐРУНТІВ

**Мета.** Сформувати у студентів знання про структуру ґрунту, фізичні властивості та їх значення для дослідження напружено-деформованого стану основ і проектування фундаментів.

**Завдання.** Вивчити характеристики та розрахункові формули щодо основних і допоміжних характеристик ґрунтів, терміни, позначення та одиниці вимірювання щодо визначення фізичних характеристик ґрунтів, які найчастіше використовуються на практиці. З'ясувати, яким чином розраховуються основні і допоміжні фізичні характеристики ґрунтів. Виконати розрахунки відповідних до теми самостійних та індивідуальних завдань.

Ступінь ущільненості ґрунту в умовах природнього залягання оцінюється на основі цілого ряду фізичних характеристик, що отримуються завдяки виконанню дослідів у польових умовах, або випробувань у дослідних лабораторіях зразків ґрунту з непорушеною природньою структурою.

Взагалі є потреба в отриманні ряду характеристик ґрунтів, позначень та опис яких наведено нижче.

Розглянемо одиничний об'єм пухкого ґрунту, який представлений на рис. 1.1, та введемо наступні позначення:

- $V$  – повний об'єм зразку (одиниця),  $\text{см}^3$ ;
- $V_{\text{кіст}}$  – об'єм твердих часток (кістяку) ґрунту,  $\text{см}^3$ ;
- $V_{\text{пор}}$  – об'єм пор,  $\text{см}^3$ ;
- $V_{\text{в}}$  – об'єм води у порах,  $\text{см}^3$ ;
- $Q_{\text{кіст}}$  – вага кістяку ґрунту, г;
- $Q_{\text{в}}$  – вага води у порах, г;
- $Q$  – повна вага зразку, г.

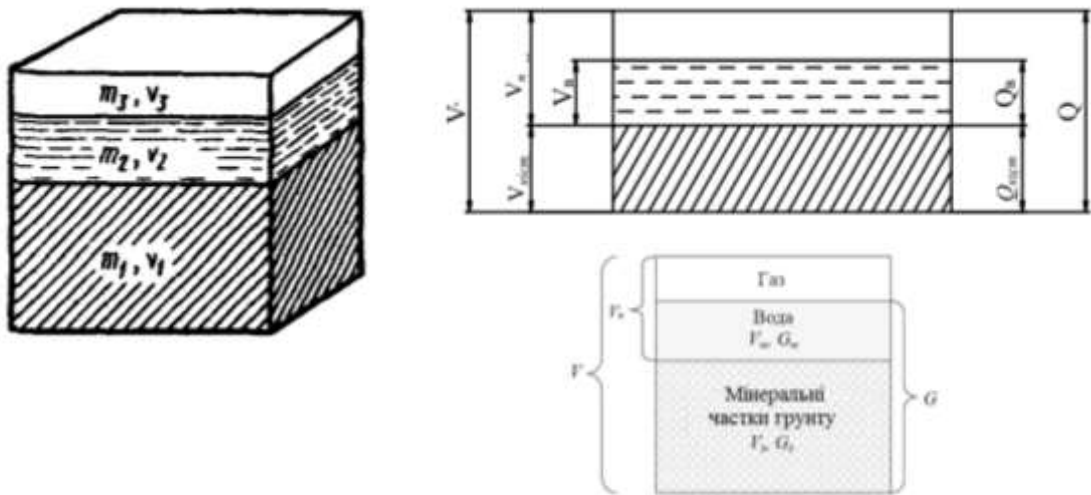


Рисунок 1.1 – Схематичне уявлення об'єму зразка ґрунту

1. *Питома вага ґрунту* –  $\gamma$ , це відношення всієї ваги зразка ґрунту (з водою, тобто в його природньому стані) до його об'єму:

$$\gamma = \frac{Q}{V}, \text{ г/см}^3. \quad (1)$$

Величину  $\gamma$  - отримують у лабораторних умовах. Вона змінюється у великих межах 1,5-2 та більш г/см<sup>3</sup> і залежить від щільності та вологості ґрунту.

2. *Питома вага часток ґрунту* –  $\gamma_s$ , це відношення ваги твердих часток до їх об'єму, що визначаються у лабораторних умовах, для різних ґрунтів та змінюється у дуже малих межах – 2,6-2,8 г/см<sup>3</sup>:

$$\gamma_s = \frac{Q_{\text{кіст}}}{V_{\text{кіст}}}, \text{ г/см}^3. \quad (2)$$

3. *Вагова вологість ґрунту* –  $W$ , це відношення ваги води до ваги твердих часток (кістяку) зразка ґрунту. Отримується у лабораторних умовах. Виражається у процентах, і частіше за все складає 15-50 %, а у мулах і до 250 %:

$$W = \frac{Q_w}{Q_{\text{кіст}}} \cdot 100, \%. \quad (3)$$

Характеристики, що визначаються у лабораторних умовах (1)-(3): *об'ємна вага ґрунту; питома вага ґрунту та вагова вологість ґрунту* – є **основними**. По



основним фізичним характеристикам ґрунтів отримують допоміжні характеристики, що наведені у табл. 1. Формули до розрахунків допоміжних фізичних характеристик ґрунтів, що найчастіше використовуються на практиці, наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики та розрахункові формули щодо **основних** і **допоміжних** фізичних характеристик ґрунтів

<b>Основні характеристики ґрунтів, що визначаються у лабораторних умовах</b>	<b>Допоміжні характеристики ґрунтів, що визначаються розрахунковим способом</b>
<p>1). <math>\gamma</math> - питома вага ґрунту у природньому стані, г/см<sup>3</sup>.</p> <p>2). <math>\gamma_s</math> - питома вага часток ґрунту, г/см<sup>3</sup>.</p> <p>3). <math>W</math> - вагова вологість ґрунту у долях одиниць (якщо вологість розраховують у відсотках, то в формули підставляють величину <math>\frac{W}{100}</math> або <math>0,01W</math> .</p>	<p>1). Питома вага сухого ґрунту:</p> $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W}, \text{ г/см}^3.$ <p>2). Пористість ґрунту, %:</p> $n = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \times 100 \% .$ <p>3). Коефіцієнт пористості ґрунту:</p> $e = \frac{n}{1 - n} .$ <p>4). Повна вологоємність ґрунту (вологість, що відповідає ґрунту, який повністю насичений водою):</p> $W_{sat} = e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \cdot 100, \%$ <p>5). Коефіцієнт водонасичення (ступень вологості):</p> $S_r = \frac{W}{W_{sat}} = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_w} .$ <p>Залежно від коефіцієнту водонасичення розрізняють такі різновиди ґрунтів: <b>маловологі</b> <math>0 \leq S_r \leq 0,5</math>; <b>вологі</b> <math>0,5 &lt; S_r &lt; 0,8</math>; <b>насичені водою</b> <math>0,8 \leq S_r \leq 1,0</math> .</p> <p>6). Коефіцієнт пористості при повному заповненню пор водою:</p>

<b>Основні характеристики ґрунтів, що визначаються у лабораторних умовах</b>	<b>Допоміжні характеристики ґрунтів, що визначаються розрахунковим способом</b>
	$e = W_{sat} \frac{\gamma_s}{\gamma_w}.$ <p>7). Об'ємна вага ґрунтів, де тверді частинки перебувають у суспензорному стані (після висушування, де тверді частки знаходяться у зваженому стані):</p> $\gamma_{зв} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}, \text{ Г/см}^3.$ <p>8). Об'ємна вага водонасичених ґрунтів, які не перебувають у суспензорному стані (водонасичені ґрунти, що не знаходяться у зваженому стані):</p> $\gamma_{w_{sat}} = \gamma_s (1 - n) + n \gamma_w, \text{ Г/см}^3.$ <p>9). Об'єм газу у 1 см<sup>3</sup> ґрунту</p> $V_{газ} = \left( \frac{e}{\gamma_s} - \frac{W}{\gamma_w} \right) \cdot \gamma_d.$ <p>10). Число пластичності:</p> $I_{II} = W_L - W_P, \%$ <p><math>W_L</math> - вологість на межі текучості;  <math>W_P</math> - вологістю на межі розкочування  Відповідно до діючих нормативних документів глинисті ґрунти поділяються на види, відповідно до табл. 3, Додатків методичних рекомендацій.</p> <p>11). Консистенція непросадних глинистих ґрунтів:</p> $B = \frac{W - W_P}{I_{II}}, \%$ <p>Відповідно до цієї характеристики глинисті непросадні ґрунти поділяють за консистенцією відповідно до</p>

<b>Основні характеристики ґрунтів, що визначаються у лабораторних умовах</b>	<b>Допоміжні характеристики ґрунтів, що визначаються розрахунковим способом</b>
	табл. 5, Додатки методичних рекомендацій.  <u>Примітка:</u> $\gamma_w = 1 \text{ г/см}^3 = 10 \text{ кН/м}^3$ – питома вага води.

### Приклади розрахунків фізичних характеристик ґрунтів.

**Розрахункове завдання № 1.1.** За допомогою ріжучого кільця, що має вагу 137 г і об'єм  $160 \text{ см}^3$ , був відібраний зразок суглинку.

Вага кільця зі зразком була 451 г, а після висушування – 409 г. Обчислити основні та допоміжні фазові характеристики суглинку: питому вагу, вологість і питому вагу сухого ґрунту.

Знаючи, що питома вага часток цього суглинку складає  $2,71 \text{ г/см}^3$ , знайти коефіцієнт пористості, пористість, коефіцієнт водонасичення, а також його повну вологоємність.

#### Розрахунок.

1. Питома вага ґрунту:

$$\gamma = \frac{Q}{V} = \frac{451 - 137}{160} = 1,96 \text{ г/см}^3.$$

2. Питома вага сухого ґрунту:

$$\gamma_d = \frac{Q_{\text{кисм}}}{V} = \frac{409 - 137}{160} = 1,7 \text{ г/см}^3.$$

3. Вологість:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W}; \quad W = \left( \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

$$W = \left( \frac{1,96}{1,7} - 1 \right) \cdot 100 \% = 15,3 \%$$

4. Пористість:

$$n = \left( 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \right) \times 100 \% = \left( 1 - \frac{1,7}{2,71} \right) \cdot 100 \% = 38 \%$$

5. Коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{n}{1-n} = \frac{0,38}{1-0,38} = 0,61.$$

6. Коефіцієнт водонасичення:

$$S_r = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_w} = \frac{15,3 \cdot 2,71}{100 \cdot 0,61 \cdot 1} = 0,68.$$

7. Повна вологоємність:

$$W_{sat} = e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \cdot 100\% = 0,61 \cdot \frac{1}{2,71} \cdot 100\% = 22,51\%.$$

**Висновок:** відповідно до розрахунків фізичні характеристики ґрунтів мають наступні показники:

$\gamma = 1,96 \text{ г/см}^3$  – об’ємна вага ґрунту;

$W = 15,3\%$  – вологість ґрунту;

$\gamma_d = 1,7 \text{ г/см}^3$  – питома вага сухого ґрунту;

$n = 38\%$  – пористість ґрунту;

$e = 0,61$  – коефіцієнт пористості ґрунту;

$W_{sat} = 21,51\%$  – повна вологоємність ґрунту;

$S_r = 0,68$  – коефіцієнт водонасичення ґрунту – відповідно до величини ґрунт за різновидом - вологий [1].

**Розрахункове завдання № 1.2.** По заданим основним характеристикам глинистого ґрунту  $\gamma_s = 2,85 \text{ г/см}^3$ ,  $\gamma = 1,86 \text{ г/см}^3$ ,  $W = 8\%$ ,  $w_p = 10\%$  и  $w_L = 18\%$  розрахувати допоміжні характеристики за формулами, що наведені у табл. 1.1 та вказати його вид [1].

**Розрахунок.**

1. Питома вага сухого ґрунту

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+0,01W} = \frac{1,86}{1+0,01 \times 8} = 1,72 \text{ г/см}^3.$$

2. Пористість ґрунту

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = 1 - \frac{1,72}{2,85} = 0,40, \text{ або } 40 \%$$

3. Коефіцієнт пористості

$$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{0,40}{1 - 0,40} = 0,67 .$$

4. Об'ємну вагу ґрунту у водонасиченому стані

$$\gamma_{w_{sat}} = \gamma_s (1 - n) + n\gamma_w = 2,85 \times (1 - 0,40) + 0,40 \times 1 = 2,11 \text{ Г/см}^3.$$

5. Число пластичності

$$I_n = W_L - W_P = 18 - 10 = 8 \%$$

6. Коефіцієнт консистенції

$$B = \frac{W - W_P}{I_n} = \frac{8 - 10}{8} = -0,25 .$$

7. Повна вологоємність ґрунту

$$W_{sat} = \frac{e\gamma_w}{\gamma_s} \times 100 \% = \frac{0,67 \times 1}{2,85} \times 100 \% = 23,51 \%$$

**Висновок:** відповідно до розрахунків допоміжні фізичні характеристики ґрунтів мають наступні значення:

$\gamma_d = 1,72 \text{ Г/см}^3$  – питома вага сухого ґрунту;

$n = 40 \%$  – пористість ґрунту;

$e = 0,67$  – коефіцієнт пористості ґрунту;

$\gamma_{w_{sat}} = 2,11 \text{ Г/см}^3$  – об'ємна вага водонасиченого ґрунту, який не перебуває у

суспензорному;

$I_n = 8 \%$  - число пластичності;

$B = -0,25$  – коефіцієнт консистенції.

Значення числа пластичності ( $I_n$ ) та коефіцієнту консистенції ( $B$ ) вказує на те, що ґрунт у наведеному прикладі є **суглинок твердої консистенції** (за табл. 3 і 5 Додаток методичних рекомендацій).

**Розрахункове завдання № 1.3.** Встановити назву ґрунту, що має наступний гранулометричний склад.

Тверді частки ґрунту (скелета) складаються з зерен різної величини. Від різних розмірів, форми, стану поверхні і петрографічного складу зерен залежать механічні властивості ґрунтів.

Розрізняють два виду основних види зерен: компактної форми (піщані ґрунти), і пластичної форми (глинисті ґрунти). В інженерній геології є прийняті найменування зерен [1]

Кожне з найменувань зерен і частинок, зазначених в [1] має свої особливості, які впливають на фізичні і механічні властивості ґрунту, що містить в своєму складі цей вид зерен або часток. Ступінь цього впливу залежить від процентного вмісту даного виду зерен в складі ґрунту.

#### Вихідні дані до розрахунку:

Фракція, мм	Вага, г
більше 10	5,8
10-5	16
5-2	18,1
2-1	43,2
1-0,5	50,6
0,5-0,25	139,3
0,25-0,1	173,4
менше 0,1	53,6

#### Розрахунок.

1. Розрахуємо загальну вагу фракційного матеріалу, який становить - 500 г.
2. Визначаємо процентний вміст усіх фракцій. Зручно робити це в такій же табличній формі:

Фракція, мм	Вага, г
Більше 10	$\frac{5,8 \cdot 100}{500} = 1,16\%$
10-5	$\frac{16 \cdot 100}{500} = 3,2\%$
5-2	$\frac{18,1 \cdot 100}{500} = 3,62\%$
2-1	$\frac{43,2 \cdot 100}{500} = 8,64\%$
1-0,5	$\frac{50,6 \cdot 100}{500} = 10,12\%$

0,5-0,25	$\frac{139,3 \cdot 100}{500} = 27,86\%$
0,25-0,1	$\frac{173,4 \cdot 100}{500} = 34,68\%$
Менше 0,1	$\frac{53,6 \cdot 100}{500} = 10,72\%$

3. Виконати перевірку відповідності суми значень правого рядка, яка повинна становити - 100 %.

4. Для встановлення найменування ґрунту треба звернутися до таблиці 1 Додатка методичних рекомендацій. Далі слідуюмо примітці табл. 1 Додатка: послідовно просумувати вміст у відсотках часток досліджуваного ґрунту: спочатку крупніше 10 мм, потім – крупніше 2 мм і т.д. Найменування ґрунту приймається по першому задовольняючому показнику в порядку розташування найменувань у табл. 1 Додатка методичних рекомендацій:

Вага часток крупніше..., мм	%
5	4,36
2	7,98
1	16,62
0,5	26,74
0,25	54,6

**Висновок.** Вага часток крупніше 0,25 мм складає 54,6 %, отже, за табл. 1 Додатка це – *ґрунт піщаний, пісок середньої крупності*.

**Розрахункове завдання № 1.4.** Визначити капілярний тиск і висоту капілярного підняття в пилюватій супесі, діаметр часток якої в основному дорівнює 0,002 см.

#### **Розрахунок.**

Сила капілярного тиску води визначається за формулою Лапласа:

$$q = \frac{2\alpha}{r},$$

де  $\alpha$  - поверхневий натяг води, що дорівнює  $7,5 \cdot 10^{-5}$  кг/см;  $r$  - радіус кривизни меніска, що дорівнює радіусу пор;  $d$  часток  $\cong d$  пор = 0,002 см.

$$r = \frac{d}{2} = 0,001 \text{ см};$$

$$q = \frac{2 \times 7,5 \times 10^{-5}}{1 \times 10^{-3}} = 0,15 \text{ кг/см}^2.$$

Висота капілярного підняття при  $\gamma_e = 0,001 \text{ кг/см}^3$ :

$$h_k = \frac{q}{\gamma_e} = \frac{0,15}{0,001} = 150 \text{ см} = 1,5 \text{ м}.$$

**Висновки:** відповідно до розрахунків в пилюватій супесі капілярний тиск складає  $q = 0,15 \text{ кг/см}^2$ , а висоту капілярного підняття  $h_k = 1,5 \text{ м}$ .

### Самостійна робота.

**Розрахункове завдання № 1.5.** Питома вага сухого ґрунту дорівнює  $1,56 \text{ г/см}^3$ , а питома вага часток ґрунту -  $2,66 \text{ г/см}^3$ . Визначити основні фазові характеристики у водонасиченому стані - об'ємну вагу ґрунту і вологість, а також його коефіцієнт пористості.

**Розрахункове завдання № 1.6.** По наданим характеристикам дрібних пісків  $\gamma_s = 2,70 \text{ г/см}^3$ ,  $e = 0,65$  і  $W = 14 \%$  розрахувати коефіцієнт вологості, об'ємну вагу де тверді частки ґрунту перебувають у суспензорному стані та надати оцінку щільності піску відповідно табл. 4 Додатків методичних рекомендацій.

**Розрахункове завдання № 1.7.** Вага бюксу зі зразком ґрунту складає  $70,26 \text{ г}$ , вага бюксу -  $35,15 \text{ г}$ . Після висушування вага бюксу з ґрунтом -  $64,12 \text{ г}$ . Границя текучості його  $W_T = 29 \%$ , границя розкочування  $W_P = 18 \%$ . Визначити назву ґрунту та його консистенцію за табл. 5 Додатків методичних рекомендацій.



**Індивідуально-розрахункове завдання № 1.8.** Зразок мокрого піску об'ємом  $464 \text{ см}^3$  важить  $793 \text{ г}$ . Вага кістяка дорівнює  $735 \text{ г}$ , а питома вага часток ґрунту -  $2,68 \text{ г/см}^3$ . Знаючи основні фазові характеристики ґрунту, визначити: об'ємну вагу кістяка, пористість, коефіцієнт пористості і ступінь вологості. Вказати категорію ґрунту відносно розрахованої коефіцієнт вологості ґрунту.

**Вихідні дані за варіантами.**

№ варіанту	$V, \text{ см}^3$ об'єм зразку ґрунту в природному стані	$Q, \text{ г}$ вага зразку ґрунту в природному стані	$Q_{\text{кіст}}, \text{ г}$ вага кістяка зразку ґрунту	$\gamma_s, \text{ г/см}^3$ питома вага часток зразка ґрунту
1	464	793	735	2,68
2	500	800	742	2,7
3	435	700	650	2,6
4	550	850	845	2,8
5	475	783	733	2,63
6	635	824	773	2,73
7	448	784	733	2,61
8	534	699	649	2,62
9	489	815	765	2,63
10	457	762	712	2,64
11	475	783	733	2,65
12	497	798	746	2,66
13	455	734	684	2,67
14	540	830	845	2,68
15	495	795	740	2,69
16	676	876	824	2,70
17	450	764	713	2,71
18	576	687	636	2,72
19	639	715	664	2,73
20	489	732	681	2,74
21	523	755	700	2,75
22	457	830	735	2,70
23	495	876	636	2,66

**Індивідуально-розрахункове завдання № 1.9.** По наданим основним характеристикам глинистого ґрунту розрахувати допоміжні характеристики за формулами наведеними у [1] і вказати вид та консистенцію ґрунту.

**Вихідні дані за варіантами.**

№ варіанту	Питома вага часток ґрунту $\gamma_s$ , г/см <sup>3</sup>	Питома вага ґрунту $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Вологість ґрунту		
			вагова $W$ , %	на межі розкочування $W_P$ , %	на межі текучості $W_T$ , %
1	2,79	1,9	12	14	19
2	2,68	1,81	14	18	27
3	2,65	1,78	17	19	38
4	2,84	1,82	16	22	44
5	2,76	1,64	20	13	20
6	2,89	1,68	22	15	19
7	2,74	1,66	18	17	27
8	2,77	1,81	6	8	14
9	2,66	1,72	10	12	23
10	2,82	1,69	22	21	48
11	2,85	1,80	15	21	43
12	2,73	1,67	19	18	28
13	2,80	1,9	11	13	18
14	2,81	1,70	21	22	47
15	2,64	1,79	18	20	39
16	2,69	1,75	10	13	21
17	2,72	1,8	16	19	30
18	2,34	1,60	18	20	36
19	2,64	1,72	15	20	46
20	2,56	1,54	21	15	27
21	2,69	1,68	22	15	20
22	2,74	1,66	19	18	28
23	2,81	1,61	5	9	16
24	2,76	1,52	9	13	25
25	2,62	1,59	26	20	49

**Індивідуально-розрахункове завдання № 1.10.** Установити назву ґрунту, що має наступний гранулометричний склад.

**Вихідні дані за варіантами:**

Фракція, мм	Варіант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
більше 10	36,3	40,5	127,5	56,3	9,8	7,5	16,8	107,5	56,5	36,2	6,8	137,5	49,5	16,2	37,9
10-5	48,4	54,9	63,6	78,4	20,5	13,9	15,9	33,6	58,5	29,3	15	53,6	28,9	19,3	44,9
5-2	52,1	60,7	54,1	62,1	19,7	17,7	39,3	24,1	72,3	49,6	19,7	74,1	62,5	29,6	50,1
2-1	39,9	72,6	44,2	40,0	48,8	85,4	105,8	84,2	89,9	72,3	45,8	64,2	40,2	52,3	42,4
1-0,5	82,7	150,2	50,3	92,7	59,8	25,8	35,8	70,3	102,7	113,1	55,8	50,3	39,8	103,1	90,2
0,5-0,25	41,5	135,3	36,8	31,5	125,4	125,4	85,4	36,8	61,5	109,3	145,4	46,8	47,5	99,3	35,3
0,25-0,1	97,2	85,8	93,2	27,2	153,6	153,6	153,6	53,2	77,2	57,8	183,6	43,2	102,3	77,8	95,8
менше 0,21	101,9	100,0	30,3	211,8	62,4	170,7	47,4	90,3	81,4	32,4	27,9	30,3	129,3	102,4	103,4

**Індивідуально-розрахункове завдання № 1.11.** Визначити капілярний тиск і висоту капілярного підняття води для суглинку. Діаметр часток дорівнює 0,004 см.

## ТЕМА 2. МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ҐРУНТІВ

**Мета.** З'ясувати походження механічних властивостей ґрунтів, які залежать від: мінерального і гранулометричного складу; фізичного стану (щільності, вологості, температури та ін.); структурних і текстурних особливостей; генезису (тобто умов формування ґрунтової товщі).

**Завдання.** Вивчити характеристики деформованості і міцності ґрунтів, що відображають механічні процеси, які відбуваються в основах внаслідок силових впливів у складному напруженому стану. Проаналізувати графіки компресії ґрунтів. Виконати розрахункові завдання щодо отримання величин деформаційних властивостей та стисливості ґрунтів, які необхідні для розрахунків осідань основ споруд.

Серед інших порід ґрунти відрізняються, перш за все, наявністю великої кількості пір, малою міцністю і тим, що під впливом вологи вони суттєво змінюють свої механічні характеристики.

Основні механічні характеристики ґрунтів: *деформаційні* та *міцностні*.

Механічні властивості ґрунтів залежать від:

- ✓ мінерального і гранулометричного складу;
- ✓ фізичного стану (щільності, вологості, температури та ін.);
- ✓ структурних і текстурних особливостей;
- ✓ генезису (тобто умов формування ґрунтової товщі).

### 2.1 Деформаційні властивості дисперсних ґрунтів

Фізико-механічні властивості ґрунтів – це характеристики деформованості і міцності, що відображають механічні процеси, які відбуваються у ґрунтах внаслідок силових впливів (зовнішніх і внутрішніх, природних і антропогенних).

У дограничному напруженому стані характеристики механічних властивостей ґрунтів називаються деформаційними. Ці властивості проявляються при навантаженнях нижче критичних, що не призводять до

руйнування. Вони визначають здатність ґрунтів чинити опір розвитку деформацій (осідання, горизонтальних зміщень та ін.).

Деформаційні властивості ґрунтів проявляються в зміні форми і об'єму при діянні на ґрунт зовнішніх зусиль, які не призводять до руйнування. Одним з завдань дослідження *деформаційних властивостей* дисперсних ґрунтів є вивчення *характеру стисливості*, величини та швидкості цього процесу, отримання величин характеристик, необхідних для розрахунків осідань основ споруд.

Стисливість (за законом ущільнення) – здатність ґрунту зменшуватися в об'ємі під дією зовнішніх навантажень. Зміна об'єму ґрунту відбувається за рахунок: зменшення об'ємів пор, розміщених у середині ґрунту, і заповнення водою або повітрям, за рахунок зміни фізичного стану тощо.

Показники, що визначають міру стисливості ґрунтів, отримані в лабораторних умовах шляхом стиснення зразків ґрунту без можливості бокового розширення, називаються компресійними характеристиками і визначаються в основному шляхом компресійних випробувань. Це випробування ґрунту в умовах одновісного стиснення без можливості бокового розширення детально наведено у Розділі 5 [1].

Стисливість залежить від пористості ґрунтів, гранулометричного і мінералогічного складу, природи внутрішніх структурних зв'язків і характеру навантаження.

Стисливість ґрунтів визначається за ДСТУ Б В.2.1-4-96 [2].

**Коефіцієнт стисливості (ущільнення) ґрунту**  $a$  (см<sup>2</sup>/кг; МПа<sup>-1</sup>) - це відношення зміни коефіцієнта пористості ( $e$ ) до різниці (на інтервалі) тисків ( $P$ , кг/см<sup>2</sup>, МПа) див. рис. 2.1, яка викликала цю зміну, і розраховується за формулою:

$$a = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}.$$

Залежно від величини коефіцієнта стисливості можна приблизно охарактеризувати ступінь стисливості ґрунтів, табл. 2.1.

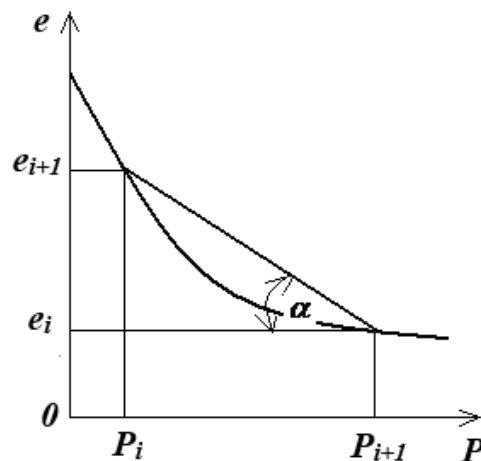


Рисунок 2.1 – Компресійна крива

Таблиця 2.1 – Класифікація ґрунтів за ступенем стисливості

Коефіцієнт стисливості $a$ , МПа <sup>-1</sup>	Стисливість ґрунту
<0,01	практично нестискуваний
0,01-0,05	слабостискуваний
0,05-0,1	середньостискуваний
0,1-1,0	підвищенностискуваний
>1,0	сильностискуваний

Коефіцієнт стисливості (ущільнення) – найважливіша розрахункова характеристика *деформованості ґрунтів*, яка використовується при визначенні осідання споруд. Він дає можливість визначити міру стиснення ґрунту і якісно оцінити ґрунт як основу споруд.

**Модуль загальної деформації ґрунту**  $E$  (МПа) - це коефіцієнт пропорційності між *відносною деформацією* ґрунтового зразка і вертикальним тиском на зразок.

Також, є поняття *компресійний модуль деформації ґрунту*  $E_k$  в інтервалі тисків від  $P_i$  до  $P_{i+1}$  слід визначати за формулою:

$$E_k = \frac{\beta}{a_0},$$

де  $\beta$  - емпіричний коефіцієнт, який враховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі. Приймати рівним для:

- ✓ пілуватих і мілких пісків - 0,8;
- ✓ супісків – 0,7;
- ✓ суглинків – 0,5; д
- ✓ глини – 0,4.

$a_0$  - коефіцієнт відносної стисливості визначаємо за формулою:

$$a_0 = \frac{a}{1 + e_0} \text{ МПа}^{-1}$$

$$E_k = \frac{1 + e_0}{a},$$

де  $e_0$  - початковий коефіцієнт пористості.

Модуль загальної деформації, який відповідає натурним випробуванням (іноді його називають штамповим), обчислюють з урахуванням коригуючого коефіцієнту, який позначається  $m_k$  за формулою:

$$E = E_k \cdot m_k.$$

Коригуючий коефіцієнт –  $m_k$ , і приймається за табл. 5.2 [1] відповідно до типу ґрунту.

**Приклад до розрахункового завдання 2.1.** За результатами компресійних випробувань для твердої глини були отримані наступні дані: коефіцієнти пористості та величини зусилля тиску:  $e_1 = 0,648$ ,  $P_1 = 0,10$  МПа;  $e_2 = 0,643$ ;  $P_2 = 0,20$  МПа;  $e_0 = 0,657$ . Визначити ступінь стисливості і компресійний модуль деформації ґрунту.

### Розв'язання.

Визначимо коефіцієнт стисливості за формулою

$$a = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = \frac{0,648 - 0,643}{0,2 - 0,1} = 0,05 \text{ МПа}^{-1}$$

Згідно з табл. 2.1, досліджуваний ґрунт має середню стисливість.

Компресійний модуль деформації визначимо за формулою:

$$E_k = \frac{\beta}{a_0},$$

де  $\beta$  - емпіричний коефіцієнт, який враховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі, прийма для глин – 0,4.

$a_0$  - коефіцієнт відносної стисливості визначаємо за формулою:

$$a_0 = \frac{a}{1 + e_0} = \frac{0,05}{1 + 0,657} = 0,03 \text{ МПа}^{-1}$$

Тоді  $E_k = \frac{0,4}{0,03} = 14 \text{ МПа}$ .

**Висновок:** досліджуваний ґрунт має середній ступень стисливості відповідно до коефіцієнту стисливості, який складає  $a = 0,05 \text{ МПа}^{-1}$  та компресійний модуль деформації  $E_k = 14 \text{ МПа}$ .

**Приклад до розрахункового завдання 2.2.** Виконати обробку результатів компресійних випробувань лесового суглинку, Одеська область (табл.), і визначити його деформаційні характеристики: коефіцієнт стисливості  $a$  і компресійний модуль деформації  $E_k$ .

**Вихідні данні.**

Початковий коефіцієнт пористості ґрунту $e_0$ (част. од.) при $P_0 = 0$	Коефіцієнт пористості ґрунту $e$ (част.од.) при природній вологості і нормальному тиску $P$ , МПа				
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
	0,025	0,050	0,100	0,200	0,300
0,704	0,678	0,661	0,626	0,590	0,567

Розрахунки виконати, наприклад, для інтервалу тисків від 0,1 до 0,2 МПа

$$a = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} = \frac{0,626 - 0,590}{0,200 - 0,100} = 0,360 \text{ МПа}^{-1}$$

Обчислимо компресійний модуль деформації  $E_k$  за формулою  $E_k = \frac{\beta}{a_0}$  для

вказаного вище інтервалу тисків; для суглинків  $\beta = 0,5$ :

$$E_k = \frac{\beta}{a_0} = \frac{1 + e_0}{a} \beta = \frac{1 + 0,704}{0,360} \times 0,5 = 2,36 \text{ МПа}$$



**Висновок.** За ступенем стисливості  $a = 0,360 \text{ МПа}^{-1}$  згідно за табл. 2.1, в межах навантажень від 0,1 до 0,2 МПа ґрунт підвищенностискуваний, компресійний модуль деформації складає 2,36 МПа.

**Самостійна робота.** За прикладом 2.2 розрахувати деформаційні характеристики: коефіцієнт стисливості, компресійний модуль деформації, загальний модуль деформації (штамовий) та вказати ступень стисливості (табл. 2.1) для інтервалу тисків  $P_1 - P_2$  та  $P_4 - P_5$ .

## 2.2 Компресійне стиснення ґрунтів

Щоб судити про розміри майбутнього осідання ґрунту під фундаментом, слід знати залежність змін пористості від зміни тиску, тобто потрібно знати стисливість ґрунтів. Ця залежність встановлюється дослідним шляхом – лабораторним і польовим.

**Індивідуальне розрахункове завдання № 2.3.** За допомогою лабораторних кривих компресії побудувати графік стисливості (осідання) шаруватого ґрунту, що складається із шару суглинку товщиною 1 м, який підстиляється шаром супіску товщиною 3 м. Графіки компресії суглинку і супіску наведені на рис. 2.1.

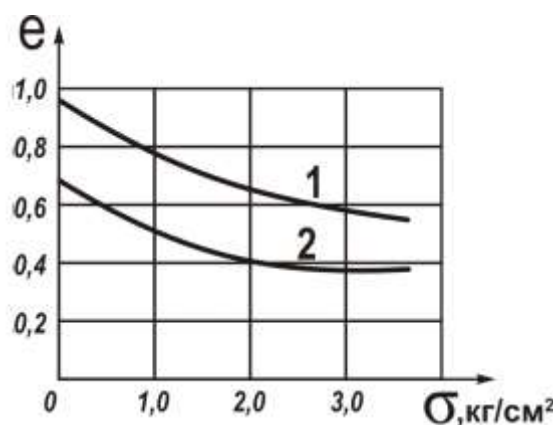


Рисунок 2.2 – Компресійні криві суглинку (1) і супіску (2)

**Примітка:** для побудови графіка стисливості шаруватого ґрунту визначаємо коефіцієнт стисливості (коефіцієнт ущільнення) кожного шару -  $a_i$ .

Потім визначаємо осідання кожного шару ґрунту -  $S_i$ . Формули для розрахунку наведені:

$$a_i = \frac{e_{n_i} - e_{\kappa_i}}{\sigma_{\kappa_i} - \sigma_{n_i}}; \quad S_i = \frac{a_i \times \Delta\sigma_i \times h_i}{1 + e_{n_i}}.$$

Після розрахунку осідання в кожному інтервалі навантажень (тиску), визначаємо загальне осідання:

$$S = S_{1\text{суглинку}} + S_{2\text{супіску}}.$$

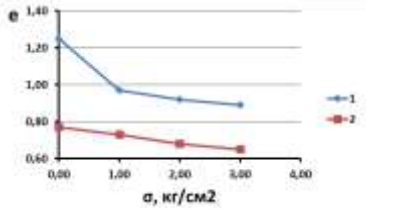
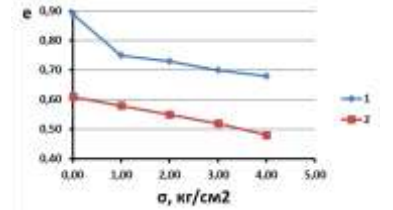
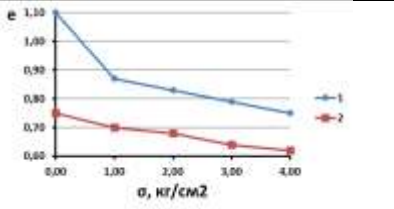
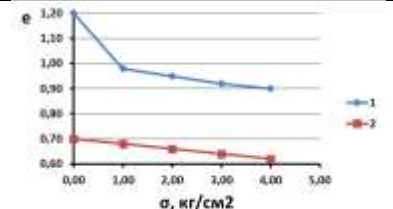
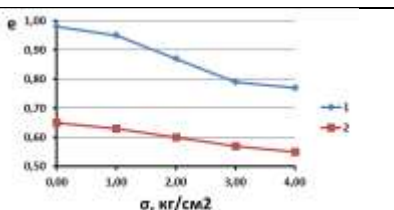
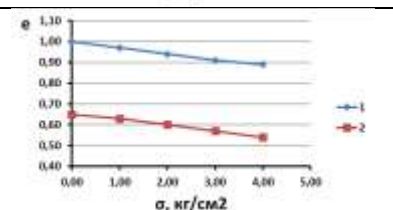
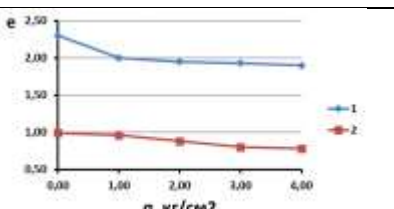
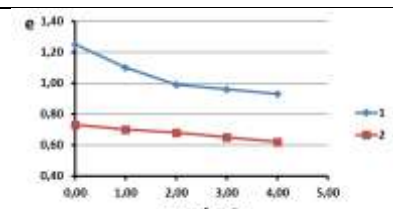
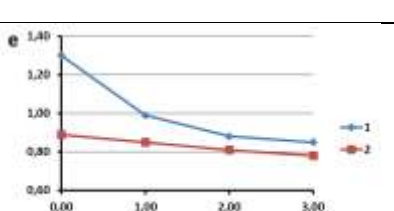
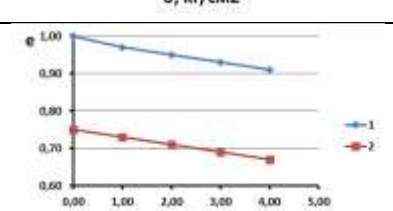
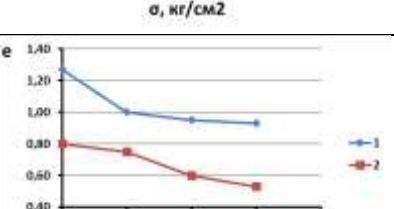
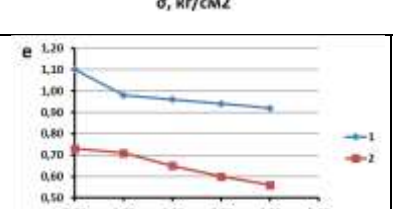
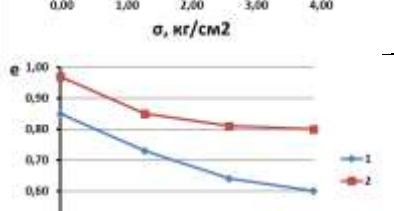
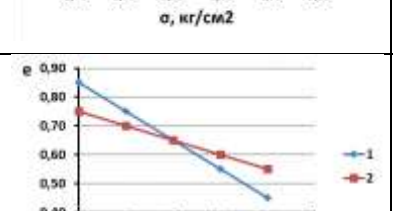
Графік стисливості (осідання) шаруватого ґрунту будуємо в координатах  $S - \Delta\sigma$ .

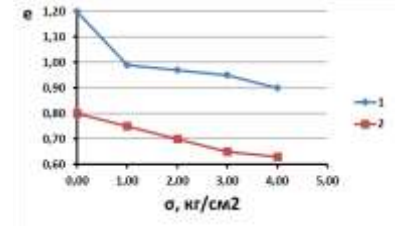
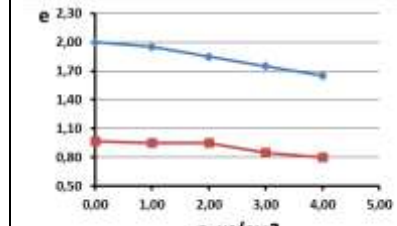
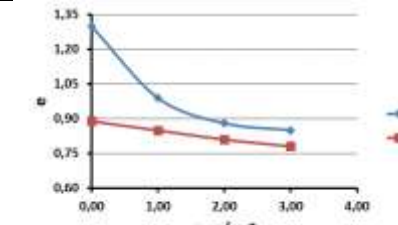
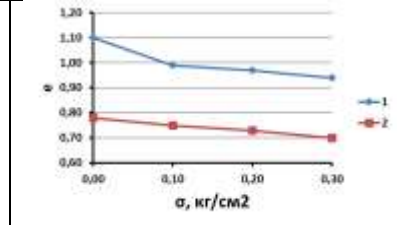
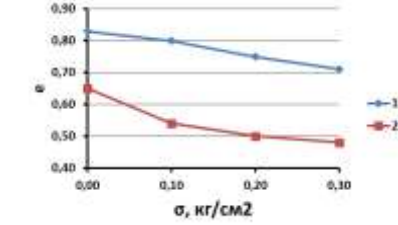
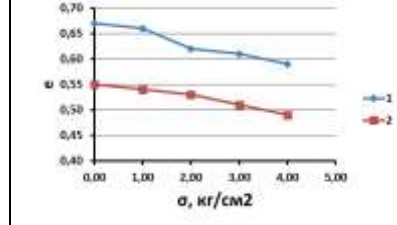
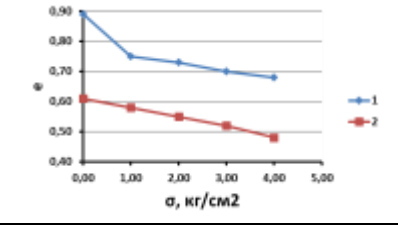
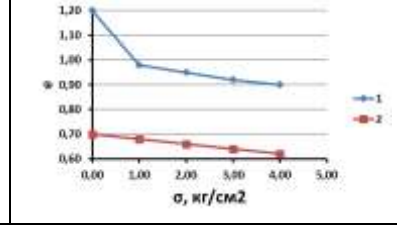
### Вихідні дані до індивідуального розрахункового завдання № 8.3.

Шаруватий ґрунт. Компресійні криві ґрунтів (див. рис. 1. за відповідним варіантом). *Ґрунт 1\**. Товщина (див. за відповідним варіантом). *Ґрунт 2\**. Товщина (див. за відповідним варіантом).

**Визначити:** Стисливість (загальне осідання) шаруватого ґрунту, ступінь стисливості та побудувати графік стисливості шаруватого масиву.

№ вар.	Рис. 1. Компресійні криві ґрунтів	Товщина ґрунтів, $h$ , м	№ вар.	Рис. 1. Компресійні криві ґрунтів	Товщина ґрунтів, $h$ , м
1		$h_1 = 2$ м $h_2 = 4$ м	9		$h_1 = 2,5$ м $h_2 = 4,3$ м
2		$h_1 = 3$ м $h_2 = 1,5$ м	10		$h_1 = 0,89$ м $h_2 = 3,3$ м
3		$h_1 = 3$ м $h_2 = 2$ м	11		$h_1 = 1,8$ м $h_2 = 2$ м

№ вар.	Рис. 1. Компресійні криві ґрунтів	Товщина ґрунтів, $h$ , м	№ вар.	Рис. 1. Компресійні криві ґрунтів	Товщина ґрунтів, $h$ , м
4		$h_1 = 1,7$ м $h_2 = 2$ м	12		$h_1 = 3$ м $h_2 = 6$ м
5		$h_1 = 0,8$ м $h_2 = 2,3$ м	13		$h_1 = 1,5$ м $h_2 = 2,6$ м
6		$h_1 = 0,6$ м $h_2 = 2,4$ м	14		$h_1 = 1,3$ м $h_2 = 2,7$ м
7		$h_1 = 1,3$ м $h_2 = 2$ м	15		$h_1 = 1,5$ м $h_2 = 3$ м
8		$h_1 = 2$ м $h_2 = 4$ м	16		$h_1 = 2$ м $h_2 = 3$ м
17		$h_1 = 0,9$ м $h_2 = 2,7$ м	20		$h_1 = 2,6$ м $h_2 = 4$ м
18		$h_1 = 1,5$ м $h_2 = 3,5$ м	21		$h_1 = 1,6$ м $h_2 = 2,3$ м

№ вар.	Рис. 1. Компресійні криві ґрунтів	Товщина ґрунтів, $h$ , м	№ вар.	Рис. 1. Компресійні криві ґрунтів	Товщина ґрунтів, $h$ , м
19		$h_1 = 2$ м $h_2 = 4$ м	22		$h_1 = 1,8$ м $h_2 = 3$ м
23		$h_1 = 0,8$ м $h_2 = 2,3$ м	24		$h_1 = 3$ м $h_2 = 4$ м
25		$h_1 = 1,8$ м $h_2 = 2,5$ м	26		$h_1 = 2,5$ м $h_2 = 4$ м
27		$h_1 = 2,3$ м $h_2 = 1,8$ м	28		$h_1 = 2,6$ м $h_2 = 3,5$ м

\*Примітка: Найменування ґрунтів умовно приймаємо, як Ґрунт 1 та Ґрунт 2.

### ТЕМА 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ У ГРУНТАХ ОСНОВ

**Мета.** Сформуванати розуміння процесу розподілу напружень у грунтах основ під дією власної ваги і зовнішніх навантажень у ґрунтовому масиві, який може трансформуватися у просторі і в часі залежно від початкових і граничних умов, властивостей ґрунтів, що складають масив.

**Завдання.** Вивчити закономірності формування та розподілу напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтової основи. Виконати розрахунки щодо визначення величини вертикального стискаючого напруження від спорудження і ґрунтовій основі за різними методами, а зокрема, задача Буссінеска (приблизний метод) точний метод та метод кутових точок.

Напруження в ґрунтових масивах виникають внаслідок дії внутрішніх і зовнішніх сил, а також в результаті фізичних і хімічних процесів, що протікають в ґрунтовій основі.

Розрізняють наступні види напружень у ґрунтовій основі:

1. Напруження від локального точкового або розподіленого навантаження.
2. Контактні напруження.
3. Напруження від власної ваги ґрунту.

Напруження, які передаються основі, не залишаються постійними на глибині. Вони ніби розсіюються у певній товщі ґрунтової маси. Найбільш цікава для будівельників проблема осідання споруд не може бути вирішена без знання та врахування характеру розподілу напружень у шарах ґрунту під фундаментом. Визначення меж області ґрунту, яка сприймає навантаження від фундаменту, уміння визначити величину напружень, які діють у довільній точці цієї області, мають велике значення при проєктуванні основ та фундаментів.

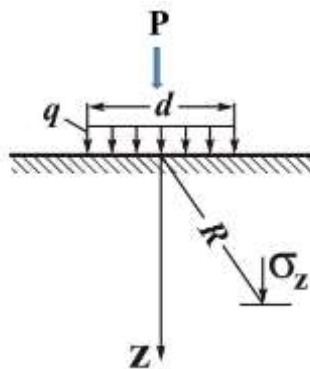
Лінійна залежність між напруженнями та деформаціями (пористістю), яке було встановлено вище, може вважатися справедливою лише для пружного стану ґрунту. Але якщо в основі виникають значні пластичні деформації, то

застосовувати теорію пружності неможна.

Основним є розв'язання задачі про зосереджену силу, прикладену до поверхні пролупростору перпендикулярно до граничної площини. Розподіл напружень у ґрунті від дії зосередженої сили, це є одна з перших задач, яка дозволяє визначити рівень напружень і деформацій та характер їх розподілу в основі будівель і споруд та була поставлена і розв'язана французьким математиком Ж. Буссінеском (1885 р.).

*Приблизний метод розрахунку.*

**Розрахункове завдання № 3.1.** Розрахувати приблизно вертикальне стискаюче напруження в ґрунті на глибині  $Z = 6$  м і на відстані  $R = 9$  м (рис. 2) від центра завантаженої на поверхні ґрунту площадки діаметром  $d = 3$  м. Інтенсивність навантаження по площадці  $q = 1,5$  кг/см<sup>2</sup>.



*Рисунок 3.1 – Розрахункова схема до визначення розподілу напружень в однорідній основі за Буссінеском*

**Розрахунок.**

Обчислюємо вертикально зосереджену силу по площадці

$$P = \frac{q\pi d^2}{4} = \frac{1,5 \cdot 3,14 \cdot 300^2}{4} = 106 \text{ т.}$$

Розглядаючи  $P$  як вертикальну зосереджену силу, визначаємо вертикальне стискаюче напруження в ґрунті на глибині 6 м і на відстані 9 м від точки прикладання зосередженої сили за формулою задачі Буссінеска [підручник]:

$$\sigma_z = \frac{3PZ^3}{2\pi R^5} = \frac{3 \cdot 106 \cdot 6^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 9^5} = 0,185 \text{ т/м}^2 = 0,0185 \text{ кг/см}^2.$$

**Висновок.** Відповідно до умов розв'язання задач щодо розподілу напружень у ґрунтах основ за приблизним методом в даному випадку діаметр завантаженої поверхні складає третину відстані до точки, у якій обчислюється напруження, то похибка в обчисленнях складає  $\approx 3\%$ .

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 3.2.** На поверхні ґрунту завантажена площадка діаметром 4 м. Визначити приблизно вертикальне стискаюче напруження в ґрунті від дії навантаження на поверхні ґрунту під центром площадки на глибині 12 м, якщо інтенсивність навантаження по площадці складає  $2,4 \text{ кг/см}^2$ .

*Точний метод розрахунку.*

**Розрахункове завдання № 3.3.** Фундамент з шириною  $b = 2 \text{ м}$  і довжину  $l = 4 \text{ м}$  (рис. 3) закладений на глибині  $h_\phi = 1,75 \text{ м}$ . Ґрунт має питому вагу  $\gamma = 1,8 \text{ т/м}^3$ . Інтенсивність навантаження по підшві фундаменту  $q = 2 \text{ кг/см}^2$ . Визначити вертикальне стискаюче напруження від спорудження під центром завантаження площадки на глибині від підшви фундаменту  $Z = 4 \text{ м}$ .

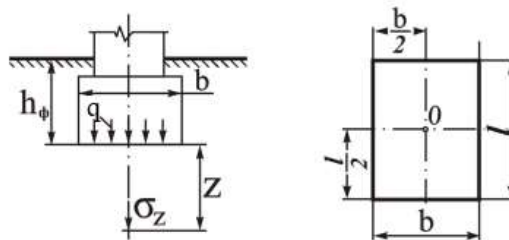


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку напружень в ґрунті під центром фундаменту: а – перетин; б – план фундаменту

### Розрахунок.

1. Обчислюємо природний тиск у ґрунті на відмітці підшви фундаменту:

$$P_\phi = \gamma \times h_\phi = 1,8 \times 1,75 = 3,675 \text{ т/м}^2.$$

2. Знаходимо додатковий тиск у ґрунті під фундаментом на рівні його підшви:

$$P = q - P_\phi = 20 - 3,675 = 16,325 \text{ т/м}^2.$$

3. Вертикальне стискаюче напруження під центром фундаменту на відстані від його підшви  $Z = 4 \text{ м}$  визначаємо за формулою:

$$\sigma_z = \alpha \times P,$$

де  $\alpha$  - табличний коефіцієнт, який залежить від  $m = \frac{2 \times Z}{b}$  та  $n = \frac{l}{b}$ , що визначаються за табл. 2 (Додаток методичних рекомендацій).

$$\text{Маємо } m = \frac{2 \times 4}{2} = 4; \quad n = \frac{4}{2} = 2; \quad \alpha = 0,19, \text{ отже}$$

$$\sigma_z = \alpha \times P = 0,9 \times 16,325 = 3,1 \text{ т/м}^2 = 0,3102 \text{ кг/см}^2.$$

**Висновок:** вертикальне стискаюче напруження від спорудження під центром завантаження площадки на глибині від підшви фундаменту 4 м складає 0,3102 кг/см<sup>2</sup>.

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 3.4.** Круглий фундамент діаметром 5 м закладений на глибині 2 м. Питома вага ґрунту 1,9 т/м<sup>3</sup>. Інтенсивність ущільнюючого тиску по підшві фундаменту 2,5 кг/см<sup>2</sup>. Визначити вертикальний стискаючий тиск під центром фундаменту на відстані 5 м від його підшви.

**Примітка.** Для підшви фундаменту у формі кола  $m = \frac{Z}{r}$ , де  $r$  - радіус кола.

*Розрахунок методом кутових точок.*

**Розрахункове завдання № 3.5.** До прямокутної площадки на поверхні ґрунту розміром 3 м і 5 м прикладене навантаження інтенсивністю  $q = 22 \text{ т/м}^2$ . Визначити вертикальне стискаюче напруження  $\sigma_z$  на глибині  $Z = 6 \text{ м}$  під кутовою точкою  $D$  завантаженої площадки (рис. 4).

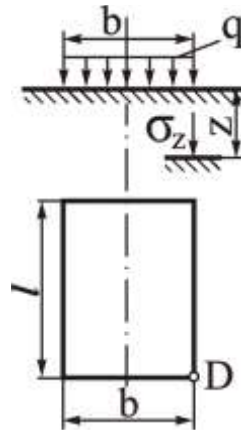


Рисунок 3.3 – Схема до розрахунку вертикальних стискаючих напружень у кутовій точці



### Розрахунок.

Вертикальні стискаючі напруження  $\sigma_z$  під точкою  $D$  прямокутної завантаженої площі (кутові напруження) на глибині  $Z$  знаходимо по формулі:

$$\sigma_z = \alpha \frac{q}{4},$$

де  $\alpha$  - табличний коефіцієнт, що залежить від  $m = \frac{2z}{b}$  і  $n = \frac{l}{b}$  (див табл. 2 Додатка методичних рекомендацій).

$$m = \frac{2 \times 6}{3} = 4; \quad n = \frac{5}{3} = 1,6; \quad \alpha = 0,161.$$

Отже

$$\sigma_z = \alpha \frac{q}{4} = 0,161 \times \frac{22}{4} = 0,88 \text{ т/м}^2.$$

**Висновки:** Виконано розрахунок вертикального стискаючого напруження методом кутових точок на глибині 6 м і складає 0,88 т/м<sup>2</sup>.

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 3.6.** За даними задачі 3.6 знайти величину вертикальних стискаючих напружень  $\sigma_z$  під точкою  $D$  на глибині 4 м, якщо точка  $D$  розташована посеред меншої сторони завантаженої площадки (рис. 3.4).

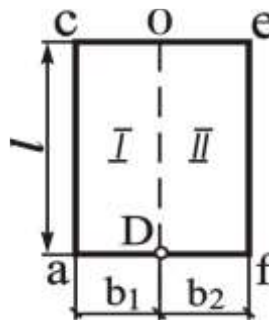


Рисунок 3.4 – Схема розбивки площі на прямокутники при визначенні  $\sigma_z$  методом кутових точок

**Примітка.** Точка  $D$  знаходиться на контурі прямокутника  $acef$ . Величина  $\sigma_z$  дорівнює сумі кутових напружень від завантаження площ  $acoD$  і  $oefD$  і

визначається по формулі  $\sigma_z = (\alpha_I + \alpha_{II}) \cdot \frac{q}{4}$ .

## ТЕМА 4. РОЗРАХУНОК ОСІДАННЯ ФУНДАМЕНТІВ

**Мета.** З'ясувати, що таке осідання контактної поверхні фундаментів, викликані деформаціями ґрунтів основи під впливом зовнішніх навантажень. Засвоїти основні методи розрахунків осідання фундаментної основи, які регламентовані чинним державними нормативними документами в будівельній галузі.

Навчитися порівнювати результати розрахунків осідань ґрунтової основи з нормативними граничними величинами для відповідних будівель і споруд.

**Завдання.** Виконати індивідуальні розрахункові завдання щодо осідань ґрунтової основи за наступними регламентами: теорії лінійного деформування та фільтраційної консолідації ґрунтової основи, методами осідання основ прямокутних фундаментів в часі, пошарового додавання та еквівалентного шару. Результати розрахунків порівняти з нормативним граничними величинами та обґрунтувати їх припустимість.

Осідання - вертикальні переміщення і в окремих випадках власної ваги ґрунту, що не супроводжуються корінною зміною його структури; консолідаційні осідання або осідання ущільнення - деформації, що відбуваються в результаті ущільнення ґрунту під навантаженням; осідання повзучості ґрунту - тривалі вертикальні переміщення контактної поверхні, що повільно протікають у повністю чи частково водонасичених глинистих ґрунтах і обумовлені деформаціями повзучості (в'язкої течії) їх скелету.

Для широкого кола задач будівництва є достатнім виявити несучу здатність ґрунту, його міцність і стійкість. В інших задачах найбільш важливим є прогноз деформацій основи і будівлі. І, нарешті, є коло задач, де потрібно визначити і несучу здатність ґрунту, і величину осадок будівлі.

Теоретично і практично доведено можливість використання наступних геотехнічних моделей щодо розрахунків [1].

- ✓ кінцевих напружень і стабілізованих осадок – теорії лінійного деформування ґрунтової основи;
- ✓ розвитку деформацій у часі – теорії фільтраційної консолідації ґрунту;
- ✓ несучої здатності, міцності, стійкості і тиску ґрунту на огороження – теорії граничного напруженого стану ґрунту.

Оскільки деформації у ґрунтах тривають довго, особливо у водонасичених глинистих ґрунтах, то при розрахунку осідань слід враховувати лише тривалі навантаження, тобто, нормативні без урахування коефіцієнтів перевантаження.

При розрахунку основ за деформаціями з використанням рішень теорії лінійно-деформованих ґрунтів зони місцевого порушення міцності ґрунту обмежуються певними межами. Ці зони для будинків та споруд промислового призначення не повинні перевищувати  $\frac{1}{4}$  ширини фундаменту у глибину. Тиск на ґрунт основи, за якого зони місцевого порушення міцності ґрунту дорівнюють  $\frac{1}{4}$  ширини фундаменту, прийнято називати **нормативним тиском** на ґрунт.

#### *Теорія лінійного деформування ґрунтової основи*

**Індивідуальне розрахункове завдання № 4.1.** Визначити нормативний тиск на ґрунт\* в основі фундаменту 3x4 м, якщо глибина закладання 4,0 м. Ґрунт в основі – глинистий. Питома вага ґрунту –  $\gamma = 1,75$  г/см<sup>3</sup>, вологість на межі розкочування –  $W_p = 10$  % та коефіцієнт пористості –  $e = 0,55$ . Додаткові характеристики до розрахунку нормативного тиску наведені у табл. 6, 7 (Додатки методичних рекомендацій).

#### **Вихідні данні до індивідуального розрахункового завдання № 4.1.**

Варіант	Ґрунт в основі	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$W_p$ , %	$e$
1	Піски великі та гравілісті	1,65	10	0,55
2	Піски середньої крупності	1,7	12	0,6
3	Піски мілкі	1,84	11	0,4
4	Глинисті ґрунти	1,67	16	0,58

<i>Варіант</i>	<i>Ґрунт в основі</i>	$\gamma, \text{г/см}^3$	$w_p, \%$	$e$
5	Ґлинисті ґрунти	1,72	19	0,63
6	Ґлинисті ґрунти	1,62	21	0,7
7	Ґлинисті ґрунти	1,73	24	0,72
8	Ґлинисті ґрунти	1,68	25	0,78
9	Ґлинисті ґрунти	1,76	28	0,84
10	Піски великі та гравілісті	1,59	11	0,43
11	Піски середньої крупності	1,60	9,5	0,55
12	Піски мілкі	1,62	12,1	0,4
13	Піски пилюваті	1,52	10,5	0,4
14	Ґлинисті ґрунти	1,66	16	0,69
15	Ґлинисті ґрунти	1,68	30	0,90
16	Ґлинисті ґрунти	1,70	25	0,78
17	Ґлинисті ґрунти	1,71	21	1,0
18	Ґлинисті ґрунти	1,64	17	0,55
19	Ґлинисті ґрунти	1,67	13	0,43
20	Ґлинисті ґрунти	1,65	11	0,61
21	Ґлинисті ґрунти	1,69	23	0,75
22	Піски великі та гравілісті	1,58	9,8	0,48
23	Піски середньої крупності	1,56	10	0,52
24	Піски мілкі	1,62	9,5	0,43
25	Піски пилюваті	1,59	17	0,75
26	Ґлинисті ґрунти	1,60	24	0,85
27	Ґлинисті ґрунти	1,79	28	0,96

\*Розрахунок нормативного тиску на ґрунт основи виконується відповідно до ДБН В.2.1-10:2018 за встановленою формулою:

$$R^H = (A \cdot b + B \cdot h) \cdot \gamma + D \cdot C^H,$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $D$  – безрозмірні коефіцієнти, які залежать від нормативного кута внутрішнього тертя ґрунту ( $\varphi^H$ ) і встановлюються за табл. 6. (Додатки методичних рекомендацій).

$b$  – менша сторона прямокутної подошви фундаменту, м;

$h$  – глибина закладання подошви фундаменту, м;

$\gamma$  – питома вага ґрунту, вище відмітки подошви фундаменту, т/м<sup>3</sup>;

$C^H$  – нормативне зчеплення ґрунту, т/м<sup>2</sup>, встановлюємо за табл. 7 (Додатки методичних рекомендацій).

#### *Теорія фільтраційної консолідації ґрунту.*

Розрахунок осідання у часі ґрунтується на *теорії фільтраційної консолідації ґрунтів*. Ця теорія передбачає, що ґрунт насичений водою (ґрунтова маса) та швидкість зростання осідання залежить від швидкості вичавлювання води з пор ґрунту в результаті його ущільнення [Підручник].

Якщо кінцеве осідання позначити  $S_k$ , а осідання за час  $t$  –  $S_t$ , то співвідношення  $Q_t = \frac{S_t}{S_k} \times 100\%$  дозволяє визначити *ступінь консолідації ґрунту* за час  $t$  у відсотках. Знаючи величину  $S_k$  та відсоток консолідації ґрунту за час  $t$  можна отримати величину осідання на момент часу  $t$  за формулою  $S_t = \frac{Q_t \times S_k}{100}$ .

Кінцеве осідання позначити  $S_k$  – розраховується за методом пошарового додавання.

**Індивідуальне розрахункове завдання № 4.2.** Побудувати криву консолідації глинистого ґрунтового шару  $h = 10$  м, що підстилається з низу скалою та має навантаження від ваги піщаної засипки, що ущільнюється. Криву побудувати по точкам для значень  $Q_t = 16; 30,3; 50,4; 76,8\%$  від повного осідання і визначити:

1) яке буде осідання шару через 10 місяців після прикладання навантаження від засипки;

2) коли осідання шару буде мати значення 15 см.

Вихідні данні для рішення завдання наступні:

1) еюра ущільнюючих тисків має вид прямокутника табл. 8 (Додатки методичних рекомендацій).

2) кінцеве осідання основи  $S_K = 40$  см;

3) характеристика ґрунту: коефіцієнт фільтрації  $K_\phi = 1,5$  см/рік, коефіцієнт стисливості  $a = 0,012$  см<sup>2</sup>/кг, початковий коефіцієнт пористості  $e_{поч} = 0,70$ .

#### Вихідні данні до індивідуального розрахункового завдання № 4.2.

№	$Q_t, \%$	$t, \text{міс. час осідання}$	$S_t, \text{см осідання за час } t$	$S_K, \text{см кінцеве осідання}$	$K_\phi, \text{см/рік}$	$a, \text{коефіцієнт стисливості, кг/см}^2$	$e_{поч}, \text{початков. коефіцієнт пористості}$
1	18,9; 35,7; 50,4; 76,8	9	13	36	1,4	0,01	0,70
2	12,5; 21,4; 56,2; 81,6	12	20	50	1,3	0,011	0,69
3	16,0; 24,7; 61,3; 88,7	9	25	50	1,6	0,011	0,68
4	10,4; 21,4; 46,1; 65,8	9	23	60	1,65	0,014	0,65
5	8,0; 27,6; 69,8; 99,4	9	17	65	1,66	0,013	0,66
6	12,5; 30,3; 46,1; 93,1	9	10	60	1,60	0,010	0,60
7	18,9; 39,9; 61,3; 99,4	9	15	65	1,65	0,015	0,65
8	18,9; 35,7, 50,4; 76,8	9	10	47	1,3	0,011	0,71
9	12,5; 21,4; 56,2; 81,6	10	25	45	1,3	0,011	0,69
10	16,0; 24,7; 61,3; 88,7	14	30	55	1,6	0,011	0,68
11	10,4; 21,4; 46,1; 65,8	6	2	40	1,65	0,014	0,65
12	8,0; 27,6; 69,8; 99,4	10	25	60	1,66	0,013	0,66
13	12,5; 30,3; 46,1; 93,1	8	20	65	1,60	0,010	0,60
14	18,9; 39,9; 61,3; 99,4	9	25	60	1,65	0,015	0,65
15	18,9; 35,7, 50,4; 76,8	11	13	50	1,3	0,011	0,71

№	$Q_t, \%$	$t, \text{міс. час осідання}$	$S_t, \text{см осідання за час } t$	$S_k, \text{см кінцеве осідання}$	$K_f, \text{см/рік}$	$\alpha, \text{коефіцієнт стисливості, кг/см}^2$	$e_{\text{поч.}}, \text{коефіцієнт пористості}$
16	12,5; 21,4; 56,2; 81,6	12	25	55	1,3	0,011	0,69
17	16,0; 24,7; 61,3; 88,7	15	30	65	1,6	0,011	0,68
18	10,4; 21,4; 46,1; 65,8	9	25	55	1,65	0,014	0,65
19	8,0; 27,6; 69,8; 99,4	10	20	60	1,66	0,013	0,66

Розрахунок осідання основ прямокутних фундаментів в часі [1].

**Індивідуальне розрахункове завдання № 4.3.** Визначити час, за який проявиться 50 % кінцевого осідання кутової точки фундаменту розмірами по підшві  $b = 2 \text{ м}$ ,  $l = 5 \text{ м}$ .

Величина кінцевого осідання кутової точки  $S_{k, \text{кут.точ.}} = 20 \text{ см}$ .

Характеристики ґрунту ті ж, що і в попередньому прикладі.

Схема до розрахунку деформацій (осідання) основ прямокутних фундаментів за часом має наступний вигляд, рис. 4.1.

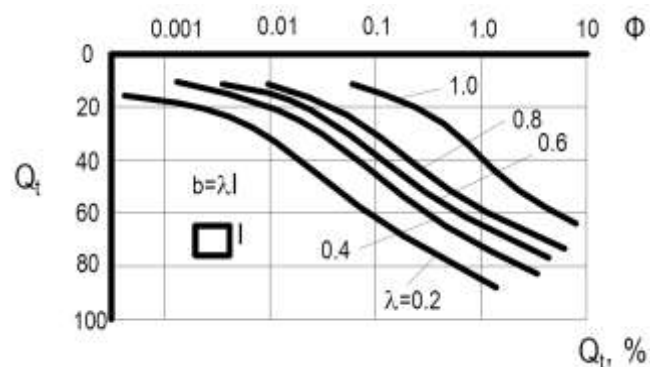


Рисунок 4.1 – Графік до розрахунку деформацій основ прямокутних фундаментів за часом

**Вихідні данні до індивідуального розрахункового завдання № 4.3.**

№	Процентне співвідношення кінцевого осідання кутової точки, (ступень консолідації ґрунту) %	$b, \text{м}$	$l, \text{м}$	$S_{k, \text{у.}}, \text{см}$
1	50	3,9	6,25	43
2	50	2	5	40
3	70	3	15	35
4	65	4	10	55
5	55	5	8,3	75

№	Процентне співвідношення кінцевого осідання кутової точки, (ступень консолідації ґрунту) %	$b$ , м	$l$ , м	$S_{к.у.}$ , см
6	40	7	8,8	60
7	30	8	8,0	43
8	20	3	15	60
9	30	3,9	6,25	40
10	40	2	5	43

*Розрахунок осідання фундаменту за методом пошарового додавання.*

Розрахунок основ за деформаціями є складним завданням, яке вимагає розгляду основ та зведення на них конструкцій у їх взаємодії, що зумовлені властивостями кожного із них.

Задачею розрахунку основ щодо деформацій є обмеження деформацій надфундаментних конструкцій такими межами, які гарантують відсутність у конструкціях неприпустимих для нормальної експлуатації тріщин та ушкоджень.

Розрахунок основ щодо деформацій здійснюють за формулою

$$S \leq S_{sp},$$

де  $S$  – розрахункова величина деформацій;

$S_{sp}$  – гранична величина деформацій.

Осідання фундаменту визначають за методом пошарового додавання. Цей метод рекомендовано [3, 4], він є основним при виконанні розрахунків осадок фундаментів промислових будівель і цивільних споруд. Для самого загального випадку алгоритм за яким відбуваються розрахунки, представлено у [1]. Розрахунок осідання виконується на так званій **розрахунковій вертикалі**, тобто прямій, що проходить через центр фундаменту. При цьому ураховується положення розрахункової вертикалі відносно центра котловану.

**Індивідуальне розрахункове завдання № 4.4.** Визначити розміри фундаменту і обчислити величину осідання основи заводської труби вагою 2400 т і висотою 150 м за методом пошарового додавання. В основі залягає ґрунт (суглинок), у якого кут внутрішнього тертя  $24^{\circ}$ , питоме зчеплення  $0,8 \text{ т/м}^2$ , об'ємна вага  $1,9 \text{ т/м}^3$  і модуль загальної деформації  $160 \text{ кг/см}^2$ . Глибина закладення фундаменту 4,8 м та один із параметрів фундаменту становить 7 м.



Побудувати епюри природного і додаткового тисків. Результат розрахунку осідання порівняти з граничним значенням відповідного нормативного документу.

**Вихідні данні до індивідуального розрахункового завдання № 4.4.**

№	$P^H$ , т	$\varphi^H$ , град	$C^H$ , т/м <sup>2</sup>	$\gamma_{об}$ , т/м <sup>3</sup>	E, кг/см <sup>2</sup>	$h_0$ , м	шир. фун-ту $a$ , м
1	2600	26	0,14	1,8	200	6	5
2	2000	22	0,075	1,85	160	4,5	7
3	1900	28	0,08	1,8	170	4,8	4
4	3000	20	0,16	1,7	160	4,8	8
5	2200	32	0,11	2,7	190	3,5	4
6	2800	34	0,09	1,85	260	6	3
7	2300	20	0,13	1,85	160	4,8	6
8	2100	18	0,15	2,0	300	5,3	8
9	2500	36	0,07	2,3	350	6,3	7
10	2700	38	0,15	1,95	450	5	9
11	2600	24	0,08	1,9	160	5,8	7
12	2050	22	0,075	1,85	170	4,5	7
13	1900	24	0,08	1,8	170	4,8	6
14	2400	20	0,08	1,7	160	4,8	8
15	2200	22	0,08	1,9	160	4,6	8
16	2400	26	0,08	1,9	160	4,6	6
17	2410	26	0,078	1,85	163	4,7	7
18	2550	36	0,07	2,0	350	6,3	7

*Розрахунок осідання фундаменту за методом еквівалентного шару*

**Індивідуальне розрахункове завдання № 4.5.** Обчислити осідання основи заводської труби (з попередньої задачі) за методом еквівалентного шару, якщо коефіцієнт Пуассона 0,3, коефіцієнт пористості ґрунту 0,51, ступень стисливості ґрунту 0,0075 см<sup>2</sup>/кг, коефіцієнт  $\omega = 0,87$ , який враховує вплив форми фундаменту у плані на його осідання, значення якого табульовані. Підхід до розрахунку наведено в [1]. Цей метод полягає в тому, що осідання фундаменту заданих розмірів вираховується як рівновелике осідання еквівалентного шару

грунту потужністю  $h_e$ , що визначається за формулою  $h_e = \omega b \frac{(1-\mu)^2}{1-2\mu}$ , де  $\omega$  – коефіцієнт, який враховує вплив форми фундаменту у плані на його осідання, значення якого табульовані;  $b$  – ширина фундаменту;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона для ґрунту основи. Осідання обчислюють за формулою  $S = \frac{\sigma_{\partial 0} \times a \times h_e}{1+e_1}$ , де  $\sigma_{\partial 0}$  – додатковий тиск по підшві фундаменту;  $a$  – коефіцієнт стисливості ґрунту;  $e_1$  – коефіцієнт пористості ґрунту.

### *Розрахункові завдання для самостійної роботи*

**Приклад розрахункове завдання № 4.6.** Розрахувати повне осідання стрічкового фундаменту при навантаженнях і інженерно-геологічних умовах, показаних на рис. 4.2. Виконати необхідні побудови. Вихідні дані для побудови компресійних графіків:

пісок:	$p_1=1,0 \text{ кг/см}^2$	$e_1=0,62$
	$p_1=3,0 \text{ кг/см}^2$	$e_2=0,57$
глина:	$p_3=1,0 \text{ кг/см}^2$	$e_3=0,65$
	$p_4=4,0 \text{ кг/см}^2$	$e_4=0,58$

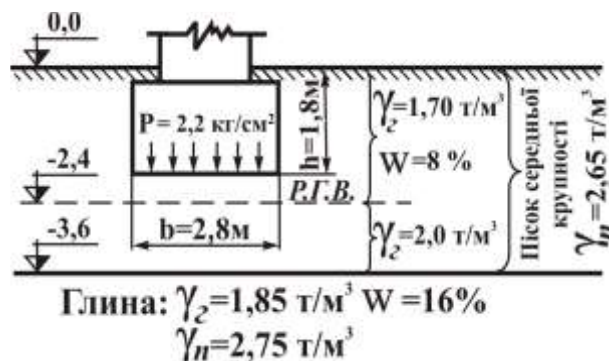


Рисунок 4.2. – Схема стрічкового фундаменту і геотехнічні характеристики ґрунтів

### **Розрахунок.**

1. Будуємо компресійні графіки (рис. 4.3) та складаємо таблицю значень, необхідних для побудов епюр природніх і додаткових тисків (рис. 4.4) і розрахунку осідань.

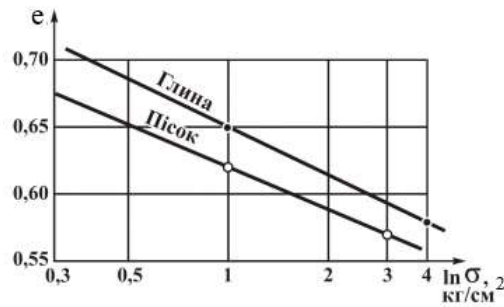


Рисунок 4.3 – Компресійні графіки піску і глини

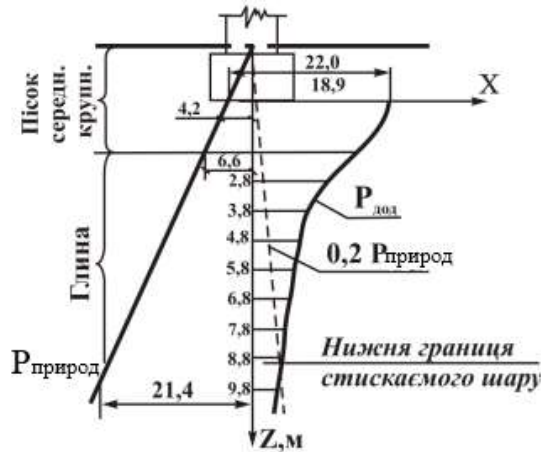


Рисунок 4.4 – Епюри побутового і додаткового тисків для розрахунку осідань

Грунти	Елем. шари	Z, м	$m = \frac{2z}{b}$	$\alpha$	$P_{доп}$ т/м <sup>2</sup>	$P_{прир}$ т/м <sup>2</sup>	$P_{і\ кінц}$ т/м <sup>2</sup>	$P_{і\ поч}$ т/м <sup>2</sup>	$E_{кінц,i}$	$E_{поч,i}$
Пісок	1	0	0	1,0	18,9	3,1	22,2	3,6	0,584	0,667
	2	0,6	0,43	0,970	18,3	4,2	21,5	4,5	0,586	0,657
	3	1,2	0,86	0,862	16,3	4,8	20,1	5,1	0,588	0,652
Глина	4	1,8	1,33	0,718	13,6	6,6	19,5	7,5	0,615	0,665
	5	2,8	2,0	0,550	10,4	8,4	18,4	9,4	0,618	0,653
	6	3,8	2,71	0,406	7,7	10,3	18,4	11,2	0,618	0,645
	7	4,8	3,43	0,355	6,7	12,1	19,1	13,0	0,616	0,636
	8	5,8	4,14	0,297	5,4	14,0	20,0	14,9	0,614	0,630
	9	6,8	4,86	0,255	4,8	15,8	21,3	16,8	0,611	0,624
	10	7,8	5,58	0,223	4,2	17,7	22,6	18,6	0,608	0,618
	11	8,8	6,28	0,129	3,8	19,5	Нижня границя стискаємої товщі			
	9,8	7,0	0,180	3,4	21,4					

## 2. Визначаємо осідання шару піску:

$$S_1 = \sum_1^3 \frac{e_{Pi} - e_{R,i}}{1 + e_{Pi,i}} \times h_i = \left[ \frac{(0,667 - 0,584)}{1,667} + \frac{(0,657 - 0,586)}{1,657} + \frac{(0,652 - 0,588)}{1,652} \right] \times 60 =$$

$$= (0,048 + 0,043 + 0,039) \times 60 = 7,8 \text{ см.}$$

Визначаємо осідання шару глини:

$$S_2 = \sum_4^{10} \frac{e_{\Pi i} - e_{R,i}}{1 + e_{\Pi i}} \times h_i = \left[ \frac{(0,655 - 0,615)}{1,655} + \frac{(0,653 - 0,618)}{1,653} + \frac{(0,654 - 0,618)}{1,654} + \right. \\ \left. + \frac{(0,636 - 0,616)}{1,636} + \frac{(0,630 - 0,614)}{1,630} + \frac{(0,624 - 0,611)}{1,624} + \frac{(0,618 - 0,608)}{1,618} \right] \times \\ \times 100 = (0,030 + 0,021 + 0,016 + 0,012 + 0,010 + 0,008 + 0,006) \times 100 = 10,3 \text{ см.}$$

3. Повне осідання стрічкового фундаменту складає

$$S = S_1 + S_2 = 7,8 + 10,3 = 18,1 \text{ см.}$$

**Висновок.** Таким чином, повне осідання фундаменту складає, приблизно, 18 см, однак, оскільки осідання шару піску завершиться під час будівництва, експлуатаційне осідання спорудження повинне бути прийняте 10 см.

**Розрахункове завдання № 4.7.** Розрахувати середнє осідання проміжної опори моста при даних, приведених на рис. 4.5. Виконати необхідні побудови. Розміри підошви пального фундаменту (як умовного масиву) дорівнюють 5 м на 8 м. Вертикальне нормативне навантаження в площині підошви пального фундаменту (з урахуванням ваги пально-грунтового масиву)  $N = 1400$  т.

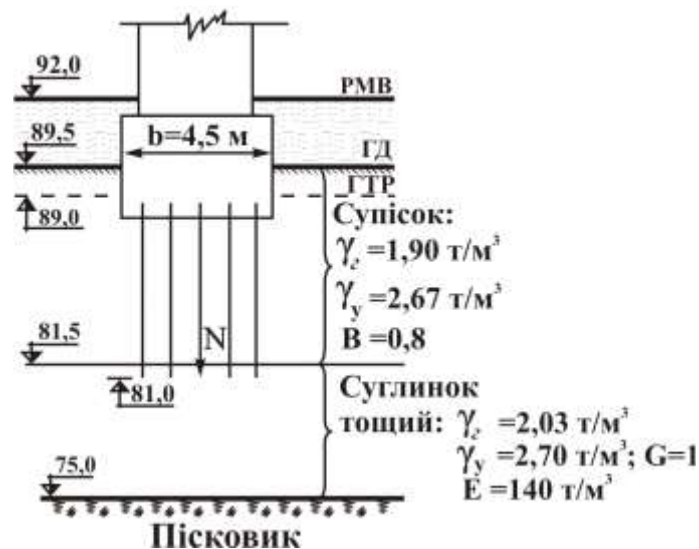


Рисунок 4.5 – Схема проміжної опори моста та фізико-механічні властивості ґрунтів

**Приклад розрахункового завдання № 4.8.** На поверхні землі встановлені в один ряд три стовпчастих фундаменти малих розмірів у плані. Відстань між фундаментами 4 м (рис. 4.6). Кожен фундамент передає навантаження 100 т. Основою є однорідна товща глини м'якопластичної консистенції, що має

приведений модуль деформації  $C = 40 \text{ кг/см}^2$ . Визначити осідання поверхні ґрунту по осі ряду в точках  $a, б, в, з$ .

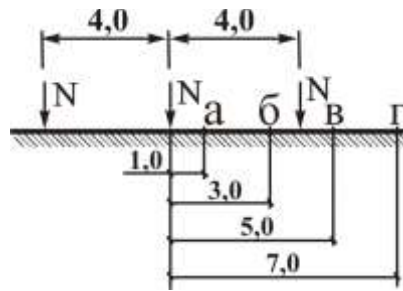


Рисунок 4.6 – Схема розташування стовпчастих фундаментів

### Розрахунок.

1. Знайдемо осідання поверхні по формулі Буссінеска від одного фундаменту на відстані від його осі:

$$R = 1 \text{ м} \quad S = \frac{P}{\pi CR} = \frac{100000}{3,14 \cdot 40 \cdot 100} = 8 \text{ см};$$

$$R = 3 \text{ м} \quad S = \frac{100000}{3,14 \cdot 40 \cdot 300} = 2,7 \text{ см};$$

$$R = 5 \text{ м} \quad S = \frac{100000}{3,14 \cdot 40 \cdot 500} = 1,6 \text{ см};$$

$$R = 7 \text{ м} \quad S = \frac{100000}{3,14 \cdot 40 \cdot 700} = 1,1 \text{ см};$$

$$R = 9 \text{ м} \quad S = \frac{100000}{3,14 \cdot 40 \cdot 900} = 0,9 \text{ см};$$

$$R = 11 \text{ м} \quad S = \frac{100000}{3,14 \cdot 40 \cdot 1100} = 0,7 \text{ см}.$$

2. Осідання в точках:

$$a) 8+2,7+1,6=12,3 \text{ см}; \quad б) 8+2,7+1,1=11,8 \text{ см};$$

$$в) 8+1,6+0,9=10,5 \text{ см}; \quad з) 2,7+1,1+0,7=4,5 \text{ см}.$$

**Розрахункове завдання № 4.9.** По кривій консолідації (рис. 4.7) зразка суглинку в компресійному приладі товщиною 2 м побудувати графік фільтраційної консолідації шару з такого ж суглинку товщиною 2 м, що

підстиляється жирною глиною і перекритого шаром піску. Напруження в шарі й у зразку ґрунту однакові і дорівнюють  $2 \text{ кг/см}^2$ .

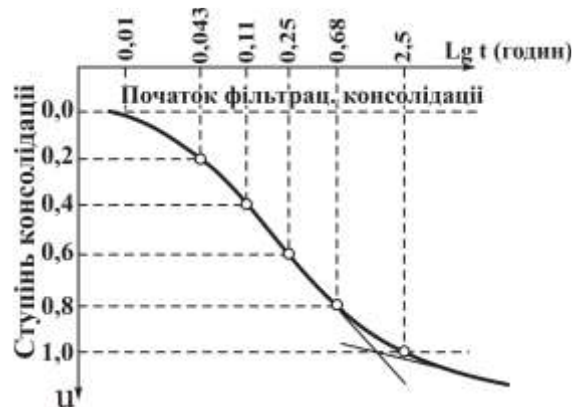


Рисунок 4.7 – Крива консолідації суглинку

**Розрахункове завдання № 4.10.** Визначити час повного осідання будівлі, що має стрічковий фундаменти шириною  $1,8 \text{ м}$ , закладений на глибині  $2,5 \text{ м}$  і який передає тиск на ґрунт по підшві  $2 \text{ кг/см}^2$ . В основі залягає шар водонасиченої глини великої потужності, в якій питома вага  $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$ , питома вага часток ґрунту  $\gamma_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ , коефіцієнт пористості  $e = 0,7$ , середнє значення коефіцієнта фільтрації  $K_\phi = 3,2 \times 10^{-8} \text{ см/с}$ , коефіцієнт стисливості в інтервалі тисків від  $0,5 \text{ кг/см}^2$  до  $2 \text{ кг/см}^2$  прийняти постійним і дорівнюючим  $\alpha = 0,08 \text{ см}^2/\text{кг}$ . Вище підшви фундаменту суглинний ґрунт має об'ємну вагу також  $2 \text{ т/м}^3$ .

**Указівка.** При рішенні прийняти лінійну епюру додаткових зусиль і вважати ступінь повної консолідації  $0,9$ .

## ТЕМА 5. ОПІР ҐРУНТІВ ЗСУВУ

**Мета.** З'ясувати опірність ґрунтів зсуву зсувним зусиллям під навантаженням за рахунок інженерно-геологічних процесів і в результаті впливу споруд. Вивчити закон Кулона-Мора для граничного напруженого стану сипучих и зв'язних ґрунтів у графічному вигляді та у вигляді лінійних залежностей.

**Завдання.** Виконати розрахунки визначення параметрів зсуву зразку глинистого ґрунту, що досліджується для відповідних умов.

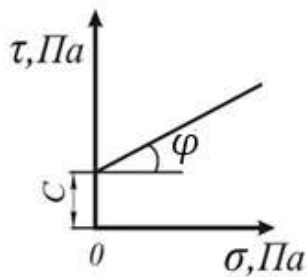
Опірність ґрунтів зсуву є основним фактором, що визначає поведінку ґрунту під навантаженням, тому вивчення опору ґрунтів зсувним зусиллям, що виникають при інженерно-геологічних процесах і в результаті впливу споруд, має велике значення для правильного розрахунку: стійкості основ (несучої здатності основ), закладки укосів дамб, насипів, дамб, виїмок, бортів кар'єрів, коефіцієнтів стійкості схилів, зсувних процесів, розрахунку тиску ґрунтів на кріплення підземних виробок та підпірні стінки.

Якщо до поверхні ґрунту основи докласти навантаження, то у ньому виникає напружений стан [1, § 5.4]. Для виявлення умов роботи ґрунту в основі необхідно вміти визначити *величину дотичних напружень  $\tau$*  у будь-якій точці і *величину внутрішнього опору ґрунту зсуву  $R_t$* .

Для розрахунку відповідних задач застосовуємо закон Кулона-Мора, який для випадку граничного напруженого стану графічно може бути представлений так, як це показано на рис. 5.1.

Тертя в ґрунтах проявляється при деформаціях зсуву. У зв'язних ґрунтах зсув супроводжується складним рухом часток у зруйнованому шарі, з подоланням не лише сил тертя, але й зчеплення. Лише в пісках, які не мають зв'язності, можна спостерігати тертя у відокремленому, чистому, вигляді.

а)



б)

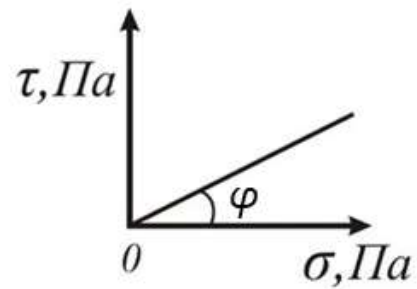


Рисунок 5.1 – Графік опору зсуву зв'язних (а) і сипучих (б) ґрунтів

Досліди показують, що залежність « $\tau - \sigma$ » практично завжди виявляється лінійною, нахиленою до осі абсцис під кутом  $\varphi$ . Безпосередньо з рис. 5.1,а можна написати наступну залежність:  $\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$ , і позначивши  $\operatorname{tg} \varphi = f$ , отримаємо  $\tau = c + \sigma f$ . Тут  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту,  $c$  – зчеплення,  $f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя. Для сипучих ґрунтів з рис. 5.1 при  $c = 0$  отримаємо  $\tau = f\sigma$ .

Величина внутрішнього опору ґрунту зсуву  $R_t$  - це є повний вертикальний тиск -  $\sigma_{\text{верт}}$  - при якому відбувається зсув зразка ґрунту.

**Розрахункове завдання № 5.1.** У результаті випробувань декількох зразків глинистих ґрунтів на тривісний стиск, знайдено, що зчеплення дорівнює  $C = 0,05 \text{ кг/см}^2$ , кут внутрішнього тертя –  $\varphi = 29^\circ$ , поровий тиск складає  $\sigma_{\text{пор}} = 1,51 \text{ кг/см}^2$ . Знайти, який вертикальний тиск -  $\sigma_{\text{верт}}$  необхідний, щоб викликати руйнування ґрунту при бічному тиску  $\sigma_{\text{бічн}} = 3,0 \text{ кг/см}^2$ .

### Розрахунок.

1. Міцність ґрунту залежить від ефективних напружень  $\sigma_{e1}$  та  $\sigma_{e3}$  у кістяку, тому визначаючи повне (більше) головне напруження, необхідно *врахувати вплив порового тиску*.



2. Розробимо схему для розрахунку:

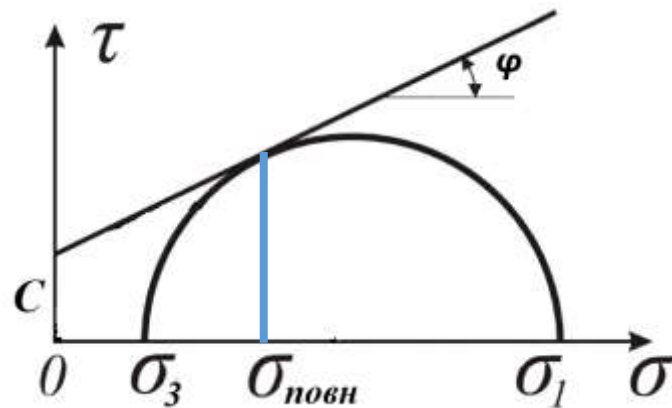


Рисунок 5.2 – Схема кола Мора і графік визначення параметрів зсуву зразку глинистого ґрунту, що досліджується

3. Ефективні головні напруження  $\sigma_{e1}$  та  $\sigma_{e3}$ , що створюються у результаті випробування зразків у приладі – стабілометрі, розраховуються за відповідними формулами:

$$\sigma_{e1} = \sigma_{e3} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2C \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right),$$

де  $\sigma_{e3} = \sigma_{бок} - \sigma_{пор} = 3 - 1,51 = 1,49 \text{ кг/см}^2$ ,

$$\sigma_{e1} = (3 - 1,51) \times \operatorname{tg}^2 59,5^\circ + 2 \times 0,05 \operatorname{tg} 59,5^\circ = 4,3 + 0,17 = 4,47 \text{ кг/см}^2.$$

4. Повне вертикальне напруження складає:

$$\sigma_1 = \sigma_{e1} + \sigma_{пор} = 4,47 + 1,51 = 5,96 \text{ кг/см}^2.$$

**Висновки:** Щоб викликати руйнування зразка глинисту ґрунту при бічному тиску  $\sigma_{бiчн} = 3,0 \text{ кг/см}^2$  розраховано вертикальний тиск, який складає -  $\sigma_{верт} = 5,96 \text{ кг/см}^2$ .

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 5.2.** Зразок щільного піску випробувався на тривісний стиск. Кут внутрішнього тертя  $37^\circ$ . Якщо менше головне напруження дорівнює  $2 \text{ кг/см}^2$ , чому дорівнює більше головне напруження в момент руйнування?

## ТЕМА 6. ТИСК ҐРУНТУ НА ПІДПІРНІ СТІНИ

**Мета.** З'ясувати загальні вимоги, що висуваються до проектування підпірних стін, основні положення визначення активного та пасивного тиску ґрунту, що діє на підпирні стіни. Розібрати приклади визначення величин бокового тиску ґрунту на підпирні стіни.

**Завдання.** Виконати відповідні розрахункові завдання за прикладами і схемами з урахуванням аркового ефекту бічного тиску та фізико-механічних властивостей ґрунтів, що наведені у методичних рекомендаціях.

Найбільш поширеною огорожуючою конструкцією є **підпірна стіна**. Набережні, кріплення котлованів та подібні до них споруди працюють як підпирні стіни. Розрахунок підпирних стін також є надзвичайно важливим з точки зору забезпечення стійкості зсувонебезпечних схилів.

Основними видами розрахунків утримуючих конструкцій є їх розрахунок на перекидання, плоский і глибинний зсув. У даному випадку проблемою є визначення навантаження на утримуючі конструкції з боку ґрунту і навпаки.

Розрізняють три розрахункові схеми взаємодії огорожуючих конструкцій з ґрунтом[1]:

- ✓ конструкція отримала переміщення під дією ґрунту;
- ✓ переміщення конструкції дорівнюють нулю;
- ✓ ґрунт отримав переміщення в результаті тиску з боку огорожуючої конструкції.

У першому випадку тиск, що виникає в результаті взаємодії конструкції з ґрунтом, називають **активним** ( $\sigma_a$ ), у другому – **тиском покою** ( $\sigma_0$ ), а у третьому – **пасивним** ( $\sigma_n$ ).

При інших рівних умовах завжди є справедливим вираз  $\sigma_n > \sigma_0 > \sigma_a$ .

**Розрахункове завдання № 6.1.** Визначити з урахуванням аркового ефекту бічний тиск піщаного ґрунту на закладне кріплення котловану глибиною  $H = 2$  м,

якщо питома вага пилюватого піску  $\gamma = 1,69 \text{ т/м}^3$ , питома вага часток ґрунту  $\gamma_s = 2,67 \text{ т/м}^3$ , а його вологість  $W = 15 \%$ . Кут внутрішнього тертя  $\varphi$  складає  $26^\circ$ . Розрахунок виконати за схемою Терцагі з визначення бічного тиску піщаного ґрунту на закладне кріплення. Схема додається.

### Розрахунок.

#### 1. Визначаємо коефіцієнт пористості ґрунту

$$e = \frac{n}{1-n}; \quad n = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \times 100\%; \quad \gamma_d = \frac{\gamma}{1+W}.$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+W} = \frac{1,69}{1+0,15} = 1,47 \text{ т/м}^3,$$

$$n = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{1,47}{2,67}\right) \times 100\% = 45\%,$$

$$e = \frac{n}{1-n} = \frac{0,45}{1-0,45} = 0,82$$

або

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma} \left(1 + \frac{W}{100}\right) - 1 = \frac{2,67}{1,69} \left(1 + \frac{15}{100}\right) - 1 = 0,82.$$

Відповідно до табл. 4 (Додаток методичних рекомендацій) за щільністю піщаний ґрунт котловану за різновидом - пухкий.

Тому для розрахунку будемо використовувати епюру тиску ґрунту на кріплення, зображену на рис. 6.1,б.

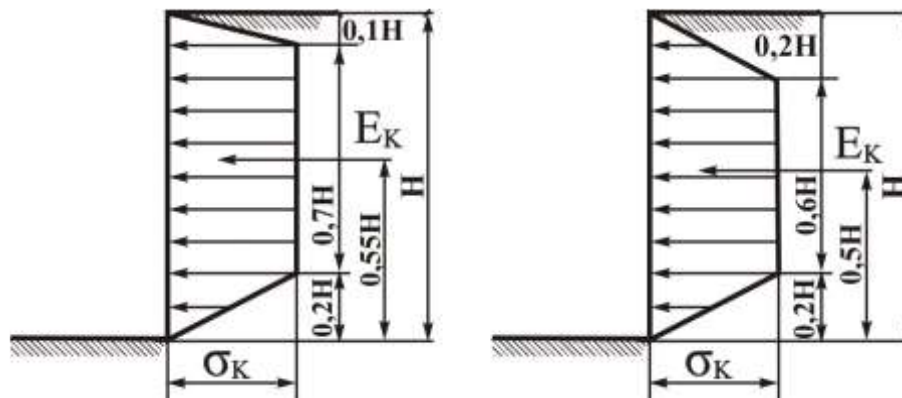


Рисунок 6.1 - Розрахункова схема Терцагі з визначення бічного тиску піщаного ґрунту на закладне кріплення: а – у щільному піску, б – у пухкому піску

2. Висота трапецієвидної епюри тиску піску на закладне кріплення:

$$\sigma_K = 0,8\sigma_a \cos \delta ,$$

де  $\sigma_a$  – активний тиск піску на відмітці котловану в т/м<sup>2</sup>

$$\sigma_a = \gamma H t g^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

де  $\delta$  - кут тертя піску об кріплення, приймається рівним 2/3 від  $\varphi$ .

$$\sigma_K = 0,8\gamma H t g^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cos \frac{2}{3}\varphi = 0,8 \times 1,69 \times 2 t g^2 32^\circ \cos 17^\circ 20' = 1,01 \text{ т/м}^2.$$

3. Бічний тиск на 1 пог.метр розраховується за формулою  $E_K = \frac{\sigma_K H}{2} \times 1_m$ .

**Висновок:** На 1 погонний метр кріплення котловану бічний тиск піску

складає:  $E_K = \sigma_K \frac{H + 0,6H}{2} \times 1_m = 1,01 \times \frac{2 + 1,2}{2} \times 1 = 1,62 \text{ т.}$

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 6.2.** Чому дорівнює з урахуванням аркового ефекту бічний тиск піску на 1 пог.м. закладного кріплення котловану глибиною 2,2 м, якщо питома вага піску середньої крупності дорівнює 1,88 т/м<sup>3</sup>, а його кут внутрішнього тертя 30°. Питома вага часток ґрунту дорівнює 2,66 т/м<sup>3</sup>, а вологість – 9 %.

**Розрахункове завдання № 6.3.** Визначити розрахунковий бічний тиск глини на закладне кріплення котловану глибиною  $H = 2,5$  м, якщо її питома вага  $\gamma = 1,86$  т/м<sup>3</sup>, а вологість у природному стані  $W = 25\%$ . Вологість на границі текучості  $W_L = 42\%$ , межа розкочування  $W_p = 21\%$ . Епюра тиску глинистого ґрунту на закладне кріплення додається, рис. 6.2.

**Розрахунок.**

1. Визначаємо показник консистенції глини:

$$B = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{25 - 21}{42 - 21} = 0,19.$$

Відповідно до табл. 5 (Додаток методичних рекомендацій) глина знаходиться в напівтвердому стані.

2. Висота трикутної епюри тиску глини на кріплення  $\sigma_K$  визначається з відношення:

$$\frac{\sigma_K}{0,5\gamma H} = \frac{d}{H},$$

звідки  $\sigma_K = 0,5\gamma d$ .

У даному випадку:

$$\sigma_K = 0,2\gamma H = 0,2 \cdot 1,86 \cdot 2,5 = 0,93 \text{ т/м}^2.$$

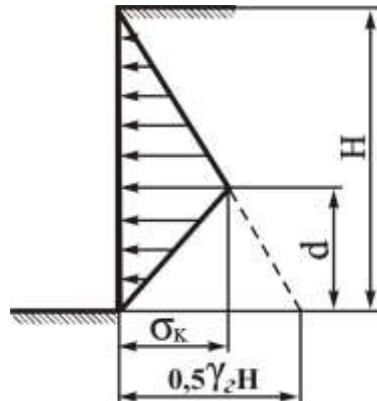


Рисунок 6.2 – Епюра тиску глинистого ґрунту на закладне кріплення:  
 $d=0,4H$  в глинах твердої і напівтвердої консистенції;  
 $d=0,25H$  в тугопластичних глинах;  $d=0$  у м'якопластичних глинах

Для напівтвердої глини  $d=0,4H$  (рис. 6.2).

3. Розрахунковий бічний тиск глини на 1 п.м. кріплення:

$$E = \frac{\sigma_K H}{2} \cdot 1\text{м} = \frac{0,93 \cdot 2,5 \cdot 1}{2} = 1,16 \text{ т.}$$

Висновок. Розрахунковий бічний тиск глини на закладне кріплення котловану глибиною  $H = 2,5$  м складає 1,16 т.

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 6.4.** Чому дорівнює розрахунковий бічний тиск глини на 1 п.м. закладного кріплення котловану глибиною 2,5 м, якщо її об'ємна вага дорівнює  $1,82 \text{ т/м}^3$ . Вологість глини 48 %, границя текучості 64 %, границя розкочування 31 %.

**Розрахункове завдання № 6.5.** Призначити крутість укосів котловану глибиною 4 м без кріплення в суглинку. За графіком (рис. 6.3) визначити

коефіцієнт стійкості цих укосів, якщо відомо що питома вага ґрунту  $\gamma = 1,92 \text{ т/м}^3$ , питоме зчеплення  $c = 0,15 \text{ кг/см}^2$ , кут внутрішнього тертя  $\varphi = 15^\circ$ .

### Розрахунок.

1. У відповідності з табл. 9 (Додаток методичних рекомендацій) найбільша припустима крутість укосів котловану глибиною 4 м у суглинку дорівнює  $53^\circ$ .

2. За графіком при куті укосу  $\theta = 53^\circ$  і куті внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi = 15^\circ$  параметр  $\frac{c}{K\gamma H} = 0,1$ .

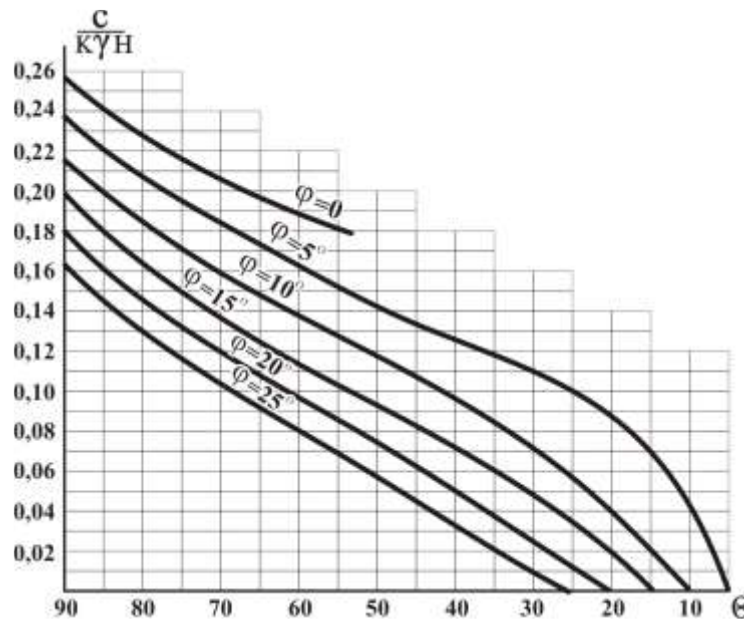


Рисунок 6.3 – Графік Тейлора для визначення коефіцієнту стійкості укосів

3. З відношення  $\frac{c}{K\gamma H} = 0,1$  отримаємо крутість укосу котловану:

$$K = \frac{1,5}{0,1 \cdot 1,92 \cdot 4} = 1,95.$$

**Висновок.** Крутість укосів котловану глибиною 4 м без кріплення в суглинку має бути 1,95.???

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 6.6.** Призначити максимально припустиму крутість укосів котловану в супіску глибиною 3 м без кріплення. Використовуючи графік Тейлора (рис. 6.3) визначити, чи будуть стійкі укоси котловану, якщо відомо, що питома вага ґрунту  $1,88 \text{ т/м}^3$ , питоме

зчеплення  $0,1 \text{ кг/см}^2$ , мінімально припустимий коефіцієнт стійкості  $K_n = 1,5$ , а кут внутрішнього тертя  $25^\circ$ .

**Розрахункове завдання № 6.7.** Визначите для випадку, коли поверхня ковзання проходить через верхню брівку, критичну висоту укосу по таблиці Гольдштейна (табл. 10 Додаток методичних рекомендацій), якщо закладення укосу 1:2. Питома вага ґрунту  $\gamma = 1,82 \text{ т/м}^3$ , кут внутрішнього тертя  $\varphi = 15^\circ$ , питома зчеплення  $c = 0,2 \text{ кг/см}^2$ .

**Розв'язання.**

По формулі Гольдштейна критична висота укосу:

$$H_{кр} = \frac{cB}{\gamma(K_n - A \operatorname{tg} \varphi)},$$

де  $A$  і  $B$  – коефіцієнти, які можна взяти з таблиці 10 додатка в залежності від закладення укосу і глибини проходження поверхні ковзання;  $K_n$  – мінімально припустимий коефіцієнт стійкості, який дорівнює 1,5.

$$H_{кр} = \frac{2 \cdot 6,70}{1,82(1,5 - 3,19 \cdot 0,268)} = 11,32 \text{ м.}$$

Висновок. Критичну висоту укосу при закладенні 1:2 при поверхні ковзання через верхню брівку складає 11,32 м.

**Самостійна робота. Розрахункове завдання № 6.8.** Визначити, чи буде стійким укіс висотою  $H = 6 \text{ м}$  при закладенні 1:1,5 у припущенні, що очікувана поверхня ковзання проходить через нижню брівку укосу. Питома вага ґрунту  $1,78 \text{ т/м}^3$ , його кут внутрішнього тертя  $8^\circ$ , питома зчеплення  $0,1 \text{ кг/см}^2$ .

**Указівка.** Коефіцієнт стійкості визначається за формулою

$$K = A \operatorname{tg} \varphi + \frac{cB}{\gamma_2 H}.$$

## Список використаної літератури

1. Механіка ґрунтів [Електронний ресурс] : підручник / О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, С.М. Гапєєв, О.В. Скобенко, Н.В. Хозяїкіна ; за ред. О.М. Шашенка; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 3-тє вид., переробл. і доп. – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 339 с.
2. ДСТУ Б В.2.1-4-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості.
3. Національний стандарт України. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти.
4. Національний стандарт України. ДБН В.2.1-10-2018. Основи та фундаменти
5. Національний стандарт України. ДСТУ-Н Б В.1.1-422. Настанова з проектування будівель і споруд на підроблюваних територіях.
6. Національний стандарт України. ДБН В.1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів, та обвалів.
7. Національний стандарт України. Зміна №1 до ДБН В.2.1-10-2009 Пальові фундаменти.
8. Національний стандарт України. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення.
9. Гольдштейн М.Н., Кушнер С.Г., Шевченко М.І. Розрахунок осідань і міцності основ будівель і споруд. К.: Будівельник, 1977. – 208 с.
10. Механіка ґрунтів. Основи і фундаменти: Підручник / В.Б. Швець, Ю.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. Дніпрпетровськ: Пороги, 2012. – 196 с. іл.
11. Шаповал В.Г., Седін В.Л., Шаповал О.В., Моркляник Б.В., Андрєєв В.С. Механіка ґрунтів. Дніпропетровськ: Пороги, 2010. – 168 с.



## ДОДАТКИ

Таблиця 1.

## Види великоуламкових і піщаних ґрунтів

<i>Найменування видів великоуламкових і піщаних ґрунтів</i>	<i>Розподіл часток за крупністю в % до ваги сухого ґрунту</i>
<b>Великоуламкові</b>	
Ґрунт глибистий (при перевазі окатаних часток - валунний)	Вага часток крупніше 200 мм складає більш 50 %
Ґрунт щебенистий (при перевазі окатаних часток - галечниковий)	Вага часток крупніше 10 мм складає більш 50 %
Ґрунт дресв'яний (при перевазі окатаних часток - гравійний)	Вага часток крупніше 2 мм складає більш 50 %
<b>Піщані</b>	
Пісок гравіюватий	Вага часток крупніше 2 мм складає більш 25 %
Пісок крупний	Вага часток крупніше 0,5 мм складає більш 50 %
Пісок середньої крупності	Вага часток крупніше 0,25 мм складає більш 50 %
Пісок мілкий	Вага часток крупніше 0,1 мм складає більш 75 %
Пісок пилюватий	Вага часток крупніше 0,1 мм складає менш 75 %

**Примітка.** Для встановлення найменування ґрунту за табл. 1 послідовно додаються відсотки вмісту часток досліджуваного ґрунту: спочатку - крупніше 10 мм, потім - крупніше 2 мм, далі - крупніше 0,5 мм і т.д. **!!** Найменування ґрунту приймається по першому задовольняючому показнику в порядку розташування найменувань у таблиці.

За наявності у великоуламкових ґрунтах піщаного заповнювача більше 40 % чи глинистого заповнювача більше 30 % від загальної маси повітряно-сухого ґрунту в найменуванні великоуламкового ґрунту додається найменування виду заповнювача та вказується характеристика його стану. Вид заповнювача встановлюється після видалення з великоуламкового ґрунту часток крупніше за 2 мм.

При ступені неоднорідності піщаного ґрунту  $C_u > 3$  до найменування пісків гравелістих, крупних і середньої крупності додають найменування «неоднорідний пісок».

Значення коефіцієнту  $\alpha$ 

$m$	Круглі фундаменти	Прямокутні фундаменти з відношенням сторін $n$											Стрічкові фундаменти при $n \geq 10$
		1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,4	2,8	3,2	4	5	
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,949	0,960	0,968	0,972	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977	0,977	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,830	0,848	0,859	0,866	0,870	0,875	0,878	0,879	0,880	0,881	0,881
1,2	0,547	0,606	0,652	0,682	0,703	0,717	0,727	0,740	0,746	0,749	0,753	0,754	0,755
1,6	0,390	0,449	0,496	0,532	0,558	0,578	0,593	0,612	0,623	0,63	0,636	0,639	0,642
2,0	0,285	0,336	0,379	0,414	0,441	0,463	0,481	0,505	0,520	0,529	0,54	0,545	0,550
2,4	0,214	0,257	0,294	0,325	0,352	0,374	0,392	0,419	0,437	0,449	0,462	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,232	0,260	0,284	0,304	0,321	0,350	0,369	0,383	0,400	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,187	0,210	0,232	0,251	0,267	0,294	0,314	0,329	0,348	0,360	0,374
3,6	0,106	0,130	0,153	0,173	0,192	0,209	0,224	0,250	0,270	0,285	0,305	0,320	0,337
4,0	0,087	0,108	0,127	0,145	0,161	0,176	0,190	0,214	0,233	0,248	0,270	0,285	0,308
4,4	0,073	0,091	0,107	0,122	0,137	0,150	0,163	0,185	0,203	0,218	0,239	0,256	0,280
4,8	0,062	0,077	0,092	0,105	0,118	0,130	0,141	0,161	0,178	0,192	0,213	0,230	0,258
5,2	0,053	0,066	0,079	0,091	0,102	0,112	0,123	0,141	0,157	0,170	0,191	0,208	0,239
5,6	0,046	0,058	0,069	0,079	0,089	0,099	0,108	0,124	0,139	0,152	0,172	0,189	0,223
6,0	0,040	0,051	0,060	0,070	0,078	0,087	0,095	0,110	0,124	0,136	0,155	0,172	0,208
6,4	0,036	0,045	0,053	0,062	0,070	0,077	0,085	0,098	0,111	0,122	0,141	0,158	0,196
6,8	0,032	0,040	0,048	0,055	0,062	0,069	0,076	0,088	0,100	0,110	0,128	0,144	0,184
7,2	0,028	0,036	0,042	0,049	0,056	0,062	0,068	0,080	0,090	0,100	0,117	0,133	0,175
7,6	0,024	0,032	0,038	0,044	0,050	0,056	0,062	0,072	0,082	0,091	0,107	0,123	0,166
8,0	0,022	0,029	0,035	0,040	0,046	0,051	0,056	0,066	0,075	0,084	0,098	0,113	0,158
8,4	0,021	0,026	0,032	0,037	0,042	0,046	0,051	0,060	0,069	0,077	0,091	0,105	0,150
8,8	0,019	0,024	0,029	0,034	0,038	0,042	0,047	0,055	0,063	0,070	0,084	0,098	0,144
9,2	0,018	0,022	0,026	0,031	0,035	0,039	0,043	0,051	0,058	0,065	0,078	0,091	0,137
9,6	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040	0,047	0,054	0,060	0,072	0,085	0,132
10	0,015	0,019	0,022	0,026	0,030	0,033	0,037	0,044	0,050	0,056	0,067	0,079	0,126
11	0,011	0,017	0,020	0,023	0,027	0,029	0,033	0,040	0,044	0,050	0,060	0,071	0,114
12	0,009	0,015	0,018	0,020	0,024	0,026	0,028	0,034	0,038	0,044	0,051	0,060	0,104

**Примітка.** Для проміжних значень  $m$  і  $n$  величина коефіцієнта  $\alpha$  визначається інтерполяцією.

Таблиця 3.

### Види глинистих ґрунтів в залежності від числа пластичності

Найменування видів глинистих ґрунтів	Число пластичності $I_{II}$
Супісок	$1 \leq I_{II} \leq 7$
Суглинок	$7 < I_{II} \leq 17$
Глина	$I_{II} > 17$

Глинисті ґрунти, що в початковій стадії свого формування утворилися як структурний осад у воді при наявності мікробіологічних процесів, і які володіють у природному складенні вологістю, що перевищує вологість на границі текучості, і коефіцієнтом пористості  $e > 1$  для супісків та суглинок і  $e > 1,5$  для глин, називаються мулами.

Таблиця 4.

### Найменування піщаних ґрунтів за щільністю

Різновид пісків	Коефіцієнт пористості $e$		
	Піски гравіюваті, крупні та середньої крупності	Піски мілкі	Піски пилуваті
Щільний	$< 0,55$	$< 0,60$	$< 0,60$
Середньої щільності	$0,55-0,70$	$0,60-0,75$	$0,60-0,80$
Пухкий	$> 0,70$	$> 0,75$	$> 0,80$

Таблиця 5.

### Найменування глинистих (непросадочних) ґрунтів по консистенції

Найменування ґрунтів	Консистенція $B$
<b>Супіски</b>	
Тверді	$B < 0$
Пластичні	$0 \leq B \leq 1$
Текучі	$B > 1$
<b>Суглинки і глини</b>	
Тверді	$B < 0$
Напівтверді	$0 \leq B \leq 0,25$
Тугопластичні	$0,25 < B \leq 0,5$
М'якопластичні	$0,5 < B \leq 0,75$
Текучопластичні	$0,75 < B \leq 1$
Текучі	$B > 1$

**Коефіцієнти А, В, D**  
**для визначення нормативного тиску на основу  $R''$**

Нормативне значення кута внутрішнього тертя, $\varphi''$ , град.	коефіцієнти		
	A	B	D
0	0	1,00	3,14
2	0,03	1,12	3,32
4	0,06	1,25	3,51
6	0,10	1,39	3,71
8	0,14	1,55	3,93
10	0,18	1,73	4,17
12	0,23	1,94	4,42
14	0,29	2,17	4,69
16	0,35	2,43	5,00
18	0,43	2,72	5,31
20	0,51	3,06	5,66
22	0,61	3,44	6,04
24	0,72	3,87	6,45
26	0,84	4,37	6,90
28	0,98	4,93	7,40
30	1,15	5,59	7,95
32	1,34	6,35	8,55
34	1,55	7,21	9,21
36	1,81	8,25	9,98
38	2,11	9,44	10,80
40	2,46	10,84	11,73
42	2,87	12,50	12,77
44	3,37	14,48	13,96
45	3,66	15,64	14,64

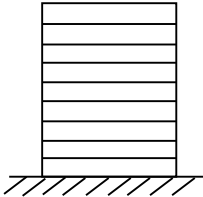
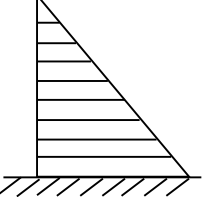
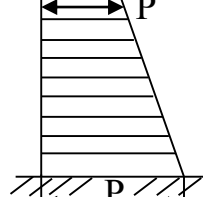
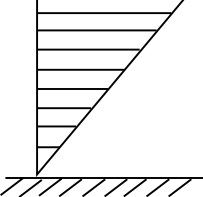
Таблиця 7

**Нормативні та розрахункові характеристики піщаних та  
глинистих ґрунтів  
( $C^u$  в  $кг/см^2$ ,  $\phi$  в град,  $E$  в  $кг/см^2$ )**

Найменування ґрунтів	Вологість на межі розкочування %	Хар-ка ґрунтів	Коефіцієнти пористості $e$											
			0,4-0,5		0,51-0,6		0,61-0,7		0,71-0,8		0,81-0,95		0,96-1,1	
			норм	роз	норм	роз	норм	роз	норм	роз	норм	роз	норм	розр
Піски великі та гравілісті	9,5-12,4	C $\phi$ E	0,02 43 460	41	0,01 40 400	38	38 36							
Піски середньої крупності	9,5-12,4	C $\phi$ E	0,03 40 460	38	0,02 38 400	36	0,01 35 330	33						
Піски мілкі	9,5-12,4	C $\phi$ E	0,06 38 370	0,01 36	0,04 36 280	34	0,02 32 240	30						
Піски пилюваті	9,5-12,4	C $\phi$ E	0,08 36 140	0,08 36 140	0,06 34 120	32	0,04 30 100	28						
Глинисті ґрунти	9,5-12,4	C $\phi$ E	0,12 25 230	0,03 23	0,08 24 160	22	0,06 23 130	21						
Глинисті ґрунти	12,5-15,4	C $\phi$ E	0,42 24 350	0,14 22	0,21 23 210	0,07 21	0,14 22 150	0,04 20	0,07 21 120	0,02 19				

Глинисті ґрунти	15,5- 18,4	С φ Е			0,50 22 300	0,19 20	0,25 21 190	0,11 19	1,19 20 130	0,08 18 100	0,11 19 100	0,04 17	0,08 18 80	0,02 16
Глинисті ґрунти	18,5- 22,4	С φ Е					0,68 20 100	0,28 18	0,34 19 180	0,19 17	0,28 18 130	0,10 16	0,19 17 90	0,06 15
Глинисті ґрунти	22,5- 26,4	С φ Е							0,82 18 260	0,36 16	0,41 17 160	0,25 15	0,36 16 110	0,12 14
Глинисті ґрунти	26,5- 30,4	С φ Е									0,94 16 220	0,40 18	0,47 15 140	0,22 13

**Відсотки консолідації для різних випадків розподілу  
ущільнюючих тисків у ґрунті**

Види епюр $T=k_0t$	 $Q_{t_1}$	 $Q_{t_2}$	 $Q_{t_3}$	 $Q_{t_4}$
0,004	8,0	0,8	$Q_t = \frac{2Q_{t_1} + Q_{t_2}(\eta - 1)}{\eta + 1};$ $\eta = \frac{P_2}{P_1}$	15,2
0,008	10,4	1,6		19,2
0,012	12,5	2,4		22,6
0,020	16,0	4,0		28,6
0,028	18,9	5,6		32,2
0,036	21,4	7,2		35,2
0,048	24,7	9,5		39,9
0,060	27,6	12,0		43,2
0,072	30,3	14,4		46,2
0,100	35,7	19,8		51,6
0,125	39,9	24,4		55,4
0,167	46,1	31,8		60,4
0,20	50,4	37,0		63,8
0,25	56,2	44,3		68,1
0,30	61,3	50,8		71,8
0,35	65,8	56,5		75,1
0,40	69,8	61,5		78,1
0,50	76,8	70,0		82,8
0,60	81,6	76,5		86,7
0,80	88,7	85,7		91,7
1,0	93,1	91,3	94,9	
2,0	99,4	99,3	99,5	
	100	100	100	

**Найбільш припустима крутість укосів котлованів та траншей**

Найменування грунта	При глибині виїмок, м					
	До 1,5		Від 1,5 до 3		Від 3 до 5	
	Кут між напрямом укошу і горизонталлю, град.	Відношення висоти укошу к його закладанню	Кут між напрямом укошу і горизонталлю, град.	Відношення висоти укошу к його закладанню	Кут між напрямом укошу і горизонталлю, град.	Відношення висоти укошу к його закладанню
Насипний природної вологості	76	1:0,25	45	1:1,00	38	1:1,25
Пісчаний гравіюватий вологий, але не насичений	63	1:0,50	45	1:1,00	45	1:1,00
Глинистий природної вологості:						
- супісок	76	1:0,25	56	1:0,67	50	1:0,85
- суглинок	90	1:0,00	63	1:0,50	53	1:0,75
- глина	90	1:0,00	76	1:0,25	63	1:0,50
Лісовидний сухий	90	1:0,00	63	1:0,50	63	1:0,50

**Примітка.** При глибині виїмки понад 5 м крутість укошу встановлюється розрахунком



### Коефіцієнти для визначення висоти стійких укосів

Закладання укосу	Поверхня ковзання проходить через верхню брівку укосу		Поверхня ковзання проходить через підосхву (нижню брівку укосу) на глибині							
			$e = \frac{1}{4} H$		$e = \frac{1}{2} H$		$e = H$		$e = 1\frac{1}{2} H$	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
1:1	2,34	5,79	2,56	6,10	3,17	5,92	4,32	5,80	5,78	5,75
1:1 $\frac{1}{4}$	2,64	6,05	2,66	6,32	3,24	6,02	4,43	5,86	5,86	5,80
1:1 $\frac{1}{2}$	2,64	6,50	2,80	6,53	3,32	6,13	4,54	5,93	5,94	5,85
1:1 $\frac{3}{4}$	2,87	6,58	2,93	6,72	3,41	6,26	4,66	6,00	6,02	5,90
1:2	3,19	6,70	3,10	6,87	3,53	6,40	4,78	6,08	6,10	5,95
1:2 $\frac{1}{4}$	3,23	7,27	3,26	7,23	3,66	6,56	4,90	6,16	6,18	5,98
1:2 $\frac{1}{2}$	3,53	7,30	3,46	7,62	3,82	6,74	5,03	6,26	6,26	6,02
1:2 $\frac{3}{4}$	3,59	8,02	3,68	8,00	4,02	6,95	5,17	6,36	6,34	6,05
1:3	3,59	8,81	3,93	8,40	4,24	7,20	5,31	6,47	6,44	6,09

**Примітка.**  $H$  – висота укосу;  $e$  – відстань від нижньої брівки укосу до нижньої точки поверхні ковзання

**УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ**

$a$  – коефіцієнт стисливості (компресії),  $см^2/кгс$

$a_n$  – питома стисливість,  $см^2/кгс$

$b$  – довжина фундаменту,  $м$

$B$  – показник консистенції, %

$c$  – зчеплення,  $кг/см^2$

$C$  – приведений модуль деформації,  $кг/см^2$

$e$  – коефіцієнт пористості, %

$E$  – модуль загальної деформації ґрунта,  $кг/см^2$

$F$  – площа,  $см^2$  чи  $м^2$

$S_r$  – ступінь вологості, або ступінь насичення (коефіцієнт водонасичення, коефіцієнт вологості, відносна вологість)

$H$  – горизонтальне навантаження,  $т$

$h_\phi$  – глибина закладання фундаменту,  $м$

$K_\phi$  – коефіцієнт фільтрації,  $см/с$

$M$  – згинальний момент,  $тм$

$n$  – пористість, %

$N$  – навантаження,  $т$

$P_{доd}$  – додатковий тиск,  $кг/см$

$q$  – інтенсивність навантаження,  $кг/см^2$

$S$  – осідання,  $см$

$t$  – час, хв

$\theta$  – ступінь консолідації, %

$V_z$  – об'єм ґрунту, см<sup>3</sup>

$V_{кіст}$  – об'єм кістяку (тв. часток), см<sup>3</sup>

$V_n$  – об'єм пор, см<sup>3</sup>

$V_v$  – об'єм води, см<sup>3</sup>

$W$  – вологість, %

$W_{opt}$  – оптимальна вологість, %

$W_n$  – повна вологоємність (вологість при повному водонасиченні), %

$W_p$  – границя розкочування, %

$W_L$  – границя текучості, %

$I_p$  – число пластичності

$\gamma$  – питома вага ґрунту, г/см<sup>3</sup>

$\gamma_d$  – питома вага сухого ґрунту, г/см<sup>3</sup>

$\gamma_s$  – питома вага часток ґрунту, г/см<sup>3</sup>

$\gamma_w$  – питома вага води, г/см<sup>3</sup>

$Q_z$  – вага ґрунту, г

$Q_{кіст}$  – вага кістяку (тв. часток), г

$Q_v$  – вага води, г

$\delta_{пр}$  – відносне просідання

$\varepsilon$  – деформація

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона

$\sigma, p$  – нормальне (повне) навантаження, кг/см<sup>2</sup>

$\sigma_e$  – ефективні напруження в скелеті ґрунту, кг/см<sup>2</sup>

$\sigma_n$  – нейтральний тиск у поровій воді, кг/см<sup>2</sup>

$\sigma_n, p_n$  – природний тиск, кг/см<sup>2</sup>

$\sigma_1, \sigma_3$  – найбільше і найменше головне напруження, кг/см<sup>2</sup>

$\tau$  – дотичні напруження, кг/см<sup>2</sup>

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя, градуси.

Навчальне видання

**Шашенко** Олександр Миколайович  
**Шаповал** Володимир Григорович  
**Гапєєв** Сергій Миколайович  
**Скобенко** Олександр Васильович  
**Хозьяїкіна** Наталія Володимирівна  
**Іванова** Ганна Павлівна

**МЕХАНІКА ҐРУНТІВ, ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ**  
**ЧАСТИНА 1. МЕХАНІКА ҐРУНТІВ**

**Методичні рекомендації до практичних занять**  
для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей  
192 Будівництво та цивільна інженерія, 194 Гідротехнічне будівництво, водна  
інженерія та водні технології

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.  
Підписано до видання 10.12.2024. Авт. арк. 3,5.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».  
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.