

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



**ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА**  
*Кафедра будівництва і геомеханіки*

## **МЕХАНІКА ҐРУНТІВ**

**Методичні рекомендації до виконання практичних та  
індивідуальних розрахункових завдань**  
для студентів напрямів підготовки  
6.060101 Будівництво та 6.050301 Гірництво

Дніпропетровськ  
НГУ  
2013

Механіка ґрунтів. Методичні рекомендації до виконання практичних та індивідуальних розрахункових завдань для студентів напрямів підготовки 6.060101 Будівництво та 6.050301 Гірництво / О.М. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Н.В. Хозяйкіна, Д.О. Шашенко. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 54 с.

**Автори:**

О.М. Шашенко, д-р техн. наук, проф.;  
В.П. Пустовойтенко, д-р техн. наук, проф.;  
Н.В. Хозяйкіна, канд. техн. наук, доц.;  
Д.О. Шашенко канд. техн. наук, доц.

Затверджено методичною комісією з напряму підготовки 6.060101 Будівництво (протокол № 1 від 12.12.12) за поданням кафедри будівництва і геомеханіки (протокол № 7 від 11.12.12).

Подано методичні рекомендації щодо виконання практичних робіт з дисципліни «Механіка ґрунтів» для студентів напрямів підготовки 6.060101 Будівництво та 6.050301 Гірництво.

Розглянуто принципи вирішення відповідних завдань при проектуванні основи і фундаменту, а також їх улагодження у різних геологічних і кліматичних умовах. 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.

Передбачають виконання завдань як із викладачем, так і під час самостійної роботи.

Можна використовувати також у підготовці курсового та дипломного проектування.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри будівництва і геомеханіки,  
д-р техн. наук, проф. О.М. Шашенко.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Основні терміни та визначення механіки грунтів</b> .....	5
<b>Номенклатура ґрунтів</b>	
<b>основ</b> .....	13
<b>Умовні позначення</b> .....	14
<b>Розділ 1. Фізико-механічні властивості ґрунтів</b> .....	17
<b>Розділ 2. Міцність ґрунтів у складному напруженому стану</b> .....	25
<b>Розділ 3. Закономірності розподілу напружень у ґрунтах основ</b> .....	26
<b>Розділ 4. Розрахунок осідань поверхні</b> .....	30
<b>Розділ 5. Опір ґрунтів зрушенню</b> .....	38
<b>Розділ 6. Котловани</b> .....	40
<b>Список використаної літератури</b> .....	45
<b>Додатки</b> .....	46

## ВСТУП

Вивчення курсу «Механіка ґрунтів» дозволяє майбутнім будівельникам отримати уявлення про ґрунти не тільки з погляду інженерної геології, але і як про об'єкт інженерної діяльності людини в цивільному і промисловому будівництві, при спорудженні дамб і гребель, улаштуванні земляних укосів, автодоріг і т.п. 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.

Це видання має на меті ознайомити студентів зі способами рішення основних задач, що зустрічаються у механіці ґрунтів.

На початку посібника наводяться терміни та визначення згідно з Державним стандартом України (ДСТУ Б В.2.1.-2-96), 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.

Усі необхідні для рішення задач допоміжні матеріали розміщені в додатках.

Базовим підручником при вивченні дисципліни рекомендується книга О.М. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Н.В. Хозяйкіна «Механіка ґрунтів».

## ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ

**Ґрунт** – це частина земної кори, що взаємодіє з будівлями або спорудами 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  $\varepsilon_{ph} \geq 0,01$ .

**Ступінь морозної здимальності** – характеристика, що відбиває здатність ґрунту до морозного здимання, виражається деформацією морозного здимання, що вимірюється у % та визначається за формулою  $\varepsilon_{fn} = \frac{h_{0,f} - h_0}{h_0}$ , 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 скелета 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  $K_f$ , 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**  $\mathcal{E}_{sw}$ , д.о. – відношення збільшення висоти зразка ґрунту після вільного набухання в умовах неможливості бокового розширення до початкової висоти зразка природної вологості.

**Відносна деформація просідання**  $\mathcal{E}_{sl}$ , % – 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, 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 роздимальний** - дисперсний ґрунт, який при відтаванні зменшує свій об'єм.

**Ґрунт твердомерзлий** - дисперсний ґрунт, міцно зцементований льодом, що характеризується відносно крихким зруйнуванням та практично нестискуваний 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** – високодисперсні 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 ГРУНТІВ ОСНОВ

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 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).

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

$a$  – ширина підошви фундаменту;

$a_c$  – 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)

$H$  чи  $Q$  – горизонтальне навантаження,  $т$

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

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

$M$  – згинальний момент,  $тм$

$n$  – пористість, %

$N$  – навантаження,  $т$

$P_e$  – вага ґрунту,  $г$

$P_c$  – вага скелета,  $г$

$P_w$  – вага води,  $г$

$P_{\text{дод}}$  – додатковий тиск, кг/см

$q$  – інтенсивність навантаження, кг/см<sup>2</sup>

$S$  – осідання, см

$t$  – час, хв

$\theta$  – ступінь консолідації, %

$V_z$  – об'єм ґрунту, см<sup>3</sup>

$V_c$  – об'єм скелета, см<sup>3</sup>

$V_n$  – об'єм пор, см<sup>3</sup>

$V_v$  – об'єм води, см<sup>3</sup>

$W$  – вологість, %

$W_{\text{опт}}$  – оптимальна вологість, %

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

$W_p$  – границя розкочування, %

$W_m$  – границя текучості, %

$I_p$  – число пластичності

$\gamma_z$  – об'ємна вага ґрунту, г/см<sup>3</sup>

$\gamma_c$  – об'ємна вага скелета (щільність) ґрунту, г/см<sup>3</sup>

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

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

$\gamma_c'$  – зважена об'ємна вага скелета, г/см<sup>3</sup>

$\delta_{\text{пр}}$  – 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.



## РОЗДІЛ 1

### Фізико-механічні характеристики ґрунтів

Розрахункові формули фізичних характеристик ґрунтів, що найчастіше використовуються у розрахунковій практиці, наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

<i>Характеристики, що визначаються у лабораторних умовах</i>	<i>Характеристики, що визначаються розрахунковим способом</i>
<p><math>\gamma_{\text{нмзр}}</math> - питома вага ґрунту</p> <p><math>\gamma_{\text{обзр}}</math> - об'ємна вага ґрунту недоторканої структури</p> <p><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>Об'ємна вага скелету ґрунту</p> $\gamma_{\text{обск}} = \frac{\gamma_{\text{обзр}}}{1+W}, \text{ г/см}^3$ <p>Пористість ґрунту</p> $n = 1 - \frac{\gamma_{\text{обск}}}{\gamma_{\text{нмзр}}}$ <p>Коефіцієнт пористості ґрунту</p> $e = \frac{n}{1-n}$ <p>Об'єм пор у <math>1 \text{ см}^3</math> ґрунту</p> $V_{\text{пор}} = \frac{e}{1+e}$ <p>Об'єм твердих часток у <math>1 \text{ см}^3</math> ґрунту</p> $V_{\text{тв}} = \frac{1}{1+e}$ <p>Повна вологоємність ґрунту (вологість, що співпадає ґрунту, що повністю насичений водою)</p> $W_m = e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_{\text{нмзр}}} \cdot 100, \%$ <p>Ступень (коефіцієнт) вологості</p> $G = \frac{W\gamma_{\text{нмзр}}}{e\gamma_w}$ <p>Коефіцієнт пористості при повному заповненню пор водою</p> $a = W \frac{\gamma_{\text{вд}}}{\gamma_a}$ <p>Об'ємна вага ґрунту після висушування</p> $\gamma_{\text{вс}} = \frac{\gamma_{\text{нмзр}} - \gamma_w}{1+e}, \text{ г/см}^3$

Характеристики, що визначаються у лабораторних умовах	Характеристики, що визначаються розрахунковим способом
	<p>Об'ємна вага ґрунту у водонасиченому стані</p> $\gamma_{обв} = \gamma(1 - n) + n\gamma_w, \text{ г/см}^3$ <p>Об'єм газу у 1 см<sup>3</sup> ґрунту</p> $V_{газ} = \left( \frac{e}{\gamma_{пнгр}} - \frac{W}{\gamma_w} \right) \cdot \gamma_{обск}$ <p>Примітка: <math>\gamma_w</math> - питома вага води</p>

За допомогою наданих формул розрахувати приклади.

**№ 1.** За допомогою ріжучого кільця, що має вагу 137 г і об'єм 160 см<sup>3</sup>, був відібраний зразок суглинку.

Вага кільця зі зразком складала 451 г, а після висушування - 409 г. Обчислити основні фазові характеристики суглинку - об'ємну вагу, вологість і об'ємну вагу скелету.

Знаючи, що питома вага цього суглинку складає 2,71 г/см<sup>3</sup>, знайти коефіцієнт пористості, пористість, ступінь вологості ґрунту, а також його повну вологоємність.

### Рішення:

Об'ємна вага:

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

Об'ємна вага скелета:

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

Вологість:

$$\gamma_{обск} = \frac{\gamma_{обзр}}{1 + W}; \quad W = \left( \frac{\gamma_{обзр}}{\gamma_{обск}} - 1 \right) \cdot 100\%$$

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

Пористість:

$$n = \left( 1 - \frac{\gamma_{обск}}{\gamma_{numzp}} \right) \cdot 100\% = \left( 1 - \frac{1,7}{2,71} \right) \cdot 100\% = 37\%.$$

Коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{0,37}{1 - 0,37} = 0,59;$$

Ступінь вологості ( $S_r$ ):

$$S_r = \frac{\gamma_{numzp} W}{100e\gamma_s} = \frac{2,71 \cdot 15,3}{100 \cdot 0,59 \cdot 1} = 0,70.$$

Повна вологоємність ( $W_n$ , %):

Щоб знайти повну вологоємність, прийmemo ґрунт цілком водонасиченим.

Тоді, поклавши  $S_r = 1$ , одержимо:

$$W = W_n, \text{ тобто}$$

$$1 = \frac{\gamma_{numzp} W_n}{100e\gamma_s}; W_n = \frac{100e\gamma_s}{\gamma_{numzp}} = \frac{100 \cdot 0,59 \cdot 1,0}{2,71} = 21,77\%.$$

**Відповідь:**  $\gamma_{обзр} = 1,96 \text{ г/см}^3$ ;  $W = 15,5 \%$ ;  $\gamma_{обск} = 1,7 \text{ г/см}^3$ ;  $n = 37\%$ ;

$$e = 0,59; W_n = 21,77 \%; S_r = 0,70.$$

**№ 2.** По заданим основним характеристикам глинистого ґрунту  $\gamma_{numzp} = 2,85 \text{ г/см}^3$ ,  $\gamma_{обзр} = 1,86 \text{ г/см}^3$ ,  $W = 8\%$ ,  $W_p = 10\%$  и  $W_T = 18\%$  розрахувати допоміжні характеристики за формулами, що наведені у табл. 1.1.

Розрахунок.

1. Об'ємна вага скелету ґрунту

$$\gamma_{обск} = \frac{\gamma_{обзр}}{1 + 0,01W} = \frac{1,86}{1 + 0,01 \cdot 8} = 1,72 \text{ г/см}^3.$$

2. Пористість ґрунту

$$n = 1 - \frac{\gamma_{обск}}{\gamma_{numzp}} = 1 - \frac{1,72}{2,85} = 0,40, \text{ або } 40 \%.$$

3. Коефіцієнт пористості

$$\varepsilon = \frac{n}{1-n} = \frac{0,40}{1-0,40} = 0,68$$

4. Об'ємну вагу ґрунту у водонасиченому стані

$$\gamma_{обг} = \gamma_{нмзр} (1-n) + n\gamma_w = 2,85(1-0,40) + 0,40 \cdot 1 = 2,01 \text{ г/см}^3.$$

5. Число пластичності

$$I_n = W_L - W_p = 18 - 10 = 8 \text{ \%}.$$

6. Коефіцієнт консистенції

$$B = \frac{W - W_p}{I_n} = \frac{8 - 10}{8} < 0.$$

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

7. Повна вологоємність ґрунту

$$W_m = \frac{e\gamma_w}{\gamma_{нмзр}} \cdot 100 = \frac{0,68 \cdot 1}{2,85} \cdot 100 = 23,9 \text{ \%}.$$

**№ 3.** Об'ємна вага кістяка піску дорівнює  $1,56 \text{ г/см}^3$ , а питома вага -  $2,66 \text{ г/см}^3$ . Визначити основні фазові характеристики у водонасиченому стані - об'ємну вагу піску і вологість, а також його коефіцієнт пористості.

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

**№ 5.** Установити назву ґрунту, що має наступний гранулометричний склад:

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

**Рішення:**

Разом маємо 500 г фракціонованого матеріалу. 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	$\frac{53,6 \cdot 100}{500} = 10,72\%$

Після перевірки відповідності суми значень правого рядка 100 %, треба звернутися до таблиці 1 додатка, а для встановлення найменування ґрунту послідовно просумувати зміст 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 (Додаток):

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

Вага часток крупніше 0,25 мм складає 54,6%, отже, за табл. 1 (Додаток) це - пісок середньої крупності.

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

**Рішення:**

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 мм.

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

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

Висота капілярного підняття при  $\gamma_e = 0,001$  кг/см<sup>3</sup>:

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

**№ 7.** Вага бюксу зі зразком ґрунту складає 70,26 г, вага бюксу – 35,15 г. Після висушування вага бюксу з ґрунтом - 64,12 г. Границя текучості його  $W_L = 29$  %, границя розкочування  $W_P = 18$  %. Визначити назву ґрунту та його консистенцію за табл. 5 (Додаток).

**Розрахункові завдання для самостійної роботи.**

**Розрахункове завдання № 1.1.** Зразок мокрого піску об'ємом 464 см<sup>3</sup> важить 793 г. Вага кістяка дорівнює 735 г, а питома вага - 2,68 г/см<sup>3</sup>. Знаючи основні фазові характеристики ґрунту, визначити: об'ємну вагу кістяка, пористість, коефіцієнт пористості і ступінь вологості. Вказати категорію ґрунту за БНіП відносно розрахованої ступіні вологості ґрунту.

### Вихідні дані за варіантами.

№ варіанту	$V, \text{см}^3$ обсяг зразку ґрунту в природному стані	$m_1, \text{г}$ вага зразку ґрунту в природному стані	$m_2, \text{г}$ вага кістяка зразку ґрунту	$\gamma_{\text{кв}}, \text{г/см}^3$ питома вага кістяка 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

**Розрахункове завдання № 1.2.** 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 ґрунту $\gamma_{\text{пнп}}, \text{г/см}^3$	Об'ємна вага ґрунту $\gamma_{\text{обп}}, \text{г/см}^3$	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

№ варіанту	Питома вага грунту $\gamma_{пит.р}, \text{г/см}^3$	Об'ємна вага ґрунту $\gamma_{об.р}, \text{г/см}^3$	Вологість ґрунту		
			вагова $W, \%$	на межі розкочування $W_p, \%$	на межі текучості $W_T, \%$
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

**Розрахункове завдання № 1.3.** 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

**Розрахункове завдання № 1.4.** Визначити капілярний тиск і висоту капілярного підняття води для суглинку. Діаметр часток дорівнює 0,003 см.



## РОЗДІЛ 2

### Міцність ґрунтів у складному напруженому стану

**№ 8.** За допомогою лабораторних кривих компресії побудувати графік стисливості 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. 1.

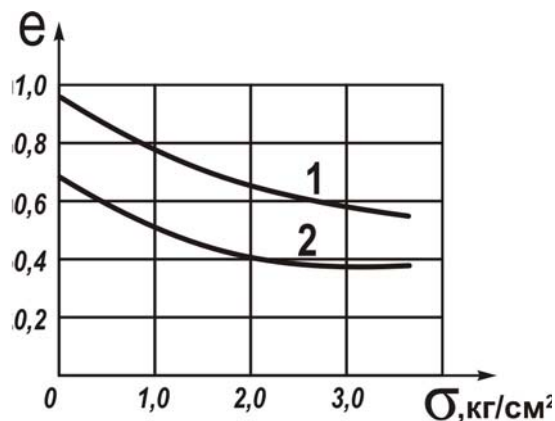


Рис. 1. Компресійні криві суглинку (1) і супіску (2)

**Указівка:** для побудови графіка стисливості шаруватого ґрунту визначаємо питому стисливість кожного шару. Потім визначаємо осідання кожного шару ґрунту:

$$S_1 = \frac{a_1 \Delta \sigma h_1}{1 + e_{H_1}} = a_{y_1} \Delta \sigma h_1;$$

$$S_2 = \frac{a_2 \Delta \sigma h_2}{1 + e_{H_2}} = a_{y_2} \Delta \sigma h_2;$$

$$a_i = \frac{e_{H_i} - e_{H_i}}{\sigma_{K_i} - \sigma_{H_i}}.$$

Знаючи осідання в кожному інтервалі тисків, визначаємо загальне осідання:

$$S = S_1 + S_2 = \Delta \sigma (a_{y_1} h_1 + a_{y_2} h_2).$$

Графік стисливості будуюмо в координатах  $S - \Delta \sigma$ .

## РОЗДІЛ 3

### Закономірності розподілу напружень у грунтах основ

**№ 9.** 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>.

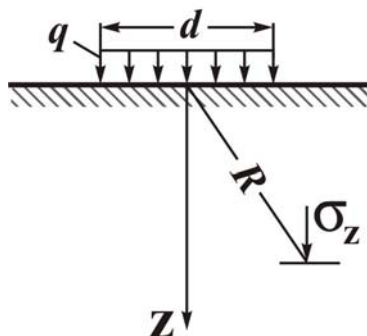


Рис.2. Розрахункова схема до визначення розподілу напружень в однорідній основі за Буссінеском

**Примітка.** Порівняння з точним рішенням показує, що при поділі завантаженої поверхні на прямокутні елементи, довга сторона яких менше половини відстані від центра елемента до точки, в якій обчислюється напруження, похибка розрахунків складає близько 8%; якщо ж довга сторона елемента менше третини відстані до точки, - близько 3%, а якщо менше чверті відстані, - близько 2%.

#### Рішення:

Обчислюємо рівнодіючу тиску по площадці

$$P = \frac{q \pi d^2}{4} = \frac{15 \cdot 3,14 \cdot 3^2}{4} = 106 \text{ т.}$$

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

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

Через те, що в даному випадку діаметр завантаженої поверхні складає третину відстані до точки, у якій обчислюється напруження, то похибка в обчисленнях складає близько 3%.

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

**№ 11.** 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 об'ємну вагу  $\gamma_z = 1,8 \text{ т/м}^3$ . Інтенсивність навантаження по підшві фундаменту  $P = 2 \text{ кг/см}^2$ . Визначити вертикальне стискаюче напруження від спорудження під центром завантаження площі на глибині від підшви фундаменту  $Z = 4 \text{ м}$ .

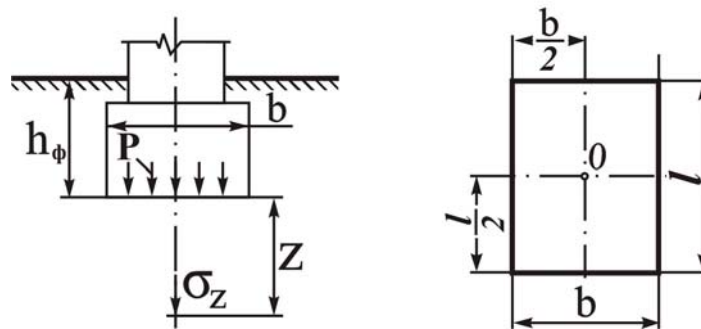


Рис. 3. Схема до розрахунку напружень в ґрунті під центром фундаменту:  
а – перетин; б – план фундаменту

**Рішення.**

Обчислюємо побутовий (природний) тиск у ґрунті на відмітці підшви фундаменту:

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

Знаходимо ущільнюючий (додатковий) тиск у ґрунті під фундаментом на рівні його підшви:

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

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

$$\sigma_z = \alpha q,$$

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

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

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

**№ 12.** Круглий фундамент діаметром 5 м закладений на глибині 2 м. Об'ємна вага ґрунту  $1,9 \text{ т/м}^3$ . Інтенсивність ущільнюючого тиску по підшві фундаменту  $2,5 \text{ кг/см}^2$ . Визначити вертикальний стискаючий тиск під центром фундаменту на відстані 5 м від його підшви.

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

**№ 13.** До прямокутної площі на поверхні ґрунту розміром  $2 \times 4 \text{ м}^2$  прикладене навантаження інтенсивністю  $q = 22 \text{ т/м}^2$ . Визначити вертикальне стискаюче напруження  $\sigma_z$  на глибині  $Z = 4 \text{ м}$  під точкою  $D$  завантаженої площі (рис. 4).

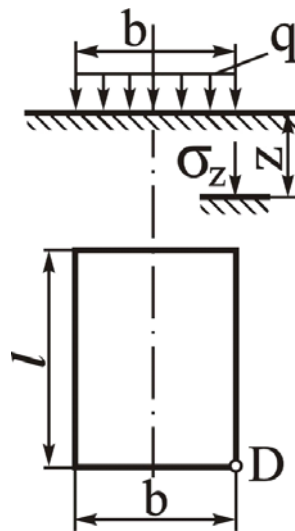


Рис. 4. Схема до розрахунку вертикальних стискальних напружень

### Рішення.

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

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

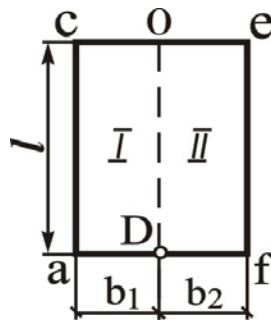
де  $\alpha$  - табличний коефіцієнт, що залежить від  $m = \frac{z}{b}$  і  $n = \frac{l}{b}$  (див табл. 2 Додатка).

$$m = \frac{4}{2} = 2; n = \frac{4}{2} = 2; \alpha = 0,481.$$

Отже

$$\sigma_z = \alpha \frac{q}{4} = 0,481 \cdot \frac{22}{4} = 2,65 \text{ т/м}^2.$$

**№ 14.** За даними задачі 15 знайти величину вертикальних стискаючих напружень  $\sigma_z$  під точкою  $D$  на глибині 4 м, якщо точка  $D$  розташована посеред меншої сторони площі завантаження (рис. 5).



*Рис. 5. Схема розбивки площі на прямокутники при визначенні  $\sigma_z$  методом куткових точок*

**Указівка.** Точка  $D$  знаходиться на контурі прямокутника  $acef$ . Величина  $\sigma_z$  дорівнює сумі куткових напружень від завантаження площ  $acoD$  і  $oefD$  і визначається по формулі  $\sigma_z = (\alpha_I + \alpha_{II}) \cdot \frac{q}{4}$ .

## РОЗДІЛ 4

### Розрахунок осідання фундаментів

**№ 15.** Розрахувати повне осідання стрічкового фундаменту при навантаженнях і інженерно-геологічних умовах, показаних на рис.6. Виконати необхідні побудови. Вихідні дані для побудови компресійних графіків:

пісок:	$p_1=1,0 \text{ кг/см}^2$	$l_1=0,62$
	$p_1=3,0 \text{ кг/см}^2$	$l_2=0,57$
глина:	$p_3=1,0 \text{ кг/см}^2$	$l_3=0,65$
	$p_4=4,0 \text{ кг/см}^2$	$l_4=0,58$

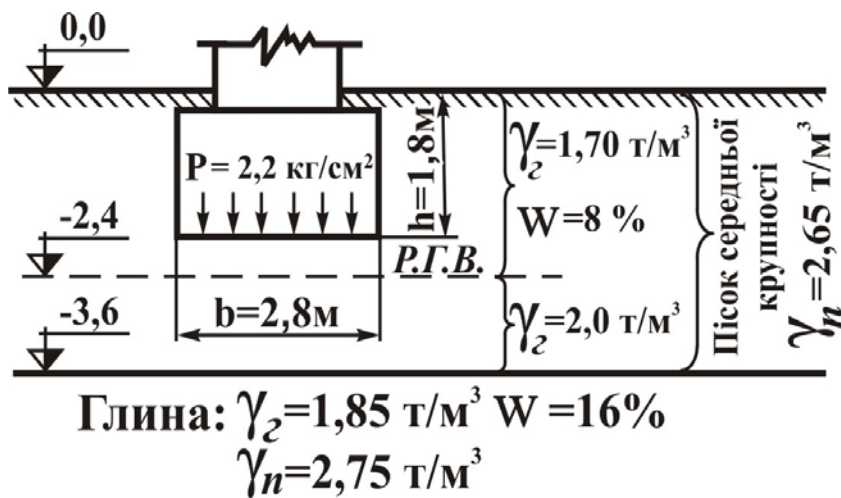


Рис. 6. Схема стрічкового фундаменту і геотехнічні характеристики ґрунтів

**Рішення.**

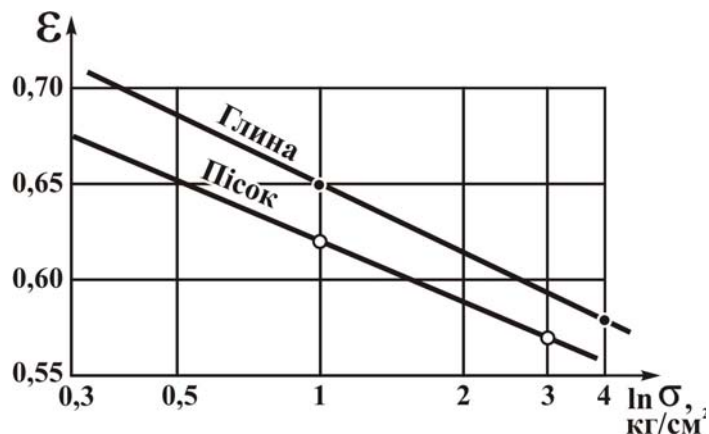


Рис. 7. Компресійні графіки піску і глини

Будуємо компресійні графіки (рис. 7) та складаємо таблицю значень, необхідних для побудов епюр побутових і додаткових тисків (рис. 8) і розрахунку осідань.

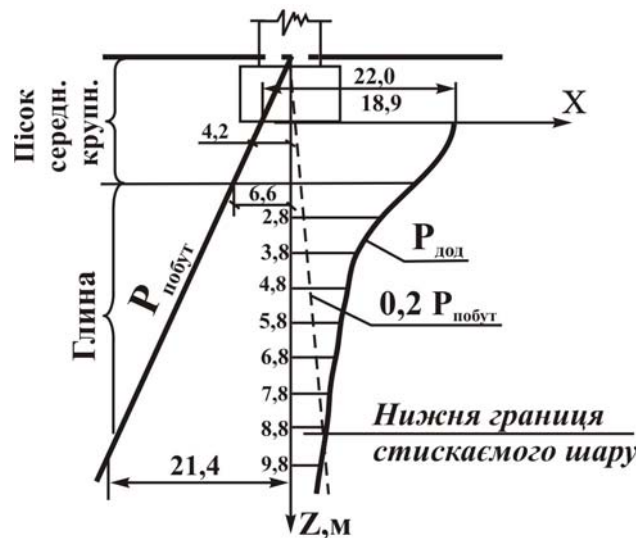


Рис. 8. Епюри побутового і додаткового тисків для розрахунку осідань

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

Визначаємо осідання шару піску:

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

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

Визначаємо осідання шару глини:

$$S = \sum_{i=1}^{10} \frac{e_{\Pi i} - e_{R,i}}{1 + e_{\Pi,i}} \cdot h_i = \left[ \frac{(0,655 - 0,615)}{1,655} + \frac{(0,653 - 0,618)}{1,653} + \frac{(0,654 - 0,618)}{1,654} + \frac{(0,636 - 0,616)}{1,636} + \frac{(0,630 - 0,614)}{1,630} + \frac{(0,624 - 0,611)}{1,624} + \frac{(0,618 - 0,608)}{1,618} \right] \cdot x$$

$$x \cdot 100 = (0,030 + 0,021 + 0,016 + 0,012 + 0,010 + 0,008 + 0,006) \cdot 100 = 10,3 \text{ см.}$$

$$S = S_n + S_{2л} = 7,8 + 10,3 = 18,1 \text{ см.}$$

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

**№ 16.** Розрахувати середнє осідання проміжної опори моста при даних, приведених на рис. 9. Виконати необхідні побудови. Розміри підшови пального фундаменту (як умовного масиву) дорівнюють 5х8 м. Вертикальне нормативне навантаження в площині підшови пального фундаменту (з урахуванням ваги пально-грунтового масиву)  $N = 1400$  т.

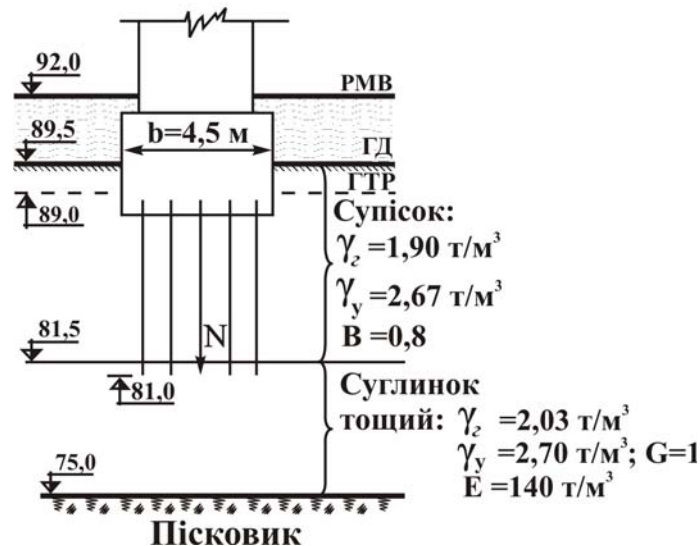


Рис. 9. Схема проміжної опори моста та фізико-механічні властивості ґрунтів

**№ 17.** На поверхні землі встановлені в один ряд три стовпчастих фундаменти малих розмірів у плані. Відстань між фундаментами 4 м (рис. 10). 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 *а*, *б*, *в*, *г*.

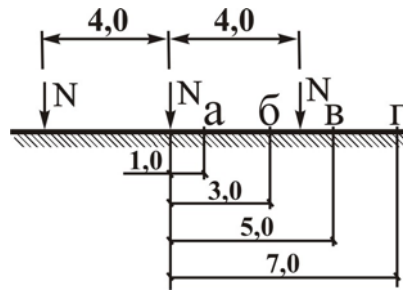


Рис. 10. Схема розташування стовпчастих фундаментів

### Рішення.

Знайдемо осідання поверхні по формулі Буссинеска від одного фундаменту на відстані від його осі:

$$R = 1 \text{ м} \quad S = \frac{P}{\pi CR} = \frac{100000}{3,14 \cdot 40 \cdot 300} = 8 \text{ см};$$

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

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

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

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

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

Осідання в точках:

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

$$б) 8 + 2,7 + 1,1 = 11,8 \text{ см};$$

$$в) 8 + 1,6 + 0,9 = 10,5 \text{ см};$$

$$г) 2,7 + 1,1 + 0,7 = 4,5 \text{ см}.$$

**№ 18.** На поверхні основи такої ж, як у попередній задачі, установлений твердий квадратний штамп площею  $1 \text{ м}^2$ . Розрахувати його осідання по формулі Шлейхера, якщо осьове навантаження дорівнює  $15 \text{ т}$ . Яке буде осідання такого ж штампа площею  $9 \text{ м}^2$  при тій же інтенсивності тиску?

**№ 19.** По кривій консолідації (рис. 11) зразка суглинку в компресійному приладі висотою  $2 \text{ м}$  побудувати графік фільтраційної консолідації шару з такого ж суглинку товщиною  $2 \text{ м}$ , що підстиляється жирною глиною і перекритого шаром піску. Напруження в шарі й у зразку ґрунту однакові і дорівнюють  $2 \text{ кг/см}^2$ .

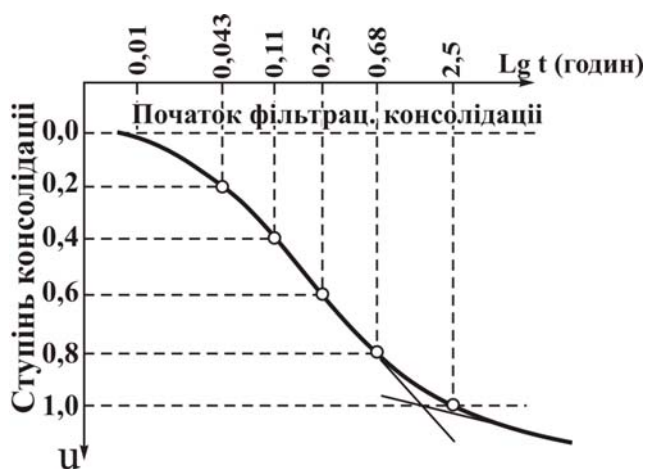


Рис. 11. Крива консолідації суглинку

**№ 20.** Визначити час повного осідання будинку, що має стрічкові фундаменти шириною  $1,8 \text{ м}$ , закладені на глибині  $2,5 \text{ м}$  і які передають тиск на ґрунт по підшві  $2 \text{ кг/см}^2$ . В основі залягає шар водонасиченої глини великої потужності, в якій об'ємна вага  $\gamma_s = 2 \text{ т/м}^3$ , питома вага  $\gamma_n = 2,76 \text{ т/м}^3$ , коефіцієнт пористості  $e = 0,7$ , середнє значення коефіцієнта фільтрації  $K_\phi = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ см/сек}$ , 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  $0,9$ .

**№ 21.** Побудувати криву консолідації ґрунтового шару  $h=10$  м, що підстиляється скалою та вагою 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) епюра ущільнюючих тисків має вид прямокутника табл. 6 (Додаток);

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

3) характеристика ґрунту: коефіцієнт фільтрації  $K_\phi= 1,5$  см/рік коефіцієнт стикаємості  $\alpha=0,012$  см<sup>2</sup>/кг, початковий коефіцієнт пористості  $e_n = 0,70$ .

**Розрахункові завдання для самостійної роботи.**

№	$Q_t, \%$	Время осадки $t, \text{месяц}$	$S_t, \text{см}$ Осадка за время $t$	$S_K, \text{см}$ конечная осадка	$K_\phi, \text{см/год}$	$\alpha$ коэффициент сжимаемости	$e_n$ коэффициент пористости
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
16	12,5; 21,4; 56,2; 81,6	12	25	55	1,3	0,011	0,69

№	$Q_t, \%$	Время осадки $t, \text{месяц}$	$S_t, \text{см}$ Осадка за время $t$	$S_K, \text{см}$ конечная осадка	$K_{ф}, \text{см/год}$	$\alpha$ коэффициент сжимаемости	$e_n$ коэффициент пористости
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

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

Величина кінцевого осідання кутової точки  $S_{к,у}=20 \text{ см}$ .

Характеристики ґрунту ті ж, що і в попередньому прикладі.

**Розрахункові завдання для самостійної роботи.**

№	Процентне співвідношення кінцевого осідання кутової точки, %	$b, \text{м}$	$l, \text{м}$	$S_{к,у}, \text{см}$
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
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

**№ 23.** Визначити розміри фундаменту і обчислити величину осідання основи заводської труби вагою  $P^H = 2400 \text{ т}$ . В основі залягає ґрунт, у якого кут тертя  $\varphi^H = 24^\circ$ , питоме зчеплення  $C^H = 0,8 \text{ т/м}^2$ , об'ємна вага  $\gamma_{об} = 1,9 \text{ т/м}^3$  і модуль загальної деформації  $E = 160 \text{ кг/см}^2$ . Глибина закладення фундаменту  $h_0 = 4,8 \text{ м}$ , ширина фундаменту  $a = 7 \text{ м}$ . Побудувати епюри природного і додаткового тисків.

**Розрахункові завдання для самостійної роботи.**

№	$P^H$ , 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	$a$ , 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	2400	24	0,08	1,9	160	4,8	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	,078	1,85	163	4,7	7
18	2550	36	0,07	2,0	350	6,3	7

**№ 24.** Обчислити осадання основи труби (з попередньої задачі) за методом еквівалентного шару, якщо коефіцієнт Пуассона 0,3, коефіцієнт пористості ґрунту 0,51, коефіцієнт стисливості ґрунту 0,0075 см<sup>2</sup>/кг, кофіцієнт  $\omega=0,87$ .

## РОЗДІЛ 5

### Опір ґрунтів зрушенню

**№ 25.** У результаті випробувань декількох зразків глинистого ґрунту на тривісний стиск, знайдено, що зчеплення дорівнює  $0,05 \text{ кг/см}^2$ , кут внутрішнього тертя –  $29^\circ$ , поровий тиск складає  $1,51 \text{ кг/см}^2$ . Знайти, який вертикальний тиск необхідний, щоб викликати руйнування ґрунту при бічному тиску  $3,0 \text{ кг/см}^2$ .

**Рішення.**

Міцність ґрунту залежить від ефективних напружень у кістяку, тому визначаючи більше головне напруження, необхідно врахувати вплив порового тиску (рис. 12).

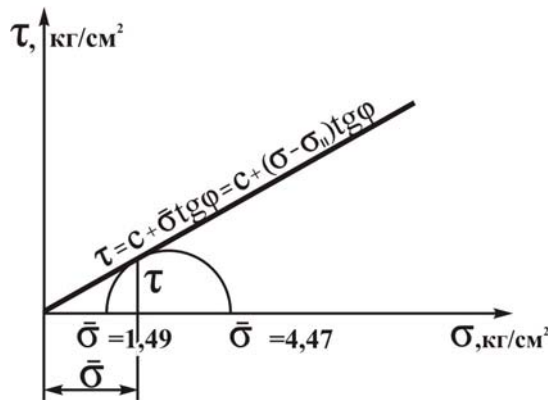


Рис. 12. Коло Мора і графік зрушення

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

де  $\sigma_{e1}, \sigma_{e3}$  – ефективні головні напруження;  $\sigma_{e3} = \sigma_3 - \sigma_n$ ,

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

Повне вертикальне напруження:

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

№ 26. 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?

№ 27. Визначити нормативний тиск на ґрунт в основі фундаменту  $3 \times 4 \text{ м}$ , якщо глибина закладання  $4,0 \text{ м}$ . Ґрунт в основі глинистий. Об'ємна вага ґрунту –  $\gamma_{i\ddot{a}} = 1,75 \text{ г/см}^3$ , вологість на межі розкатування –  $W_p = 10\%$  та коефіцієнт пористості –  $e = 0,55$ . Додаткові характеристики до розрахунку нормативного тиску наведені у табл. 7, 8 (Додаток).

**Розрахункові завдання для самостійної роботи.**

Варіант	$\gamma_{i\ddot{a}}, \text{ г/см}^3$	$W_p, \%$	$e$
1	1,65	10	0,55
2	1,7	12	0,6
3	1,84	14	0,4
4	1,67	16	0,58
5	1,72	19	0,63
6	1,62	21	0,7
7	1,73	24	0,72
8	1,68	25	0,78
9	1,76	28	0,84
10	1,59	11	0,73
11	1,60	9,5	0,55
13	1,62	12,1	0,4
14	1,66	16	0,69
15	1,68	30	0,90
16	1,70	25	0,78
17	1,71	21	1,0
18	1,64	17	0,55
19	1,67	13	0,43
20	1,65	11	0,61
21	1,69	23	0,75

## РОЗДІЛ 6

### Котловани

№ 28. Визначите з урахуванням аркового ефекту бічний тиск піщаного ґрунту на закладне кріплення котловану глибиною  $H = 2$  м, якщо об'ємна вага пилюватого піску  $\gamma_2 = 1,69$  т/м<sup>3</sup>, його вологість  $W = 15\%$ .

**Рішення.**

Визначаємо коефіцієнт пористості ґрунту

$$e = \frac{\gamma_n}{\gamma_2} \left(1 + \frac{W}{100}\right) - 1 = \frac{2,67}{1,69} \left(1 + \frac{15}{100}\right) - 1 = 0,82.$$

Відповідно до табл. 4 (Додаток) складання піска пухке. Тому для розрахунку будемо використовувати епюру тиску ґрунту на кріплення, зображену на рис. 13, б.

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>

$$\sigma_a = \gamma_2 H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right),$$

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

$$\sigma_K = 0,8\gamma_2 H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \cos \frac{2}{3}\varphi = 0,8 \cdot 1,69 \cdot 2 \operatorname{tg}^2 32^\circ \cos 17^\circ 20' = 1,01 \text{ т/м}^2.$$

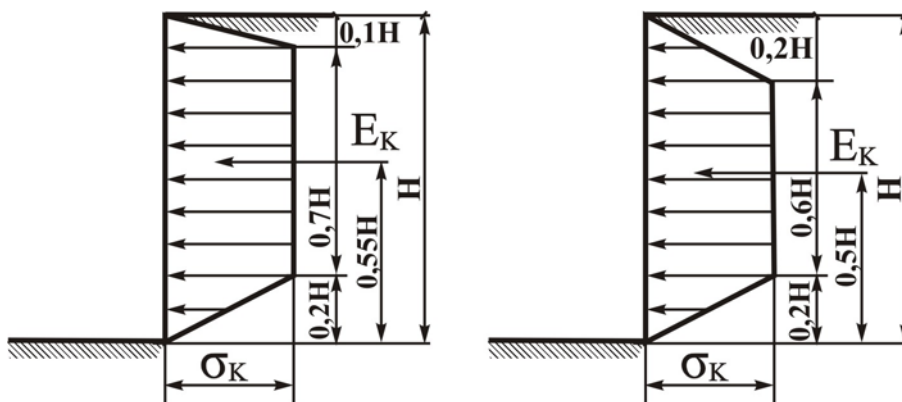


Рис.13. Розрахункова схема Терцагі з визначення бічного тиску піщаного ґрунту на закладне кріплення:

а – у щільному піску, б – у пухкому піску

На 1 погонний метр кріплення котловану бічний тиск піску складає:



$$E_K = \sigma_K \frac{H + 0,6H}{2} \cdot 1_M = 1,01 \cdot \frac{2 + 1,2}{2} \cdot 1 = 1,62 \text{ т.}$$

**№ 29.** Чому дорівнює з урахуванням аркового ефекту бічний тиск піску на 1 пог.м. закладного кріплення котловану глибиною 2,2 м, якщо об'ємна вага піску середньої крупності дорівнює  $1,88 \text{ т/м}^3$ , а його кут внутрішнього тертя  $30^\circ$ . Питома вага ґрунту дорівнює  $2,66 \text{ т/м}^3$ , його вологість – 9 %.

**№ 30.** Визначити розрахунковий бічний тиск глини на закладне кріплення котловану глибиною  $H = 2,5 \text{ м}$ , якщо її об'ємна вага  $\gamma_2 = 1,86 \text{ т/м}^3$ , а вологість у природному стані  $W = 25\%$ . Вологість на границі текучості  $W_L = 42 \%$ , межа розкочування  $W_p = 21 \%$ .

**Рішення.**

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) глина знаходиться в напівтвердому стані. Висота трикутної епюри тиску глини на кріплення  $\sigma_K$  визначається з відношення:

$$\frac{\sigma_K}{0,5\gamma_2 H} = \frac{d}{H},$$

звідки  $\sigma_K = 0,5\gamma_2 d$ .

У даному випадку:

$$\sigma_K = 0,2\gamma_2 H = 0,2 \cdot 1,86 \cdot 2,5 = 0,93 \text{ т/м}^2.$$

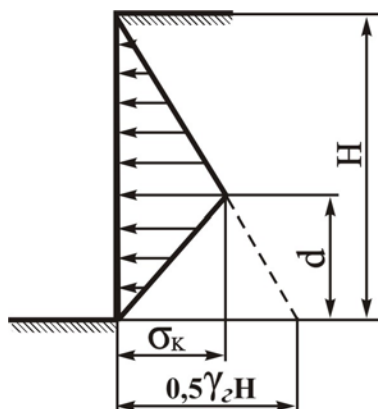


Рис. 14. Епюра тиску глинистого ґрунту на закладне кріплення:  
 $d=0,4H$  в глинах твердої і напівтвердої консистенції;  
 $d=0,25H$  в тугопластичних глинах;  $d=0$  у м'якопластичних глинах

Для напівтвердої глини  $d=0,4H$  (рис. 14).

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

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

**№ 31.** 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 %.

**№ 32.** Призначити крутість укосів котловану глибиною 4 м без кріплення в суглинку. За графіком (рис. 15) визначити коефіцієнт стійкості цих укосів, якщо відомо що об'ємна вага ґрунту  $\gamma_2 = 1,92 \text{ т/м}^3$ , питоме зчеплення  $c = 0,15 \text{ кг/см}^2$ , кут внутрішнього тертя  $\varphi = 15^\circ$ .

**Рішення.**

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

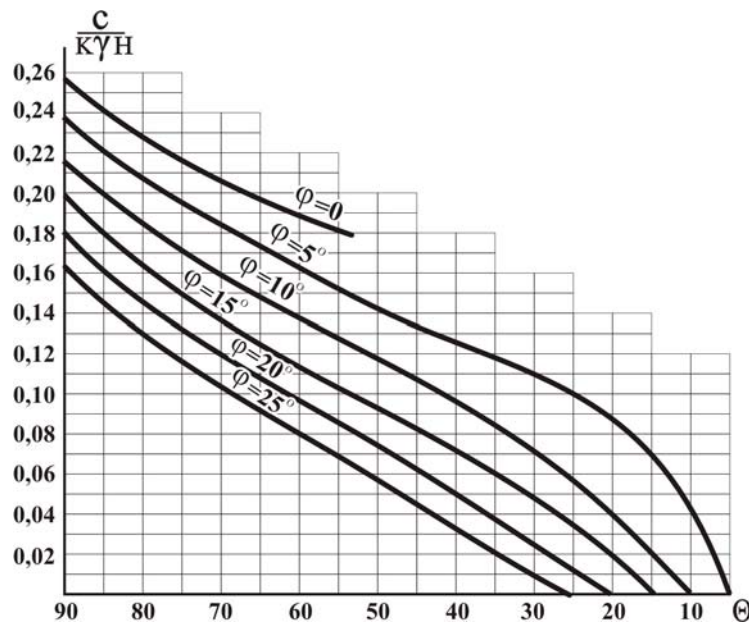


Рис. 15. Графік Тейлора для визначення коефіцієнту стійкості укосів

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

Відкля впливає що:

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

**№ 33.** Призначити максимально припустиму крутість укосів котловану в супіску глибиною 3 м без кріплення. Використовуючи графік (рис.15) визначити, чи будуть стійкі укоси котловану, якщо відомо, що об'ємна 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  $25^\circ$ .

**№ 34.** Визначите для випадку, коли поверхня ковзання проходить через підшву укосу, критичну висоту укосу по таблиці Гольдштейна (див. табл. 10 Додаток), якщо закладення укосу 1:2. Об'ємна вага ґрунту  $\gamma_2 = 1,82 \text{ т/м}^3$ , кут внутрішнього тертя  $\varphi = 15^\circ$ , питоме зчеплення  $c = 0,2 \text{ кг/см}^2$ .

**Рішення.**

По формулі Гольдштейна критична висота укосу:

$$H_{кр} = \frac{cB}{\gamma_2(K_n - A \operatorname{tg} \varphi)},$$

де  $A$  і  $B$  – коефіцієнти, які можна взяти з таблиці 7 додатка в залежності від закладення укусу і глибини проходження поверхні ковзання;  $K_n$  - мінімально припустимий коефіцієнт стійкості, який дорівнює 1,5.

$$H_{кр} = \frac{2 \cdot 6,70}{1,82(1,5 - 3,23 \cdot 0,268)} = 11,6 \text{ м.}$$

**№ 35.** Визначити, чи буде стійким укіс висотою  $H = 6$  м при закладенні 1:1,5 у припущенні, що очікувана поверхня проходить через нижню брівку укусу. Об'ємна 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  $K = A \operatorname{tg} \varphi + \frac{cB}{\gamma_2 H}$ .

**№ 36.** Ґрунт на дні котловану має пористість 41 %, і питому вагу  $2,68 \text{ г/см}^3$ . Щоб виключити розпушення цього ґрунту фільтраційним тиском води в процесі відкачки, необхідно, щоб градієнт не перевершував 25 % від критичного. Визначити максимально припустиму величину градієнта фільтрації.

## Список використаної літератури

1. Гольдштейн М.Н., Кушнер С.Г., Шевченко М.И. Расчеты осадок и прочности зданий и сооружений К.: Будівельник., 1977. – 208с.
2. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Л.: Стройиздат, Ленингр.отд., 1988, - 415 с.
3. Зурнаджи В.А., Николаев В.В Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Высшая школа, 1987. – 416 с.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 635 с.
5. Орнатский Н.В. Механика грунтов. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 447 с.
6. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Изд-во АН СССР, 1942. – 318 с.
7. Шапарь А.Г. Механика горных пород и устойчивость бортов карьеров. – К: Вища школа, 1973. – 120 с.
8. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. – М.: Автотранс, 1961. – 312 с.
9. Механика грунтов, основания и фундаменты.: Учебник / С.Б. Ухов и др., М.: Изд-во АСВ, 1994 – 527 с.
10. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
11. Мухин И.С., Срагович А.И. Построение предельных контуров устойчивых откосов. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 276 с.
12. Терцаги К. Теория механики грунтов. – М.: Госстройиздат, 1961. – 506 с.
13. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Хозяйкина Н.В., Полищук С.З. Предельная устойчивость подрабатываемых породных уступов. Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників – 2005”. Том. 4. Національний гірничий університет. Дніпропетровськ – 2005. С. 241-245.
14. Голуб В.В., Полищук С.З. Анализ сдвижения природных и техногенных откосов с учетом пористости и обводненности массива // Геотехническая механика: Межвед сб. научн. тр. // Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2000. – Вып. 22 – С. 98-104.
15. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: Учебник для ВУЗов. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
16. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – Київ, 2002. – 302 с.

## ДОДАТКИ

Таблиця 1.

### Види великоуламкових і піщаних ґрунтів

<i>Найменування видів великоуламкових і піщаних ґрунтів</i>	<i>Розподіл часток за крупністю в % до від 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 сумуються відсотки змісту 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».

Таблиця 2.

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	1,000	1,000
0,4	0,949	0,968	0,972	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977	0,977	0,977	0,977	0,977	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,830	0,848	0,859	0,866	0,870	0,875	0,878	0,879	0,879	0,880	0,881	0,881	0,881	0,881
1,2	0,547	0,652	0,682	0,703	0,717	0,727	0,740	0,746	0,749	0,749	0,753	0,754	0,755	0,755	0,755
1,6	0,390	0,496	0,532	0,558	0,578	0,593	0,612	0,623	0,63	0,63	0,636	0,639	0,642	0,642	0,642
2,0	0,285	0,336	0,379	0,414	0,441	0,463	0,505	0,520	0,529	0,529	0,54	0,545	0,550	0,550	0,550
2,4	0,214	0,257	0,294	0,325	0,352	0,374	0,419	0,437	0,449	0,449	0,462	0,470	0,477	0,477	0,477
2,8	0,165	0,201	0,232	0,260	0,304	0,321	0,350	0,369	0,383	0,383	0,400	0,410	0,420	0,420	0,420
3,2	0,130	0,160	0,187	0,210	0,232	0,251	0,294	0,314	0,329	0,329	0,348	0,360	0,374	0,374	0,374
3,6	0,106	0,130	0,153	0,173	0,192	0,209	0,250	0,270	0,285	0,285	0,305	0,320	0,337	0,337	0,337
4,0	0,087	0,108	0,127	0,145	0,161	0,176	0,214	0,233	0,248	0,248	0,270	0,285	0,308	0,308	0,308
4,4	0,073	0,091	0,107	0,122	0,137	0,150	0,185	0,203	0,218	0,218	0,239	0,256	0,280	0,280	0,280
4,8	0,062	0,077	0,092	0,105	0,118	0,130	0,161	0,178	0,192	0,192	0,213	0,230	0,258	0,258	0,258
5,2	0,053	0,066	0,079	0,091	0,102	0,112	0,141	0,157	0,170	0,170	0,191	0,208	0,239	0,239	0,239
5,6	0,046	0,058	0,069	0,079	0,089	0,099	0,124	0,139	0,152	0,152	0,172	0,189	0,223	0,223	0,223
6,0	0,040	0,051	0,060	0,070	0,078	0,087	0,110	0,124	0,136	0,136	0,155	0,172	0,208	0,208	0,208
6,4	0,036	0,045	0,053	0,062	0,070	0,077	0,098	0,111	0,122	0,122	0,141	0,158	0,196	0,196	0,196
6,8	0,032	0,040	0,048	0,055	0,062	0,069	0,088	0,100	0,110	0,110	0,128	0,144	0,184	0,184	0,184
7,2	0,028	0,036	0,042	0,049	0,056	0,062	0,080	0,090	0,100	0,100	0,117	0,133	0,175	0,175	0,175
7,6	0,024	0,032	0,038	0,044	0,050	0,056	0,072	0,082	0,091	0,091	0,107	0,123	0,166	0,166	0,166
8,0	0,022	0,029	0,035	0,040	0,046	0,051	0,066	0,075	0,084	0,084	0,098	0,113	0,158	0,158	0,158
8,4	0,021	0,026	0,032	0,037	0,042	0,046	0,060	0,069	0,077	0,077	0,091	0,105	0,150	0,150	0,150
8,8	0,019	0,024	0,029	0,034	0,038	0,042	0,055	0,063	0,070	0,070	0,084	0,098	0,144	0,144	0,144
9,2	0,018	0,022	0,026	0,031	0,035	0,039	0,051	0,058	0,065	0,065	0,078	0,091	0,137	0,137	0,137
9,6	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,047	0,054	0,060	0,060	0,072	0,085	0,132	0,132	0,132
10	0,015	0,019	0,022	0,026	0,030	0,033	0,044	0,050	0,056	0,056	0,067	0,079	0,126	0,126	0,126
11	0,011	0,017	0,020	0,023	0,027	0,029	0,040	0,044	0,050	0,050	0,060	0,071	0,114	0,114	0,114
12	0,009	0,015	0,018	0,020	0,024	0,026	0,034	0,038	0,044	0,044	0,051	0,060	0,104	0,104	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 $I_p$
Супісок	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

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 пилюваті
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**

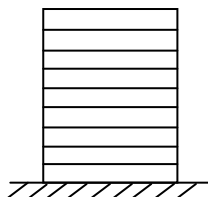
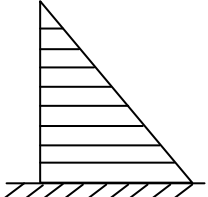
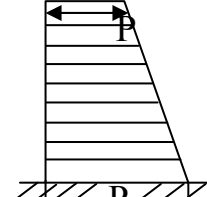
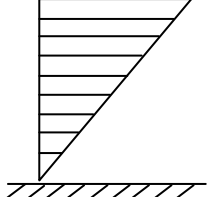
Найменування ґрунтів	Консистенція $B$
<b>Супіски</b>	
Тверді	$B < 0$
Пластичні	$0 \leq B \leq 1$
Текучі	$B > 1$
<b>Суглинки і глини</b>	
Тверді	$B < 0$
Напівтверді	$0 \leq B \leq 0,25$
Тугопластичні	$0,25 < B \leq 0,5$
М'якопластичні	$0,5 < B \leq 0,75$
Текучопластичні	$0,75 < B \leq 1$
Текучі	$B > 1$



**Коэффициенты А, В, D**  
**для определения нормативного давления на основание R<sup>n</sup>**

Нормативное значение угла внутреннего трения грунта, град.	коэффициенты		
	А	В	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

**Проценты консолидации для различных случаев распределения  
уплотняющих давлений в грунте**

Виды эпюр $T=K_0t$	 $Qt_1$	 $Qt_2$	 $Qt_3$	 $Qt_4$
0,004	8,0	0,8	$Qt = \frac{2Qt_1 + Qt_2(\eta - 1)}{\eta + 1};$ $\eta = \frac{P_2}{P_1}$	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	

**Нормативные и расчетные характеристики песчаных и  
глинистых грунтов  
( $C^u$  в кГ/см<sup>2</sup>,  $\phi$  в град,  $E$  в кГ/см<sup>2</sup>)**

Наименование грунтов	Влаж. на границе раскатывания, %	Хар-ка грунтов	Коэффициенты пористости $e$											
			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	расч	норм	расч	норм	расч	норм	расч	норм	расч	норм	расч
Пески крупные и гравелистые	9,5-12,4	С	0,02		0,01									
		Ф	43	41	40	38	38	36						
		Е	460		400		330							
		С	0,03		0,02		0,01							
		Ф	40	38	38	36	35	33						
		Е	460		400		330							
Пески средней крупности	9,5-12,4	С	0,06	0,01	0,04		0,02							
		Ф	38	36	36	34	32	30						
		Е	370		280		240							
		С	0,08	0,02	0,06	0,01	0,04							
		Ф	36	34	34	32	30	28						
		Е	140		120		100							
Пески пылеватые	9,5-12,4	С	0,12	0,03	0,08	0,01	0,06							
		Ф	25	23	24	22	23	21						
		Е	230		160		130							
		С												
		Ф												
		Е												
Глинистые грунты	12,5-15,4	С	0,42	0,14	0,21	0,07	0,14	0,04	0,07	0,02				
		Ф	24	22	23	21	22	20	21	19				
		Е	350		210		150		120					
	15,5-18,4	С			0,50	0,19	0,25	0,11	1,19	0,08	0,11	0,04	0,08	0,02
		Ф			22	20	21	19	20	18	19	17	18	16
		Е			300		190		130	100	100	80		
	18,5-22,4	С					0,68	0,28	0,34	0,19	0,28	0,10	0,19	0,06
		Ф					20	18	19	17	18	16	17	15
		Е					300		180	130	90			
	22,5-26,4	С							0,82	0,36	0,41	0,25	0,36	0,12
		Ф							18	16	17	15	16	14
		Е							260		160	110		
	26,5-30,4	С									0,94	0,40	0,47	0,22
		Ф									16	18	15	13
		Е									220	140		

## Найбільш припустима крутість укосів котлованів та траншей

	При глибині виїмок, м					
	До 1,5		Від 1,5 до 3		Від 3 до 5	
Найменування ґрунта	Кут між напрямом укосу і горизонталлю, град.	Відношення висоти укосу к його закладанню	Кут між напрямом укосу і горизонталлю, град.	Відношення висоти укосу к його закладанню	Кут між напрямом укосу і горизонталлю, град.	Відношення висоти укосу 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 укосу встановлюється розрахунком

## Коефіцієнти для визначення висоти стійких укосу

Закладання укосу	Поверхня ковзання проходить через верхню брівку укосу		Поверхня ковзання проходить через підшову 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	
1:1	2,34	5,79	2,56	6,10	3,17	5,92	4,32	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	5,80
1:1 $\frac{1}{2}$	2,64	6,50	2,80	6,53	3,32	6,13	4,54	5,94	5,85
1:1 $\frac{3}{4}$	2,87	6,58	2,93	6,72	3,41	6,26	4,66	6,02	5,90
1:2	3,19	6,70	3,10	6,87	3,53	6,40	4,78	6,10	5,95
1:2 $\frac{1}{4}$	3,23	7,27	3,26	7,23	3,66	6,56	4,90	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	6,02
1:2 $\frac{3}{4}$	3,59	8,02	3,68	8,00	4,02	6,95	5,17	6,34	6,05
1:3	3,59	8,81	3,93	8,40	4,24	7,20	5,31	6,44	6,09

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

**Шашенко** Олександр Миколайович  
**Пустовойтенко** Валерій Павлович  
**Хозяйкіна** Наталія Володимирівна  
**Шашенко** Дмитро Олександрович

## **МЕХАНІКА ҐРУНТІВ**

**Методичні рекомендації до виконання практичних та  
індивідуальних розрахункових завдань**

для студентів напрямів підготовки  
6.060101 Будівництво та 6.050301 Гірництво

Видано в авторській редакції.

Підп. до друку 18.07.2013. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 3,0.  
Обл.-вид. арк. 3,0. Тираж 50 пр. Зам. № .

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»  
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.