

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт  
із навчальної дисципліни

**«БУДІВНИЦТВО У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ**  
**УМОВАХ»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм  
навчання зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2026**

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт із навчальної дисципліни «Будівництво у складних інженерно-геологічних умовах» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : І. В. Храпатова, Г. Г. Стріжельчик, О. І. Бондаренко, О. В. Кротов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 74 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. І. В. Храпатова,  
канд. геолог.-мінер. наук, проф. Г. Г. Стріжельчик,  
канд. техн. наук, доц. О. І. Бондаренко,  
канд. техн. наук, доц. О. В. Кротов

#### Рецензент

**С. В. Табачніков**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, протокол № 1 від 25.08.2025*

## ЗМІСТ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                            | 4  |
| Загальні відомості.....                                               | 5  |
| 1 Послідовність виконання розрахунково-графічної роботи.....          | 9  |
| 1.1 Оцінка інженерно-геологічних умов будівельного майданчика.....    | 9  |
| 1.2 Визначення типу ґрунтових умов за просіданням.....                | 10 |
| 1.3 Фундамент на природному просідаючому ґрунті.....                  | 12 |
| 1.4 Фундамент на попередньо ущільненому ґрунті.....                   | 20 |
| 1.5 Фундамент на ґрунтовій подушці.....                               | 22 |
| 1.6 Конструювання фундаменту.....                                     | 25 |
| 1.7 Розрахунок фундаменту на продавлювання.....                       | 29 |
| 1.8 Армування фундаменту.....                                         | 34 |
| 1.9 Розрахунок і проектування пальових фундаментів.....               | 36 |
| 2 Тематичний план самостійної роботи студентів.....                   | 45 |
| Запитання для самоконтролю.....                                       | 47 |
| Список рекомендованих джерел.....                                     | 48 |
| Додаток А Класифікаційні показники ґрунтів .....                      | 52 |
| ДОДАТОК Б Дані для розрахунку фундаментів у відкритому котловані..... | 54 |
| ДОДАТОК В Дані для розрахунку пальових фундаментів.....               | 59 |
| ДОДАТОК Г Площі поперечних перерізів і маса арматури.....             | 63 |
| ДОДАТОК Д Властивості просідаючих ґрунтів.....                        | 65 |
| ДОДАТОК Е Варіанти будівельних майданчиків.....                       | 66 |
| ДОДАТОК Ж Навантаження на залізобетонні колони.....                   | 70 |
| ДОДАТОК К Відмітки гирла свердловин.....                              | 72 |
| ДОДАТОК Л Плани одноповерхових промислових будівель.....              | 73 |

## ВСТУП

Методичні рекомендації розроблено відповідно до програми дисципліни «Будівництво в складних інженерно-геологічних умовах», затвердженої для студентів спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія. Згідно зі змістом дисципліни проводяться практичні заняття, контрольні роботи та складання екзамену. Крім того, передбачено виконання розрахунково-графічної роботи.

Методичні рекомендації складені відповідно до практики проведення цих занять у Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова.

Основним завданням методичних рекомендацій є надання допомоги студентам у виконанні розрахунково-графічної та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Будівництво в складних інженерно-геологічних умовах».

Використовуючи вихідні дані, надані викладачем для виконання розрахунково-графічної роботи, студент усі розрахунки виконує на папері формату А4.

Розрахунково-графічна робота вважається виконаною, якщо студент надав викладачеві роботу з усіма розрахунками, схемами та побудовами, а також відповів на низку теоретичних питань щодо відповідної тематики.

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Оцінка складності інженерно-геологічних умов ділянки забудови є обов'язковим елементом вишукувальних робіт та виконується відповідно до ДБН А.2.1-1-2008, додаток Ж [7]. З огляду на основні критерії (рельєф, геологічна будова, гідрогеологічні умови, процеси і явища, властивості ґрунтів), близько 85 % території України характеризуються складними інженерно-геологічними умовами. З огляду на наведене, всі випадки, коли перераховані фактори спричиняють необхідність ухвалення спеціальних рішень (з інженерної підготовки території, захисних заходів, конструкцій фундаментів і конструкцій будівель і споруд) інженерно-геологічні умови оцінюються як складні.

Основи вважаються *простими*, коли близько від поверхні залягають міцні, малодеформовані, стійкі, тобто надійні ґрунти. Глибина закладення фундаментів залежить переважно від призначення, об'ємно-планувального рішення та конструктивних особливостей споруди.

Основи називають *складними*, якщо на будівельному майданчику можливо проявлення будь-яких геологічних або інженерно-геологічних процесів, або надійні ґрунти залягають достатньо глибоко. У цьому випадку для улаштування фундаментів у відкритих котлованах необхідна велика глибина їх закладення або улаштування фундаментів глибокого закладення, зокрема пальових, що проходять слабкі ґрунти. Також у цьому випадку можливо улаштування штучної основи.

До складних ґрунтових умов належать майданчики, де існує висока ймовірність сейсмічних і карстових явищ, зсувних процесів, наявні гірські підробки, майданчики в умовах щільної міської забудови. Сюди також належать майданчики, на яких досить близько від поверхні і на значну глибину поширені просідаючі і набухаючі, засолені, біогенні, слабкі водонасичені, техногенні та інші ґрунти, які проявляють від ваги споруди або від власної ваги значні та нерівномірні деформації або мають малу несучу здатність.

Якщо прогнозовані розрахунком сумарні деформації основи або її несуча здатність перевищує допустимі межі для споруди, що проектується, то необхідно передбачати заходи з попереднього покращення будівельних властивостей основ, або конструктивні заходи, які зменшують зусилля в конструкціях споруди або зменшують чутливість споруди під час взаємодії його з основою, або перераховані заходи в комплексі.

В Україні зустрічаються практично всі ці складні умови, але найбільш широко поширені просідаючі ґрунти.

*Просідаючі ґрунти* – це лесові, пилуваті, макропористі утворення, які розташовуються безпосередньо під поверхневими шарами. Просідаючі лесові ґрунти мають низку специфічних особливостей, які відрізняють їх від інших видів ґрунтів. Головна з них полягає в тому, що, перебуваючи під тиском від зовнішнього навантаження або від власної ваги ґрунту, в разі підвищення вологості вище певного рівня такі ґрунти здатні на зростаючі швидко деформації, такі деформації називаються просадками.

*Просадка* – це додаткова деформація ущільнення в разі зволоження лесового ґрунту, що знаходиться під впливом зовнішніх навантажень та/або власної ваги, та супроводжується корінною зміною його структури і механічних властивостей. За ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [3] лесові ґрунти належать до зв'язних, осадочних, глинистих ґрунтів II класу. Вони однорідні, оскільки мають більше 50 % часток розміром 0,05–0,005 мм, в їхньому складі досить багато легко- та середньорозчинних солей; ґрунти мають велику кількість різноманітних за розмірами порожнин, тріщин, каверн, пор, у маловологому стані утримують укїс, близький до вертикального; легко розмокають, а після водонасичення, особливо в разі впливу ударних або вібраційних навантажень, перетворюються на пливуни; колір найчастіше світло-жовтий або світло-коричневий; в сухому стані на дотик борошністі. Такі ознаки дозволяють спеціалісту безпомилково виявити лесовий ґрунт і своєчасно вжити заходів щодо зменшення або усунення надлишкових просідань.

До просідаючих належать ті лесові ґрунти, які після осідання під тиском  $p_i$  у разі подальшого водонасичення дають відносну деформацію – просадку  $\varepsilon_{sl,i} \geq 0,01$ . Тиск, за якого  $\varepsilon_{sl,i} = 0,01$ , називається *початковим тиском просідання*  $p_{sl}$ . Щодо лесового ґрунту на території України, то, на думку дослідників В. П. Ананьєва, П. К. Заморія, В. Ф. Краєва, він є оолово-льодовикового походження і поширений на 65–70 % території держави, частиною розташовуючись на надзаплавних і вододільних терасах річок. На рисунку 1.1 показано карту України з районами поширення лесового ґрунту.

За результатами інженерно-геологічних досліджень території класифікують так:

1. Непросідаючі, де лесових ґрунтів немає, а якщо вони наявні, то при всьому діапазоні можливих тисків, зокрема і від споруди,  $\varepsilon_{sl,i} < 0,01$  або на прогнозований термін існування споруди значне водонасичення ґрунтів неможливе.

2. I типу: просадка можлива від зовнішнього навантаження, а від власної ваги ґрунту відсутня або не перевищує 5 см.

3. II типу: просадка власної ваги ґрунту перевищує 5 см.

### **Основні поняття:**

- 1)  $\varepsilon_{sl,i}$  – відносна просадочність;
- 2)  $w_{sl}$  – початкова вологість просідання;
- 3)  $p_{sl}$  – початковий тиск просідання.

Ця робота призначена навчити студентів проєктуванню основ і фундаментів споруди на майданчиках, складених просідаючими ґрунтами.



# 1 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

## 1.1 Оцінка інженерно-геологічних умов будівельного майданчика

Визначаємо показники для глинистих ґрунтів.

Число пластичності:

$$I_p = w_L - w_p, \quad (1.1)$$

де  $w_L$  – вологість на межі текучості;

$w_p$  – вологість на межі розкочування.

Найменування пілуватого-глинистого ґрунту за числом пластичності визначається за таблицею А.1 (дод. А).

Показник текучості (консистенції):

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}. \quad (1.2)$$

Консистенція пілувато-глинистих ґрунтів по  $I_L$  визначається за таблицею А.2 (дод. А).

**Висновок:** при  $I_L < 0,75$  (текучі і текучопластичні глинисті ґрунти) не можуть бути основою.

Визначаємо показники для піщаних ґрунтів.

Коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} \cdot (1 + w) - 1. \quad (1.3)$$

Щільність складання пісків визначається за таблицею А.3 додатка А.

Ступінь вологості

$$S_r = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}, \quad (1.4)$$

де  $\rho_w$  – щільність води.

Найменування піщаного ґрунту за ступенем вологості визначається за таблицею А. 4 (дод. А).

**Висновок:** пілуваті і пухкі піски не можуть бути основою.

Результати розрахунку зводимо до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика ґрунтових умов будівельного майданчика

| Номер шару | e | S <sub>r</sub> | I <sub>p</sub> | I <sub>L</sub> | Характеристика ґрунтів |
|------------|---|----------------|----------------|----------------|------------------------|
| 1          |   |                |                |                |                        |
| 2          |   |                |                |                |                        |
| 3          |   |                |                |                |                        |
| 4          |   |                |                |                |                        |
| 5          |   |                |                |                |                        |

## 1.2 Визначення типу ґрунтових умов за просіданням

Характеристика просадного ґрунту водонасиченого до ступеня S<sub>r,sat</sub>=0,9

$$\rho_{sat} = \frac{\rho}{1+W} \cdot \left( 1 + \frac{S_{r,sat} \cdot e \cdot \rho_w}{\rho_s} \right); \quad (1.5)$$

$$W_{sat} = \frac{S_{r,sat} \cdot e \cdot \rho_w}{\rho_s}. \quad (1.6)$$

Будуємо графік залежності  $\varepsilon_{sl,i}$  від  $P_i$ , побіжно визначаємо початковий тиск просідання  $P_{sl}$ , якому відповідає  $\varepsilon_{sl,i}=0,01$

### Приклад

Дано:

| $P, \text{ МПа}$ | $\varepsilon_{sl,i}$ |
|------------------|----------------------|
| 0,1              | 0,039                |
| 0,2              | 0,068                |
| 0,3              | 0,087                |

Визначити початковий тиск просідання  $P_{sl}$ .

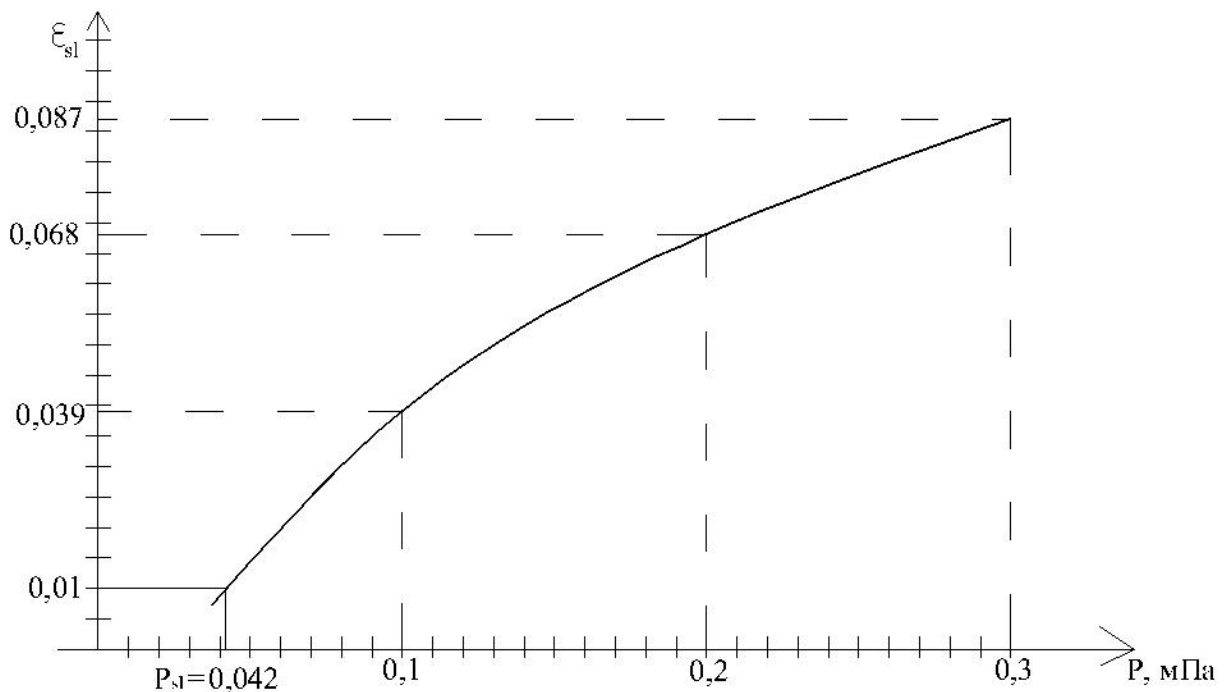


Рисунок 1.2 – Приклад визначення початкового тиску просідання

Обчислюємо значення і будуємо графік, напружений в шарі просідаючого ґрунту від власної ваги в разі його повного водонасичення з урахуванням можливого зрізання або підсипання під час планування території. На графіку відзначаємо точку, відповідну значенню. Шар просідаючого ґрунту, що нижче цієї точки, розбиваємо на розрахункові смужки, товщина яких  $h_i$  повинна бути не більше ніж 2 м, а кількість не менше ніж 2.

До першого типу ґрунтових умов за просадочністю належать товщі ґрунтів, в яких виконується одна з таких умов:

1. Початковий тиск просідання більше за напруження від власної ваги ґрунту  $p_{sl} > \sigma_{zg}$  у межах всієї просідаючої товщини.

2. Початковий тиск просідання менше за напруження від власної ваги ґрунту  $p_{sl} > \sigma_{zg}$  у межах шару завтовшки не більше ніж 2 м по глибині;

3. Розрахункова просадка від власної ваги ґрунту, визначена за формулою  $S_{sl.g} = \sum \epsilon_{sl.g} \cdot h \cdot k_{sl.i}$ , у разі  $k_{sl.i} = 1$  з урахуванням зміни по глибині  $\epsilon_{sl}$  менше за 5 см.

Якщо не виконується жодна з умов, то ґрунти належать до другого типу ґрунтових умов за просадочністю.

### 1.3 Фундамент на природному просідаючому ґрунті

#### Визначення глибини закладення фундаменту колони

Будівля без підвалу: глибина закладення фундаменту визначається від поверхні природного рельєфу, яка в цьому випадку збігається з умовною відміткою 0,000 (рис. 1.3).

Оскільки будівля опалюється, то глибина закладення фундаменту під колони середнього ряду не залежить від глибини промерзання ґрунту, а під колони крайнього ряду залежить.

#### Визначення розмірів підшви фундаменту

Фундамент проєктуємо залізобетонний жорсткий.

Приблизне співвідношення розмірів підшви фундаменту доберемо

$\eta = \frac{l}{b} = 1,4$ , тоді ширина підшви фундаменту, м:

$$b = \sqrt{\frac{N \cdot 1000}{\eta \cdot (R - \gamma_{\text{mt}} \cdot d - q)}}, \quad (1.7)$$

$$l = 1,4b, \quad (1.8)$$

де  $N$  – навантаження, МН (беремо більше значення з двох сполучень);

$\gamma_{\text{mt}}$  – середня вага фундаменту та ґрунту на його обрізах, обираємо 20 кН/м<sup>3</sup>;

$d$  – глибина закладення, м;

$b$  та  $l$  – ширина та довжина підшви фундаменту;

$q$  – навантаження на підлогу, для промислового будинку 20 кН/м<sup>2</sup>.

$R$  – розрахунковий опір ґрунту на глибині закладення  $d$ , кПа.

Спочатку приймемо  $R_0$  за таблицею Б.3 (дод. Б).

Знаходимо  $b_0$  за формулою (1.3.1) з урахуванням  $R_0$ .

Визначаємо  $R_1$  за формулою (1.9):

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}], \quad (1.9)$$

де  $\gamma_{c1}, \gamma_{c2}$  – коефіцієнти умовної роботи, обираються за таблицею Б.4 (дод. Б);

$k = k_z = 1$  – розрахункові коефіцієнти;

$d_b$  – глибина підвалу;

$\gamma'$  – осереднене розрахункове значення питомої ваги ґрунтів, що залягають нижче підшви фундаменту,  $\kappa H / \text{м}^3$ :

$$\gamma' = \frac{\sum \gamma_i h_i}{\sum h_i}; \quad (1.10)$$

де  $\gamma'_{II}$  – осереднене розрахункове значення питомої ваги ґрунтів, що залягають вище підшви фундаменту,  $\kappa H / \text{м}^3$ :

$$\gamma'_{II} = 10 \cdot \frac{\rho_1 \cdot h_1 + \rho_2 (d - h_1)}{d}. \quad (1.11)$$

Для  $\varphi_2$  знаходимо  $M_\gamma, M_q, M_c$  за таблицею Б.5 (дод. Б). Позначення:

1)  $d_1$  – глибина закладення фундаментів безвідвальних споруд від рівня планування або приведена глибина закладання зовнішніх і внутрішніх фундаментів від підлоги підвалу, яку визначають за джерелом [2], м;

2)  $c_{II}$  – розрахункове значення питомого зчеплення ґрунту, що залягає безпосередньо під підшвою фундаменту, кПа.

Уточнюємо значення  $b_1$  у разі  $R_1$ .

Знаходимо  $R_2$  і  $b_2$ .

Розходження між  $b_2$  та  $b_1$ ,  $R_2$  та  $R_1$  менше 10 %, тоді обираємо:

$$b_2 \text{ і } l_2 = 1,4b_2.$$

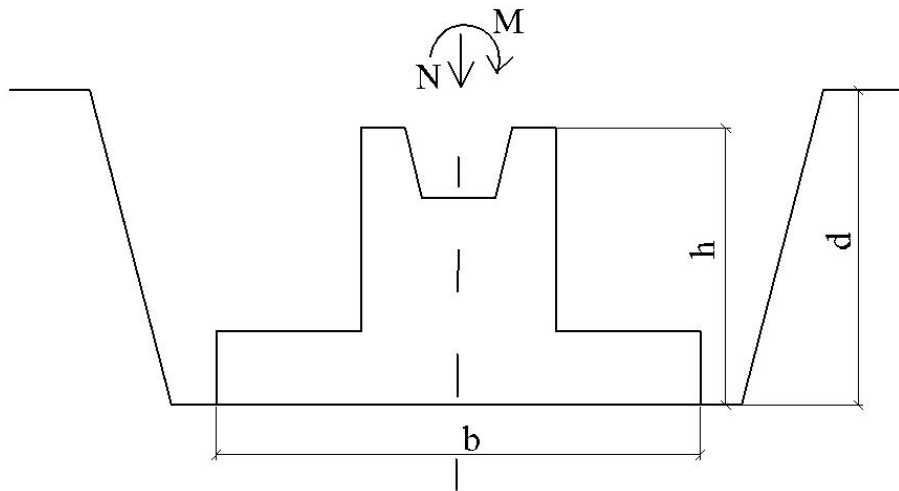


Рисунок 1.3 – Фундамент на природній основі

Перевірка крайових напруг

$$p_{\max} = \frac{N}{b \cdot l} + \gamma_{\text{mt}} \cdot d + q + \frac{M}{W} \leq 1,2R, \quad (1.12)$$

$$p_{\min} = \frac{N}{b \cdot l} + \gamma_{\text{mt}} \cdot d + q - \frac{M}{W} > 0, \quad (1.13)$$

де  $W = \frac{b \cdot l^2}{6}$ .

$$p_{\text{cp}} = \frac{N}{b \cdot l} + \gamma_{\text{mt}} \cdot d + q \leq R. \quad (1.14)$$

Визначення осідання фундаменту методом пошарового підсумовування

Умовою прийнятності цього методу є дотримання вимоги: середній тиск під підшовою фундаменту  $p_{\text{cp}}$  не повинен перевищувати розрахункового опору  $R$ .

Середній тиск під підшовою фундаменту  $p_{\text{cp}}$  вже відомий (за формулою (1.14)).

Визначаємо напругу від власної ваги ґрунту на рівні підшови фундаменту, кПа:

$$\sigma_{g0} = 10 \cdot \rho \cdot d = 10(\rho_1 \cdot h_1 + \rho_2 \cdot (d - h_1)). \quad (1.15)$$

Грунтову товщу під фундаментом ділимо на елементарні шари товщиною  $h$ , але не більше 1 м:  $h \leq 0,4b$ .

Відстань від підшови фундаменту до кожного з елементарних шарів  $z_i = n \cdot h$ , де  $n=1, 2, 3$  тощо.

Будуємо епюру додаткових напруг від зовнішнього навантаження на глибині  $z$ , де  $p$  – середній тиск під підшовою фундаменту,  $\alpha$  – коефіцієнт загасання напруг залежно від відносної глибини  $\zeta = \frac{2 \cdot z}{b}$  і співвідношення сторін фундаменту  $\eta = l/b$ . Коефіцієнт  $\alpha$  визначається за таблицею Б.6 додатка Б. Якщо необхідно, то коефіцієнт  $\alpha$  визначаємо з урахуванням інтерполяції між значеннями для  $\eta_1$  і  $\eta_2$ .

Нижню межу стисливої товщі основи обираємо на глибині  $z = H_c$ , де виконується умова  $\sigma_{zp} = k\sigma_{zg}$ , де  $k = 0,2$ ,  $\sigma_{zg} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i$ .

Будуємо епюру вертикальних напружень від власної ваги ґрунту, знятого в котловані до рівня підшови фундаменту, на глибині  $z$ :  $\sigma_{z\gamma} = \alpha_k \cdot \sigma'_{zg,0}$ , де  $\alpha_k$  знаходиться за таблицею Б.6 і залежить від співвідношень  $\zeta = \frac{2 \cdot z}{B_k}$  та  $\eta = l/b$ , де  $B_k$  – ширина котловану (рис. 1.3).

$\sigma'_{zg,0}$  – це вертикальне напруження від власної ваги ґрунту, вийнятого з котловану на рівні підшови фундаменту і рівне  $\sigma'_{zg,0} = \gamma_{rp} \cdot d_n$ , де  $d_n$  – глибина закладення фундаменту щодо рівня природного рельєфу.

Визначаємо загальне осідання як суму осідань окремих елементарних шарів за такою формулою, м:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}, \quad (1.16)$$

де  $\beta$  – безрозмірний коефіцієнт, що дорівнює 0,8;

$E_i$  – модуль деформації  $i$ -го шару ґрунту за гілкою первинного завантаження, кПа;

$E_{e,i}$  – модуль деформації  $i$ -го шару ґрунту за гілкою вторинного завантаження (модуль пружності), у разі відсутності даних можна прийняти  $E_{e,i} = 5E_i$ , кПа:

$$\sigma_{zp,i} = \frac{\sigma_{zi} + \sigma_{z,i+1}}{2}, \quad \sigma_{z\gamma,i} = \frac{\sigma_{\gamma i} + \sigma_{\gamma,i+1}}{2},$$

де  $h_i = h$  – товщина елементарного шару, м;

$n$  – кількість шарів в межах стисливої товщі  $H_c$ .

**Увага!** Під час розрахунків осідання фундаментів, що зводяться в котлованах глибиною менше ніж 5 м, не враховується другий додток у формулі осідання (1.16).

Якщо середній тиск під подошвою фундаменту  $p \leq \sigma_{zg,0}$ , то осідання фундаменту визначаємо за формулою, м

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}. \quad (1.17)$$

Порівнюємо отриману осадку з гранично допустимою за нормами [2], яка у даному разі складає 10 см:

$$S \leq S_u. \quad (1.18)$$

Обчислення зручніше вести в табличній формі, наведений в таблиці 1.2.

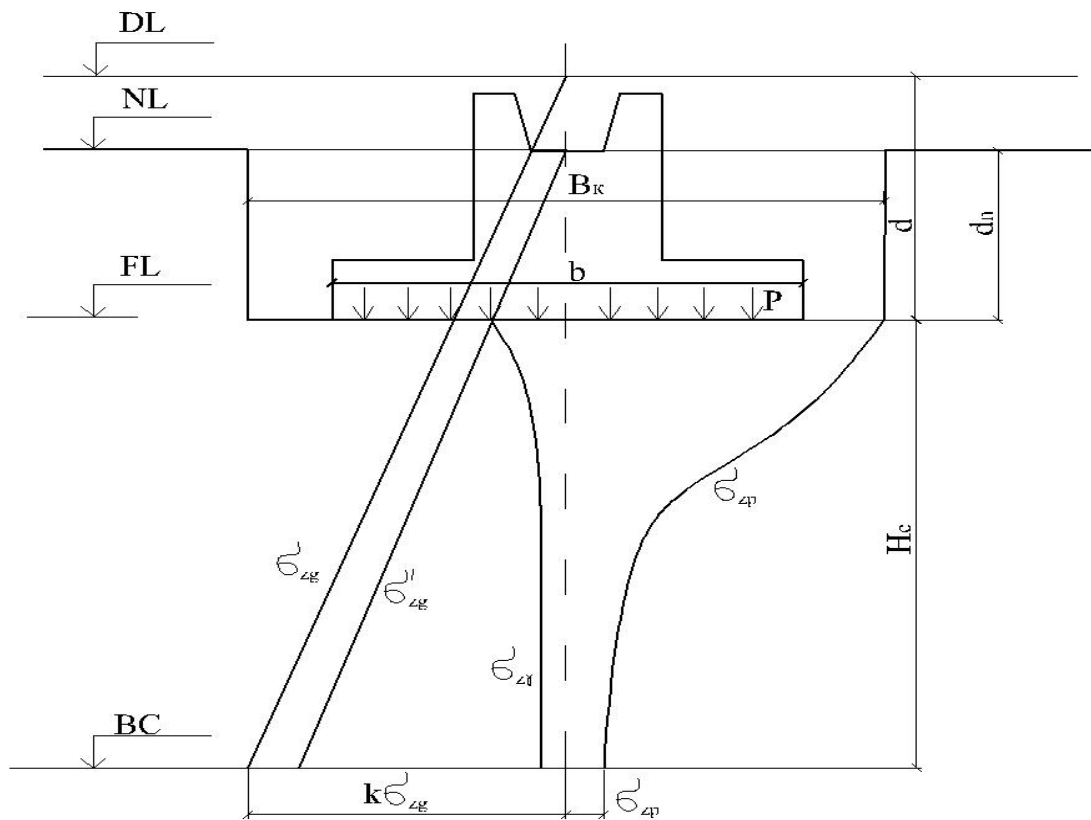


Рисунок 1.4 – Схема розподілу вертикальних напружень в основі під фундаментом згідно з моделлю лінійно-деформованого півпростору

Позначення до рисунка 1.4:

- 1) DL – відмітка планування підсипанням (зрізанням);
- 2) NL – відмітка планування природного рельєфу;
- 3) FL – відмітка підосви фундаменту;
- 4) BC – відмітка нижньої межі стисливої товщі;
- 5)  $\sigma_{zg}$  – вертикальні напруження від власної ваги ґрунту з урахуванням планування ґрунту, кПа;
- 6)  $\sigma'_{zg}$  – вертикальні напруження від власної ваги ґрунту природного рельєфу, кПа;
- 7)  $\sigma_{zp}$  – вертикальні напруження від зовнішнього навантаження, кПа;
- 8)  $\sigma_{z\gamma}$  – вертикальні напруження від власної ваги ґрунту, вийнятого з котловану, кПа.

Таблиця 1.2 – Розрахунок осідання

| Номер шару | № з/п | Ґрунт | h, м | Z, м | $\zeta = \frac{2 \cdot z}{b}$ | $\alpha$ | $\sigma_{zp} = \alpha \cdot p$<br>кПа | $\sigma_{zp, cp}$ | $\zeta_k = \frac{2 \cdot z}{B_k}$ | $\alpha_k$ | $\sigma_{z\gamma} = \alpha_k \cdot \sigma'_{zg, 0}$<br>кПа | $\sigma_{z\gamma, cp}$ | $E_i$ ,<br>кПа | $0,8 \cdot \frac{(\sigma_{zp, i, cp} - \sigma_{z\gamma, i}) \cdot h_i}{E_i}$ | $S_i$ , м |
|------------|-------|-------|------|------|-------------------------------|----------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |
|            |       |       |      |      |                               |          |                                       |                   |                                   |            |                                                            |                        |                |                                                                              |           |

 $\sum S =$

## Обчислення просідання

Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

1. Визначаємо товщу просідаючого ґрунту, в якому може відбутися її водонасичення до ступеня вологості  $S_R = 0,9$ . Вважаємо, що вода може піднятися до рівня підосви фундаменту.

2. Всю товщу розбиваємо на розрахункові смужки, бажано такої ж товщини, що і під час розрахунку осідання  $h_i \leq 0,4b$ , але не більше ніж 2 м і не менше ніж 2 шт.

3. Обчислюємо значення і будуємо графік напруг в шарі просідаючого ґрунту від власної ваги в разі водонасичення встановленої вище товщі з урахуванням можливого зрізання або підсипання під час планування території:

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{\rho}{1+W} \cdot \left( 1 + \frac{S_{r,\text{sat}} \cdot e \cdot \rho_w}{\rho_s} \right), \quad (1.19)$$

$$\sigma_{g,\text{sat},i} = 10 \cdot \rho_{\text{sat}} \cdot h_i. \quad (1.20)$$

4. Визначаємо сумарні напруги в середині висоти розрахункових смуг від власної ваги ґрунту і від тиску, переданого фундаментом:

$$\sigma_{\Sigma,i} = \sigma_{g,\text{sat},i} + \sigma_{p,i}. \quad (1.21)$$

5. Використовуючи графік зміни  $\varepsilon_{sl,i}$  від  $p_i$ , побудований раніше для визначення типу ґрунтових умов щодо просадочності, знаходимо значення відносної просадочності  $\varepsilon_{sl,i}$ , що відповідають сумарним тискам  $\sigma_{\Sigma,i}$ .

6. Обчислюємо просідання основи за кожним елементарним шаром просідаючого ґрунту, а потім підсумовуємо отримані значення:

$$S_{sl} = \sum \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,i}. \quad (1.22)$$

Тут  $k_{sl,i} = 1$ , якщо  $b \geq 12$  м, а  $b \leq 3$  м, за такою формулою:

$$k_{sl,3} = 0,5 + 1,5 \cdot \frac{p_{cp} - p_{sl}}{p_0}, \quad (1.23)$$

де  $p_0 = 100$  кПа.

Якщо  $3 < b < 12$  м – за інтерполяцією

$$k_{sl} = k_{sl,3} - \frac{k_{sl,3} - 1}{9} \cdot (b - 3). \quad (1.24)$$

Результати обчислень також зводимо до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Обчислення просідання основи

| $z_i = n \cdot h_i$<br>, м | $\sigma_{zp} = \alpha \cdot p$ ,<br>кПа | $\sigma_{g,sat,i}$ ,<br>кПа | $\sigma_{p,i} + \sigma_{g,sat,i}$<br>кПа | $\sigma_{\Sigma}^{cp}$ ,<br>кПа | $\varepsilon_{sl}$ | $h_i$ , м | $k_{sl}$ | $S_{sl,i}$ , м |
|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------|----------|----------------|
|                            |                                         |                             |                                          |                                 |                    |           |          |                |
|                            |                                         |                             |                                          |                                 |                    |           |          |                |
|                            |                                         |                             |                                          |                                 |                    |           |          |                |

$$\sum S_{sl} =$$

Загальна деформація основи  $S' = S + S_{sl}$ .

#### 1.4 Фундамент на попередньо ущільненому ґрунті

Усунення просідаючих властивостей ґрунтів може бути досягнуто шляхом їх ущільнення важкими трамбівками.

Проектування основи, ущільненої важкою трамбівкою, містить такі етапи:

1. Задаємося щільністю сухого ґрунту після трамбування і глибиною закладання фундаменту:  $\rho_{d.s.} = 1,65 \text{ т/м}^3$ ,  $d = 1,8$  м.

2. Визначаємо зниження поверхні, що трамбується, потім товщину ущільненого шару і глибину копання котловану, після цього – діаметр трамбівки та її вагу.

3. Пониження поверхні, що трамбується, м:

$$\Delta h = 1,2 \cdot (H_2 - d) \cdot \left( 1 - \frac{\rho_d}{\rho_{d.s.}} \right), \quad (1.25)$$

$$\text{де } \rho_d = \frac{\rho}{(1 + W)}.$$

Товщина шару, що ущільнюється, м:

$$h_s = H_2 - d + \Delta h. \quad (1.26)$$

Глибина копання котловану, м:

$$h_k = d - \Delta h. \quad (1.27)$$

Діаметр трамбівки, м:

$$d_s = h_s / k, \quad (1.28)$$

де для супісків та суглинків  $k=1,8$ , для глини  $k=1,5$ .

Вага трамбівки, т:

$$Q = 1,5 \cdot d_s^2 \cdot \frac{\pi}{4}. \quad (1.29)$$

Оптимальна вологість під час трамбування:

$$w_0 = w_p - (0,01 \div 0,03). \quad (1.30)$$

Висота скидання трамбівки  $H = 8-10$  м, кількість ударів по одному сліду 10–12 разів.

Характеристики лесоподібних суглинків після трамбування:

$$\rho_{t.s.} = \rho_{d.s.} (1 + w_0), \quad (1.31)$$

$$e_{t.s.} = \frac{\rho_s (1 + w_0)}{\rho_{t.s.}}, \quad (1.32)$$

$$S_{r.t.} = \frac{\rho_s \cdot w_0}{e_{t.s.} \cdot \rho_w}. \quad (1.33)$$

### Проектування фундаменту на ущільненій основі

Знаходимо ширину підшви фундаменту за формулою (1.3.1), якщо  $\rho_{d.s.} = 1,65 \text{ т/м}^3$  і  $R_0 = 275 \text{ кПа}$ , м.

Оскільки  $\varphi_{t.s.}$  і  $c_{t.s.}$  для утрамбованого ґрунту ще не визначені, то  $R$  визначаємо за такими формулами:

– якщо  $d \leq 2\text{м}$ :

$$R_1 = 0,25 \cdot R_0 \cdot (d + 2) \cdot [1 + k_1(b - 1)], \text{ кПа}; \quad (1.34)$$

– якщо  $d \geq 2$  м, то  $k_1 = 0,05$ ,  $k_2 = 0,2$  – для суглинків і супісків,  $k_2 = 0,2$  – для глини.

$$R = R_0 \cdot [1 + k_1(b - 1)] + k_2 \cdot \gamma_{II}^{\cdot}(d - 2). \quad (1.35)$$

Уточнюємо  $b_1$  і  $R_2$ .

Розходження між  $b_2$  та  $b_1$ ,  $R_2$  і  $R_1$  менше 10 %, обираємо  $b_2$  і  $l_2$ .

Виконуємо перевірку крайових напруг за формулами (1.12-1.13).

Визначаємо розміри котловану, м (рис. 1.5):

$$b_s = b + 0,5(b - d_s), \quad (1.36)$$

$$l_s = l + 0,5(l - d_s). \quad (1.37)$$

Необхідна кількість води для зволоження,  $m^3$ :

$$Q_w = \rho_{d,s} (w_0 - w) \cdot b_s \cdot l_s \cdot \frac{h_s}{\rho_w}. \quad (1.38)$$

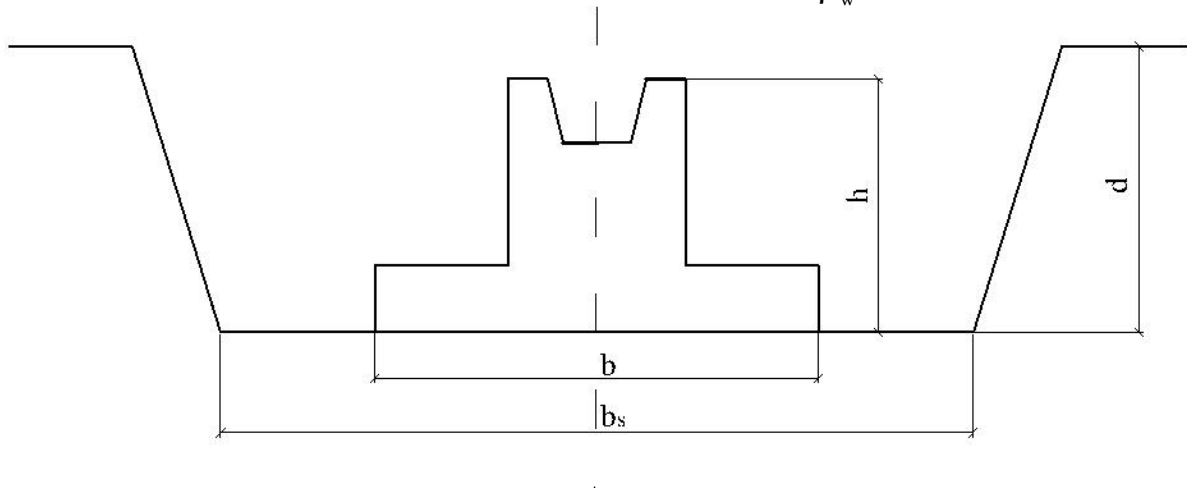


Рисунок 1.5 – Фундамент на попередньо ущільненому ґрунті

### 1.5 Фундамент на ґрунтовій подушці

Ґрунтова подушка замінює просідаючий ґрунт повністю (прорізна) або тільки у верхній частині (висяча). У останньої загальні деформації основи, осідання та просідання, повинні бути в допустимих межах.

Ґрунтові подушки виконують товщиною 1,5–5 м, іноді 10–12 м і зазвичай з місцевого глинистого ґрунту. У просідаючих ґрунтах подушки відсипають шарами товщиною 0,1–0,35 м у разі укочення катками, під час ущільнення важкими трамбівками шари можуть бути товщі.

Вологість ґрунту подушки повинна бути оптимальною  $w_0$  під час трамбування і  $w_0 = w_p$  під час укочення, вологість замінного ґрунту може бути будь-якою.

Щільність сухого ґрунту подушки повинна бути  $\rho_{d.s.} \geq 1,6 \text{ т/м}^3$  під час ліквідації просідання і  $\rho_{d.s.} \geq 1,7 \text{ т/м}^3$  у разі створення водонепроникного екрану після ущільнення.

Під час проєктування ґрунтової подушки спочатку задаються  $\rho_{d.s.}, d, R_0$ .

Знаходимо попередні розміри підшви фундаменту за формулою (1.7), м.

Знаходимо розрахунковий опір ґрунту  $R_0$  за формулою (1.9).

Знаходимо  $R_1$ , якщо  $d \leq 2\text{ м}$  за формулою (1.4.10), кПа.

Уточнюємо  $b_1$  і  $R_2$ . У разі розбіжності між  $b_2$  і  $b_1$ ,  $R_2$  і  $R_1$  менше 10 %, обираємо  $b_2$ .

Виконуємо перевірку крайових напружень за формулами (1.12–1.14). Товщина прорізної подушки обирається, м:

$$h_s = H_{sl} - d. \quad (1.39)$$

Розміри нижньої частини подушки, м:

$$b_s = b(1 + 2k_h), \quad (1.40)$$

$$l_s = l + 2bk_h. \quad (1.41)$$

Тут  $k_h = 0,3$  якщо  $p = 150\text{--}200$  кПа;  $k_h = 0,35$ , якщо  $p = 250\text{--}300$  кПа;  $k_h = 0,4$ , якщо  $p = 350\text{--}400$  кПа.

Крім цього, розміри подушки повинні бути більше розмірів фундаменту не менш ніж на 0,4 м по низу і на 0,6 м по верху (рис. 1.6).

Далі перевіряється допустимість переданого подушкою тиску на підстильний ґрунт. Для цього визначаємо площу умовного фундаменту, м<sup>2</sup>:

$$A_z = \frac{N + G_f}{\sigma_{zp}}, \quad (1.42)$$

де  $N$  – навантаження на фундамент, кН,

$G_f = b \cdot l \cdot (\gamma_m \cdot d)$  - вага фундаменту та ґрунту на його обрізах, кН.

$\sigma_{zp}$  – додаткові напруги на глибині  $z = h_s$  від навантаження на фундамент, кПа:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p_0. \quad (1.43)$$

Тут  $p_0$  – середній тиск під подошвою фундаменту, кПа:

$$p_0 = \frac{N}{A} + d\gamma_{mt} + q. \quad (1.44)$$

Потім знаходимо:

$$a = (l - b) / 2, \quad (1.45)$$

$$b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a. \quad (1.46)$$

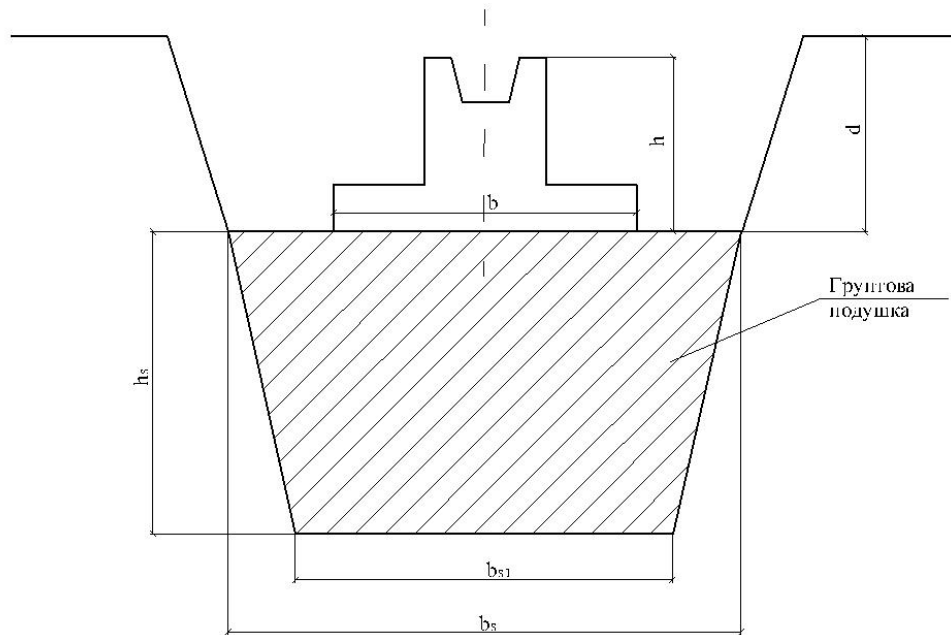


Рисунок 1.6 – Фундамент на ґрунтовій подушці

Обчислюємо розрахунковий опір для ґрунту, що підстилає подушку, кПа

$$R_z = (M_\gamma \cdot k_z \cdot b_z \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot (d + h_s) \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}), \quad (1.47)$$

де  $\gamma_1, \gamma_2$  і  $k$  дорівнюють 1.

Перевіряємо умову, кПа:

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zg} < R_z, \quad (1.48)$$

де  $\sigma_{zg}$  – напруга від власної ваги ґрунту подушки на глибині  $z = h_s$ .

$R_o$  визначається за таблицею Б.3 додатка Б.

Для  $\phi_{II}$  знаходимо  $M_\gamma, M_q, M_c$  за таблицею Б.5 додатка Б.

Знаходимо розміри підошви фундаменту за формулою (1.7), м.

Визначаємо  $R$  за формулою (1.9).

Уточнюємо значення  $b_1$ .

Знаходимо значення  $R_1$ , якщо  $b_1$ .

Знаходимо  $R_2$  і  $b_2$ .

Розбіжність між  $b_2$  і  $b_1$ ,  $R_2$  і  $R_1$  менше ніж 10 %, тоді обираємо:  $b_2$  і  $l_2 = 1,4b_2$ .

Виконуємо перевірку крайових напруг за формулами (1.12–1.14).

Після виконання всіх умов остаточно конструюємо фундамент.

## 1.6 Конструювання фундаменту

Крім перевірки фундаментів за II граничним станом (за деформаціями), потрібно розраховувати конструкцію фундаментів за міцністю (I граничний стан). Цей розрахунок містить перевірку на продавлювання, розрахунок плитної частини фундаменту на «зворотній» момент, визначення діаметра і кількості арматури, розрахунок міцності поперечного перерізу підколонника.

Монолітні залізобетонні фундаменти проєктуються окремими у вигляді башмаків під одну або кілька колон, і груповими – під кілька колон у вигляді

одинарних або перехресних стрічок і плитних фундаментів. Окремі фундаменти необхідно застосовувати у разі значної відстані між колонами.

Окремі фундаменти проєктуються з важкого бетону класу C8/10 і C12/15 згідно з вимогами [8]. Вони складаються з плитної частини ступінчастої форми, що передає навантаження на ґрунт і підколонник, який стикується з колоною (рис. 1.7). Конструктивне рішення та розміри фундаментів однакові для з'єднання його зі збірними і монолітними колонами, за винятком верхньої частини підколонника. Під час з'єднання фундаменту зі збірною колоною у верхній частині підколонника влаштовується стакан, розміри якого призначають залежно від перерізу колони. Його глибина повинна дорівнювати більшій стороні колони (рис. 1.7, б) або більше її (визначається розрахунком). Під час з'єднання фундаменту з монолітною залізобетонною колоною її арматура стикується зварюванням і хомутами із випусками арматури (зазвичай довжиною 30–40 діаметрів арматури) підколонника. Стик замонолічують в опалубці (рис. 1.7, а).

Із металевими колонами тіло фундаменту з'єднується за допомогою анкерних болтів, які закладаються в підколонник і кріпляться до траверсі або до закладного пристрою колони (рис. 1.8). Глибина закладення і діаметри болтів повинні призначатися такими, щоб виключити можливість розриву підколонника розтягуючими зусиллями і зсуву колони горизонтальними силами.

Основні розміри фундаментів призначаються кратними 100 мм. Верхній обріз фундаменту повинен бути на 150 мм нижче спланованої позначки землі, що дозволяє засипати котлован без монтажу колон. Співвідношення сторін прямокутних фундаментів повинно бути  $l/b = 1,2-1,5$ . Прийняті розміри фундаментів необхідно погоджувати з конструкціями та обладнанням заглиблених приміщень. Розміри підколонника призначаються конструктивно залежно від його поєднання з колоною і плитною частиною фундаменту (табл. 1.4).

Висота плитної частини фундаменту і висота уступів призначаються кратними 150 мм. Плита може мати до трьох уступів ( $h_1$ ,  $h_2$  і  $h_3$ ), розміри яких залежно від її висоти вказані в таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Розміри підколонника, мм

| Перетин колони | Розміри в плані | Розміри стакана |           |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------|
|                |                 | глибина         | в плані   |
| 400 × 400      | 900 × 900       | 800             | 550 × 550 |
| 500 × 500      | 1 200 × 1 200   | 800             | 650 × 650 |
| 400 × 600      |                 | 900             | 550 × 750 |
| 500 × 600      |                 | 800             | 650 × 750 |
| 400 × 800      |                 | 900             | 550 × 950 |
| 500 × 800      | 1 200 × 1 500   | 900             | 650 × 950 |

Таблиця 1.5 – Висота уступів плитної частини фундаменту, мм

| Висота плитної частини $h$ | $h_1$ | $h_2$ | $h_3$ |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| 300                        | 300   | —     | —     |
| 450                        | 450   | —     | —     |
| 600                        | 300   | 300   | —     |
| 750                        | 300   | 450   | —     |
| 900                        | 300   | 300   | 300   |
| 1 050                      | 300   | 300   | 450   |
| 1 200                      | 300   | 450   | 450   |
| 1 500                      | 450   | 450   | 600   |

Виноси уступів призначають конструктивно. Площа нижньої частини сходинки повинна дорівнювати площі підшви фундаменту, підібраної за умовами міцності ґрунтів основи.

Визначення розмірів і кількість уступів можна виконати так:

1. Визначити приблизну висоту плитної частини фундаменту, м:

$$h_{пл} = (l - l_{подк}) / 4. \quad (1.49)$$

2. Визначити кількість уступів по висоті  $h_{пл}$  за умови, що висота уступів обирається кратною 150 мм, тобто 300 мм, 450 мм, 600 мм.

У фундаментах з армованої стаканною частиною товщина стінок стакана визначається за таблицею 1.6.

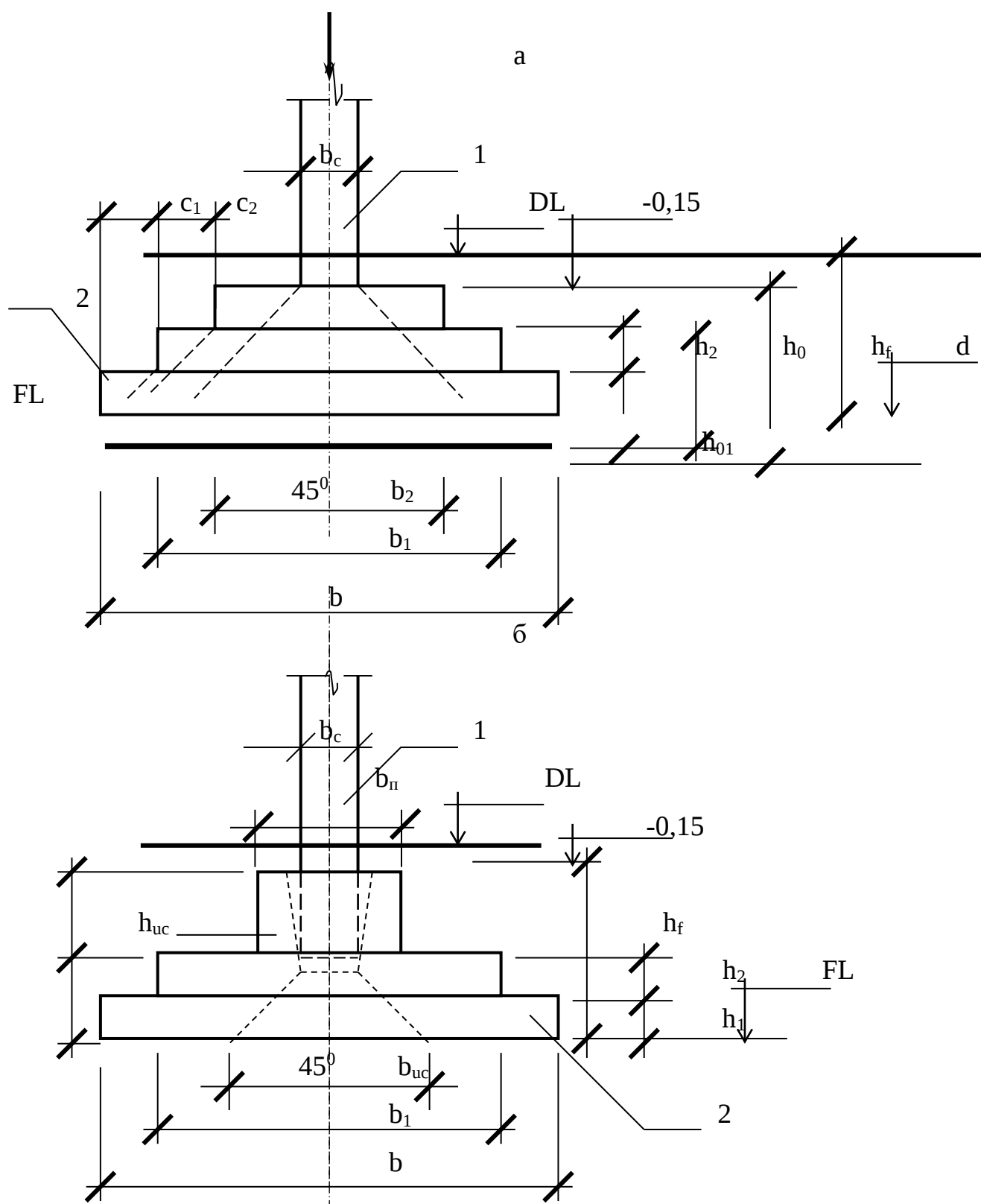


Рисунок 1.7 – Схеми фундаментів:

а – монолітне з'єднання фундаментної плити з колоною; б – стаканне з'єднання; 1 – колона; 2 – плита; 3 – підколонник

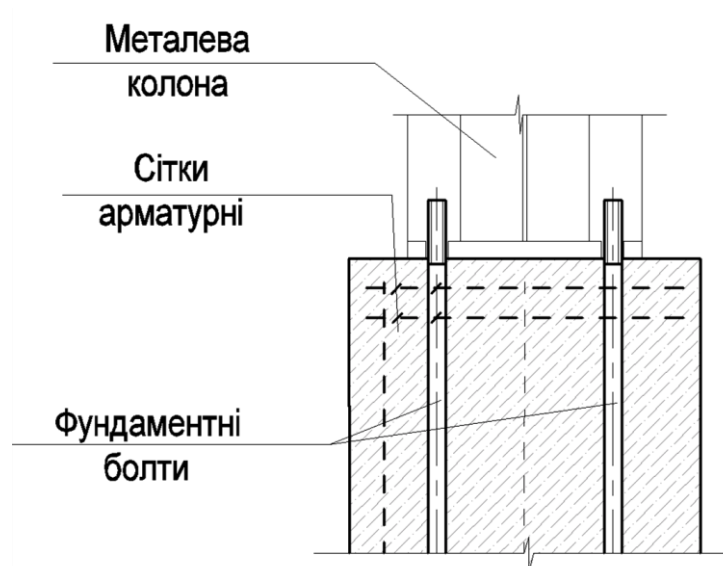


Рисунок 1.8 – Конструкція стику фундаменту з металевою колоною

Товщину дна стакана фундаментів потрібно обирати не менше ніж 200 мм.

Таблиця 1.6 – Товщина стінок стакана, мм

| Напрямок зусилля              | Товщина стінок стакана t, мм                                      |                                  |                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                               | колони прямокутного перерізу з ексцентриситетом повздовжньої сили |                                  | двоветвевої колони               |
|                               | $e_0 \leq 2l_c$                                                   | $e_0 > 2l_c$                     |                                  |
| У площині згинального моменту | 0,2 $l_c$ , але не менше ніж 150                                  | 0,3 $l_c$ , але не менше ніж 150 | 0,2 $l_d$ , але не менше ніж 150 |
| З площині згинального моменту | 150                                                               | 150                              | 150                              |

### 1.7 Розрахунок фундаменту на продавлювання

Основна умова:

$$F \leq f_{ctd} \cdot b_m \cdot h_0, \quad (1.50)$$

де  $F$  – розрахункова продавлювальна сила;

$f_{ctd}$  – розрахункове значення міцності бетону на осьове розтягнення;

$b_m$  – середній розмір грані, що перевіряється;

$h_0$  – робоча висота перерізу, для якої проводиться розрахунок.

### Фундамент з розвиненим підколонником

Для нижнього уступу продавлювальна сила дорівнює:

$$F_{\text{пр}} = A_{\text{п}} \cdot p'_{\text{max}}. \quad (1.51)$$

При цьому

$$p'_{\text{max}} = N^{\text{п}}/A + M^{\text{п}}/W,$$

де  $N^{\text{п}}$ ,  $M^{\text{п}}$  – розрахункові значення поздовжньої сили і моменту відповідно.

Визначаємо середній розмір грані, що перевіряється, м:

$$b_{\text{м1}} = \frac{b_1 + 2h_{01} + b_1}{2} = b_1 + h_{01}. \quad (1.52)$$

Площа, з якої збирається навантаження для визначення сили продавлювання (площа продавлювання),  $\text{м}^2$ :

$$A_1 = b(c_1 - h_{01}) - \frac{(c'_1 - h_{01})^2}{2} 2. \quad (1.53)$$

Порівнюємо:

$$A_1 p'_{\text{max}} \leq f_{\text{ctd}} b_{\text{м1}} h_{01}. \quad (1.54)$$

Тут  $c_1$ ,  $c_2$  – консольний виліт фундаментної плити 1-ого і 2-ого уступу відповідно зі сторони л;  $c'_1$ ,  $c'_2$  – консольний виліт фундаментної плити 1-ого і 2-ого уступу відповідно зі сторони в.

Для підколонника середній розмір грані, що перевіряється, м:

$$b_{\text{м2}} = \frac{b_{\text{cf}} + 2h_{0,\text{pl}} + b_{\text{cf}}}{2} = b_{\text{cf}} + h_{0,\text{pl}}. \quad (1.55)$$

Площа, з якої збирається навантаження для визначення сили продавлювання,  $\text{м}^2$ :

$$A_2 = b(c_1 + c_2 - h_{01} - h_2) - \frac{(c'_1 + c'_2 - h_{0,\text{pl}})^2}{2} 2. \quad (1.56)$$

Порівнюємо:

$$A_2 p'_{\text{max}} \leq f_{\text{ctd}} b_{\text{м2}} h_{0,\text{pl}}. \quad (1.57)$$

Схеми утворення піраміди продавлювання для фундаментів з однією і двома уступами згідно з 1-ою схемою (рис. 1.9).

### Фундамент з розвиненою плитною частиною

$$b_m = b_p + h_{0,p}, \quad (1.58)$$

де  $l_p = l_c + 2 \cdot 0,05$  м,  $b_p = b_c + 2 \cdot 0,05$  м – розміри по низу більшої і меншої сторін стакана;

$h_{0,p}$  – робоча висота піраміди продавлювання від дна стакана до площини розташування розтягнутої арматури.

Площа, з якої збирається навантаження для визначення сили продавлювання (рис. 1.10), м<sup>2</sup>:

$$\begin{aligned} A_0 &= b \left( \frac{1}{2} - \frac{l_p}{2} - h_{0,p} \right) - 2 \frac{\left( \frac{b}{2} - \frac{b_p}{2} - h_{0,p} \right)^2}{2} = . \quad (1.59) \\ &= 0,5b(1 - l_p - 2h_{0,p}) - 0,25(b - b_p - 2h_{0,p})^2 \end{aligned}$$

Порівнюємо:

$$A' p_{cp} \leq f_{ctd} b_m h_{0,p}. \quad (1.60)$$

Якщо умова не виконується, то збільшуємо робочу висоту уступу (плитної частини) та/або підвищуємо клас бетону.

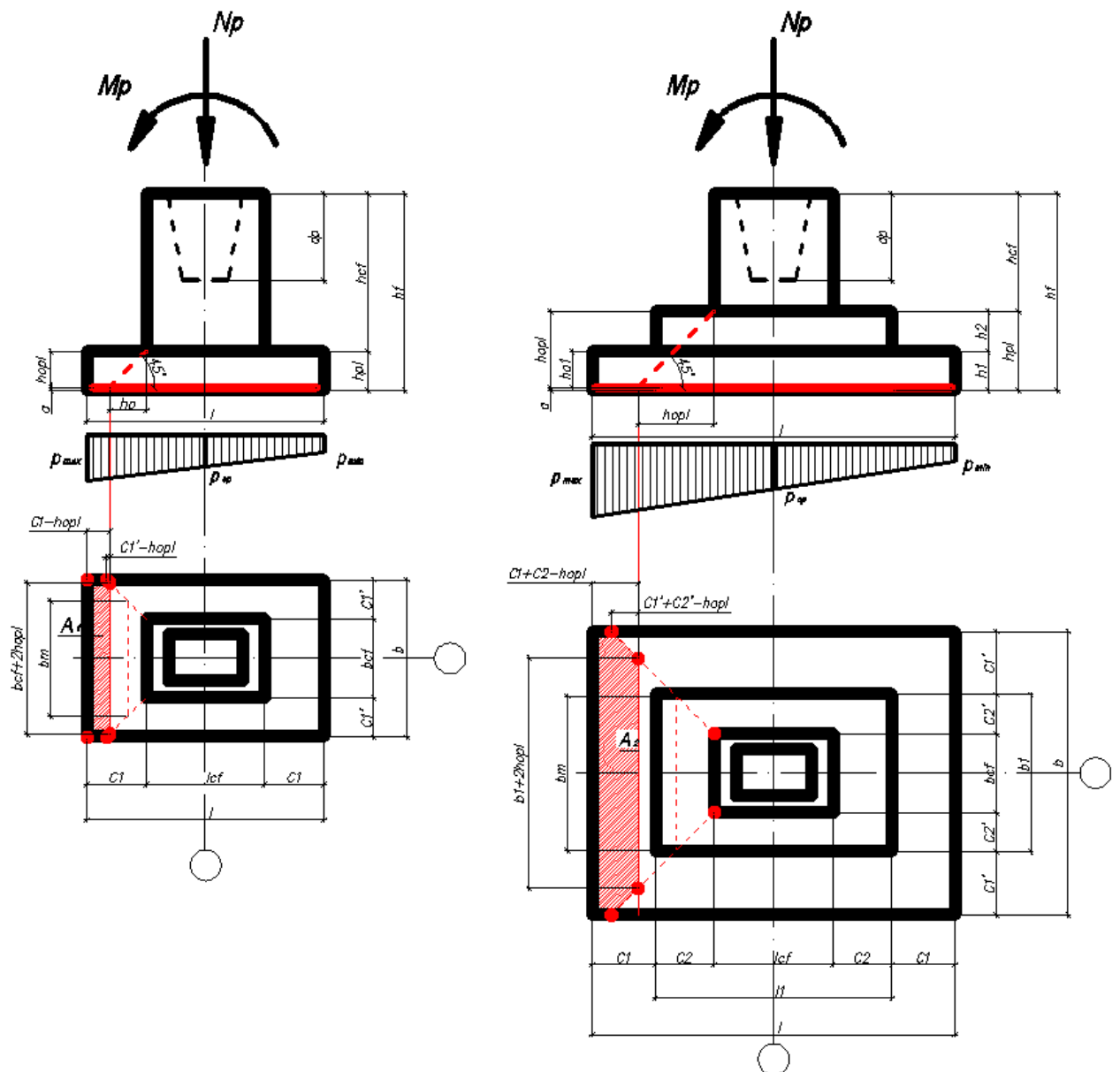


Рисунок 1.9 – Схеми утворення піраміди продавлювання для фундаментів з однією і двома уступами згідно з першою схемою

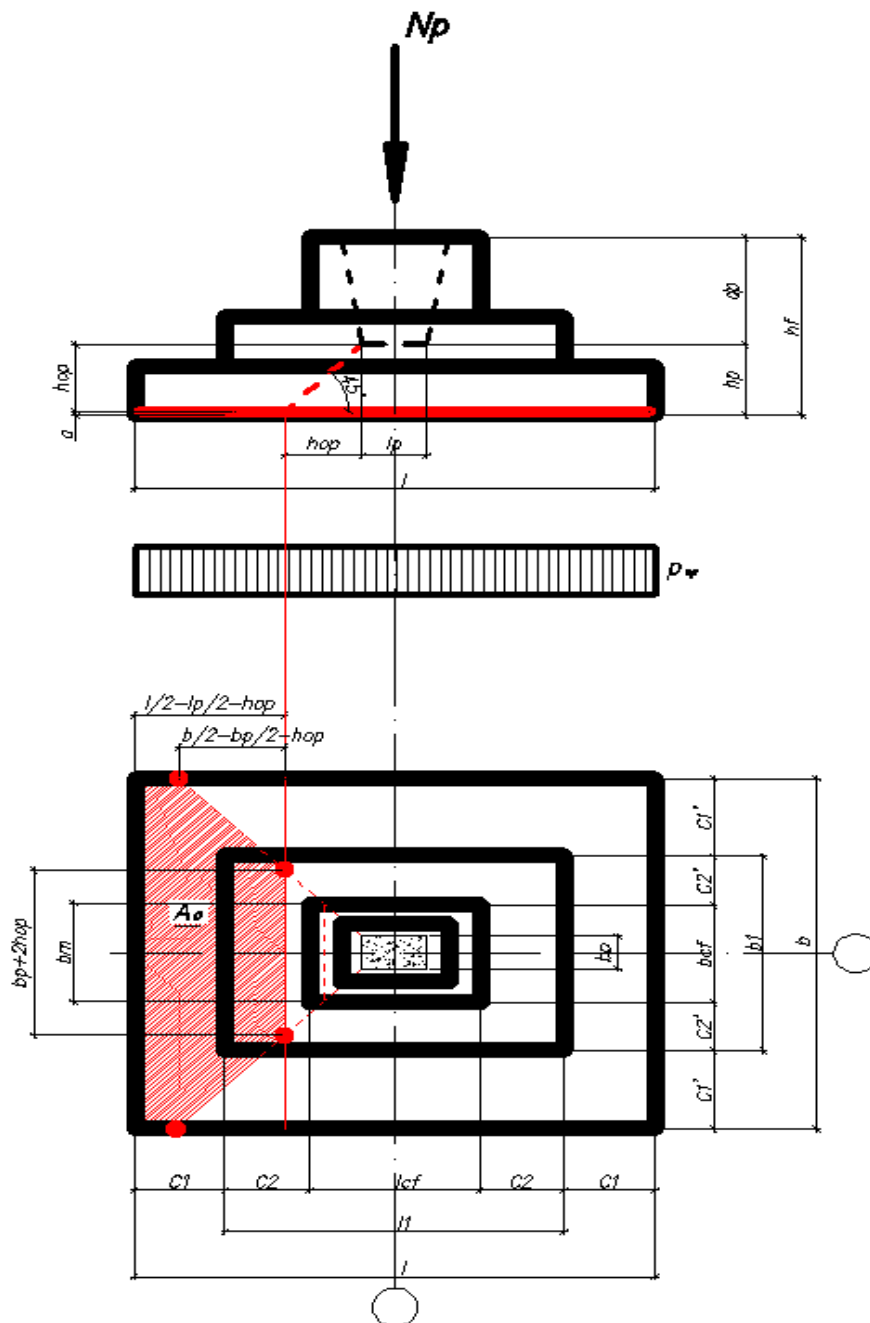


Рисунок 1.10 – Схеми утворення піраміди продавлювання для фундаменту згідно з другою схемою

## 1.8 Армування фундаменту

Армування всього фундаменту і його окремих частин проводиться згідно з вимогами ДБН В.2.6-98:2009 [8].

Армування здійснюється за результатами розрахунку нормальних перерізів на дію згинального моменту першого уступу так, кНм:

$$M_{I-I} = \frac{p_{c1} b \cdot c_1^2}{2} + \frac{(p'_{\max} - p_{c1}) \cdot c_1^2 b}{3}, \quad (1.61)$$

де  $p'_{\max}$  – розрахунковий максимальний тиск під подошвою фундаменту, кПа;

$p_{c1}$  – розрахунковий тиск під подошвою фундаменту в перерізі I–I, кПа;

$b$  – ширина подошви фундаменту, м;

$c_1$  – виліт першого уступу відносно підколонника (для одноступінчастого фундаменту) або виліт нижнього уступу відносно того, що вище (для двох- та більше уступів) (рис. 1.11), м.

У другому уступі, кНм:

$$M_{II-II} = \frac{p_{c2} b \cdot (c_1 + c_2)^2}{2} + \frac{(p'_{\max} - p_{c2}) \cdot (c_1 + c_2)^2 b}{3}, \quad (1.62)$$

де  $c_2$  – виліт другого уступу відносно підколонника, м.

Перетин робочої арматури на всю ширину фундаменту обчислюють так:

– для першого уступу (перетин I–I), см<sup>2</sup> або мм<sup>2</sup>:

$$A_{s1} = \frac{M_{I-I}}{0,9h_{01}f_{yd}}; \quad (1.63)$$

– для другого уступу (в підколоннику) (перетин II–II):

$$A_{s2} = \frac{M_{II-II}}{0,9h_{02}f_{yd}}, \quad (1.64)$$

де  $f_{yd}$  – розрахункова міцність арматури на межі текучості.

Відсоток армування в розрахунковому перерізі фундаменту має бути не нижче мінімально допустимого відсотка армування в згинальних елементах:

$$\mu = \frac{A_s}{bh} 100 \% \geq 0,5 \%. \quad (1.65)$$

Крок робочої арматури обирають рівним 100–200 мм. Неробочі (конструктивні) стрижні поперечної арматури обирають перерізом не менше 10 % перерізу робочої арматури і встановлюють їх із кроком 250–300 мм, але не більше ніж 350 мм. Висоту захисного шару бетону встановлюють: для монолітних фундаментів – не менше ніж 35 мм у разі наявності бетонної або піщано-гравійної підготовки і не менше ніж 70 мм без неї, для збірних фундаментів – не менше ніж 30 мм.

Армування також потрібно розраховувати і вздовж другого напрямку фундаменту:

$$M'_{I-I} = \frac{p'_{cp} l \cdot (c_1')^2}{2}; \quad (1.66)$$

$$M'_{II-II} = \frac{p'_{cp} l \cdot (c_1' + c_2')^2}{2}; \quad (1.67)$$

де  $c_1'$  та  $c_2'$  – виліт уступів фундаменту з боку  $b$ , м;

$p'_{cp}$  – розрахунковий середній тиск під подошвою фундаменту, кПа.

Перетин арматурних стрижнів (дод. Г).

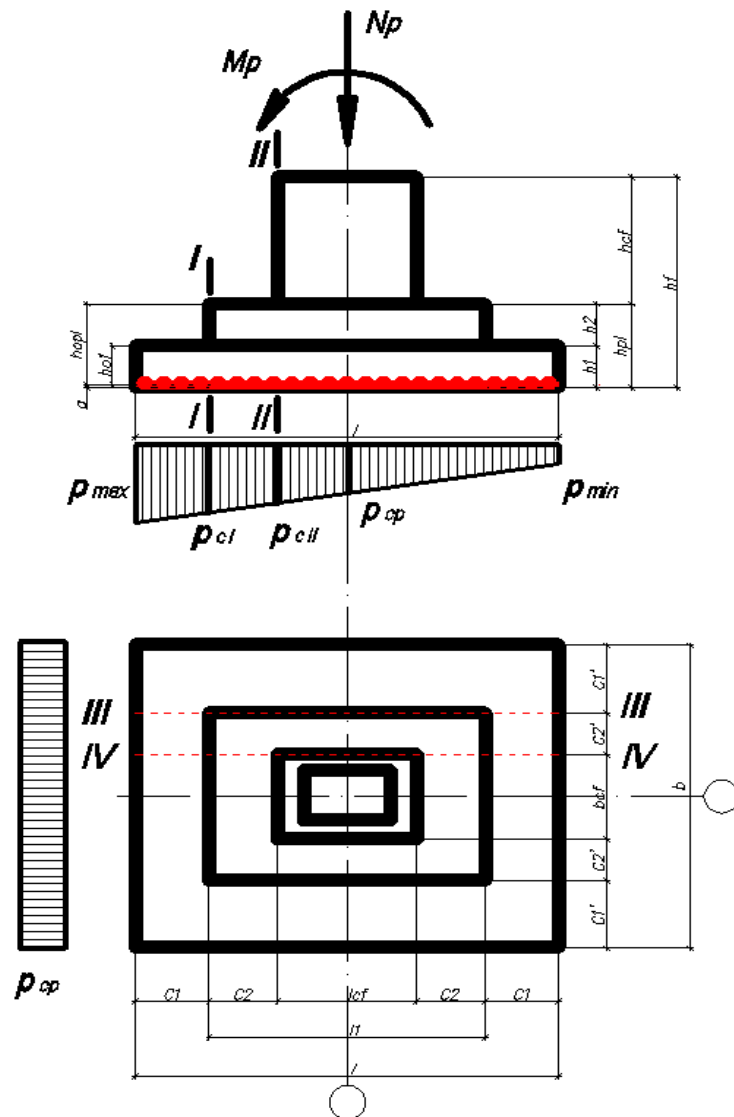


Рисунок 1.11 – Розрахункова схема для визначення кількості арматури

## 1.9 Розрахунок і проєктування пальових фундаментів

Розрахунок пальових фундаментів за несучою здатністю

Розрахунок виконується відповідно до вимог [2].

Під час аналізу інженерно-геологічних умов виділяємо шар ґрунту, придатний для обпирання паль. Вибираємо тип, вид і спосіб занурення паль – у цих методичних рекомендаціях обрані забивні призматичні залізобетонні палі, спосіб занурення – дизель-молот.

Глибина закладення підосви ростверку – 1,2–1,6 м.

Визначаємо довжину палі, яка залежить від інженерно-геолого-технологічних умов, способу сполучення палі з ростверком і заглиблення палі в несучий шар. У цьому випадку обираємо сполучення палі з ростверком жорстке (300–350 мм), заглиблення палі в несучий шар – не менше ніж 1 м. Тоді необхідну довжину палі можна визначити за такою залежністю:

$$L_{\text{п}} = (h_1 + h_2 + \dots + h_n) - d_{\text{р}} + 0,35 \text{ м} + 1 \text{ м}, \quad (1.68)$$

де  $h_1, h_2, h_n$  – потужність шарів, які проходить паля;

$d_{\text{р}}$  – глибина закладення пальового ростверку, м.

Після визначення  $L_{\text{п}}$ , необхідно округлити це число до найближчого більшого цілого значення.

Перетин паль необхідно обирати 250 мм × 250 мм, 300 мм × 300 мм або 350 мм × 350 мм.

Одиночну палю у складі фундаменту і за його межами по несучій спроможності ґрунтів основи необхідно розраховувати, з огляду на умови:

$$N \leq \frac{F_{\text{д}}}{\gamma_{\text{к}}}, \quad (1.69)$$

де  $N$  – розрахункове навантаження, яке допускається на палю під час визначення його кількості в пальовому фундаменті;

$F_{\text{д}}$  – несуча спроможність палі залежно від властивостей ґрунтової основи;

$\gamma_{\text{к}}$  – коефіцієнт надійності (обирається 1,4, якщо несуча здатність палі  $F_{\text{д}}$  визначається розрахунком).

Визначаємо несучу здатність одиночної палі тертя, попередньо розбиваючи ґрунтову товщу за висотою палі на ділянки довжиною не більше ніж 2,0 м (рис. 1.12):

$$F_{\text{д}} = \gamma_{\text{с}}(\gamma_{\text{с}} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{\text{сф}} \cdot f_i \cdot h_i), \quad (1.70)$$

де  $F_{\text{д}}$  – несуча здатність одиночної палі тертя в кН;

$\gamma_{\text{с}}$  – коефіцієнт умови роботи палі по ґрунту, обраний рівним 1,0;

$R$  – розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі, кПа, обраний за таблицею Н.2.1 джерела [4] або за додатком В.1;

$A$  – площа обпирання на ґрунт палі,  $\text{м}^2$ , обрана за площею поперечного перерізу палі брутто, або за площею палі-оболонки нетто;

$u$  – зовнішній периметр поперечного перерізу палі,  $\text{м}$ ;

$\gamma_{\text{сР}}$  і  $\gamma_{\text{сф}}$  – коефіцієнти умов роботи ґрунту відповідно під нижнім кінцем і по бічній поверхні палі, які враховують вплив способу занурення палі на розрахунковий опір ґрунту і обираються за додатком В.3;

$f_i$  – розрахунковий опір  $i$ -го шару ґрунту основи по боковій поверхні палі,  $\text{кПа}$ , який визначається за формулою (1.71), для попередніх розрахунків допускається обирати за додатком В.2;

$h_i$  – товщина  $i$ -го шару ґрунту, що стикається з бічною поверхнею палі,  $\text{м}$ .

$$f_i = \sigma_{\text{зг},i} \frac{v_i}{1 - v_i} \text{tg} \varphi_{\text{п},i} + c_{\text{п},i}, \quad (1.71)$$

де  $\sigma_{\text{зг},i}$  – напруження від власної ваги ґрунту в середині  $i$ -го розрахункового шару ґрунтової основи;

$v_i$  – коефіцієнт Пуассона ґрунту посередині  $i$ -го розрахункового шару ґрунтової основи (рівний 0,21–0,29 – для пісків, 0,3–0,37 – для супісків і суглинків та 0,4 – для глин).

У разі повного водонасичення ґрунту розрахункові характеристики ґрунту необхідно обирати за показником текучості, що визначається за такою формулою:

$$I_L = \frac{0,9 \cdot e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s} - w_p}{w_L - w_p}, \quad (1.72)$$

де  $e$  – коефіцієнт пористості ґрунту природної щільності;

$\gamma_w$  – об'ємна вага води,  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ ;

$\gamma_s$  – об'ємна вага часток ґрунту,  $\text{кН/м}^3$ ;

$w_L, w_p$  – вологість на межі текучості і розкочування відповідно.

Якщо  $I_L < 0,4$ , то необхідно обирати  $I_L = 0,4$ .

Якщо  $I_L > 1$ , то опір по бічній поверхні не враховується.

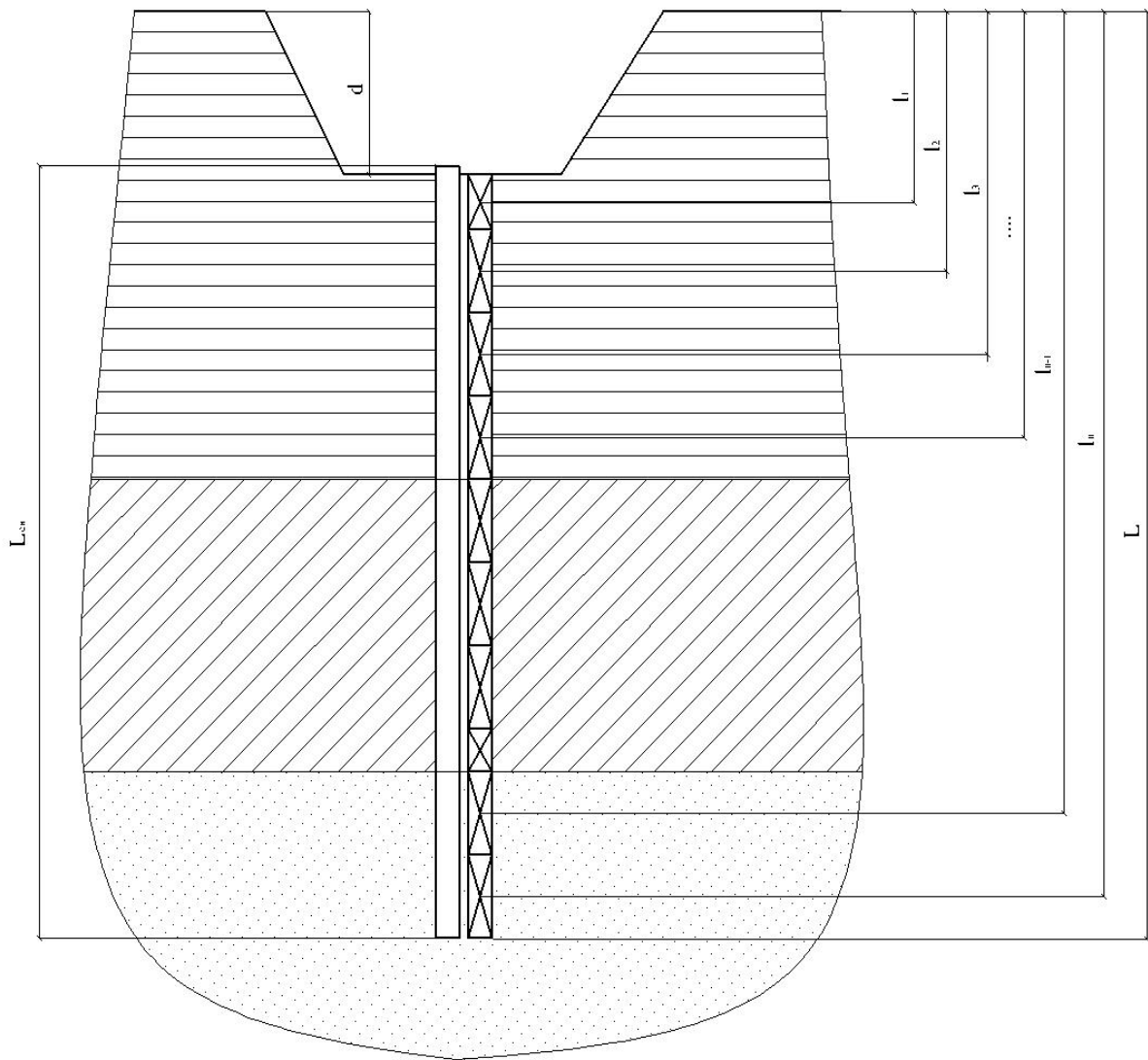


Рисунок 1.12 – Розрахункова схема палі

Палі за несучою здатністю ґрунтів основи в просідаючих ґрунтах необхідно розраховувати з умови:

$$N \leq \left( \frac{F_d}{\gamma_k} \right) - \gamma_c \cdot P_n, \quad (1.73)$$

де  $N$  – розрахункове навантаження, кН, на одну палю;

$F_d$  – розрахункова несуча здатність ґрунту основи одиночної палі;

$\gamma_k$  – коефіцієнт надійності (обирається 1,4, якщо несуча здатність палі  $F_d$  визначається розрахунком);

$\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи, що залежить від просідання ґрунту (якщо  $S_{sl} = 5$  см, то  $\gamma_c = 0$ ; якщо  $S_{sl} \geq 2$ , то  $S_u - \gamma_c = 0,8$ ; для проміжних значень  $S_{sl} - \gamma_c$  визначається за інтерполяцією);

$P_n$  – довантажувальна сила тертя.

$$P_n = u \sum_0^{h_{sl}} \tau_i \cdot h_i, \quad (1.74)$$

де  $u$  – периметр палі, м;

$h_{sl}$  – розрахункова глибина, м, у межах якої виконується підсумовування сил бічного тертя просідаючих шарів ґрунту, що дорівнює глибині підшви товщі просідання ґрунту від дії власної ваги;

$\tau_i$  – розрахунковий опір ґрунту, кПа, який визначається до глибини 6 м за такою формулою:

$$\tau_i = \xi \sigma_{zg,i} \operatorname{tg} \varphi_i + c_i, \quad (1.75)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт бокового тиску, що дорівнює 0,7;

$\varphi_i, c_i$  – розрахункові значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення ґрунту, усередненого по глибині  $h_i$ ;

$\sigma_{zg}$  – вертикальне напруження від власної ваги водонасиченого ґрунту, кПа:

$h_i$  – товщина, м, шару ґрунту, що просідає під час замочування, і дотичного по боковій поверхні палі.

У разі глибини  $6 \text{ м} < h < h_{sl}$  значення  $\tau_i$  обирається постійним, рівним значенню  $\tau_i$  на глибині 6 м.

Визначаємо необхідну кількість паль у куці:

$$n = \frac{F_v}{N}. \quad (1.76)$$

Конструюємо ростверк, враховуючи, що відстань між осями паль обирається (3–6)  $d$ , а відстань від краю ростверку до осі крайньої палі –  $d$ , де  $d$  – сторона палі. Висоту ростверку обираємо в межах 500–600 мм.

Оскільки на пальовий фундамент діє не тільки поздовжня сила, але і згинальний момент, необхідно перевірити величину навантаження, яка приходить на крайню палю з урахуванням дії згинального моменту.

Величина цього навантаження визначається за формулою

$$N_{\max}^{\min} = \frac{N_d}{n} \pm \frac{M_x y}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_y x}{\sum x_i^2}; \quad (1.77)$$

де  $N_d$  – розрахункова стискаюча сила, кН, в яку входять: вертикальне навантаження від верхніх конструкцій, вага ростверка, вага ґрунту на його обрізах і вага паль;

$n$  – кількість паль у фундаменті, шт;

$x_i, y_i$  – відстань від головних осей до осі кожної палі, м;

$M_x, M_y$  – розрахункові згинальні моменти, кНм, щодо головних центральних осей  $x$  і  $y$ , плану паль у площині підшви фундаменту;

$x, y$  – відстань від головних осей до осі кожної палі, для якої обчислюється розрахункове навантаження, м.

Оскільки навантаження на крайню палю визначаються з урахуванням дії моменту, розрахункове навантаження обирають рівним  $1,2 N$  (враховується короткочасність дії моменту).

Виконується перевірка:

$$N_{\max} \leq \frac{1,2F_d}{\gamma_k}. \quad (1.78)$$

#### Розрахунок пальових фундаментів за деформаціями

Цей розрахунок виконується як для умовного фундаменту на природній основі.

Визначаємо контури умовного фундаменту (рис. 1.12). Межі умовного фундаменту:

– знизу – обмежені площиною АБ;

– з боків – вертикальними площинами АГ і БВ, віддаленими від зовнішніх граней крайніх рядів вертикальних паль на відстані  $htg\alpha$ , але не більше ніж  $2d$  у випадках, коли під нижніми кінцями паль залягають пилувато-глинисті ґрунти з показником текучості  $I_L > 0,6$ ;

– зверху – поверхнею планування ВГ.

Визначається осереднене значення кута внутрішнього тертя ґрунтів, що прорізаються палею, град:

$$\varphi_{II,mt} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{II,i} \cdot h_i}{\sum h_i}, \quad (1.79)$$

де  $h_i$  – товщина  $i$ -го шару, що стикається з бічною поверхнею палі.

Осереднене значення кута внутрішнього тертя ґрунтів, град.:

$$\alpha = \frac{\varphi_{II,mt}}{4}. \quad (1.80)$$

Ширина умовного фундаменту, м:

$$B_{y\phi} = y + z + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.81)$$

де  $y$  – відстань між крайніми палями;

$z$  – ширина палі.

Довжина умовного фундаменту:

$$L_{y\phi} = x + z + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.82)$$

де  $x$  – відстань між крайніми палями.

Нормативна вага паль:

$$G_{св}^H = n(L_{п} \cdot G_{п,1} + G_{в}), \quad (1.83)$$

де  $n$  – кількість паль, шт;

$L_{п}$  – довжина палі, м;

$G_{п,1}$  – вага 1 м палі, кН;

$G_{в}$  – вага вістря палі.

Нормативна вага ґрунту в обсязі АБВГ, кН:

$$G_{гр.у\phi}^H = B_{y\phi} L_{y\phi} \sum \gamma_i h_i. \quad (1.84)$$


$$P'' = \frac{N^H + G_p^H \cdot 1 + G_n^H + G_{rp}^H}{B_{y\phi} \cdot L_{y\phi}}. \quad (1.85)$$

$G_{\text{гр}}^{\text{н}}$  – нормативна вага ґрунту в обсязі АБВГ, кН.

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot (M_\gamma \cdot B_{y\phi} \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_{y\phi} \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}). \quad (1.86)$$

Перевіряється основна умова під час розрахунку пальового фундаменту за другою групою граничних станів.

$$p_{II} < R. \quad (1.87)$$

#### Розрахунок осідання пальового фундаменту

Осідання пальового фундаменту виконується за формулою (1.16) аналогічно розрахунку осідання фундаменту на природній основі.

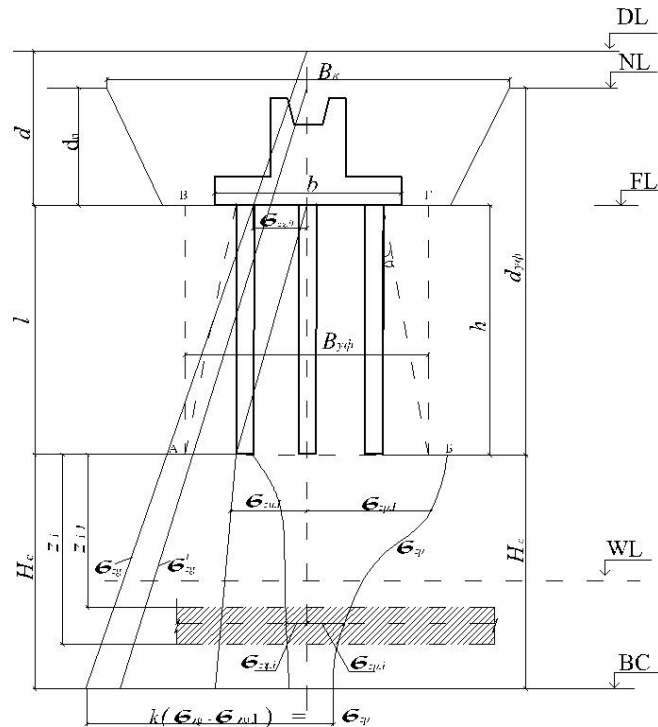


Рисунок 1.13 – Схема розподілу вертикальних напружень в основі пальового фундаменту згідно з моделлю лінійно-деформованого півпростору для розрахунку за схемою умовного фундаменту:

$B_{уф}$  – ширина (діаметр) умовного фундаменту на позначці п'яти палі довжиною  $l$ , утвореного під кутом  $\phi/4$  від підшови ростверку;  $\sigma_{z,ul}$  – напруження від власної ваги ґрунту на позначці умовного фундаменту, починаючи від підшови ростверку (інші позначення згідно з рис. 1.4)

## **2 ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

### **Тема 1 Фундаменти на лесових просідаючих ґрунтах**

Під час проєктування основ та фундаментів на просідаючих ґрунтах розглядаються такі питання.

Прості та складні інженерно-геологічні умови. Зовнішні ознаки просідаючих ґрунтів. Мінералогічний склад та фізико-механічні властивості ґрунтів. Основні гіпотези виникнення цих ґрунтів. Типи просідаючих ґрунтів. Просідання. Відносна просадочність, початковий тиск просідання, початкова вологість просідання. Принципи проєктування на просідаючих ґрунтах. Конструктивні заходи під час будівництва на просідаючих ґрунтах. Способи ущільнення просідаючих ґрунтів. Способи закріплення просідаючих ґрунтів. Улаштування ґрунтових подушок. Прорізка просідаючих ґрунтів палями.

**Джерела інформації:** [1–4; 6; 8–12; 15–17].

### **Тема 2 Фундаменти на зсувних територіях**

Схиліві процеси. Загальні відомості про зсуви, обвали, лавини та селі. Заходи з протистояння зсувним явищам.

**Джерела інформації:** [1–6; 8–12; 16].

### **Тема 3 Фундаменти у карстових районах. Фундаменти на засолених ґрунтах**

Загальні відомості про карстові явища. Особливості будівництва у карстових районах. Загальні відомості про засолені ґрунти. Заходи для усунення впливу суфозійних деформацій. Початковий тиск суфозійного стискання. Суфозійне осідання.

**Джерела інформації:** [1–5; 6; 8–12; 16].

#### **Тема 4 Фундаменти на ґрунтах, здатних до набухання**

Загальні відомості про набухаючі ґрунти. Особливості будівництва на набухаючих ґрунтах. Заходи щодо запобігання негативного впливу набухаючих ґрунтів. Набухаючі ґрунти. Фізико-механічні властивості набухаючих ґрунтів. Тиск набухання. Відносне набухання. Залежність набухання від тиску. Усадка глинистих ґрунтів. Визначення деформації набухання. Особливості проєктування на набухаючих ґрунтах.

**Джерела інформації:** [1–4; 8–13; 16].

#### **Тема 5 Основи і фундаменти в умовах підтоплених територій**

Загальні відомості про підтоплені території. Наслідки підтоплення.

**Джерела інформації:** [1–4; 6; 8–14; 16].

#### **Тема 6 Фундаменти на насипних і намівних ґрунтах. Фундаменти на слабких ґрунтах**

Загальні відомості про насипні ґрунти. Класифікація насипних ґрунтів. Улаштування основ та фундаментів на насипних ґрунтах. Загальні відомості про слабкі ґрунти. Особливості будівництва на слабких ґрунтах.

**Джерела інформації:** [1–4; 6; 8–12; 16].

#### **Тема 7 Особливості проєктування сейсмостійких фундаментів і споруд**

Загальні відомості про прояв сейсмічної активності на території України. Основні вимоги до будівництва у сейсмонебезпечних територіях. Сейсмічність майданчика будівництва залежно від категорії ґрунтів.

**Джерела інформації:** [1–7; 8–12; 16].

## **Тема 8 Улаштування основ і фундаментів на ділянках, під якими є підземні виробки**

Проектування фундаментів в умовах техногенного впливу. Загальні відомості про ділянки, під якими є підземні виробки. Класифікація підроблених територій. Особливості будівництва на підроблених територіях.

Загальні відомості про техногенний вплив на будівлі і споруди. Вплив нового будівництва на існуючу забудову. Заходи щодо уникнення негативного техногенного впливу на основи будівель і споруд.

**Джерела інформації:** [1–4; 6; 8–14; 16].

### **ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. Що таке прості та складні інженерно-геологічні умови?
2. Де розповсюджені просідаючі ґрунти?
3. Які зовнішні ознаки просідаючих ґрунтів?
4. Який мінералогічний склад просідаючих ґрунтів?
5. Які фізичні властивості просідаючих ґрунтів?
6. Які механічні властивості просідаючих ґрунтів?
7. Які основні гіпотези виникнення цих ґрунтів?
8. Які типи просідаючих ґрунтів?
9. Що таке просідання?
10. Як визначається відносна просадочність?
11. Що таке початковий тиск просідання та як він визначається?
12. Що таке початкова вологість просідання?
13. Які принципи проектування на просідаючих ґрунтах?
14. Які конструктивні заходи під час будівництва на просідаючих ґрунтах?
15. Які способи ущільнення виконуються у разі просідаючих ґрунтів I типу?

16. Які способи ущільнення виконуються у разі просідаючих ґрунтів II типу?
17. Які принципи улаштування ґрунтових подушок?
18. Які особливості проєктування пальових фундаментів у просідаючих ґрунтах I та II типів?
19. Які існують види закріплення ґрунтів?
20. Які ґрунти належать до набухаючих?
21. Які фізико-механічні властивості набухаючих ґрунтів?
22. Що таке тиск набухання?
23. Що таке відносне набухання?
24. Яка залежність набухання від тиску?
25. Як визначається усадка глинистих ґрунтів?
26. Як визначається деформації набухання?
27. Які особливості проєктування на набухаючих ґрунтах?
28. Що таке слабкі водонасичені ґрунти?
29. Особливості проєктування фундаментів на заторфованих ґрунтах?
30. Як визначається осідання шару органо-мінерального та органічного ґрунту?
31. Які існують способи ущільнення органо-мінеральних та органічних ґрунтів?
32. Які ґрунти називаються засоленими?
33. Що таке початковий тиск суфозійного стискання?
34. Як визначається суфозійне осідання?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO 14688-2:2021. Геотехнічні дослідження та випробування. Ідентифікація та класифікація ґрунтів. Частина 2. Класифікація ґрунтів (ISO 14688-2:2017, IDT). – Чинний від 2022-05-0. – Київ, 2021. – 11 с.
2. ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель і споруд. Основні положення [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2019-01-01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. – 36 с. – Режим доступу: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_2\\_1\\_10/1-1-0-1828](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_1_10/1-1-0-1828), вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2011-01-01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_27\\_2010/5-1-0-929](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929), вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.
4. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2008-01-07. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-183>, вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.
5. ДБН В.1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2017-11-01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_1\\_1\\_46/1-1-0-1779](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_1_1_46/1-1-0-1779), вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.
6. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2017-10-01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_1\\_1\\_45/1-1-0-1778](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_1_1_45/1-1-0-1778), вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.

7. ДБН В.1.1-12-2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Зміна № 1 [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2014–10–01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1083>, вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.

8. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1 [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2020–06–01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-792>, вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.

9. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник / Л. М. Шутенко, О. Г. Рудь, О. В. Кічаєва [та ін.] ; за ред. Л. М. Шутенка ; пер. з рос. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 563 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/45175/>, вільний).

10. Інженерна геологія, механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник / М. Л. Зоценко, В. І. Ковеленко, А. В. Яковлев [та ін.]. – Полтава, 2003. – 550 с.

11. Кічаєва О. В. Будівництво у складних інженерно-геологічних умовах [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для студентів очної та заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія / О. В. Кічаєва ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 51 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/57677/>, вільний (дата звернення: 20.03.2026). – Назва з екрана.

12. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти : підручник для студентів / В. Б. Швець, І. П. Бойко, Ю. Л. Винников [та ін.]. – Дніпропетровськ : Пороги, 2012. – 197 с.

13. Храпатова І. Дослідження процесів, що протікають у набухаючих ґрунтах, залежно від природної вологості / І. Храпатова, О. Ляпін // Основи та Фундаменти. – 2025. – № 50. – С.316–322. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://doi.org/10.32347/0475-1132.50.2025.316-322>, вільний).

14. Особливості влаштування фундаментів на підтоплених і потенційно підтоплюваних територіях / О. І. Бондаренко, Г. Г. Стріжельчик, І. В. Храпатова, Є. П. Василенко, О. Є. Ляпін // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2024. – Вип. 210. – С. 123–126. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnik-210.pdf>, вільний).

15. Strizhelchik G. Geotechnical risks in the reconstruction of buildings and structures affected by explosion / G. Strizhelchik, I. Khrapatoва, O. Liapin, O. Bondarenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Conference on Urban Infrastructure Sustainable Development and Renovation (MistoBUD-2025), Kharkiv, January 30 – February 1, 2025. – Kharkiv, Ukraine, 2025. – Vol. 1499. – Article 012019. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1499/1/012019>.

16. Strizhelchik G. Ensuring urban resilience construction in difficult engineering and geological conditions (geotechnical view) / G. Strizhelchik, V. Iegupov, I. Khrapatoва // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Conference on Urban Infrastructure Sustainable Development and Renovation (MistoBUD-2025), Kharkiv, January 30 – February 1, 2025. – Kharkiv, Ukraine, 2025. – Vol. 1499. – Article 012048. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1499/1/012048>.

17. Стріжельчик Г. Г. До питання про геотехнічні ризики при відновленні зруйнованих вибухом будівель у південно-східній та південній частині України / Г. Г. Стріжельчик, І. В. Храпатова, В. С. Шокарев, О. Є. Ляпін // Безпечна, комфортна та спроможна територіальна громада : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції, 11–13 жовтня 2023 р. – 2023. – С. 43–44. – DOI: <https://science.nmu.org.ua/ua/conferences/Forum/Zbirnyk.pdf>.

## ДОДАТОК А

### Класифікаційні показники ґрунтів

Таблиця А.1 – Найменування пілувато-глинистого ґрунту за числом пластичності

| Найменування пілувато-глинистого ґрунту                             | Число пластичності $I_p$  |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Супісок                                                             | $0,01 \leq I_p \leq 0,07$ |
| Суглинок                                                            | $0,07 < I_p \leq 0,17$    |
| Глина                                                               | $I_p > 0,17$              |
| Примітка. Якщо $I_p < 0,01$ , то ґрунт належить до піщаних ґрунтів. |                           |

Таблиця А.2 – Різновиди пілувато-глинистих ґрунтів за  $I_L$

| Різновиди пілувато-глинистих ґрунтів | Показник текучості $I_L$ |
|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Супіски:</b>                      |                          |
| Тверді                               | $I_L < 0$                |
| Пластичні                            | $0 \leq I_L \leq 1$      |
| Текучі                               | $I_L > 1$                |
| <b>Суглинки та глини:</b>            |                          |
| Тверді                               | $I_L < 0$                |
| Напівтверді                          | $0 \leq I_L \leq 0,25$   |
| Тугопластичні                        | $0,25 < I_L \leq 0,5$    |
| М'якопластичні                       | $0,5 < I_L \leq 0,75$    |
| Текучопластичні                      | $0,75 < I_L \leq 1$      |
| Текучі                               | $I_L > 1$                |

Таблиця А.3 – Щільність складання пісків

| Найменування<br>піщаного ґрунту           | Щільність складання |                         |            |
|-------------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------|
|                                           | Щільні              | середньої щільності     | пухкі      |
| Гравелісті, крупні та середньої крупності | $e < 0,55$          | $0,55 \leq e \leq 0,70$ | $e > 0,70$ |
| Дрібні                                    | $e < 0,60$          | $0,60 \leq e \leq 0,75$ | $e > 0,75$ |
| Пилуваті                                  | $e < 0,60$          | $0,60 \leq e \leq 0,80$ | $e > 0,80$ |

Таблиця А.4 – Найменування піщаного ґрунту за ступенем вологості

| Характеристика ґрунтів | Ступінь вологості $S_r$ |
|------------------------|-------------------------|
| Маловологі             | $S_r \leq 0,5$          |
| Вологі                 | $0,5 < S_r \leq 0,8$    |
| Насичені водою         | $0,8 < S_r \leq 1,0$    |

## ДОДАТОК Б

### Дані для розрахунку фундаментів у відкритому котловані

Таблиця Б.1 – Розрахункові опори  $R_0$  піщаних ґрунтів

| Піски                      | Значення $R_0$ , кПа (кгс/см <sup>2</sup> ), залежно від щільності складання пісків |                     |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                            | Щільні                                                                              | середньої щільності |
| Крупні                     | 600(6)                                                                              | 500(5)              |
| Середньої крупності        | 500(5)                                                                              | 400(4)              |
| Дрібні:                    |                                                                                     |                     |
| – маловологі;              | 400(4)                                                                              | 300(3)              |
| – вологі та насичені водою | 300(3)                                                                              | 200(2,0)            |
| Пилуваті:                  |                                                                                     |                     |
| – маловологі;              | 300(3)                                                                              | 250(2,5)            |
| – вологі;                  | 200(2)                                                                              | 150(1,5)            |
| – насичені водою           | 150(1,5)                                                                            | 100(1)              |

Таблиця Б.2 – Розрахункові опори  $R_0$  пилувато-глинистих (непросідаючих) ґрунтів

| Пилувато-глинисті ґрунти | Коефіцієнт пористості, $e$ | Значення $R_0$ , кПа (кгс/см <sup>2</sup> ), за показника текучості ґрунту |           |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                          |                            | $I_L = 0$                                                                  | $I_L = 1$ |
| Супіски                  | 0,5                        | 300(3)                                                                     | 300(3)    |
|                          | 0,7                        | 250(2,5)                                                                   | 200(2)    |
| Суглинки                 | 0,5                        | 300(3)                                                                     | 250(2,5)  |
|                          | 0,7                        | 250(2,5)                                                                   | 180(1,8)  |
|                          | 1,0                        | 200(2)                                                                     | 100(1)    |
| Глини                    | 0,5                        | 600(6)                                                                     | 400(4)    |
|                          | 0,6                        | 500(5)                                                                     | 300(3)    |
|                          | 0,8                        | 300(3)                                                                     | 200(2)    |
|                          | 1,1                        | 250(2,5)                                                                   | 100(1)    |

Таблиця Б.3 – Розрахункові опори  $R_0$  просідаючих ґрунтів

| Ґрунти   | $R_0$ , кПа (кгс/см <sup>2</sup> ), ґрунтів                                  |                             |                                                                   |          |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------|
|          | природного складання зі щільністю в сухому стані $\rho_d$ , т/м <sup>3</sup> |                             | ущільнених з щільністю в сухому стані $\rho_d$ , т/м <sup>3</sup> |          |
|          | 1,35                                                                         | 1,55                        | 1,60                                                              | 1,70     |
| Супіски  | $\frac{300(3)}{150(1,5)}$                                                    | $\frac{350(3,5)}{180(1,8)}$ | 200(2)                                                            | 250(2,5) |
| Суглинки | $\frac{350(3,5)}{180(1,8)}$                                                  | $\frac{400(4)}{200(2)}$     | 250(2,5)                                                          | 300(3)   |

Примітка. У чисельнику наведені значення  $R_0$ , що належать до незамочених просідаючих ґрунтів зі ступенем вологості  $S_r \leq 0,5$ ; у знаменнику – значення  $R_0$ , що належать до таких же ґрунтів зі  $S_r \geq 0,8$ , а також до замочених просідаючих ґрунтів.

Таблиця Б.4 – Коефіцієнти умов роботи

| Ґрунти                                                                                                                     | Коефіцієнт $\gamma_{c1}$ | Коефіцієнт $\gamma_{c2}$ для будівель із жорсткою конструктивною схемою в разі відношення довжини споруди чи його відсіку до висоти $L/H$ , рівному |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                                                                                            |                          | 4 та більше                                                                                                                                         | 1,5 та менше |
| Великоуламкові з піщаним заповнювачем і піщані, крім дрібних і пілуватих                                                   | 1,4                      | 1,2                                                                                                                                                 | 1,4          |
| Піски дрібні                                                                                                               | 1,3                      | 1,1                                                                                                                                                 | 1,3          |
| Піски пілуваті:                                                                                                            |                          |                                                                                                                                                     |              |
| – маловологі та вологі;                                                                                                    | 1,25                     | 1,0                                                                                                                                                 | 1,2          |
| – насичені водою                                                                                                           | 1,1                      | 1,0                                                                                                                                                 | 1,2          |
| Глинисті, а також крупнообломкові з глинистим заповнювачем і з показником текучості ґрунту або заповнювача $I_L \leq 0,25$ | 1,25                     | 1,0                                                                                                                                                 | 1,1          |
| Те саме, якщо $0,25 < I_L \leq 0,5$                                                                                        | 1,2                      | 1,0                                                                                                                                                 | 1,1          |
| Те саме, якщо $I_L > 0,5$                                                                                                  | 1,0                      | 1,0                                                                                                                                                 | 1,0          |

Примітка 1. До споруд із жорсткою конструктивною схемою належать споруди, конструкції яких спеціально пристосовані до сприйняття зусиль від деформації основи, зокрема за рахунок заходів, зазначених у додатку К джерела [1].

Примітка 2. Для будинків з гнучкою конструктивною схемою значення коефіцієнта  $\gamma_{c2}$  обирається рівним одиниці.

Примітка 3. У разі проміжних значень  $L/H$  коефіцієнт  $\gamma_{c2}$  визначається за інтерполяцією.

Примітка 4. Для пухких пісків  $\gamma_{c1}$  та  $\gamma_{c2}$  обирають рівним одиниці.

Таблиця Б.5 – Коефіцієнти  $M_\gamma$ ,  $M_q$ ,  $M_c$ 

| Кут<br>внутрішнього<br>тертя $\varphi_{II}$ , град. | Коефіцієнти |       |       | Кут<br>внутрішнього<br>тертя $\varphi_{II}$ , град. | Коефіцієнти |       |       |
|-----------------------------------------------------|-------------|-------|-------|-----------------------------------------------------|-------------|-------|-------|
|                                                     | $M_\gamma$  | $M_q$ | $M_c$ |                                                     | $M_\gamma$  | $M_q$ | $M_c$ |
| 0                                                   | 0           | 1,00  | 3,14  | 23                                                  | 0,69        | 3,65  | 6,24  |
| 1                                                   | 0,01        | 1,06  | 3,23  | 24                                                  | 0,72        | 3,87  | 6,45  |
| 2                                                   | 0,03        | 1,12  | 3,32  | 25                                                  | 0,78        | 4,11  | 6,67  |
| 3                                                   | 0,04        | 1,18  | 3,41  | 26                                                  | 0,84        | 4,37  | 6,90  |
| 4                                                   | 0,06        | 1,25  | 3,51  | 27                                                  | 0,91        | 4,64  | 7,14  |
| 5                                                   | 0,08        | 1,32  | 3,61  | 28                                                  | 0,98        | 4,93  | 7,40  |
| 6                                                   | 0,10        | 1,39  | 3,71  | 29                                                  | 1,06        | 5,25  | 7,67  |
| 7                                                   | 0,12        | 1,47  | 3,82  | 30                                                  | 1,15        | 5,59  | 7,95  |
| 8                                                   | 0,14        | 1,55  | 3,93  | 31                                                  | 1,24        | 5,95  | 8,24  |
| 9                                                   | 0,16        | 1,64  | 4,05  | 32                                                  | 1,34        | 6,34  | 8,55  |
| 10                                                  | 0,18        | 1,73  | 4,17  | 33                                                  | 1,44        | 6,76  | 8,88  |
| 11                                                  | 0,21        | 1,83  | 4,29  | 34                                                  | 1,55        | 7,22  | 9,22  |
| 12                                                  | 0,23        | 1,94  | 4,42  | 35                                                  | 1,68        | 7,71  | 9,58  |
| 13                                                  | 0,26        | 2,05  | 4,55  | 36                                                  | 1,81        | 8,24  | 9,97  |
| 14                                                  | 0,29        | 2,17  | 4,69  | 37                                                  | 1,95        | 8,81  | 10,37 |
| 15                                                  | 0,32        | 2,30  | 4,84  | 38                                                  | 2,11        | 9,44  | 10,80 |
| 16                                                  | 0,36        | 2,43  | 4,99  | 39                                                  | 2,28        | 10,11 | 11,25 |
| 17                                                  | 0,39        | 2,57  | 5,15  | 40                                                  | 2,46        | 10,85 | 11,73 |
| 18                                                  | 0,43        | 2,73  | 5,31  | 41                                                  | 2,66        | 11,64 | 12,24 |
| 19                                                  | 0,47        | 2,89  | 5,48  | 42                                                  | 2,88        | 12,51 | 12,79 |
| 20                                                  | 0,51        | 3,06  | 5,66  | 43                                                  | 3,12        | 13,46 | 13,37 |
| 21                                                  | 0,56        | 3,24  | 5,84  | 44                                                  | 3,38        | 14,50 | 13,98 |
| 22                                                  | 0,61        | 3,44  | 6,04  | 45                                                  | 3,66        | 15,64 | 14,64 |

Таблиця Б.6 – Коефіцієнт  $\alpha$ 

| $\zeta$ | Коефіцієнт $\alpha$ для фундаментів |                                                                |       |       |       |       |       |                                  |
|---------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|
|         | Круглі                              | прямокутних зі співвідношенням сторін $\eta = l/b$ ,<br>рівним |       |       |       |       |       | стрічкових<br>( $\eta \geq 10$ ) |
|         |                                     | 1,0                                                            | 1,4   | 1,8   | 2,4   | 3,2   | 5     |                                  |
| 1       | 2                                   | 3                                                              | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9                                |
| 0       | 1,000                               | 1,000                                                          | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000                            |
| 0,4     | 0,949                               | 0,960                                                          | 0,972 | 0,975 | 0,976 | 0,977 | 0,977 | 0,977                            |
| 0,8     | 0,756                               | 0,800                                                          | 0,848 | 0,866 | 0,876 | 0,879 | 0,881 | 0,881                            |
| 1,2     | 0,547                               | 0,606                                                          | 0,682 | 0,717 | 0,739 | 0,749 | 0,754 | 0,755                            |
| 1,6     | 0,390                               | 0,449                                                          | 0,532 | 0,578 | 0,612 | 0,629 | 0,639 | 0,642                            |
| 2,0     | 0,285                               | 0,336                                                          | 0,414 | 0,463 | 0,505 | 0,530 | 0,545 | 0,550                            |
| 2,4     | 0,214                               | 0,257                                                          | 0,325 | 0,374 | 0,419 | 0,449 | 0,470 | 0,477                            |
| 2,8     | 0,165                               | 0,201                                                          | 0,260 | 0,304 | 0,349 | 0,383 | 0,410 | 0,420                            |
| 3,2     | 0,130                               | 0,160                                                          | 0,210 | 0,251 | 0,294 | 0,329 | 0,360 | 0,374                            |
| 3,6     | 0,106                               | 0,131                                                          | 0,173 | 0,209 | 0,250 | 0,285 | 0,319 | 0,337                            |
| 4,0     | 0,087                               | 0,108                                                          | 0,145 | 0,176 | 0,214 | 0,248 | 0,285 | 0,306                            |
| 4,4     | 0,073                               | 0,091                                                          | 0,123 | 0,150 | 0,185 | 0,218 | 0,255 | 0,280                            |
| 4,8     | 0,062                               | 0,077                                                          | 0,105 | 0,130 | 0,161 | 0,192 | 0,230 | 0,258                            |
| 5,2     | 0,053                               | 0,067                                                          | 0,091 | 0,113 | 0,141 | 0,170 | 0,208 | 0,239                            |
| 5,6     | 0,046                               | 0,058                                                          | 0,079 | 0,099 | 0,124 | 0,152 | 0,189 | 0,223                            |
| 6,0     | 0,040                               | 0,051                                                          | 0,070 | 0,087 | 0,110 | 0,136 | 0,173 | 0,208                            |
| 6,4     | 0,036                               | 0,045                                                          | 0,062 | 0,077 | 0,099 | 0,122 | 0,158 | 0,196                            |
| 6,8     | 0,031                               | 0,040                                                          | 0,055 | 0,064 | 0,088 | 0,110 | 0,145 | 0,185                            |
| 7,2     | 0,028                               | 0,036                                                          | 0,049 | 0,062 | 0,080 | 0,100 | 0,133 | 0,175                            |
| 7,6     | 0,024                               | 0,032                                                          | 0,044 | 0,056 | 0,072 | 0,091 | 0,123 | 0,166                            |
| 8,0     | 0,022                               | 0,029                                                          | 0,040 | 0,051 | 0,066 | 0,084 | 0,113 | 0,158                            |
| 8,4     | 0,021                               | 0,026                                                          | 0,037 | 0,046 | 0,060 | 0,077 | 0,105 | 0,150                            |
| 8,8     | 0,019                               | 0,024                                                          | 0,033 | 0,042 | 0,055 | 0,071 | 0,098 | 0,143                            |
| 9,2     | 0,017                               | 0,022                                                          | 0,031 | 0,039 | 0,051 | 0,065 | 0,091 | 0,137                            |
| 9,6     | 0,016                               | 0,020                                                          | 0,028 | 0,036 | 0,047 | 0,060 | 0,085 | 0,132                            |
| 10,0    | 0,015                               | 0,019                                                          | 0,026 | 0,033 | 0,043 | 0,056 | 0,079 | 0,126                            |
| 10,4    | 0,014                               | 0,017                                                          | 0,024 | 0,031 | 0,040 | 0,052 | 0,074 | 0,122                            |
| 10,8    | 0,013                               | 0,016                                                          | 0,022 | 0,029 | 0,037 | 0,049 | 0,069 | 0,117                            |

Продовження таблиці Б.6

| 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 11,2 | 0,012 | 0,015 | 0,021 | 0,027 | 0,035 | 0,045 | 0,065 | 0,113 |
| 11,6 | 0,011 | 0,014 | 0,020 | 0,025 | 0,033 | 0,042 | 0,061 | 0,109 |
| 12,0 | 0,010 | 0,013 | 0,018 | 0,023 | 0,031 | 0,040 | 0,058 | 0,106 |

Примітка 1. У таблиці позначено:  $b$  – ширина або діаметр фундаменту,  $l$  – довжина фундаменту.

Примітка 2. Для фундаментів, що мають підшву у формі правильного багатокутника з площею  $A$ , значення  $\alpha$  приймаються як для круглих фундаментів радіусом

$$r = \sqrt{A / \pi}.$$

Примітка 3. Для проміжних значень  $\xi$  і  $\eta$  коефіцієнт  $\alpha$  визначається за інтерполяцією.

## ДОДАТОК В

### Дані для розрахунку пальових фундаментів

Таблиця В.1 – Значення розрахункових опорів під нижнім кінцем забивних паль і паль-оболонки, що занурюються без виймання ґрунту

| Глибина занурення<br>нижнього кінця<br>палі, м                                                                                              | Розрахункові опори під нижнім кінцем забивних паль і паль-оболонки,<br>що занурюються без виймання ґрунту R, кПа |               |       |                        |               |           |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|------------------------|---------------|-----------|-------|
|                                                                                                                                             | піщаних ґрунтів середньої щільності                                                                              |               |       |                        |               |           |       |
|                                                                                                                                             | гравелистих                                                                                                      | крупних       | –     | середньої<br>крупності | дрібних       | пилуватих | –     |
|                                                                                                                                             | глинистих ґрунтів за показника текучості I <sub>L</sub>                                                          |               |       |                        |               |           |       |
|                                                                                                                                             | 0                                                                                                                | 0,1           | 0,2   | 0,3                    | 0,4           | 0,5       | 0,6   |
| 3                                                                                                                                           | 7 500                                                                                                            | 6 600 / 4 000 | 3 000 | 3 100 / 2 000          | 2 000 / 1 200 | 1 100     | 600   |
| 4                                                                                                                                           | 8 300                                                                                                            | 6 800 / 5 100 | 3 800 | 3 200 / 2 500          | 2 100 / 1 600 | 1 250     | 700   |
| 5                                                                                                                                           | 8 800                                                                                                            | 7 000 / 6 200 | 4 000 | 3 400 / 2 800          | 2 200 / 2 000 | 1 300     | 800   |
|                                                                                                                                             |                                                                                                                  |               |       |                        |               |           |       |
| 7                                                                                                                                           | 9 700                                                                                                            | 7 300 / 6 900 | 4 300 | 3 700 / 3 300          | 2 400 / 2 200 | 1 400     | 850   |
| 10                                                                                                                                          | 10 500                                                                                                           | 7 700 / 7 300 | 5 000 | 4 000 / 3 500          | 2 600 / 2 400 | 1 500     | 900   |
| 15                                                                                                                                          | 11 700                                                                                                           | 8 200 / 7 500 | 5 600 | 4 400 / 4 000          | 2 900         | 1 650     | 100   |
| 20                                                                                                                                          | 12 600                                                                                                           | 8 500         | 6 200 | 4 800 / 4 500          | 3 200         | 1 800     | 1 100 |
| 25                                                                                                                                          | 13 400                                                                                                           | 9 000         | 6 800 | 5 200                  | 3 500         | 1 950     | 1 200 |
| 30                                                                                                                                          | 14 200                                                                                                           | 9 500         | 7 400 | 5 600                  | 3 800         | 2 100     | 1 300 |
| 35                                                                                                                                          | 15 000                                                                                                           | 10 000        | 8 000 | 6 000                  | 4 100         | 2 250     | 1 400 |
| Примітка 1. Перед ризкою дані значення R для пісків, після ризки – для глинистих ґрунтів.                                                   |                                                                                                                  |               |       |                        |               |           |       |
| Примітка 2. Для проміжних значень глибини занурення палі та проміжних значень показника I <sub>L</sub> значення R визначають інтерполяцією. |                                                                                                                  |               |       |                        |               |           |       |

Таблиця В.2 – Значення розрахункових опорів по бічній поверхні забивних паль і паль-оболонки

| Середня глибина розташування шару ґрунту, м                                                                                                                                    | Розрахункові опори по бічній поверхні забивних паль і паль-оболонки $f$ , кПа |                                             |                                               |                                            |     |     |     |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                                                                                                                                                | піщаних крупних і середньої крупності і глинистих, якщо $I_L = 0,2$           | піщаних дрібних глинистих, якщо $I_L = 0,3$ | піщаних піщаних і глинистих, якщо $I_L = 0,4$ | глинистих у разі показника текучості $I_L$ |     |     |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                |                                                                               |                                             |                                               | 0,5                                        | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 1                                                                                                                                                                              | 35                                                                            | 23                                          | 15                                            | 12                                         | 8   | 4   | 4   | 3   | 2   |
| 2                                                                                                                                                                              | 42                                                                            | 30                                          | 21                                            | 17                                         | 12  | 7   | 5   | 4   | 4   |
| 3                                                                                                                                                                              | 48                                                                            | 35                                          | 25                                            | 20                                         | 14  | 8   | 7   | 6   | 5   |
| 4                                                                                                                                                                              | 53                                                                            | 38                                          | 27                                            | 22                                         | 16  | 9   | 8   | 7   | 5   |
| 5                                                                                                                                                                              | 56                                                                            | 40                                          | 29                                            | 24                                         | 17  | 10  | 8   | 7   | 6   |
| 6                                                                                                                                                                              | 58                                                                            | 42                                          | 31                                            | 25                                         | 18  | 10  | 8   | 7   | 6   |
| 8                                                                                                                                                                              | 62                                                                            | 44                                          | 33                                            | 26                                         | 19  | 10  | 8   | 7   | 6   |
| 10                                                                                                                                                                             | 65                                                                            | 46                                          | 34                                            | 27                                         | 19  | 10  | 8   | 7   | 6   |
| 15                                                                                                                                                                             | 72                                                                            | 51                                          | 38                                            | 28                                         | 20  | 11  | 8   | 7   | 6   |
| 20                                                                                                                                                                             | 79                                                                            | 56                                          | 41                                            | 30                                         | 20  | 12  | 8   | 7   | 6   |
| 25                                                                                                                                                                             | 86                                                                            | 61                                          | 44                                            | 32                                         | 20  | 12  | 8   | 7   | 6   |
| 30                                                                                                                                                                             | 93                                                                            | 66                                          | 47                                            | 34                                         | 21  | 12  | 9   | 8   | 7   |
| 35                                                                                                                                                                             | 100                                                                           | 70                                          | 50                                            | 36                                         | 22  | 13  | 9   | 8   | 7   |
| Примітка 1. У разі визначення значення $f$ шару ґрунтів необхідно розділяти на однорідні шари товщиною не більше ніж 2 м.                                                      |                                                                               |                                             |                                               |                                            |     |     |     |     |     |
| Примітка 2. Таблиця складена для піщаних ґрунтів середньої щільності.                                                                                                          |                                                                               |                                             |                                               |                                            |     |     |     |     |     |
| Примітка 3. Значення розрахункового опору щільних піщаних ґрунтів по боковій поверхні паль $f$ потрібно збільшувати на 30 % порівняно зі значеннями, наведеними в цій таблиці. |                                                                               |                                             |                                               |                                            |     |     |     |     |     |

Таблиця В.3 – Коефіцієнти умов роботи

| Способи занурення забивних паль і паль-оболонки, що занурюються без виймання ґрунту, і види ґрунтів                                                                         | Коефіцієнти умов роботи ґрунту під час розрахунків несучої спроможності паль |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                                                                             | під нижнім кінцем $\gamma_{cr}$                                              | на бічній поверхні $\gamma_{cf}$ |
| 1                                                                                                                                                                           | 2                                                                            | 3                                |
| 1. Занурення суцільних і порожнистих із закритим нижнім кінцем паль механічними (підвісними), пароповітряними і дизельними молотами.                                        | 1,0                                                                          | 1,0                              |
| 2. Занурення забиванням та вдавлюванням у попередньо пробурений лідерний свердловині з заглибленням кінців паль не менше за 1 м нижче вибою свердловини у разі її діаметра: |                                                                              |                                  |
| – рівного стороні квадратної палі;                                                                                                                                          | 1,0                                                                          | 0,5                              |
| – на 0,05 м менше сторони квадратної палі;                                                                                                                                  | 1,0                                                                          | 0,6                              |
| – на 0,15 м менше сторони квадратної або діаметра палі круглого перетину (для опор ліній електропередачі).                                                                  | 1,0                                                                          | 1,0                              |
| 3. Занурення з підмивом у піщані ґрунти за умови добивки паль на останньому етапі занурення без застосування підмиву на 1 м і більше.                                       | 1,0                                                                          | 0,9                              |
| 4. Віброзанурення паль-оболонки, віброзанурення і вібровдавлювання паль у ґрунти:                                                                                           |                                                                              |                                  |
| – піщані середньої щільності: крупні та середньої крупності, дрібні, пилуваті;                                                                                              |                                                                              |                                  |
| – пилувато-глинисті з показником текучості $I_L = 0,5$ : супіски, суглинки, глини;                                                                                          |                                                                              |                                  |
| – пилувато-глинисті з показником текучості $I_L \leq 0$ .                                                                                                                   | 1,0                                                                          | 1,0                              |
| 5. Занурення молотами будь-якої конструкції порожнистих залізобетонних паль із відкритим нижнім кінцем:                                                                     |                                                                              |                                  |
| – із діаметром порожнини палі 0,4 м і менше;                                                                                                                                | 1,0                                                                          | 1,0                              |
| – те саме, від 0,4 до 0,8 м.                                                                                                                                                | 0,7                                                                          | 1,0                              |

Продовження таблиці В3

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2   | 3   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 6. Занурення будь-яким способом порожнистих паль круглого перетину з закритим нижнім кінцем на глибину 10 м і більше подальшим влаштуванням у нижньому кінці паль камуфлетного розширення в піщаних ґрунтах середньої щільності і в пілувато-глинистих ґрунтах із показником текучості $I_L \leq 0,5$ та діаметром уширення, що дорівнює: |     |     |
| – 1,0 м незалежно від зазначених видів ґрунту;                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0,9 | 1,0 |
| – 1,5 м у пісках та супісках;                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0,8 | 1,0 |
| – 1,5 м в суглинках та глинах.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0,7 | 1,0 |
| 7. Занурення вдавненням паль:                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |     |
| – у піски середньої щільності великі, середньої крупності і дрібні;                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1,1 | 1,0 |
| – у піски пілуваті;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1,1 | 0,8 |
| – у пілувато-глинисті ґрунти з показником текучості $I_L < 0,5$ ,                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1,1 | 1,0 |
| – те саме, якщо $I_L > 0,5$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1,0 | 1,0 |
| Примітка. Коефіцієнти $\gamma_{cr}$ і $\gamma_{cf}$ за позицією 4 таблиці В.3 для пілувато-глинистих ґрунтів із показником текучості $0,5 > I_L > 0$ визначаються за інтерполяцією.                                                                                                                                                       |     |     |

## ДОДАТОК Г

### Площі поперечних перерізів і маса арматури

Таблиця Г.1 – Розрахункові площі поперечних перерізів і маси арматури

| Діаметр,<br>мм | Розрахункові площі поперечного перерізу, см <sup>2</sup> , із кількістю стрижнів |      |      |       |       |       |       |       |       |       | Маса,<br>кг/м |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|                | 1                                                                                | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |               |
| 1              | 2                                                                                | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12            |
| 3              | 0,071                                                                            | 0,14 | 0,21 | 0,28  | 0,35  | 0,42  | 0,49  | 0,57  | 0,64  | 0,71  | 0,055         |
| 4              | 0,126                                                                            | 0,25 | 0,38 | 0,50  | 0,63  | 0,76  | 0,88  | 1,01  | 1,13  | 1,26  | 0,098         |
| 5              | 0,196                                                                            | 0,39 | 0,59 | 0,79  | 0,98  | 1,18  | 1,37  | 1,57  | 1,77  | 1,96  | 0,154         |
| 6              | 0,283                                                                            | 0,57 | 0,85 | 1,13  | 1,42  | 1,70  | 1,98  | 2,26  | 2,55  | 2,83  | 0,222         |
| 7              | 0,385                                                                            | 0,77 | 1,15 | 1,54  | 1,92  | 2,31  | 2,69  | 3,08  | 3,46  | 3,85  | 0,302         |
| 8              | 0,503                                                                            | 1,01 | 1,51 | 2,01  | 2,51  | 3,02  | 3,52  | 4,02  | 4,53  | 5,03  | 0,395         |
| 9              | 0,636                                                                            | 1,27 | 1,91 | 2,54  | 3,18  | 3,82  | 4,45  | 5,09  | 5,72  | 6,36  | 0,499         |
| 10             | 0,785                                                                            | 1,57 | 2,36 | 3,14  | 3,93  | 4,71  | 5,5   | 6,28  | 7,07  | 7,85  | 0,617         |
| 12             | 1,131                                                                            | 2,26 | 3,39 | 4,52  | 5,65  | 6,79  | 7,92  | 9,05  | 10,18 | 11,31 | 0,888         |
| 14             | 1,539                                                                            | 3,08 | 4,62 | 6,16  | 7,69  | 9,23  | 10,77 | 12,31 | 13,85 | 15,39 | 1,208         |
| 16             | 2,011                                                                            | 4,02 | 6,03 | 8,04  | 10,05 | 12,06 | 14,07 | 16,08 | 18,10 | 20,11 | 1,578         |
| 18             | 2,545                                                                            | 5,09 | 7,63 | 10,18 | 12,72 | 15,27 | 17,81 | 20,36 | 22,90 | 25,45 | 1,998         |
| 20             | 3,142                                                                            | 6,28 | 9,41 | 12,56 | 15,71 | 18,85 | 21,99 | 25,14 | 28,28 | 31,42 | 2,466         |

Продовження таблиці Г.1

| 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9      | 10     | 11     | 12    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 22 | 3,801 | 7,6   | 11,4  | 15,20 | 19,00 | 22,81 | 26,61 | 30,41  | 34,21  | 38,01  | 2,984 |
| 25 | 4,909 | 9,82  | 14,73 | 19,63 | 24,54 | 29,45 | 34,36 | 39,27  | 44,13  | 49,09  | 3,853 |
| 28 | 6,158 | 12,32 | 18,47 | 24,63 | 30,79 | 36,95 | 43,1  | 49,26  | 55,42  | 61,58  | 4,834 |
| 32 | 8,042 | 16,08 | 24,13 | 32,17 | 40,21 | 48,25 | 56,30 | 64,34  | 72,38  | 80,42  | 6,313 |
| 36 | 10,18 | 20,36 | 30,54 | 40,72 | 50,9  | 61,08 | 71,26 | 81,44  | 91,62  | 101,80 | 7,99  |
| 40 | 12,56 | 25,12 | 37,68 | 50,24 | 62,8  | 75,36 | 87,92 | 100,48 | 113,04 | 125,60 | 9,87  |

## ДОДАТОК Д

### Властивості просідаючих ґрунтів

Таблиця Д.1 – Варіанти властивостей просідаючих ґрунтів

| Варіанти                     |     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\rho, \text{т/м}^2$         |     | 1,6   | 1,56  | 1,68  | 1,72  | 1,54  | 1,62  | 1,74  | 1,64  | 1,67  | 1,7   |
| $\rho_s, \text{т/м}^2$       |     | 2,69  | 2,72  | 2,7   | 2,73  | 2,69  | 2,71  | 2,73  | 2,7   | 2,71  | 2,72  |
| $w$                          |     | 0,14  | 0,12  | 0,16  | 0,15  | 0,1   | 0,11  | 0,18  | 0,17  | 0,16  | 0,18  |
| $w_L$                        |     | 0,24  | 0,22  | 0,25  | 0,35  | 0,3   | 0,22  | 0,35  | 0,31  | 0,3   | 0,41  |
| $w_p$                        |     | 0,1   | 0,16  | 0,20  | 0,19  | 0,21  | 0,16  | 0,23  | 0,21  | 0,14  | 0,26  |
| $\varphi, \text{град}$       |     | 27    | 26    | 25    | 21    | 24    | 28    | 20    | 22    | 23    | 19    |
| $c, \text{КПа}$              |     | 28    | 24    | 10    | 25    | 12    | 8     | 16    | 26    | 18    | 20    |
| $E, \text{МПа}$              |     | 24    | 25    | 22    | 20    | 26    | 23    | 19    | 18    | 17    | 21    |
| $\varepsilon_{sl}$           | МП  | 0,044 | 0,042 | 0,041 | 0,04  | 0,041 | 0,048 | 0,038 | 0,041 | 0,029 | 0,032 |
|                              | а   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              | 0,1 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              | 0,2 | 0,088 | 0,084 | 0,079 | 0,073 | 0,072 | 0,084 | 0,068 | 0,068 | 0,049 | 0,064 |
|                              |     | 0,3   | 0,098 | 0,096 | 0,090 | 0,082 | 0,092 | 0,098 | 0,075 | 0,077 | 0,066 |
| $\varphi_{sat}, \text{град}$ |     | 25    | 23    | 22    | 19    | 21    | 24    | 17    | 20    | 21    | 16    |
| $c_{sat}, \text{КПа}$        |     | 6     | 8     | 3     | 5     | 4     | 3     | 6     | 7     | 8     | 5     |
| $E_{sat}, \text{МПа}$        |     | 7     | 8     | 7     | 6     | 8     | 5     | 4     | 3     | 3     | 4     |

## ДОДАТОК Е

### Варіанти будівельних майданчиків

Таблиця Е.1 – Будівельний майданчик 1

Геологічна будова та гідрогеологічні умови будівельного майданчика

| Номер шару | Ґрунт                           | Номер свердловини та потужність шару, м |     |     |     |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|
|            |                                 | 1                                       | 2   | 3   | 4   |
| 1          | Рослинний шар                   | 0,4                                     | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 2          | Просідаючий ґрунт               | 5,3                                     | 5,2 | 5,0 | 5,1 |
| 3          | Пісок дрібний                   | 3,4                                     | 3,5 | 3,6 | 3,5 |
| 4          | Суглинок                        | 3,8                                     | 3,9 | 3,9 | 4,0 |
| 5          | Глина                           | 8,7                                     | 8,9 | 8,8 | 8,7 |
|            | Глибина залягання підземних вод | 9,2                                     | 9,1 | 9,4 | 9,3 |
|            | Відмітка свердловини, м         |                                         |     |     |     |

### Характеристики властивостей ґрунтів

| Найменування                                 | Умов. позн.         | Один. виміру     | Номер шару |   |      |      |      |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------|------------|---|------|------|------|
|                                              |                     |                  | 1          | 2 | 3    | 4    | 5    |
| Щільність                                    | $\rho_{II}$         | т/м <sup>3</sup> | 1,38       |   | 2,00 | 2,10 | 2,06 |
| Щільність часток                             | $\rho_s$            | т/м <sup>3</sup> |            |   | 2,66 | 2,65 | 2,70 |
| Природна вологість                           | W                   |                  |            |   | 0,24 | 0,18 | 0,22 |
| Вологість на межі текучості                  | w <sub>L</sub>      |                  |            |   |      | 0,26 | 0,40 |
| Вологість на межі розкочування               | w <sub>p</sub>      |                  |            |   |      | 0,17 | 0,20 |
| Кут внутрішнього тертя                       | $\varphi_{II}$      | град.            |            |   | 31   | 21   | 15   |
| Питоме зчеплення                             | c <sub>II</sub>     | кПа              |            |   | 1    | 20   | 80   |
| Модуль деформації                            | E                   | МПа              |            |   | 28   | 21   | 50   |
| Відносна просадочність у разі тиску p, МПа   | $\varepsilon_{sl}$  | p = 0,1          |            |   |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,2          |            |   |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,3          |            |   |      |      |      |
| Кут внутрішнього тертя водонасиченого ґрунту | $\varphi_{II,sat}$  | Град.            |            |   |      |      |      |
| Питоме зчеплення водонасиченого ґрунту       | c <sub>II,sat</sub> | кПа              |            |   |      |      |      |
| Модуль деформації водонасиченого ґрунту      | E <sub>sat</sub>    | МПа              |            |   |      |      |      |

Таблиця Е.2 – Будівельний майданчик 2

Геологічна будова та гідрогеологічні умови будівельного майданчика

| Номер Шару | Ґрунт                           | Номер свердловини та потужність шару, м |     |     |     |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|
|            |                                 | 1                                       | 2   | 3   | 4   |
| 1          | Рослинний шар                   | 0,3                                     | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 2          | Просідаючий ґрунт               | 4,8                                     | 4,6 | 4,9 | 4,8 |
| 3          | Пісок середньої крупності       | 3,4                                     | 3,6 | 3,5 | 3,3 |
| 4          | Супісок                         | 3,5                                     | 3,6 | 3,7 | 3,6 |
| 5          | Глина                           | 8,7                                     | 8,9 | 8,8 | 8,7 |
|            | Глибина залягання підземних вод | 8,2                                     | 8,0 | 8,3 | 8,1 |
|            | Відмітка свердловини, м         |                                         |     |     |     |

## Характеристики властивостей ґрунтів

| Найменування                                 | Умов. позн.         | Один. виміру     | Номер шару |   |      |      |      |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------|------------|---|------|------|------|
|                                              |                     |                  | 1          | 2 | 3    | 4    | 5    |
| Щільність                                    | $\rho_{II}$         | т/м <sup>3</sup> | 1,39       |   | 2,01 | 1,98 | 2,06 |
| Щільність часток                             | $\rho_s$            | т/м <sup>3</sup> |            |   | 2,68 | 2,69 | 2,70 |
| Природна вологість                           | W                   |                  |            |   | 0,24 | 0,26 | 0,22 |
| Вологість на межі текучості                  | w <sub>L</sub>      |                  |            |   |      | 0,28 | 0,40 |
| Вологість на межі розкочування               | w <sub>p</sub>      |                  |            |   |      | 0,22 | 0,20 |
| Кут внутрішнього тертя                       | $\varphi_{II}$      | град.            |            |   | 33   | 20   | 15   |
| Питоме зчеплення                             | c <sub>II</sub>     | кПа              |            |   | 1    | 12   | 80   |
| Модуль деформації                            | E                   | мПа              |            |   | 30   | 15   | 50   |
| Відносна просадочність у разі тиску p, МПа   | $\varepsilon_{sl}$  | p = 0,1          |            |   |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,2          |            |   |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,3          |            |   |      |      |      |
| Кут внутрішнього тертя водонасиченого ґрунту | $\varphi_{II,sat}$  | Град             |            |   |      |      |      |
| Питоме зчеплення водонасиченого ґрунту       | c <sub>II,sat</sub> | кПа              |            |   |      |      |      |
| Модуль деформації водонасиченого ґрунту      | E <sub>sat</sub>    | МПа              |            |   |      |      |      |

Таблиця Е.3 – Будівельний майданчик 3

Геологічна будова та гідрогеологічні умови будівельного майданчика

| Номер шару | Ґрунт                           | Номер свердловини та потужність шару, м |     |     |     |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|
|            |                                 | 1                                       | 2   | 3   | 4   |
| 1          | Рослинний шар                   | 0,3                                     | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 2          | Просідаючий ґрунт               | 5,1                                     | 4,9 | 4,8 | 5,0 |
| 3          | Пісок середньої крупності       | 3,8                                     | 3,9 | 3,7 | 3,5 |
| 4          | Суглинок                        | 3,1                                     | 3,2 | 3,0 | 3,1 |
| 5          | Глина                           | 8,8                                     | 8,9 | 8,7 | 8,8 |
|            | Глибина залягання підземних вод | 8,2                                     | 8,0 | 8,3 | 8,1 |
|            | Відмітка свердловини, м         |                                         |     |     |     |

## Характеристики властивостей ґрунтів

| Найменування                                 | Умов. позн.         | Один. виміру     | Номер шару |   |      |      |      |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------|------------|---|------|------|------|
|                                              |                     |                  | 1          | 2 | 3    | 4    | 5    |
| Щільність                                    | $\rho_{II}$         | т/м <sup>3</sup> | 1,36       |   | 2,01 | 2,02 | 2,06 |
| Щільність часток                             | $\rho_s$            | т/м <sup>3</sup> |            |   | 2,68 | 2,75 | 2,70 |
| Природна вологість                           | W                   |                  |            |   | 0,24 | 0,25 | 0,22 |
| Вологість на межі текучості                  | w <sub>L</sub>      |                  |            |   |      | 0,34 | 0,40 |
| Вологість на межі розкочування               | w <sub>p</sub>      |                  |            |   |      | 0,2  | 0,20 |
| Кут внутрішнього тертя                       | $\varphi_{II}$      | Град             |            |   | 33   | 18   | 15   |
| Питоме зчеплення                             | c <sub>II</sub>     | кПа              |            |   | 1    | 11   | 80   |
| Модуль деформації                            | E                   | мПа              |            |   | 30   | 17   | 50   |
| Відносна просадочність у разі тиску p, МПа   | $\varepsilon_{sl}$  | p = 0,1          |            |   |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,2          |            |   |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,3          |            |   |      |      |      |
| Кут внутрішнього тертя водонасиченого ґрунту | $\varphi_{II,sat}$  | Град             |            |   |      |      |      |
| Питоме зчеплення водонасиченого ґрунту       | c <sub>II,sat</sub> | кПа              |            |   |      |      |      |
| Модуль деформації водонасиченого ґрунту      | E <sub>sat</sub>    | МПа              |            |   |      |      |      |

Таблиця Е.4 – Будівельний майданчик 4

Геологічна будова та гідрогеологічні умови будівельного майданчика

| Номер шару | Ґрунт                           | Номер свердловини та потужність шару, м |     |     |     |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----|-----|-----|
|            |                                 | 1                                       | 2   | 3   | 4   |
| 1          | Просідаючий ґрунт               | 5,1                                     | 4,9 | 4,8 | 5,0 |
| 2          | Пісок дрібний                   | 3,8                                     | 3,9 | 3,7 | 3,5 |
| 3          | Супісок                         | 4,2                                     | 4,3 | 4,2 | 4,4 |
| 4          | Суглинок                        | 2,9                                     | 2,7 | 2,8 | 2,9 |
| 5          | Глина                           | 8,8                                     | 8,9 | 8,7 | 8,8 |
|            | Глибина залягання підземних вод | 8,2                                     | 8,0 | 8,3 | 8,1 |
|            | Відмітка свердловини, м         |                                         |     |     |     |

## Характеристики властивостей ґрунтів

| Найменування                                 | Умов. позн.         | Один. виміру     | Номер шару |      |      |      |      |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------|------------|------|------|------|------|
|                                              |                     |                  | 1          | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Щільність                                    | $\rho_{II}$         | т/м <sup>3</sup> |            | 2,00 | 1,98 | 2,02 | 2,06 |
| Щільність часток                             | $\rho_s$            | т/м <sup>3</sup> |            | 2,66 | 2,69 | 2,75 | 2,70 |
| Природна вологість                           | W                   |                  |            | 0,24 | 0,26 | 0,25 | 0,22 |
| Вологість на межі текучості                  | w <sub>L</sub>      |                  |            |      | 0,28 | 0,34 | 0,40 |
| Вологість на межі розкочування               | w <sub>p</sub>      |                  |            |      | 0,22 | 0,2  | 0,20 |
| Кут внутрішнього тертя                       | $\varphi_{II}$      | град.            |            | 31   | 20   | 18   | 15   |
| Питоме зчеплення                             | c <sub>II</sub>     | кПа              |            | 1    | 12   | 11   | 80   |
| Модуль деформації                            | E                   | МПа              |            | 28   | 15   | 17   | 50   |
| Відносна просадочність у разі тиску p, МПа   | $\varepsilon_{sl}$  | p = 0,1          |            |      |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,2          |            |      |      |      |      |
|                                              |                     | p = 0,3          |            |      |      |      |      |
| Кут внутрішнього тертя водонасиченого ґрунту | $\varphi_{II,sat}$  | Град             |            |      |      |      |      |
| Питоме зчеплення водонасиченого ґрунту       | c <sub>II,sat</sub> | кПа              |            |      |      |      |      |
| Модуль деформації водонасиченого ґрунту      | E <sub>sat</sub>    | МПа              |            |      |      |      |      |

## ДОДАТОК Ж

### Навантаження на залізобетонні колони

Таблиця Ж.1 – Варіанти навантажень на залізобетонні колони крайніх рядів одноповерхових промислових будівель

| Варіант | Перетин<br>колони<br>$l_c \times b_c$ , мм | Сполучення |        |       |        |
|---------|--------------------------------------------|------------|--------|-------|--------|
|         |                                            | I          |        | II    |        |
|         |                                            | N, МН      | M, МНм | N, МН | M, МНм |
| 0       | 600 × 400                                  | 1,0        | 0,1    | 0,8   | 0,3    |
| 1       | 600 × 400                                  | 1,1        | 0,1    | 0,85  | 0,3    |
| 2       | 600 × 400                                  | 1,2        | 0,11   | 0,9   | 0,31   |
| 3       | 600 × 400                                  | 1,3        | 0,12   | 0,95  | 0,32   |
| 4       | 600 × 500                                  | 1,4        | 0,13   | 1,0   | 0,33   |
| 5       | 600 × 500                                  | 1,5        | 0,14   | 1,05  | 0,34   |
| 6       | 700 × 400                                  | 1,6        | 0,15   | 1,1   | 0,35   |
| 7       | 700 × 400                                  | 1,7        | 0,16   | 1,14  | 0,36   |
| 8       | 700 × 400                                  | 1,8        | 0,17   | 1,2   | 0,37   |
| 9       | 700 × 500                                  | 1,9        | 0,18   | 1,26  | 0,4    |
| 10      | 700 × 500                                  | 2,0        | 0,19   | 1,3   | 0,41   |
| 11      | 700 × 500                                  | 2,1        | 0,2    | 1,34  | 0,42   |
| 12      | 800 × 500                                  | 2,2        | 0,21   | 1,4   | 0,45   |
| 13      | 800 × 500                                  | 2,3        | 0,22   | 1,45  | 0,46   |
| 14      | 800 × 500                                  | 2,4        | 0,23   | 1,5   | 0,47   |
| 15      | 1 000 × 400                                | 1,9        | 0,3    | 1,15  | 0,48   |
| 16      | 1 000 × 400                                | 2,0        | 0,31   | 1,2   | 0,49   |
| 17      | 1 000 × 400                                | 2,1        | 0,32   | 1,25  | 0,5    |
| 18      | 1 000 × 500                                | 2,2        | 0,33   | 1,3   | 0,51   |
| 19      | 1 000 × 500                                | 2,3        | 0,34   | 1,35  | 0,52   |
| 20      | 1 000 × 500                                | 2,4        | 0,35   | 1,4   | 0,53   |
| 21      | 1 300 × 500                                | 2,5        | 0,36   | 1,45  | 0,54   |
| 22      | 1 300 × 500                                | 2,6        | 0,37   | 1,5   | 0,55   |
| 23      | 1 300 × 500                                | 2,7        | 0,38   | 1,55  | 0,56   |
| 24      | 1 400 × 500                                | 2,8        | 0,39   | 1,6   | 0,57   |
| 25      | 1 400 × 500                                | 2,9        | 0,4    | 1,65  | 0,58   |
| 26      | 1 400 × 500                                | 3,0        | 0,41   | 1,7   | 0,6    |
| 27      | 1 400 × 600                                | 3,2        | 0,42   | 1,8   | 0,65   |
| 28      | 1 400 × 600                                | 3,4        | 0,43   | 1,9   | 0,7    |
| 29      | 1 400 × 600                                | 3,6        | 0,44   | 2,0   | 0,78   |

Таблиця Ж.2 – Варіанти навантажень на залізобетонні колони середніх рядів одноповерхових промислових будівель

| Варіант | Перетин колони<br>$l_c \times b_c$ ,<br>мм | Сполучення |        |       |        |
|---------|--------------------------------------------|------------|--------|-------|--------|
|         |                                            | I          |        | II    |        |
|         |                                            | N, МН      | M, МНм | N, МН | M, МНм |
| 0       | 600 × 400                                  | 1,9        | 0,24   | 1,1   | 0,43   |
| 1       | 600 × 400                                  | 2,0        | 0,25   | 1,15  | 0,42   |
| 2       | 600 × 400                                  | 2,1        | 0,26   | 1,2   | 0,41   |
| 3       | 600 × 500                                  | 2,2        | 0,27   | 1,25  | 0,48   |
| 4       | 600 × 500                                  | 2,3        | 0,28   | 1,3   | 0,47   |
| 5       | 600 × 500                                  | 2,4        | 0,29   | 1,35  | 0,46   |
| 6       | 700 × 400                                  | 2,5        | 0,3    | 1,4   | 0,54   |
| 7       | 700 × 400                                  | 2,6        | 0,31   | 1,45  | 0,53   |
| 8       | 700 × 400                                  | 2,7        | 0,32   | 1,5   | 0,52   |
| 9       | 700 × 500                                  | 2,8        | 0,33   | 1,55  | 0,69   |
| 10      | 700 × 500                                  | 2,9        | 0,34   | 1,6   | 0,58   |
| 11      | 700 × 500                                  | 3,0        | 0,35   | 1,65  | 0,57   |
| 12      | 800 × 500                                  | 3,1        | 0,36   | 1,7   | 0,65   |
| 13      | 800 × 500                                  | 3,2        | 0,37   | 1,75  | 0,64   |
| 14      | 800 × 500                                  | 3,3        | 0,38   | 1,8   | 0,63   |
| 15      | 1 400 × 500                                | 3,4        | 0,51   | 2,3   | 1,06   |
| 16      | 1 400 × 500                                | 3,5        | 0,52   | 2,4   | 1,04   |
| 17      | 1 400 × 400                                | 3,6        | 0,53   | 2,5   | 1,02   |
| 18      | 1 400 × 600                                | 3,7        | 0,55   | 2,55  | 1,12   |
| 19      | 1 400 × 600                                | 3,8        | 0,56   | 2,6   | 1,1    |
| 20      | 1 400 × 500                                | 3,9        | 0,57   | 2,65  | 1,08   |
| 21      | 1 300 × 600                                | 4,0        | 0,58   | 2,7   | 1,17   |
| 22      | 1 300 × 600                                | 4,1        | 0,59   | 2,75  | 1,15   |
| 23      | 1 300 × 600                                | 4,2        | 0,6    | 2,8   | 1,13   |
| 24      | 1 900 × 600                                | 4,3        | 0,63   | 2,85  | 1,25   |
| 25      | 1 900 × 600                                | 4,4        | 0,64   | 2,9   | 1,24   |
| 26      | 1 900 × 600                                | 4,5        | 0,65   | 2,95  | 1,23   |
| 27      | 1 900 × 600                                | 4,6        | 0,66   | 3,0   | 1,3    |
| 28      | 1 900 × 600                                | 4,7        | 0,67   | 3,05  | 1,28   |
| 29      | 1 900 × 600                                | 4,8        | 0,68   | 3,1   | 1,26   |

## ДОДАТОК К

### Відмітки гирла свердловин

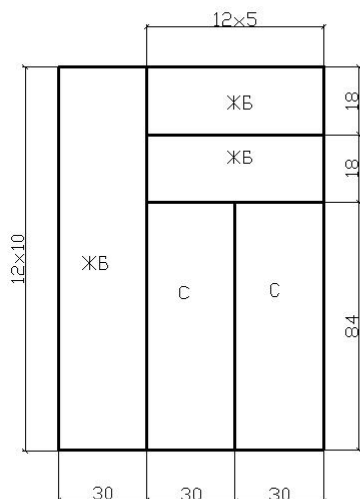
Таблиця К.1 – Варіанти відміток гирла свердловин

| Варіант | Свердловина |        |        |        | Варіант | Свердловина |        |        |        |
|---------|-------------|--------|--------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|
|         | 1           | 2      | 3      | 4      |         | 1           | 2      | 3      | 4      |
| 0       | 100,0       | 99,75  | 99,50  | 99,25  | 15      | 175,0       | 175,75 | 176,5  | 175,75 |
| 1       | 105,0       | 105,25 | 105,50 | 105,75 | 16      | 180,0       | 180,0  | 179,25 | 180,75 |
| 2       | 110,0       | 110,75 | 110,75 | 110,0  | 17      | 185,0       | 184,25 | 183,5  | 184,25 |
| 3       | 115,0       | 114,25 | 114,25 | 115,0  | 18      | 190,0       | 190,75 | 190,0  | 190,75 |
| 4       | 120,0       | 120,5  | 120,0  | 119,5  | 19      | 195,0       | 194,25 | 195,0  | 194,25 |
| 5       | 125,0       | 125,5  | 126,0  | 125,5  | 20      | 200,0       | 199,55 | 199,1  | 198,65 |
| 6       | 130,0       | 129,5  | 130,0  | 130,0  | 21      | 205,0       | 205,45 | 205,9  | 206,35 |
| 7       | 135,0       | 134,5  | 134,0  | 134,5  | 22      | 210,0       | 211,05 | 211,05 | 210,0  |
| 8       | 140,0       | 140,5  | 140,0  | 140,5  | 23      | 215,0       | 213,95 | 213,95 | 215,0  |
| 9       | 145,0       | 144,5  | 145,0  | 144,5  | 24      | 220,0       | 221,0  | 220,0  | 219,0  |
| 10      | 150,0       | 149,65 | 149,30 | 148,95 | 25      | 225,0       | 226,0  | 227,0  | 226,0  |
| 11      | 155,0       | 155,35 | 155,7  | 156,05 | 26      | 230,0       | 229,0  | 230,0  | 231,0  |
| 12      | 160,0       | 160,95 | 160,95 | 160,0  | 27      | 235,0       | 234,0  | 233,0  | 234,0  |
| 13      | 165,0       | 164,05 | 164,95 | 165,0  | 28      | 240,0       | 241,0  | 240,0  | 241,0  |
| 14      | 170,0       | 170,75 | 170,0  | 169,25 | 29      | 245,0       | 244,0  | 245,0  | 244,0  |

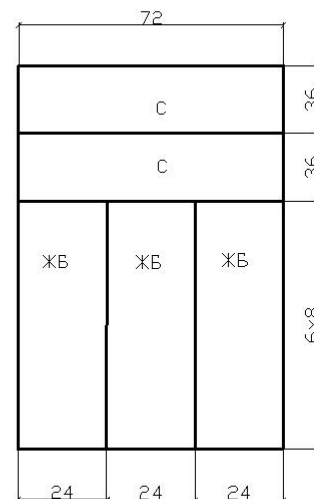
## ДОДАТОК Л

### Одноповерхові промислові будівлі

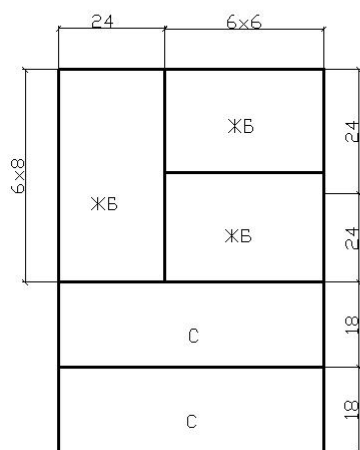
1. Ковальський корпус



2. Пресовий корпус



3. Інструментальний корпус



4. Штампувальний корпус

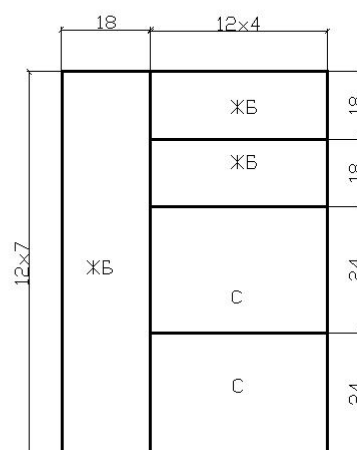


Рисунок К.1 – Варіанти планів одноповерхових промислових будівель

*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації  
до виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт  
із навчальної дисципліни

**«БУДІВНИЦТВО У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ  
УМОВАХ»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм  
навчання зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Укладачі: **ХРАПАТОВА** Ірина Вікторівна,  
**СТРІЖЕЛЬЧИК** Геннадій Георгійович,  
**БОНДАРЕНКО** Олександр Іванович,  
**КРОТОВ** Олег Вікторович

Відповідальний за випуск *І. В. Храпатова*  
Редактор *Б. О. Хільська*  
Комп'ютерне верстання *І. В. Храпатова, І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 9М

---

Підп. до друку 04.06.2026. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 4,3.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 8386 від 14.07.2025