

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
з дисципліни «Ґрунтознавство та механіка ґрунтів»
для студентів за напрямом підготовки 6.0601 «Будівництво»
професійного спрямування «Автомобільні дороги та аеродроми»

2017

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

До друку і в світ дозволяю:
Проректор

Гладкий І.П.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

з дисципліни «Ґрунтознавство та механіка ґрунтів»
для студентів за напрямом підготовки 6.0601 «Будівництво»
професійного спрямування «Автомобільні дороги та аеродроми»

Усі цитати, цифровий,
фактичний матеріал,
бібліографічні
відомості перевірені,
напис одиниць
відповідає стандартам.

Затверджено методичною
радою університету
протокол № _____
від _____ р.

Харків
ХНАДУ
2017

Навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

з дисципліни «Ґрунтознавство та механіка ґрунтів»
для студентів за напрямом підготовки 6.0601 «Будівництво»
професійного спрямування «Автомобільні дороги та аеродроми»

Упорядники: СМОЛЯНЮК Роман Володимирович

Відповідальний за випуск Жданюк В.К.
В авторській редакції

Комп'ютерна верстка **М.В. Дурова**

План 20**12**, поз.

Підп. до друку Формат 60 x 84 1 / 16 Папір газетний.
Гарнітура Times New Roman Cyr. Віддруковано на різнографі.

Ум. друк. арк. Облік.- вид. арк.

Заказ № Тираж прим. Ціна договірна

ВИДАВНИЦТВО

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Видавництво ХНАДУ, 61002, Харків МСП, вул. Петровського, 25.
Тел./факс: (057)100-38-72, 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua

*Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої
справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції, серія ДК № 897 від 17.04.2002 р.*

Укладач: Р.В. Смолянюк

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Ґрунтознавство та механіка ґрунтів є однією з основних інженерних дисциплін для студентів всіх будівельних спеціальностей. Ця дисципліна тісно пов'язана з іншими, такими як: інженерна геологія, математика, фізика, опір матеріалів, будівельна механіка та інші. Вивчення курсу «Ґрунтознавство та механіка ґрунтів» передбачає лекції, лабораторні та практичні роботи. Практичні роботи, наведені в даних методичних вказівках, виконуються студентами після прослуховування лекцій та виконання лабораторних робіт, для закріплення набутих знань та отримання практичних навичок розрахунку споруд на ґрунтах.

Практична робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ

Мета роботи – набуття практичних навичок щодо визначення окремих розрахункових характеристик ґрунтів за відомими показниками.

За результатами лабораторних досліджень були визначені окремі фізичні характеристики ґрунтів. За цими характеристиками необхідно визначити інші характеристики, необхідні для виконання розрахунку стійкості високого насипу [1,2].

Вихідні дані

Характеристики ґрунтів насипу: щільність часток ґрунту ρ_s , г/см³; вологість на межі текучості W_T , %; число пластичності J_p , %.

Значення наведених характеристик визначають за формулами:

$$\rho_s = 2,6 + N_{\text{о}} * 0,01, \text{ г/см}^3, \quad (1.1)$$

$$W_T = 16 + N_{\text{о}}, \text{ \%}, \quad (1.2)$$

$$J_p = N_{\text{о}}, \text{ \%}, \quad (1.3)$$

де № – порядковий номер студента за списком викладача.

Порядок виконання

1. Виконують розрахунок щільності сухого ґрунту при його природній вологості за формулою:

$$\rho_{di} = \frac{\rho_{s,i}(1-V_0)}{1+0,01W_{пр}.\rho_{s,i}}, \text{ г/см}^3 \quad (1.4)$$

де $\rho_{s,i}$ – щільність часток ґрунту, яка приймається за завданням, г/см^3 ,

V_0 – об’єм повітря затисненого в порах ґрунту при природній вологості (для усіх типів ґрунтів $V_0 = 0,1$).

2. Оптимальна вологість ґрунту визначають за формулою:

$$W_{\text{опт.}i} = 2 + \alpha W_{T,i}, \quad (1.5)$$

де α – коефіцієнт, який прийнятий у залежності від типу ґрунтів та щільності часток.

Значення α_i наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнту α

Група ґрунту	$\rho_s, \text{ г/см}^3$	α	Розрахункова формула, %	Формули для розрахунків об’єму повітря (в частках одиниці)
I	2,6	0,56	$2 + 0,56 W_T$	$V_0 = \frac{(W_T - 45)^2 + 874}{18200}$
II	2,7	0,52	$2 + 0,52 W_T$	
III	2,65	0,54	$2 + 0,54 W_T$	
IV	2,74	0,48	$2 + 0,48 W_T$	$V_0 = \frac{(W_T - 45)^2 + 34}{17200}$

3. Необхідний робочий інтервал вологості ґрунту розраховують за формулою:

$$W_{\text{пот.}i} = W_{\text{опт.}i} \pm 0,07W_{T,i}. \quad (1.6)$$

4. Виходячи зі стандартного ущільнення ґрунтів визначають максимальну щільність сухого ґрунту (г/см^3) за формулою:

$$\rho_{d_{\max.i}} = \frac{\rho_{s.i}(1-V)}{1+0,01W_{\text{опт.}i}\rho_{s.i}}, \quad (1.7)$$

де V – об'єм затисненого повітря в порах ґрунту при оптимальній вологості, приймається в залежності від типу ґрунту: $V = 0,06$ – для пісків, супісків; $V = 0,05$ – для суглинків; $V = 0,03-0,05$ – для глин.

5. Визначають показник консистенції ґрунту насипу за формулою:

$$j_{L_i} = \frac{W_{\text{опт.}i} - W_{p.i}}{W_{T.i} - W_{p.i}}, \quad (1.8)$$

де $W_{p.i}$ – вологість на границі розкочування, %.

$$W_{p.i} = W_{T.i} - J_{p.i}, \quad (1.9)$$

де $J_{p.i}$ – число пластичності ґрунту, прийняте за завданням.

6. Визначають коефіцієнт пористості ґрунту насипу за формулою:

$$e_i = \frac{\rho_{s.i} - \rho_{d_{\text{ном.}i}}}{\rho_{d_{\text{ном.}i}}}. \quad (1.10)$$

7. Визначають щільність ґрунту з урахуванням оптимальної вологості, г/см^3 , за формулою:

$$\rho_{\text{пот.}w_i} = \rho_{d_{\text{пот.}i}} (1 + 0,01W_{\text{опт.}i}). \quad (1.11)$$

Запитання для самоперевірки

1. Які характеристики ґрунтів можна орієнтовно визначити розрахунком, а які виключно за результатами випробувань?

2. Які з зазначених характеристик контролюються під час будівництва насипу земляного полотна?

3. За якими характеристиками можна визначити назву та тип ґрунту?

4. Для яких ґрунтів неможливо визначити число пластичності?

Практична робота 2

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ В ҐРУНТАХ ВІД ДІЇ ЗОСЕРЕДЖЕНОЇ СИЛИ

Мета роботи – набуття практичних навичок щодо використання рішення Буссінеска для побудови епюр напружень в ґрунтах.

У точці O на поверхні півпростору, що лінійно деформується, прикладена сила N . Використовуючи рішення Буссінеска, побудувати епюри напруг σ_z в горизонтальній площині на глибині z_0 від поверхні півпростору і у вертикальній площині на відстані r_0 від лінії дії сили (рис. 2.1).

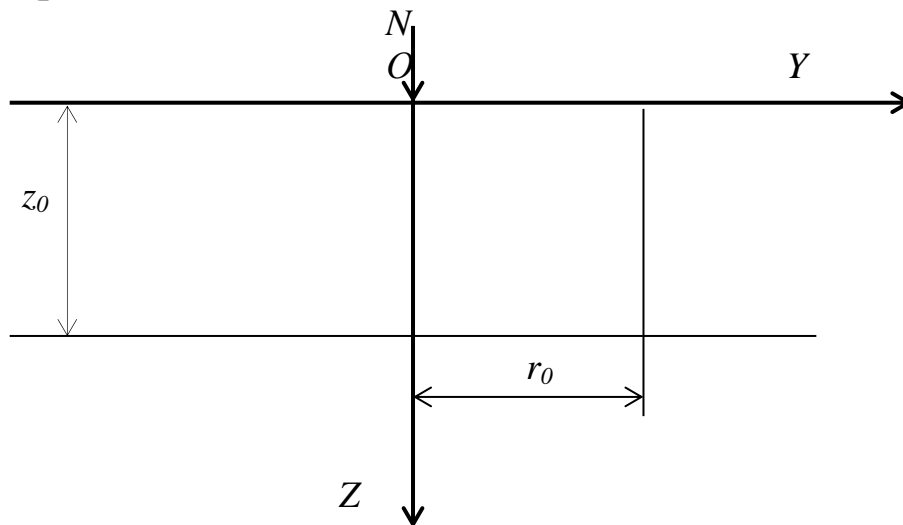


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема до рішення Буссінеска

Вихідні дані

Для розрахунку використовують наступні параметри: значення вертикальної сили N , кН; відстань від поверхні ґрунту до горизонтальної площини z_0 , м; відстань від лінії дії сили до вертикальної площини r_0 , м.

Значення вертикальної сили знаходять по формулі:

$$N=N_0*5, \text{ кН}, \quad (2.1)$$

де N_0 – порядковий номер студента за списком викладача.

z_0 та r_0 приймається по таблиці 2.1 за другою цифрою порядкового номера студента за списком викладача. Для перших 9 студентів – за 1 цифрою.

Таблиця 2.1 – Індивідуальні вихідні дані

Номер варіанта	z_0 , м	r_0 , м
1	2	3
2	2,5	3
3	3	3
4	2,5	3,5
5	2	3,5
6	3	3,5
7	3,5	4
8	4	4
9	3,5	4,5
0	4	4,5

Порядок виконання

1. За таблицею 2.1 та формулою 2.1 приймають індивідуальні вихідні дані.

2. Напруження розраховують по формулі Буссінеска:

$$\sigma_z = K \frac{N}{z^2}, \quad (2.2)$$

де N – вертикальна сила,

z – координата точки, в котрій розраховуються напруження,

K – безрозмірний коефіцієнт, значення котрого залежать від співвідношення координат r/z .

Значення коефіцієнта K визначають по табл. III.1 [3,4] (Додаток А).

Виконують розрахунок 5-7 значень σ_z , в залежності від необхідності.

3. Виконують побудову епюри σ_z , в горизонтальній площині. При цьому приймають значення: $z = z_0 = const$, а значення r назначають з кроком 1 м.

За результатами розрахунку напружень σ_z , будують епюри $\sigma_z = f(z)$ та $\sigma_z = f(r)$, котрі мають вигляд, як на рисунку 2.2.

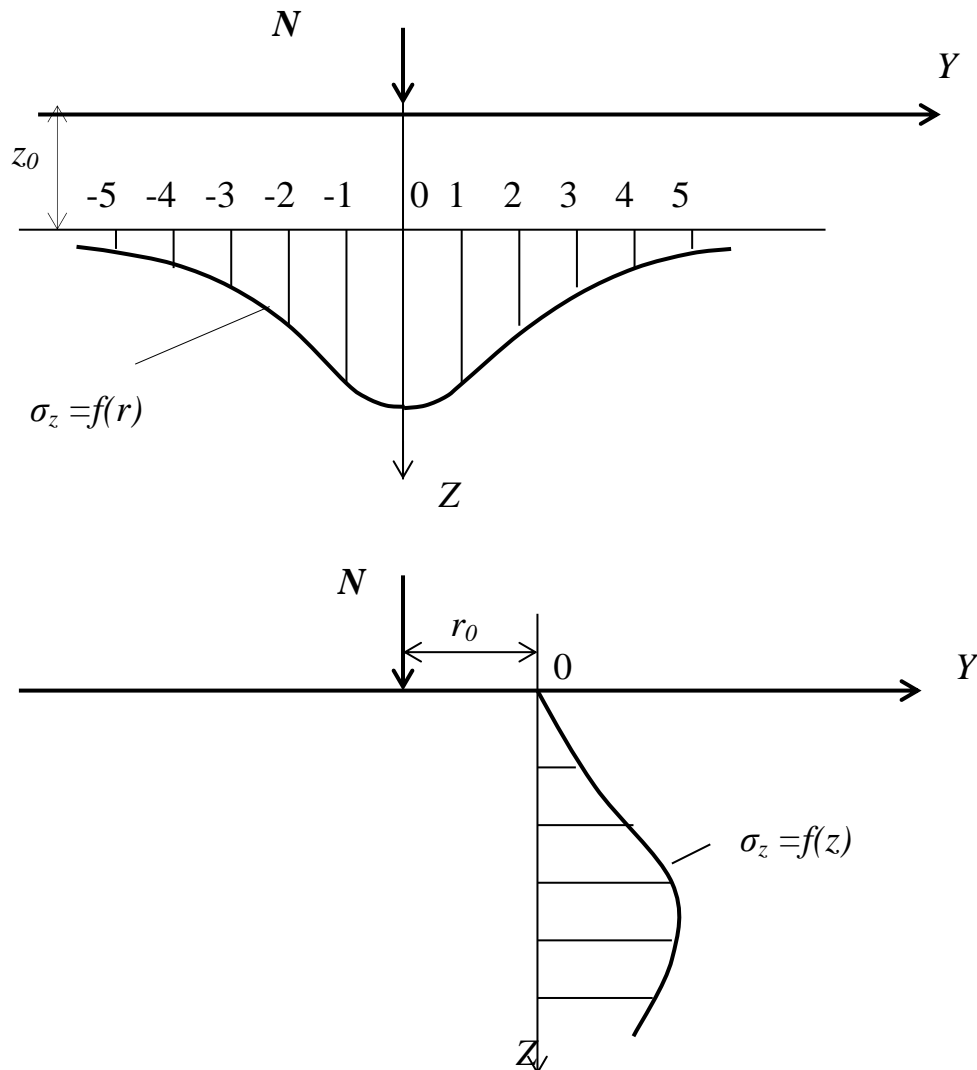


Рисунок 2.2 – Вигляд епюр напружень $\sigma_z = f(z)$ и $\sigma_z = f(r)$

Запитання для самоперевірки

1. В яких випадках використовується рішення Буссінеска для розрахунку напружень в ґрунтах?

2. З якою метою виконують розрахунок напружень в ґрунтах?
3. Як змінюється напруження в ґрунтах в залежності від щільності ґрунтів?
4. В яких випадках неможна використовувати рішення Буссінеска?

Практична робота 3

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ В ҐРУНТАХ ВІД ДІЇ ДЕКІЛЬКОХ ЗОСЕРЕДЖЕНИХ СИЛ

Мета роботи – набуття практичних навичок щодо використання рішення Буссінеска для побудови епюр напружень в ґрунтах від дії декількох зосереджених сил.

До горизонтальної поверхні масиву ґрунту в одному створі прикладені три вертикальні зосереджені сили P_1 , P_2 , P_3 . Відстань між віссю дії сил r_1 та r_2 .

Необхідно визначити значення вертикальних складових напружень σ_z від спільної дії зосереджених сил в точках масиву ґрунту, розташованих в площині дії сил (рис. 3.1):

- по вертикалі I-I, що проходить через точку прикладення сили P_2 ;
- по горизонталі II-II, що проходить на відстані z від поверхні масиву ґрунту.

Вихідні дані

Точки масиву, де необхідно визначити значення вертикальних складових напружень σ_z розташувати від поверхні на відстані:

- для студентів, що мають порядковий номер за списком викладача 1-10 – 1,0; 2,0; 4,0; 6,0 м (рис. 3.1);
- 11-20 – 1,5; 2,5; 4,5; 6,5 м;
- 21-30 – 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 м;
- 31-40 – 1,2; 2,2; 4,2; 6,5 м.

Точки по горизонталі розташувати праворуч і ліворуч від вісі дії сили P_2 на відстані 0; 1,0; 3,0 м.

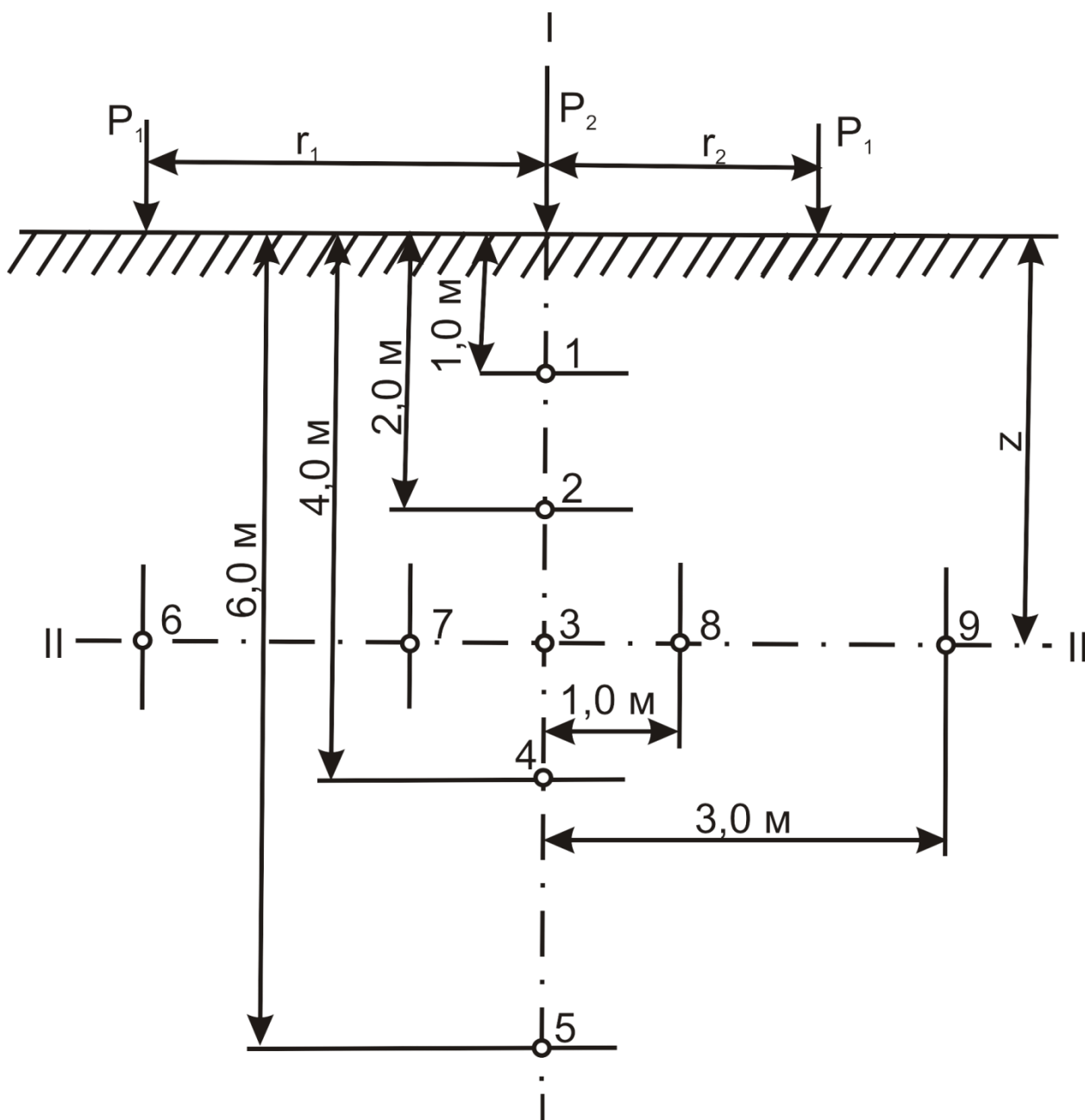


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Інші вихідні дані приймають по таблиці 3.1 за другою цифрою порядкового номера студента за списком викладача. Для перших 9 студентів – за 1 цифрою.

Необхідно обчислити напруження і за заданими січеннями побудувати епюри напружень σ_z .

Таблиця 3.1 – Індивідуальні вихідні дані

Номер варіанта	P_1 , кН	P_2 , кН	P_3 , кН	r_1 , м	r_2 , м	z , м
1	1100	800	1900	1,0	2,0	1,5
2	1200	750	1850	1,0	2,0	1,5
3	1300	750	1800	2,0	3,0	2,0
4	1400	700	1750	2,0	3,0	2,0
5	1500	700	1700	3,0	1,0	2,5
6	1600	650	1650	3,0	1,0	2,5
7	1700	650	1600	2,0	3,0	3,0
8	1800	600	1550	2,0	3,0	3,0
9	1900	600	1500	1,0	2,0	2,5
0	1950	600	1200	1,0	2,0	2,5

Порядок виконання

Для випадку, коли до горизонтальної поверхні масиву ґрунту прикладене декілька зосереджених сил $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$, значення вертикальних складових напружень σ_z в будь-якій точці масиву ґрунту можна визначити сумуванням складових напружень від дії кожної сили окремо з використанням залежності:

$$\sigma_{zi} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i P_i}{z_i^2}, \quad (3.1)$$

де k_i – коефіцієнт, що визначається співвідношенням r_i / z_i ,

r_i – відстань по горизонтальній вісі від точки, що розглядається до вісі z , що проходить через точку прикладення зосередженої сили P_i .

Значення коефіцієнта k приведені в додатку А.

Під час побудови розрахункової схеми та епюр напружень слід приймати масштаб відстані 1:50, масштаб напружень 0,05 МПа в 1 см.

Нижче наведений приклад розрахунку для наступних параметрів: $P_1=1100$ кН, $P_2=700$ кН, $P_3=1800$ кН, $r_1=2,0$ м $r_2=3,0$ м, $z=3,0$ м.

1. Визначимо напруження в точках, розташованих по вертикалі I-I.

Точка 1.

$z=1,0$ м;

$r_1=2,0$ м $r_1 / z=2/1=2$ $k_1=0,0085$;

$r_2=0$ м $r_2 / z=0/1=0$ $k_2=0,4775$;

$r_3=3,0$ м $r_3 / z=3/1=3$ $k_3=0,0015$;

$$\sigma_{zI}=0,0085*1100/1^2+0,4775*700/1^2+0,0015*1800/1^2=346 \text{ кПа} \\ =0,346 \text{ МПа.}$$

Точка 2.

$z=2,0$ м;

$r_1=2,0$ м $r_1 / z=2/2=1$ $k_1=0,0844$;

$r_2=0$ м $r_2 / z=0/2=0$ $k_2=0,4775$;

$r_3=3,0$ м $r_3 / z=3/2=1,5$ $k_3=0,0251$;

$$\sigma_{zI}=0,0844*1100/2^2+0,4775*700/2^2+0,0251*1800/2^2=118 \text{ кПа} \\ =0,118 \text{ МПа.}$$

Точка 3.

$z=3,0$ м;

$r_1=2,0$ м $r_1 / z=2/3=0,6667$ $k_1=0,1889$;

$r_2=0$ м $r_2 / z=0/3=0$ $k_2=0,4775$;

$r_3=3,0$ м $r_3 / z=3/3=1$ $k_3=0,0844$;

$$\sigma_{zI}=0,1889*1100/3^2+0,4775*700/3^2+0,0844*1800/3^2=77,1 \text{ кПа} \\ =0,077 \text{ МПа.}$$

Точка 4.

$z=4,0$ м;

$r_1=2,0$ м $r_1 / z=2/4=0,5$ $k_1=0,2733$;

$r_2=0$ м $r_2 / z=0/4=0$ $k_2=0,4775$;

$r_3=3,0$ м $r_3 / z=3/4=0,75$ $k_3=0,1565$;

$$\sigma_{zI}=0,2733*1100/4^2+0,4775*700/4^2+0,1565*1800/4^2=57,3 \text{ кПа} \\ =0,057 \text{ МПа.}$$

Точка 5.

$z=6,0$ м;

$r_1=2,0$ м $r_1 / z=2/6=0,33$ $k_1=0,3687$;

$r_2=0$ м $r_2 / z=0/6=0$ $k_2=0,4775$;

$r_3=3,0$ м $r_3 / z=3/2=1,5$ $k_3=0,0251$;

$$\sigma_{zI}=0,0844*1100/2^2+0,4775*700/2^2+0,0251*1800/2^2=118 \text{ кПа}=0,118 \text{ МПа.}$$

2. Визначимо напруження в точках, розташованих по вертикалі II-II.

Точка 6.

$$z=3,0 \text{ м;}$$

$$r_1=1,0 \text{ м} \quad r_1 / z=1/3=0,33 \quad k_1=0,3687;$$

$$r_2=3 \text{ м} \quad r_2 / z=3/3=1 \quad k_2=0,0844;$$

$$r_3=6,0 \text{ м} \quad r_3 / z=6/3=2 \quad k_3=0,0085;$$

$$\sigma_{zI}=0,3687*1100/3^2+0,0844*700/3^2+0,0085*1800/3^2=53,3 \text{ кПа}=0,053 \text{ МПа.}$$

Точка 7.

$$z=3,0 \text{ м;}$$

$$r_1=1,0 \text{ м} \quad r_1 / z=1/3=0,33 \quad k_1=0,3687;$$

$$r_2=1,0 \text{ м} \quad r_2 / z=1/3=0,33 \quad k_2=0,3687;$$

$$r_3=4,0 \text{ м} \quad r_3 / z=4/3=1,33 \quad k_3=0,0374;$$

$$\sigma_{zI}=0,3687*1100/3^2+0,3687*700/3^2+0,0374*1800/3^2=81,2 \text{ кПа}=0,081 \text{ МПа.}$$

Точка 8.

$$z=3,0 \text{ м;}$$

$$r_1=3,0 \text{ м} \quad r_1 / z=3/3=1 \quad k_1=0,0844;$$

$$r_2=1,0 \text{ м} \quad r_2 / z=1/3=0,33 \quad k_2=0,3687;$$

$$r_3=2,0 \text{ м} \quad r_3 / z=2/3=0,67 \quad k_3=0,1889;$$

$$\sigma_{zI}=0,0844*1100/3^2+0,3687*700/3^2+0,1889*1800/3^2=76,7 \text{ кПа}=0,077 \text{ МПа.}$$

Точка 9.

$$z=3,0 \text{ м;}$$

$$r_1=5,0 \text{ м} \quad r_1 / z=5/3=1,67 \quad k_1=0,0171;$$

$$r_2=3,0 \text{ м} \quad r_2 / z=3/3=1 \quad k_2=0,0844;$$

$$r_3=0 \text{ м} \quad r_3 / z=0/3=0 \quad k_3=0,4775;$$

$$\sigma_{zI}=0,0171*1100/3^2+0,0844*700/3^2+0,4775*1800/3^2=104 \text{ кПа}=0,104 \text{ МПа.}$$

3. За отриманими значеннями напружень будуть епюри розподілу напружень за відповідними точками (рис. 3.2).

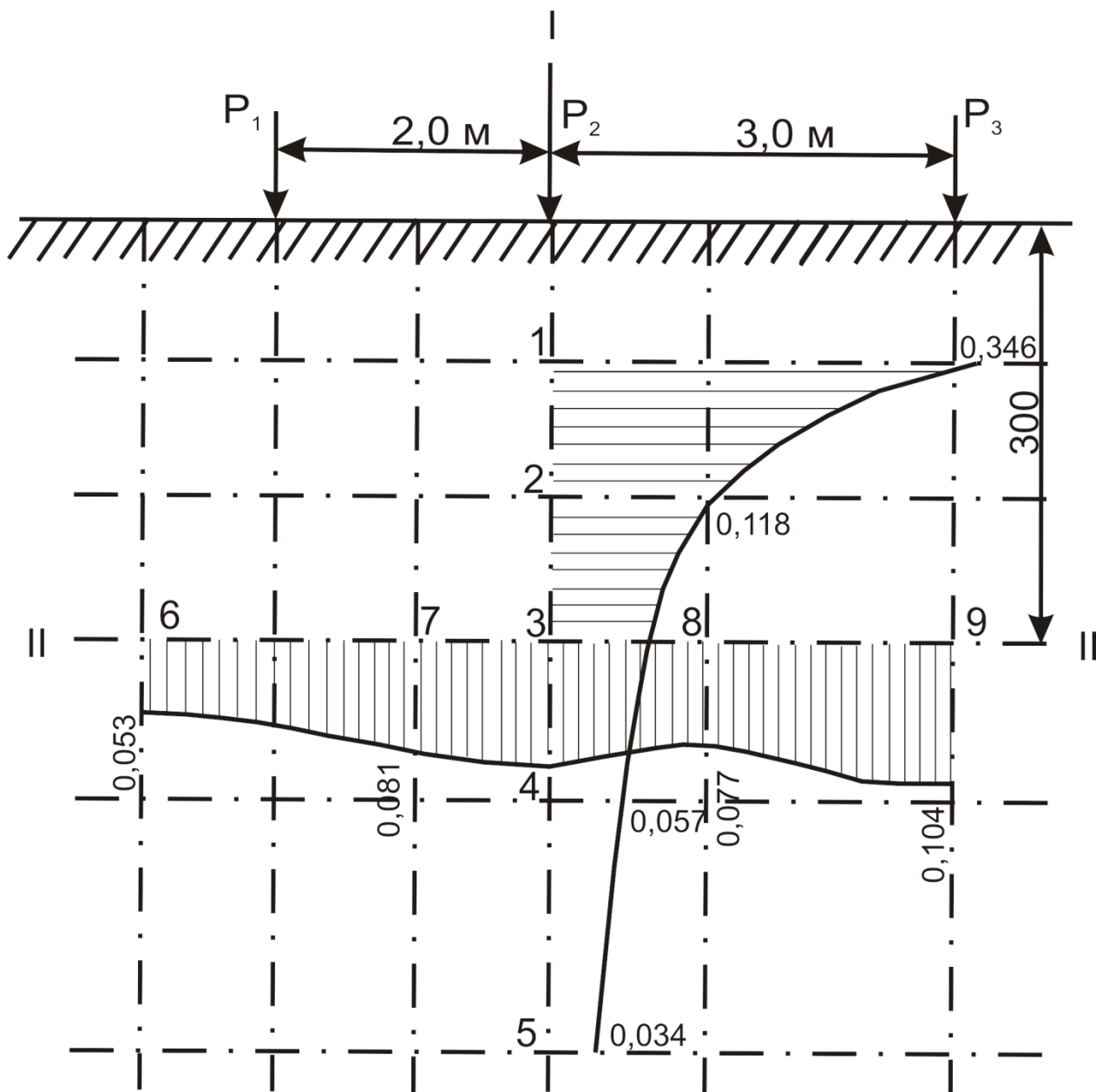


Рисунок 3.2 – Епюри напружень

Запитання для самоперевірки

1. Яким чином знаходять напруження в ґрунтах від дії декількох зосереджених сил?
2. Які сили можна вважати зосередженими?
3. Яка максимальна кількість сил, для яких можна виконувати розрахунок?
4. Як знаходиться коефіцієнт k_i ?

5. Чим відрізняється епюра розподілу напружень у випадку завантаження декількома зосередженими силами у порівнянні з епюрою напружень від одиничного навантаження?

Практична робота 4

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ В ҐРУНТАХ ВІД ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ, РОЗПОДІЛЕНОГО ПО ПЛИТІ

Мета роботи – набуття практичних навичок щодо розрахунку напружень та побудови епюр напружень в ґрунтах від дії навантаження, розподіленого по горизонтальній прямокутній плиті.

Горизонтальна поверхня масиву ґрунту по прямокутним плитам з розмірами в плані $a_1 \times b_1$ та $a_2 \times b_2$ навантажена рівномірно розподіленим вертикальним навантаженням інтенсивністю P_1 та P_2 . Необхідно визначити значення вертикальних складових напружень σ_z від сумісної дії зовнішнього навантаження в точках масиву ґрунту для заданої вертикалі, що проходить через одну з точок M_1, M_2, M_3 , на плиті №1 (рис. 4.1). За визначеними напруженнями необхідно побудувати епюру розподілу σ_z .

Вихідні дані

Відстань між вісями плит навантаження L . Точки по вертикалі розташувати від поверхні на відстані:

- для студентів, що мають порядковий номер за списком викладача 1-10 – 1,0; 2,0; 4,0; 6,0 м (рис. 4.2);
- 11-20 – 1,5; 2,5; 4,5; 6,5 м;
- 21-30 – 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 м;
- 31-40 – 1,2; 2,2; 4,2; 6,5 м.

Інші вихідні дані приймають по таблиці 4.1 за другою цифрою порядкового номера студента за списком викладача. Для перших 9 студентів – за 1 цифрою.

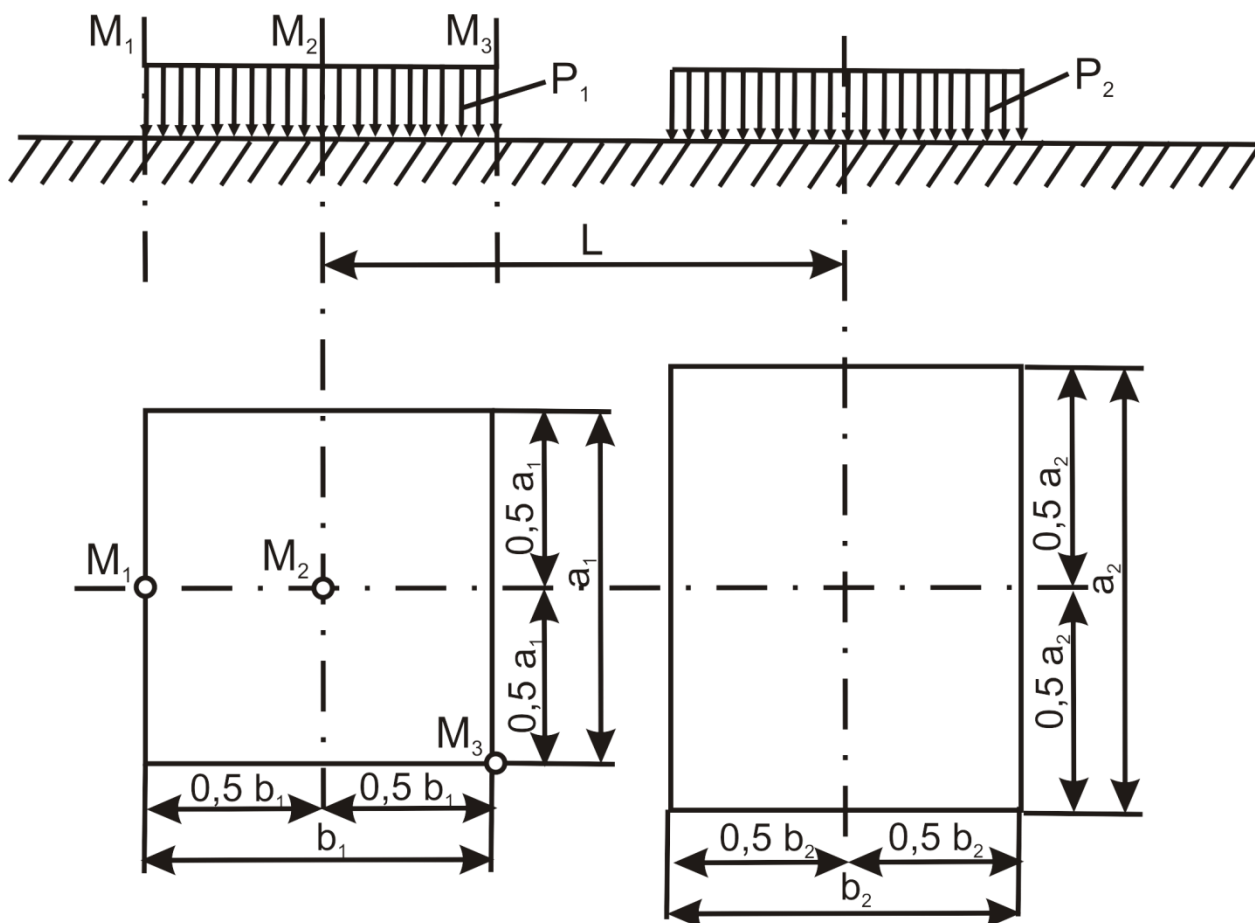


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема

Таблиця 4.1 – Індивідуальні вихідні дані

Номер варіанта	a_1 , м	b_1 , м	a_2 , м	b_2 , м	P_1 , МПа	P_2 , МПа	L , м	Розрахункова вертикаль
1	2,5	2,3	2,9	2,6	0,27	0,29	2,8	M_1
2	2,6	2,2	3,0	2,7	0,26	0,3	2,9	M_2
3	2,7	2,0	3,2	2,8	0,25	0,31	3,0	M_3
4	2,9	1,9	3,4	2,6	0,24	0,32	3,1	M_1
5	2,8	2,0	3,6	2,7	0,28	0,33	3,2	M_2
6	2,7	2,2	3,4	2,5	0,30	0,38	3,3	M_3
7	2,6	2,4	3,8	2,4	0,31	0,36	3,2	M_1
8	2,5	2,3	4,0	2,8	0,32	0,35	3,1	M_2
9	2,8	2,5	4,5	2,7	0,35	0,34	3,0	M_3
0	2,4	2,3	3,5	2,6	0,38	0,32	2,8	M_3

Порядок виконання

Розподіл по глибині вертикальних складових напружень σ_{zc} в будь-якій точці масиву ґрунту від дії рівномірно розподіленого навантаження в межах або за межами плит навантаження може бути визначено по методу кутових точок по формулі:

$$\sigma_{zc} = k_c * p, \quad (4.1)$$

де k_c – коефіцієнт, що визначається в залежності від співвідношення сторін прямокутної площі завантаження a/b (a – довга її сторона, b – її ширина) та відношення z/b (z – глибина, на котрій визначається напруження σ_{zc});

p – інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження.

У відповідності з цим задані плити навантаження розбивають на прямокутники таким чином, щоб вони мали загальну кутову точку, через котру проходить розрахункова вертикаль M_i . Для кожного з цих прямокутників з сторонами $a_i \geq b_i$ за допомогою таблиць визначають значення коефіцієнту k_{ci} . Сумуванням знаходять напруження в заданих точках масиву, використовуючи принцип незалежності дії сил. Значення коефіцієнту k_{ci} приведені в додатку Б [4].

Для побудови епюр використовують масштаб 1:50, масштаб напружень – 0,05 МПа в 1 см.

Нижче наведена послідовність розрахунку для наступних параметрів: $a_1=2,5$ м; $b_1=1,9$ м; $P_1=0,29$ МПа; $a_2=6,0$ м; $b_2=2,8$ м; $P_2=0,33$ МПа; $L=2,8$ м; розрахункова вертикаль – M_3 .

1. Задані плити навантаження розділюємо на прямокутники таким чином, щоб вони мали загальну кутову точку, через котру проходить розрахункова вертикаль M_3 (рис. 4.2).

Таким чином, отримаємо 5 прямокутників:

- 1 – $a_1=2,5$ м; $b_1=1,9$ м; $P_1=0,29$ МПа;
- 2 – $a_2=4,25$ м; $b_2=3,25$ м; $P_2=0,33$ МПа;
- 3 – $a_3=3,25$ м; $b_3=1,75$ м; $P_3=0,33$ МПа;
- 4 – $a_4=4,25$ м; $b_4=0,45$ м; $P_4=0,33$ МПа;
- 5 – $a_5=1,75$ м; $b_5=0,45$ м; $P_5=0,33$ МПа.

2. Знаходимо напруження в ґрунті шляхом підсумовування напружень від дії навантаження по прямокутникам 1,2,3 з знаком

«плюс», а напруження від дії навантаження по прямокутникам 4,5 зі знаком «мінус».

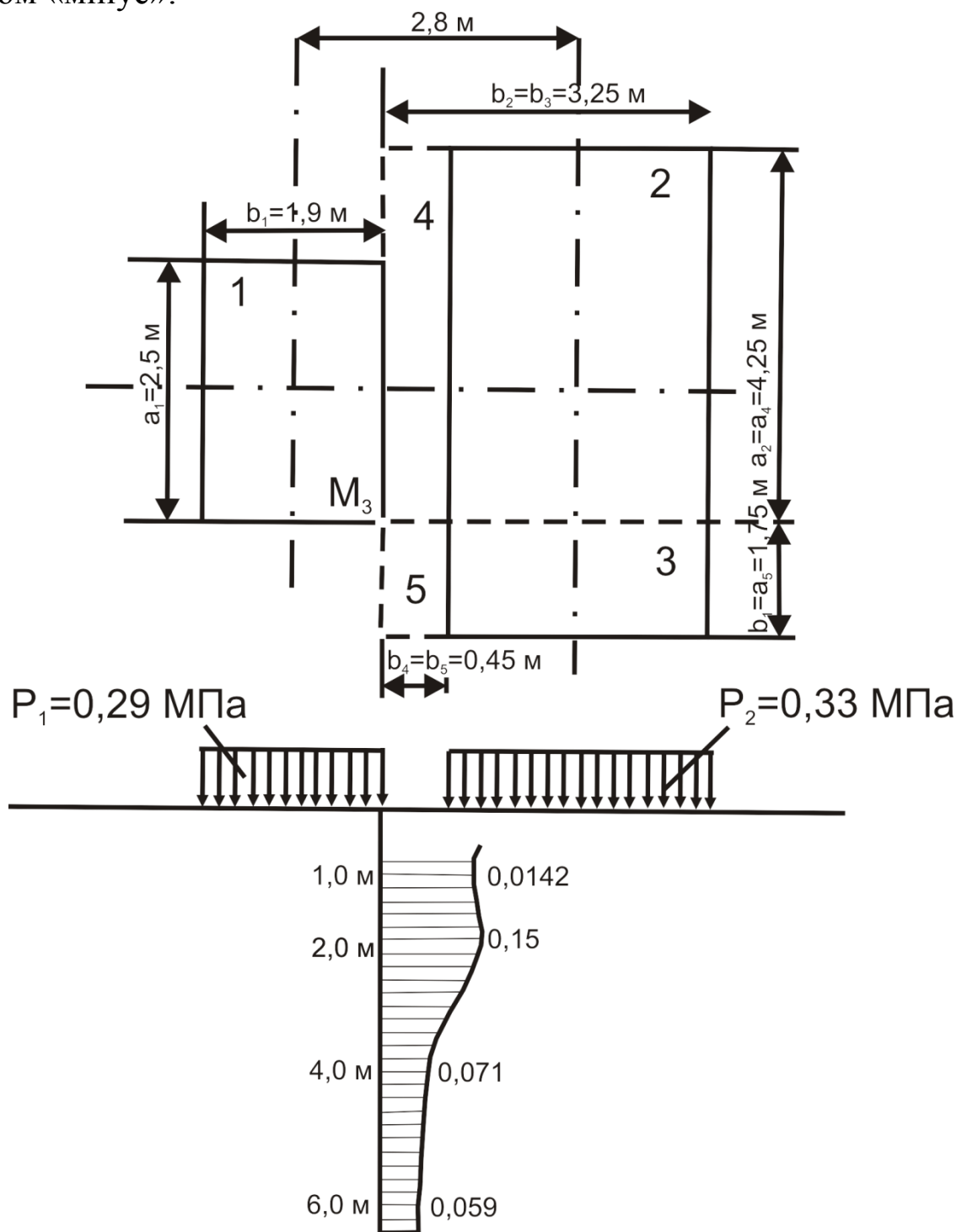


Рисунок 4.2 – Епюра напружень

I. $z=1$ м.

$\alpha_1 = a_1 / b_1 = 2,5 / 1,9 = 1,32$; $\beta_1 = z / b_1 = 1 / 1,9 = 0,53$; $k_{c1} = 0,2352$.

$\alpha_2 = 1,32$; $\beta_2 = 0,31$; $k_{c2} = 0,2457$.

$$\alpha_3=1,86; \quad \beta_3=0,57; \quad k_{c3}=0,232.$$

$$\alpha_4=9,44; \quad \beta_4=2,22; \quad k_{c4}=0,128.$$

$$\alpha_5=3,89; \quad \beta_5=2,22; \quad k_{c5}=0,1251.$$

$$\sigma_{zcl} = k_{c1} * P_1 + (k_{c2} + k_{c3} - k_{c4} - k_{c5}) * P_2 = 0,2352 * 0,29 + (0,2457 + 0,232 - 0,128 - 0,1251) * 0,33 = 0,142 \text{ МПа.}$$

II. $z=2$ м.

$$\alpha_1=1,32; \quad \beta_1=1,06; \quad k_{c1}=0,1782.$$

$$\alpha_2=1,31; \quad \beta_2=0,62; \quad k_{c2}=0,2286.$$

$$\alpha_3=1,86; \quad \beta_3=1,14; \quad k_{c3}=0,1983.$$

$$\alpha_4=9,44; \quad \beta_4=4,4; \quad k_{c4}=0,069.$$

$$\alpha_5=3,89; \quad \beta_5=4,4; \quad k_{c5}=0,0597.$$

$$\sigma_{zcl} = 0,1782 * 0,29 + (0,2286 + 0,1983 - 0,069 - 0,0597) * 0,33 = 0,15 \text{ МПа.}$$

III. $z=4$ м.

$$\alpha_1=1,32; \quad \beta_1=2,11; \quad k_{c1}=0,0933.$$

$$\alpha_2=1,31; \quad \beta_2=1,23; \quad k_{c2}=0,1654.$$

$$\alpha_3=1,86; \quad \beta_3=2,28; \quad k_{c3}=0,1009.$$

$$\alpha_4=9,44; \quad \beta_4=8,89; \quad k_{c4}=0,0316.$$

$$\alpha_5=3,89; \quad \beta_5=8,89; \quad k_{c5}=0,0199.$$

$$\sigma_{zcl} = 0,0933 * 0,29 + (0,1654 + 0,1009 - 0,0316 - 0,0199) * 0,33 = 0,071 \text{ МПа.}$$

IV. $z=6$ м.

$$\alpha_1=1,32; \quad \beta_1=3,16; \quad k_{c1}=0,0508.$$

$$\alpha_2=1,31; \quad \beta_2=1,85; \quad k_{c2}=0,1013.$$

$$\alpha_3=1,86; \quad \beta_3=3,43; \quad k_{c3}=0,0571.$$

$$\alpha_4=9,44; \quad \beta_4=13,3; \quad k_{c4}=0,0155.$$

$$\alpha_5=3,89; \quad \beta_5=13,3; \quad k_{c5}=0,0084.$$

$$\sigma_{zcl} = 0,0508 * 0,29 + (0,1013 + 0,0571 - 0,0155 - 0,0084) * 0,33 = 0,059 \text{ МПа.}$$

3. За отриманими значеннями напружень будуть епюру розподілу напружень σ_z (рис. 4.2)

Запитання для самоперевірки

1. Які особливості розрахунку напружень в ґрунтах від дії навантаження, рівномірно розподіленого по площі?

2. Які існують методи розрахунку напружень в ґрунтах від навантаження, розподіленого по площі?
3. Як необхідно розділити навантаження для виконання розрахунку?
4. Яке навантаження можна віднести до рівномірно розподіленого по площі?
5. В яких випадках неможливо використати наведений метод розрахунку для визначення напружень в ґрунтах?

Практична робота 5

РОЗРАХУНОК ОСАДКИ ФУНДАМЕНТУ МЕТОДОМ ПОШАРОВОГО ПІДСУМОВУВАННЯ

Мета роботи – визначити осадку стрічкового фундаменту методом пошарового підсумовування.

Фундамент має глибину закладення d , ширина підосви дорівнює b . Нижче підосви фундаменту залягає два шари ґрунту. Підставою фундаменту є шар 1, що має товщину h_1 . Під основою залягає шар ґрунту 2, товщина якого невизначена і приймається досить великою. Ґрунтові води на майданчику будівництва відсутні.

Вихідні дані

По передостанній цифрі залікової книжки студенти за таблицею 5.1 приймають наступні вихідні дані: глибина закладення фундаменту d , м; ширина підосви фундаменту b , м; середній тиск під підосвою фундаменту P , МПа; розрахункові характеристики ґрунтів.

За останньою цифрою заліковою книжки по таблиці 5.2, 5.3 приймаються характеристики ґрунтів, що залягають нижче підосви фундаменту.

Таблиця 5.1 – Індивідуальні вихідні дані

Номер варіанта	Ширина підшви фундаменту b , м	Глибина закладення фундаменту d , м	Тиск під підшвою фундаменту P , МПа	Питома вага ґрунту вище підшви фундаменту γ'_{II} , кН/м ³
1	1,2	1,2	0,150	17,2
2	1,4	1,4	0,180	17,4
3	1,6	1,6	0,200	17,6
4	1,8	1,8	0,250	18,0
5	2,0	2,0	0,300	18,2
6	2,2	2,2	0,350	18,4
7	2,4	2,4	0,260	18,6
8	2,6	2,6	0,240	19,0
9	2,8	2,8	0,320	19,2
0	3,0	3,0	0,360	19,4

Таблиця 5.2 – Характеристики ґрунтів

Номер варіанта	Найменування ґрунту першого шару	Товщина шару, h_I , м	Питома вага, γ_{II} , кН/м ³	Кут внутрішнього тертя, φ_{II} , град	Питоме зчеплення, c_{II} , кПа	Модуль деформації, E , кПа
1	Суглинок напівтвердий	3,0	20	23	22	20000
2	Супісок пластичний	3,5	19	18	28	24000
3	Пісок дрібний середньої щільності	3,3	17	35	3	32000
4	Суглинок м'який пластичний	4,0	20,5	19	25	13000
5	Глина напівтверда	2,5	22	20	68	24000
6	Глина туго пластична	3,2	21	18	57	21000
7	Суглинок туго пластичний	2,8	20	22	28	19000
8	Супісок пластичний	4,0	19,6	24	13	16000
9	Суглинок напівтвердий	4,2	20	22	23	21000
0	Глина напівтверда	3,0	21	19	54	21000

Таблиця 5.3 – Характеристики ґрунтів

Номер варіанта	Найменування ґрунту другого шару	Питома вага, γ_{II} , кН/м ³	Модуль деформації, E , кПа
1	Глина напівтверда	21	20000
2	Пісок середньої крупності, щільний	18	36000
3	Суглинок туго пластичний	20	17000
4	Суглинок напівтвердий	20	20000
5	Пісок дрібний, середньої щільності	17	32000
6	Глина напівтверда	22	24000
7	Суглинок напівтвердий	20,5	21000
8	Суглинок напівпластичний	21	19000
9	Суглинок м'яко пластичний	19,6	12000
0	Глина туго пластична	20,6	20000

Порядок виконання

1. Перед виконанням розрахунку осадки фундаменту, необхідно переконаватися, що тиск p під подошвою фундаменту задовольняє умову:

$$p \leq R. \quad (5.1)$$

Для перевірки цієї умови необхідно розрахувати розрахунковий опір ґрунту R по формулі:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \left[M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_g \cdot d \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot C_{II} \right], \quad (5.2)$$

де M_{γ} , M_g , M_c – коефіцієнти, що приймаються в залежності від кута внутрішнього тертя φ_{II} ґрунту, що залягає під подошвою фундаменту, по таблиці В.1, додатка В [3,4,5],

$\frac{\gamma_{\bar{n}i} \cdot \gamma_{cII}}{k}$ – добуток коефіцієнтів умов роботи, в учбових цілях

приймається рівним 1,

$k_z = 1$ – коефіцієнт,

b – ширина подошви фундаменту,

d – глибина закладення фундаменту,
 c_{II} – розрахункове значення питомого зчеплення ґрунту,
 γ_{II} – розрахункове значення питомої ваги ґрунту основи,
 γ'_{II} – розрахункове значення питомої ваги ґрунту вище підшоши фундаменту.

Якщо умова (5.1) виконується, можна приступати до розрахунку осадки фундаменту. Якщо умова (5.1) не виконується, необхідно розрахувати необхідну ширину підшоши фундаменту, при якій умова (5.1) виконається. Для цього потрібно прийняти $R = p$ і підставити у формулу (5.2). З отриманого виразу знайти b . Це і буде необхідна ширина підшоши фундаменту. Розрахунок осадки тепер потрібно проводити при знайденій необхідній ширини підшоши фундаменту.

2. Перед розрахунком осадки фундаменту необхідно показати положення поверхні ґрунту, шари ґрунту та розташування фундаменту (рис. 5.1).

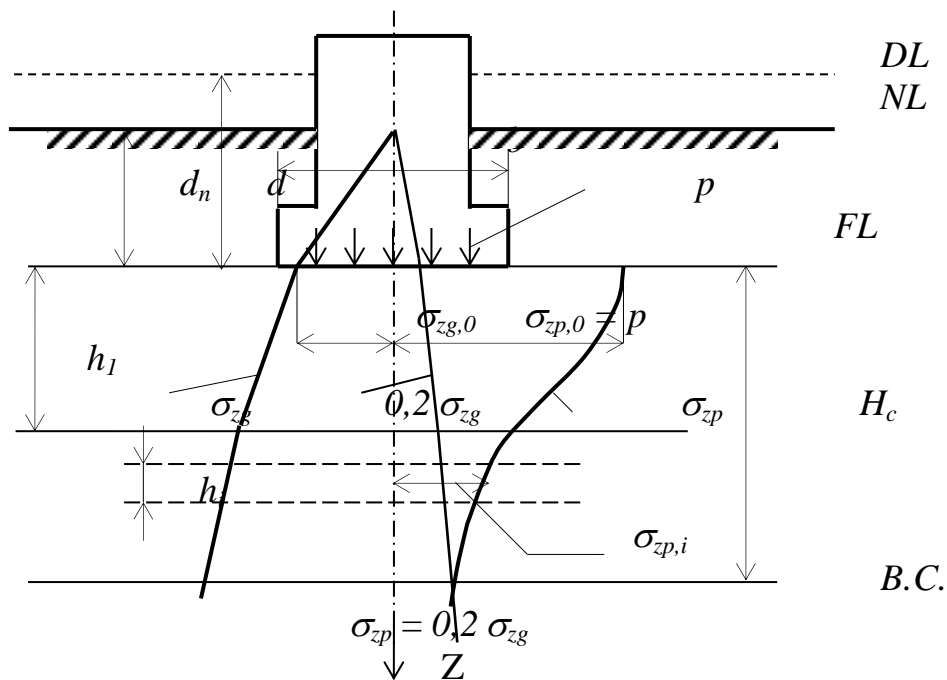


Рисунок 5.1 – Вигляд епюр тиску під підшовою фундаменту

3. Тиск від власної ваги ґрунту обчислюється за формулою:

$$\sigma_{zg} = \sum \gamma_i \cdot h_i, \quad (5.3)$$

де γ_i – питома вага ґрунту i -го шару;

h_i – товщина i -го шару.

Тиск від кожного подальшого шару додається до тиску від верхніх шарів ґрунту. Для заданих умов будується епюри тиску від власної ваги ґрунту. Ординати цієї епюри відкладаються ліворуч від вісі Z .

4. Додатковий тиск на ґрунт у рівні підосви фундаменту обчислюють за формулою:

$$p_0 = p - \sigma_{zg,0}, \quad (5.4)$$

де p – тиск під підосвою фундаменту;

$\sigma_{zg,0}$ – тиск від власної ваги ґрунту на рівні підосви фундаменту;

p_0 – додатковий тиск на ґрунт від фундаменту.

5. Для побудови епюри тиску від фундаменту товща ґрунту під підосвою фундаменту ділиться на шари товщиною кратній $h_i = 0,4b$ та на нижніх межах цих шарів визначаються напруги:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p_0, \quad (5.5)$$

де α – коефіцієнт, що приймається за відповідними таблицями, наведеними в [4,5] в залежності від коефіцієнтів $\eta = l/b$ і $\xi = 2z/b$, де l і b – розміри підосви фундаменту;

z – глибина межі шару.

6. Ординати епюри тиску від фундаменту відкладаються праворуч від вісі Z .

Епюри тиску від власної ваги ґрунту і тиску від фундаменту будуються в одному масштабі. Можна прийняти наступний масштаб: в 1 см – 100 кПа або 50 кПа. Епюри тисків під підосвою фундаменту мають вигляд, представлений на рис. 5.1.

7. Під час розрахунку осідання основи проміжні обчислення зручно вести в табличній формі. Розрахунок ведеться до нижньої межі товщі ґрунту, що стискається H_c , котра визначається порівнянням значень σ_{zp} і σ_{zg} . Якщо ґрунти, що залягають нижче підосви фундаменту, мають модуль деформації $E \geq 5$ МПа, нижня межа товщі ґрунту, що стискається, приймається там, де виконується умова $\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}$.

8. Середнє напруження в межах кожного шару обчислюють як середнє арифметичне від значень тиску на покрівлі і на підосві шару:

$$\sigma_{zpi} = \frac{\sigma_{z1p} - \sigma_{z2p}}{2} . \quad (5.6)$$

9. Обчислюють осадку окремого шару ґрунту по формулі:

$$S_i = \frac{0,8 \cdot \sigma_{zpi} \cdot h_i}{E_i} , \quad (5.7)$$

де E_i – модуль деформації ґрунту i -го шару.

10. Осадку фундаменту визначають як суму осадок окремих шарів ґрунту:

$$S = \sum S_i . \quad (5.8)$$

Запитання для самоперевірки

1. Які методи можна використовувати для розрахунку осадок фундаментів?
2. В чом полягає суть методу пошарового підсумовування?
3. В яких випадках може використовуватися метод пошарового підсумовування?
4. Які характеристики ґрунтів використовуються для розрахунку?
5. Як розраховується загальна осадка фундаменту?

Практична робота 6

ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОЇ СТАБІЛІЗОВАНОЇ ОСАДКИ ҐРУНТУ ЗА МЕТОДОМ ЕКВІВАЛЕНТНОГО ШАРУ

Мета роботи – визначити повну осадку прямокутної площадки (фундаменту) з рівномірно прикладеним навантаженням по площі методом еквівалентного шару.

Рівномірно розподілене в межах прямокутної площадки $a \times b$ навантаження інтенсивністю p прикладене к шару суглинку (товщина шару h_1 , коефіцієнт відносного стискання m_{v1} , коефіцієнт фільтрації $K_{\phi1}$), що розташований на глиняній основі (h_2 , m_{v2} , $K_{\phi2}$). Необхідно за методом еквівалентного шару визначити величину по-

вного стабілізованого осідання ґрунтів, зміну осадки ґрунтів в часі за умови одномірної задачі теорії фільтраційної консолідації та побудувати графік стабілізації осадки у вигляді $S=f(t)$.

Вихідні дані

Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 6.1. Студенти, що мають порядковий номер за списком викладача 1-10 приймають вихідні дані без змін; студенти, що мають порядковий номер 11-20 – збільшують розміри прямокутної площадки на 10 %; 21-30 – на 15 %; 31-40 – на 20 %.

Таблиця 6.1 – Характеристики ґрунтів

Номер варіанту	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$p, \text{ МПа}$	$h_1, \text{ м}$	$m_{v1}, \text{ МПа}^{-1}$	$K_{\phi 1}, \text{ см/с}$	$h_2, \text{ м}$	$m_{v2}, \text{ МПа}^{-1}$	$K_{\phi 2}, \text{ см/с}$
1	2,15	2,05	0,24	2,3	0,176	$2,2 \cdot 10^{-8}$	3,9	0,284	$4,1 \cdot 10^{-9}$
2	2,18	2,25	0,24	2,8	0,139	$4,3 \cdot 10^{-8}$	4,1	0,215	$4,6 \cdot 10^{-9}$
3	3,25	2,35	0,19	3,1	0,065	$1,2 \cdot 10^{-8}$	4,8	0,124	$2,5 \cdot 10^{-9}$
4	3,32	2,45	0,17	3,2	0,076	$2,4 \cdot 10^{-7}$	3,5	0,381	$1,8 \cdot 10^{-8}$
5	4,85	1,85	0,22	3,8	0,105	$5,1 \cdot 10^{-8}$	5,6	0,245	$6,9 \cdot 10^{-9}$
6	3,85	2,00	0,23	2,9	0,087	$2,3 \cdot 10^{-8}$	4,3	0,147	$3,8 \cdot 10^{-9}$
7	3,60	2,10	0,19	2,4	0,148	$1,4 \cdot 10^{-7}$	5,8	0,257	$5,6 \cdot 10^{-8}$
8	3,20	2,35	0,27	3,9	0,105	$2,7 \cdot 10^{-8}$	3,4	0,285	$1,6 \cdot 10^{-9}$
9	2,80	1,85	0,15	1,8	0,206	$1,7 \cdot 10^{-8}$	4,4	0,067	$8,4 \cdot 10^{-8}$
0	2,90	2,50	0,25	2,7	0,093	$6,4 \cdot 10^{-8}$	4,7	0,186	$3,2 \cdot 10^{-9}$

Примітка. Під час визначення коефіцієнта еквівалентного шару $A\omega_{\text{const}}$ (для абсолютно жорстких фундаментів), коефіцієнт відносної поперечної деформації для товщі ґрунтів, що стискаються, можна прийняти $\mu_0=0,3$.

Схема для розрахунку наведена на рис. 6.1.

Порядок виконання

У випадку шаруватої товщі ґрунту для розрахунку осідання по методу еквівалентного шару ґрунт приводиться до квазіоднорідного (на основі теореми о середньому коефіцієнті відносної стисливості та о середньому коефіцієнті фільтрації).

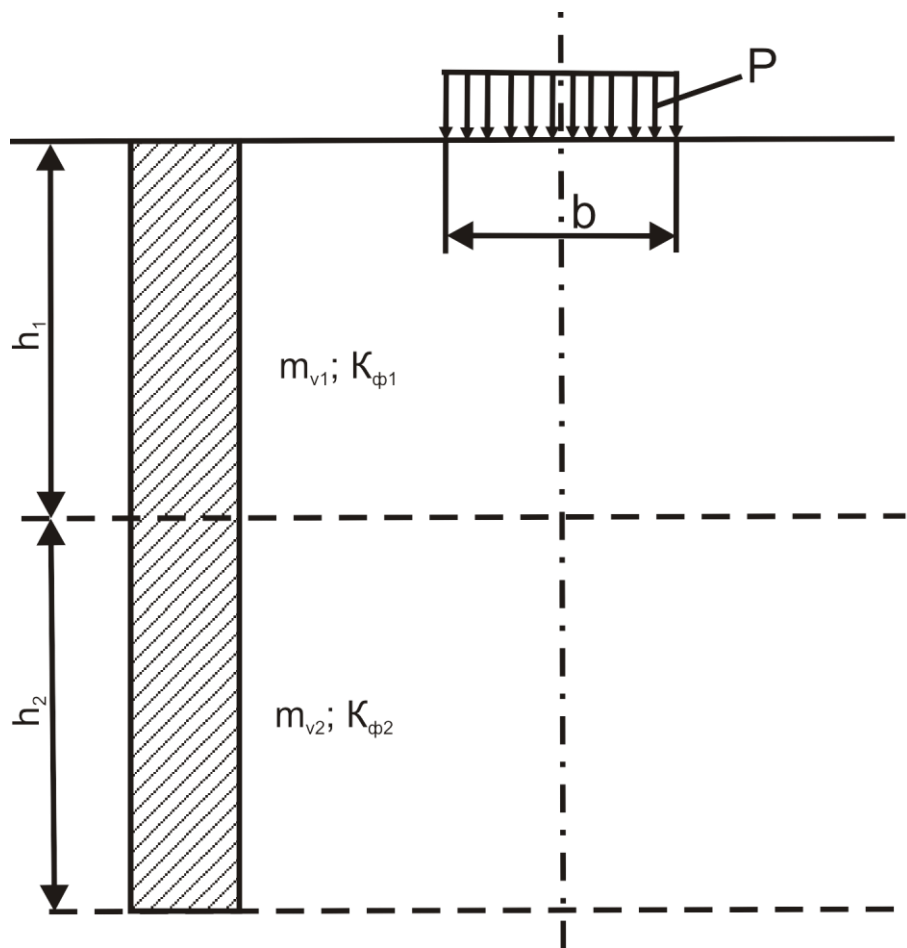


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема до методу еквівалентного шару

В цьому випадку величина повної стабілізованої осадки S може бути визначена по формулі:

$$S = h_{\text{э}} m_{vm} P, \quad (6.1)$$

де $h_{\text{э}}$ – товщина еквівалентного шару ґрунту,

m_{vm} – середній коефіцієнт відносної стисливості ґрунту,

P – тиск на ґрунт по підшві площадки.

Товщина еквівалентного шару ґрунту $h_{\text{э}}$, що визначається по формулі:

$$h_{\text{э}} = A_{\omega} b, \quad (6.2)$$

де A_ω – товщина еквівалентного шару ґрунту, прикладеного до абсолютно жорсткого фундаменту, згідно [4,5] та за додатком Д, таблиця Д.1;

b – найменша сторона площадки навантаження.

Середній коефіцієнт відносної стисливості m_{vm} визначається за формулою:

$$m_{vm} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i m_{vi} z_i}{2h_\Sigma^2}, \quad (6.3)$$

де h_i – товщина окремих шарів ґрунту до глибини $H=2h_\Sigma$;

m_{vi} – коефіцієнт відносної стисливості i -го шару ґрунту;

z_i – відстань від точки, що відповідає глибині H , до середини i -го шару ґрунту, що розглядається.

Осадка ґрунтової товщі S_t для будь-якого проміжку часу t визначається наступним виразом:

$$S_t = SU, \quad (6.4)$$

де S – повна стабілізована осадка;

U – ступінь консолідації (ущільнення).

Обчислення ступеня консолідації можна з достатньою для практичної мети точністю можна виконувати по формулі:

$$U = 1 - 8e^{-N} / \pi^2, \quad (6.5)$$

де e – основа натуральних логарифмів;

N – коефіцієнт, що залежить від умов відводу води, що витісняється з ґрунту:

$$N = \frac{\pi^2 c_{vm} t}{4H^2}, \quad (6.6)$$

де c_{vm} – коефіцієнт консолідації, в даному випадку рівний:

$$c_{vm} = \frac{k_{\phi m}}{m_{vm} \rho_w}, \quad (6.7)$$

де $k_{\phi m}$ – коефіцієнт фільтрації і-го шару ґрунту;

ρ_w – щільність води.

Задаються тим або іншим ступенем консолідації (наприклад $U=0,1; 0,2; 0,3$ і т.д.), приймають згідно [4,5] та таблицею Д.2 додатка Д відповідні значення коефіцієнта N , визначають час t , що відповідає даному ступеню фільтраційної консолідації:

$$t = \frac{4h^2 N}{\pi^2 c_{vm}}. \quad (6.8)$$

Під час підрахунку коефіцієнта консолідації c_{vm} для спрощення коефіцієнт фільтрації $k_{\phi m}$ виражають у см/рік ($1 \text{ см/с} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ см/рік}$).

За результатами підрахунків будується графік зміни осадки ґрунту в часі (рис. 6.2).

1. Виконаємо розрахунок для наступних вихідних даних: $a=3,5 \text{ м}; b=1,75 \text{ м}; p=0,17 \text{ МПа}; h_1=3,2 \text{ м}; m_{v1}=0,076 \text{ МПа}^{-1}; K_{\phi1}=2,4 \cdot 10^{-7} \text{ см/с}; h_2=3,5 \text{ м}; m_{v2}=0,381 \text{ МПа}^{-1}; K_{\phi2}=1,8 \cdot 10^{-8} \text{ см/с}; M_0=0,3$.

Товщина еквівалентного шару ґрунту:

$$h_3 = A_\omega b = 1,49 \cdot 1,75 = 2,6 \text{ м.}$$

2. Товщина товщі ґрунту, що стискається:

$$H = 2 \cdot h_3 = 2 \cdot 2,6 = 5,2 \text{ м.}$$

3.

$$m_{vm} = \frac{3,2 \cdot 0,076 \cdot 3,6 + 2 \cdot 0,381 \cdot 1}{2 \cdot 2,6^2} = 0,121 \text{ МПа}^{-1}.$$

4. Визначаємо товщину стабілізованої осадки ґрунту:

$$S = 2,6 \cdot 0,121 \cdot 0,17 = 0,054 = 5,4 \text{ см.}$$

5. Визначаємо затухання осадки в часі. Для цього розраховуємо середній коефіцієнт фільтрації і коефіцієнт консолідації:

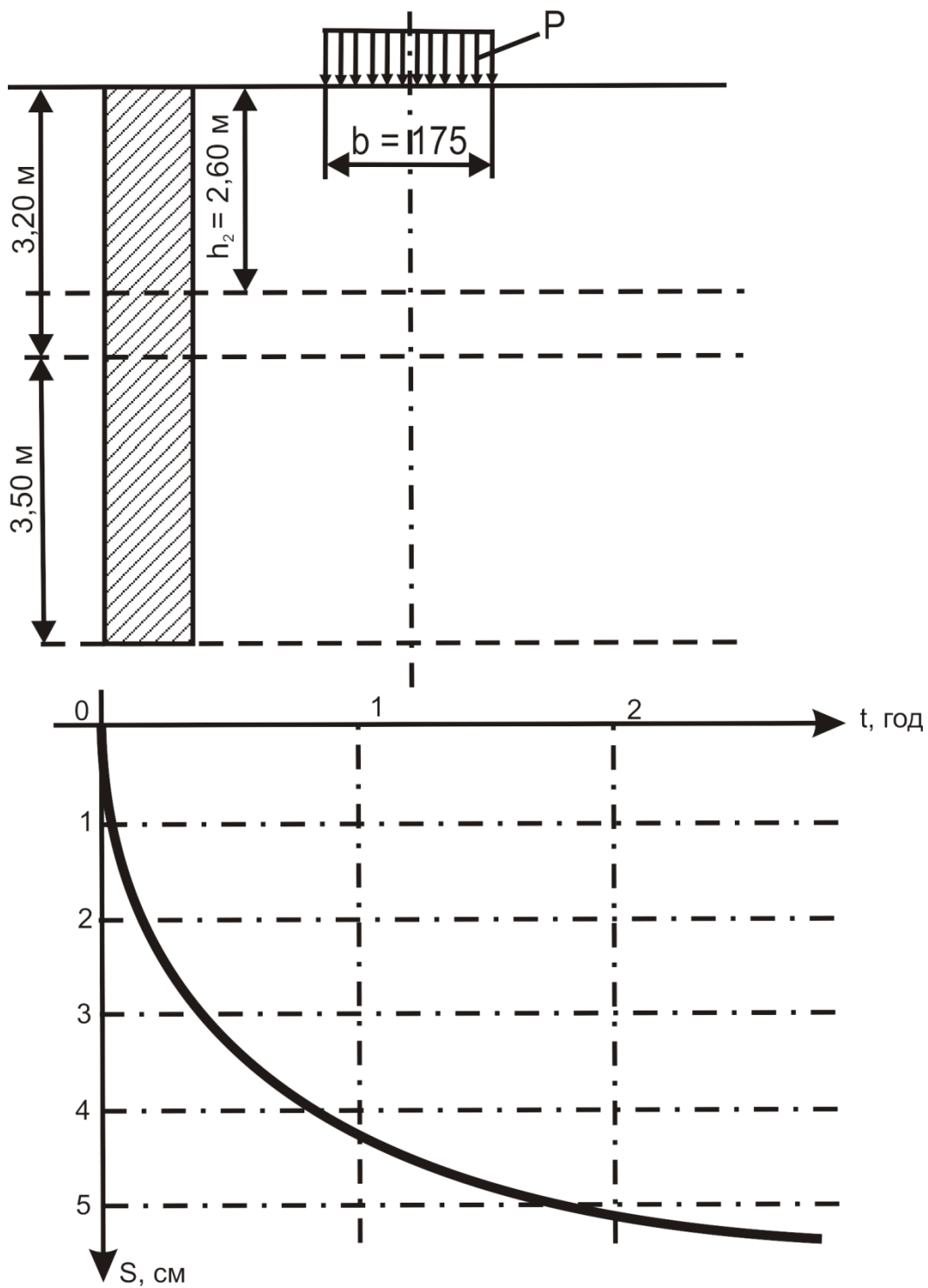


Рисунок 6.2 – Результати розрахунку осідання ґрунтів

$$k_{\phi m} = \frac{5,2}{\frac{3,2}{2,4 \cdot 10^{-7}} + \frac{2}{1,8 \cdot 10^{-8}}} \approx 4,1 \cdot 10^{-8} \text{ см/с} = 4,1 \cdot 10^{-10} \text{ м/с.}$$

$$C_{vm} = \frac{4,1 * 10^{-10}}{0,121 * 10^{-6} * 1 * 10^4} = 3,39 * 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с} = 3,39 * 10^{-7} * 3 * 10^{11} = 10,17 * 10^4 \text{ см}^2/\text{рік}.$$

6. Результати подальших обчислень оформлюємо у вигляді таблиці (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Результати обчислень

U	N	t , років	S_t , см
0,1	0,05	0,005	0,54
0,2	0,02	0,022	1,08
0,3	0,06	0,065	1,62
0,4	0,13	0,140	2,16
0,5	0,24	0,259	2,70
0,6	0,42	0,453	3,24
0,7	0,69	0,744	3,78
0,8	1,08	1,165	4,32
0,9	1,77	1,909	4,86
0,95	2,54	2,74	5,13

7. За отриманими даними будемо графік затухань осадки в часі (рис. 6.1).

Запитання для самоперевірки

1. В яких випадках використовується метод еквівалентного шару?
2. Що таке «затухання осадки»?
3. Які припущення використовуються для розрахунку?
4. Скільки триває повна стабілізована осадка ґрунту?
5. Що таке «консолідація»?

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Значення коефіцієнта К для розрахунку стискаючих напружень від дії зосередженої сили в залежності від відношення r/z

r/z	К	r/z	К	r/z	К	r/z	К
0,00	0,4775	0,39	0,3351	0,78	0,1455	1,17	0,0553
0,01	0,4773	0,40	0,3294	0,79	0,1420	1,18	0,0539
0,02	0,4770	0,41	0,3238	0,80	0,1386	1,19	0,0526
0,03	0,4764	0,42	0,3181	0,81	0,1353	1,20	0,0513
0,04	0,4756	0,43	0,3124	0,82	0,1320	1,21	0,0501
0,05	0,4745	0,44	0,3068	0,83	0,1288	1,22	0,0489
0,06	0,4732	0,45	0,3011	0,84	0,1257	1,23	0,0477
0,07	0,4717	0,46	0,2955	0,85	0,1226	1,24	0,0466
0,08	0,4699	0,47	0,2899	0,86	0,1196	1,25	0,0454
0,09	0,4679	0,48	0,2843	0,87	0,1166	1,26	0,0443
0,10	0,4657	0,49	0,2788	0,88	0,1138	1,27	0,0433
0,11	0,4633	0,50	0,2733	0,89	0,1110	1,28	0,0422
0,12	0,4607	0,51	0,2679	0,90	0,1083	1,29	0,0412
0,13	0,4579	0,52	0,2625	0,91	0,1057	1,30	0,0402
0,14	0,4579	0,53	0,2571	0,92	0,1031	1,31	0,0393
0,15	0,4516	0,54	0,2518	0,93	0,1005	1,32	0,0384
0,16	0,4482	0,55	0,2466	0,94	0,0981	1,33	0,0374
0,17	0,4446	0,56	0,2414	0,95	0,0956	1,34	0,0365
0,18	0,4409	0,57	0,2363	0,96	0,0933	1,35	0,0357
0,19	0,4370	0,58	0,2313	0,97	0,0910	1,36	0,0348
0,20	0,4329	0,59	0,2263	0,98	0,0887	1,37	0,0340
0,21	0,4286	0,60	0,2214	0,99	0,0865	1,38	0,0332
0,22	0,4212	0,61	0,2165	1,00	0,0844	1,39	0,0324
0,23	0,4197	0,62	0,2117	1,01	0,0823	1,40	0,0317
0,24	0,4151	0,63	0,2070	1,02	0,0803	1,41	0,0309
0,25	0,4103	0,64	0,2024	1,03	0,0783	1,42	0,0302
0,26	0,4054	0,65	0,1978	1,04	0,0764	1,43	0,0295
0,27	0,4004	0,66	0,1934	1,05	0,0744	1,44	0,0288
0,28	0,3954	0,67	0,1889	1,06	0,0727	1,45	0,0282
0,29	0,3902	0,68	0,1846	1,07	0,0709	1,46	0,0275
0,30	0,3849	0,69	0,1804	1,08	0,0691	1,47	0,0269
0,31	0,3796	0,70	0,1762	1,09	0,0674	1,48	0,0263
0,32	0,3742	0,71	0,1721	1,10	0,0658	1,49	0,0257
0,33	0,3687	0,72	0,1681	1,11	0,0641	1,50	0,0251
0,34	0,3632	0,73	0,1641	1,12	0,0626	1,51	0,0245

Продовження таблиці А.1

r\z	K	r\z	K	r\z	K	r\z	K
0,35	0,3577	0,74	0,1603	1,13	0,0610	1,52	0,0240
0,36	0,3521	0,75	0,1565	1,14	0,0595	1,53	0,0234
0,37	0,3465	0,76	0,1527	1,15	0,0581	1,54	0,0229
0,38	0,3408	0,77	0,1491	1,16	0,0567	1,55	0,0224
1,56	0,0219	1,67	0,0171	1,86	0,0114	2,40	0,0040
1,57	0,0214	1,68	0,0167	1,88	0,0109	2,50	0,0034
1,58	0,0209	1,69	0,0163	1,90	0,0105	2,60	0,0029
1,59	0,0204	1,70	0,0160	1,92	0,0101	2,70	0,0024
1,60	0,0200	1,72	0,0153	1,94	0,0097	2,80	0,0021
1,61	0,0195	1,74	0,0147	1,96	0,0093	2,90	0,0017
1,62	0,0191	1,76	0,0141	1,98	0,0089	3,00	0,0015
1,63	0,0187	1,78	0,0135	2,00	0,0085	3,50	0,0007
1,64	0,0183	1,80	0,0129	2,10	0,0070	4,00	0,0004
1,65	0,0179	1,82	0,0124	2,20	0,0058	4,50	0,0002
1,66	0,0175	1,84	0,0119	2,30	0,0048	5,00	0,0001

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Значення коефіцієнта K_c

	Значення					
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2486	0,2489	0,2490	0,2491	0,2491	0,2491
0,4	0,2401	0,2420	0,2429	0,2434	0,2437	0,2439
0,6	0,2229	0,2275	0,2300	0,2315	0,2324	0,2329
0,8	0,1999	0,2075	0,2120	0,2147	0,2165	0,2176
1,0	0,1752	0,1851	0,1911	0,1955	0,1981	0,1999
1,2	0,1516	0,1626	0,1705	0,1758	0,1793	0,1818
1,4	0,1308	0,1423	0,1508	0,1569	0,1613	0,1644
1,6	0,1123	0,1241	0,1329	0,1396	0,1445	0,1482
1,8	0,0969	0,1083	0,1172	0,1241	0,1294	0,1334
2,0	0,0840	0,0947	0,1034	0,1103	0,1158	0,1202
2,2	0,0732	0,0832	0,0917	0,0984	0,1039	0,1084
2,4	0,0642	0,0734	0,0813	0,0879	0,0934	0,0979
2,6	0,0566	0,0651	0,0725	0,0788	0,0842	0,0887
2,8	0,0502	0,0580	0,0649	0,0709	0,0761	0,0805
3,0	0,0447	0,0519	0,0583	0,0640	0,0680	0,0732
3,2	0,0401	0,0467	0,0526	0,0580	0,0627	0,0668
3,4	0,0361	0,0421	0,0477	0,0527	0,0571	0,0611
3,6	0,0326	0,0382	0,0433	0,0480	0,0523	0,0561
3,8	0,0296	0,0348	0,0395	0,0439	0,0479	0,0516
4,0	0,0270	0,0318	0,0362	0,0403	0,0441	0,0474
4,2	0,0247	0,0291	0,0333	0,0371	0,0407	0,0439
4,4	0,0227	0,0268	0,0306	0,0343	0,0376	0,0407
4,6	0,0209	0,0247	0,0283	0,0317	0,0348	0,0378
4,8	0,0193	0,0229	0,0262	0,0294	0,0324	0,0352
5,0	0,0179	0,0212	0,0243	0,0274	0,0302	0,0328
6,0	0,0127	0,0151	0,0174	0,0196	0,0218	0,0238
7,0	0,0094	0,112	0,0130	0,0147	0,0164	0,0180
8,0	0,0073	0,0087	0,0101	0,0114	0,0127	0,0140
9,0	0,058	0,0069	0,0080	0,0091	0,0102	0,0112
10,0	0,0047	0,0056	0,0065	0,0074	0,0083	0,0092

Продовження таблиці Б.1

	Значення				
	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492
0,4	0,2440	0,2441	0,2442	0,2442	0,2442
0,6	0,2333	0,2335	0,2337	0,2338	0,2339
0,8	0,2183	0,2188	0,2192	0,2194	0,2196
1,0	0,2012	0,2020	0,2026	0,2031	0,2034
1,2	0,1836	0,1849	0,1858	0,1865	0,1870
1,4	0,1667	0,1685	0,1696	0,1705	0,1712
1,6	0,1509	0,1530	0,1545	0,1557	0,1567
1,8	0,1365	0,1389	0,1408	0,1423	0,1434
2,0	0,1236	0,1263	0,1284	0,1390	0,1314
2,2	0,1120	0,1149	0,1172	0,1191	0,1205
2,4	0,1016	0,1047	0,1071	0,1092	0,1108
2,6	0,0924	0,0955	0,0981	0,1003	0,1020
2,8	0,0842	0,0875	0,0900	0,0923	0,0942
3,0	0,0769	0,0801	0,0828	0,0851	0,0870
3,2	0,0704	0,0735	0,0762	0,0786	0,0806
3,4	0,0646	0,0677	0,0704	0,0727	0,0747
3,6	0,0594	0,0624	0,0651	0,0674	0,0694
3,8	0,0548	0,0577	0,0603	0,0626	0,0646
4,0	0,0507	0,0535	0,0560	0,0588	0,0603
4,2	0,0469	0,0496	0,0521	0,0543	0,0563
4,4	0,0436	0,0462	0,0485	0,0507	0,0527
4,6	0,0405	0,0430	0,0453	0,0474	0,0493
4,8	0,0378	0,0402	0,0424	0,0444	0,0463
5,0	0,0353	0,0376	0,0397	0,0417	0,0435
6,0	0,0257	0,0276	0,0293	0,0310	0,0325
7,0	0,0195	0,0210	0,0224	0,0238	0,0251
8,0	0,0153	0,0165	0,0176	0,0187	0,0198
9,0	0,0122	0,0132	0,0142	0,0152	0,0161
10,0	0,0100	0,0109	0,0117	0,0125	0,0132

Продовження таблиці Б.1

	Значення					
	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492
0,4	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443
0,6	0,2340	0,2340	0,2341	0,2341	0,2341	0,2342
0,8	0,2198	0,2199	0,2199	0,2200	0,2200	0,2202
1,0	0,2037	0,2039	0,2040	0,2041	0,2042	0,2044
1,2	0,1873	0,1876	0,1878	0,1880	0,1882	0,1885
1,4	0,1718	0,1722	0,1725	0,1728	0,1730	0,1735
1,6	0,1574	0,1580	0,1584	0,1587	0,1590	0,1598
1,8	0,1443	0,1450	0,1455	0,1460	0,1463	0,1474
2,0	0,1324	0,1332	0,1339	0,1345	0,1350	0,1363
2,2	0,1218	0,1227	0,1235	0,1242	0,1248	0,1264
2,4	0,1122	0,1133	0,1142	0,1150	0,1156	0,1175
2,6	0,1035	0,1047	0,1058	0,1066	0,1073	0,1095
2,8	0,0957	0,0970	0,0982	0,0991	0,0999	0,1024
3,0	0,0887	0,0901	0,0913	0,0923	0,0931	0,0959
3,2	0,0823	0,0838	0,0850	0,0861	0,0870	0,0900
3,4	0,0765	0,0780	0,0793	0,0804	0,0814	0,0847
3,6	0,0712	0,0728	0,0741	0,0753	0,0763	0,0799
3,8	0,0664	0,0680	0,0694	0,0706	0,0717	0,0753
4,0	0,0620	0,0636	0,0650	0,0663	0,0674	0,0712
4,2	0,0581	0,0596	0,0610	0,0623	0,0634	0,0674
4,4	0,0544	0,0560	0,0574	0,0586	0,0587	0,0639
4,6	0,0510	0,0526	0,0540	0,0553	0,0564	0,0606
4,8	0,0480	0,0495	0,0509	0,0522	0,0533	0,0576
5,0	0,0451	0,0466	0,0480	0,0493	0,0504	0,0547
6,0	0,0340	0,0353	0,0366	0,0377	0,0388	0,0431
7,0	0,0263	0,0275	0,0286	0,0296	0,0306	0,346
8,0	0,0209	0,0219	0,0228	0,0237	0,0246	0,0283
9,0	0,0169	0,0178	0,0186	0,0194	0,0202	0,0235
10,0	0,0140	0,0147	0,0154	0,0162	0,0167	0,0198

Закінчення таблиці Б.1

	Значення				
	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492	0,2492
0,4	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443	0,2443
0,6	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342	0,2342
0,8	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202	0,2202
1,0	0,2045	0,2045	0,2046	0,2046	0,2046
1,2	0,1887	0,1888	0,1888	0,1888	0,1888
1,4	0,1738	0,1739	0,1739	0,1739	0,1740
1,6	0,1601	0,1602	0,1603	0,1604	0,1604
1,8	0,1478	0,1480	0,1481	0,1482	0,1482
2,0	0,1368	0,1371	0,1372	0,1373	0,1374
2,2	0,1271	0,1274	0,1276	0,1277	0,1277
2,4	0,1184	0,1188	0,1190	0,1191	0,1192
2,6	0,1106	0,1111	0,1113	0,1115	0,1116
2,8	0,1036	0,1041	0,1045	0,1047	0,1048
3,0	0,0973	0,0980	0,0983	0,0986	0,0987
3,2	0,0916	0,0923	0,928	0,0930	0,0933
3,4	0,0864	0,0873	0,0877	0,0880	0,0882
3,6	0,0816	0,0826	0,0832	0,0835	0,0837
3,8	0,0773	0,0784	0,0790	0,0794	0,0796
4,0	0,0733	0,0745	0,0752	0,0756	0,0758
4,2	0,0696	0,0709	0,0716	0,0721	0,0724
4,4	0,0662	0,0676	0,0684	0,0689	0,0692
4,6	0,0630	0,0644	0,0654	0,0659	0,0663
4,8	0,0601	0,0616	0,0626	0,0631	0,0635
5,0	0,0573	0,0589	0,0599	0,0606	0,0610
6,0	0,0460	0,0479	0,0491	0,0500	0,0506
7,0	0,0376	0,0396	0,0411	0,0421	0,0428
8,0	0,0311	0,0332	0,0348	0,0359	0,0367
9,0	0,0262	0,0282	0,0298	0,0310	0,0319
10,0	0,0222	0,0242	0,0258	0,0270	0,0280

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Значення коефіцієнтів M_γ , M_q , M_c

Кут внутрішнього тертя φ_{II} , град	Коефіцієнти			Кут внутрішнього тертя φ_{II} , град	Коефіцієнти		
	M_γ	M_q	M_c		M_γ	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

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Значення коефіцієнту α

ζ	Коефіцієнт α для фундаментів							
	Круглих	Прямокутних із співвідношенням сторін $\eta=l/b$, рівним						Стрічкових ($\eta \geq 10$)
		1	1,4	1,8	2,4	3,2	5	
0,0	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
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 Г.1 позначено: b - ширина або діаметр фундаменту, l – довжина фундаменту.

Примітка 2. Для фундаментів, що мають підшву у формі правильного багатокутника з площею A , значення α приймають як для круглих фундаментів радіусом $r = \sqrt{A/\pi}$.

Примітка 3. Для проміжних значень ζ і η коефіцієнт α визначають інтерполяцією.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. – М.: Высш. шк., 1986.
2. Котов М.Ф. Механика грунтов в примерах. – М.: Высш. шк., 1988.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для вузов. – 3-е изд., доп. – М.: Высш. школа, 1979. – 272 с.
4. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии): Учебник. 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 416 с.: ил. – (Учебник для вузов. Специальная литература).
5. ДБН В.2.1-10-2015 Основи і фундаменти будівель та споруд.