

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА  
ТА АРХІТЕКТУРИ

КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ГЕОДЕЗІЇ ТА  
ЗЕМЛЕУСТРОЮ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання контрольних робіт з дисципліни  
«Механіка земляного полотна та дорожнього одягу» для  
здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», ОПП  
«Автомобільні дороги і аеродроми» заочної та дистанційної  
форм навчання

Дніпро  
2022

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни «Механіка земляного полотна та дорожнього одягу» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», ОПП «Автомобільні дороги і аеродроми» заочної та дистанційної форм навчання / Укладачі: Кірічек Ю.О., Ландо Є.О., Кочан С.М. – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2022. – 31с.

В методичних вказівках наведені приклади розрахунку стійкості схилів земляного полотна, що надасть змогу здобувачам вищої освіти виконати контрольну роботу, виконувати самостійні завдання та придбати навички проектування та розрахунку земляного полотна.

Укладачі: Кірічек Ю.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА;

Ландо Є.О., к.т.н., доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА;

Кочан С.М., асистент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА;

Відповідальний за випуск: Ландо Є.О., к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА.

Рецензент: Ю.Б. Балашова, к.т.н., доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ДВНЗ ПДАБА

Затверджено на засіданні кафедри  
автомобільних доріг, геодезії та  
землеустрою ДВНЗ ПДАБА  
Протокол № 1 від 22.08.2022 р.

Рекомендовано до друку  
навчально-методичною  
радою ДВНЗ ПДАБА  
Протокол № № 1(7) від 20.09.2022 р

## ЗМІСТ

Вступ	3
Завдання на контрольну роботу, зміст та порядок виконання	4
Задача № 1. Визначення необхідних характеристик ґрунтів для розрахунку і проектування доріг	6
Задача № 2. Метод горизонтальних сил	9
Задача № 3. Побудова обрисів рівностійкого укосу графоаналітичним методом $F_p$	11
Задача № 4. Розрахунок стійкості укосу насипу методом круглоциліндричних поверхонь ковзання (метод відсіків)	14
Задача № 5. Визначення величини заглиблення підпірної стінки шляхом порівняння активного і пасивного тиску	20
Перелік рекомендованої та додаткової літератури	22
Додаток А	23
Додаток Б	26
Додаток В	27

### Вступ

При проектуванні автомобільних доріг найбільш практичне значення набула перевірка стійкості укосів земляного полотна розрахунковим шляхом. На земельне полотно впливають власна вага ґрунту, зовнішні навантаження від транспорту і дорожнього покриття та інші природні фактори. Для глибоких виїмок і високих насипів напружено-деформований стан і водно-тепловий режим при несприятливому збігу обставин можуть призводити до зменшення стійкості. При проектуванні для обґрунтування стійкості виконують розрахунок укосів насипів і виїмок. Перевіряють стійкість укосів в однорідних насипах і вилучення, стійкість укосів шаруватих ґрунтових масивів і стійкість підтоплених водою укосів.

Критерієм оцінки стійкості для всіх розрахунків є коефіцієнт стійкості, який визначається відношенням зсуваючих сил і утримуючих факторів. За умови  $K_{\text{стійк}} > 1$  стійкість укосу вважається забезпеченою. Якщо  $K_{\text{стійк}} = 1$ , стан стійкості вважається граничним. При  $K_{\text{стійк}} < 1$  стійкість укосу не забезпечена. У двох останніх випадках виникає необхідність зміни геометрії поперечного профілю схилу, поліпшення характеристик ґрунтів їх зміцненням або розробкою конструктивних рішень для підтримки укосу в стійкому положенні.

Крутість укосу земляного полотна характеризують коефіцієнтом залягання, який визначається, як відношення висоти укосу до його горизонтальної проекції.

Крутість схилів насипів і виїмок призначають з урахуванням забезпечення їх стійкості, вимог безпеки руху, а також умов не занесений дороги снігом або піском. На міцному підґрунті крутість схилів призначається відповідно до ДБН «Споруди транспорту. Автомобільні

дороги».

Крутість схилів для насипів до 1м заввишки призначають 1:4 на дорогах I...III категорій і 1:3 для насипів до 2 м заввишки на дорогах інших категорій. На цінних землях допускається збільшення крутизни схилу до граничних значень з розробкою способів забезпечення безпеки руху.

При висоті насипу 2-6 м, крутизна схилу залежить від типу ґрунту земляного полотна.

Якщо висота насипу понад 6 м, її верхню частину виконують з крутизною укосу від 1:1,5 до 1: 1,75, а нижню від 1:1,75 до 1:2.

Крутість схилів високих насипів чи виїмок (більше 12м) призначають за результатами індивідуального проектування. При цьому розрахунком визначають: побудова поперечного профілю, який би забезпечував стійкість укосу насипу; безпечну навантаження на підставу, яка виключає бічне видавлювання ґрунту; величину осідання підстави насипи із-за здавлювання ґрунту.

### **Завдання на контрольну роботу, зміст та порядок виконання**

В якості вихідних даних студенти використовують дані індивідуального завдання на розробку контрольної роботи, які використовувалися на практичних заняттях. Це дає можливість студентам в повній мірі використати знання, набуті на практичному занятті при виконанні контрольної роботи.

Метою виконання контрольної роботи є придбання навичок розрахунку стійкості схилів земляного полотна.

Результати перевірки контрольної роботи є формою поточного контролю самостійної роботи студентів. Контроль отриманих студентами знань і рівень їх підготовки в області механіки земляного полотна та дорожнього одягу здійснюється за допомогою іспиту в кінці семестру.

Контрольна робота з курсу механіки земляного полотна та дорожнього одягу складається з п'яти задач.

Задача № 1. Визначення необхідних характеристик ґрунтів для розрахунку і проектування доріг

Задача № 2. Метод горизонтальних сил

Задача № 3. Побудова обрисів рівностійкого укосу графоаналітичним методом  $F_p$

Задача № 4. Розрахунок стійкості укосу насипу методом круглоциліндричних поверхонь ковзання (метод відсіків)

Задача № 5. Визначення величини заглиблення підпірної стінки шляхом порівняння активного і пасивного тиску

Виконання вказаних задач передбачає обов'язкове попереднє вивчення теоретичних питань дисципліни «Механіка земляного полотна та дорожнього одягу». При цьому студент повинен освоїти основні питання,

що стосуються особливостей перевірки стійкості укосів земляного полотна розрахунковим шляхом

Вихідні дані беруть за варіантом завдання викладача, варіант складається з двох цифр, перша цифра - варіант геометричних параметрів земляного полотна (модулів закладення укосу і потужність кожного ґрунтового шару, Додаток А, Табл. 1, рис. 1), друга цифра - варіант інженерно-геологічних умови ґрунтового масиву з характеристиками кожного шару ґрунту (Додаток А, Табл.2). Для прикладу взято варіант 9-9.

1. Профіль укосу з його характеристиками.

Варіант	Модуль закладення укоса			Товщина шару ґрунта, м		
	m1	m2	m3	h1	h2	h3
9	2,0	1,5	2,5	6,2	11,3	9,4

Інженерно-геологічні умови:

Варіант	Показники	$\gamma$ , кН/м	$\gamma_s$ , кН/м <sup>3</sup>	Вологість в долях від одиниці			Коефіцієнт Пуассона $\mu$
				W	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	
9	1. Пісок пилюватий	17,5	26,5	0,18	-	-	0,28
	2. Суглинок бурий	19,2	26,7	0,19	0,34	0,16	0,41
	3. Супісок пилюватий	16,0	26,7	0,19	0,21	0,14	0,37
	4. Глина третинна	20,1	26,5	0,18	0,25	0,14	0,27

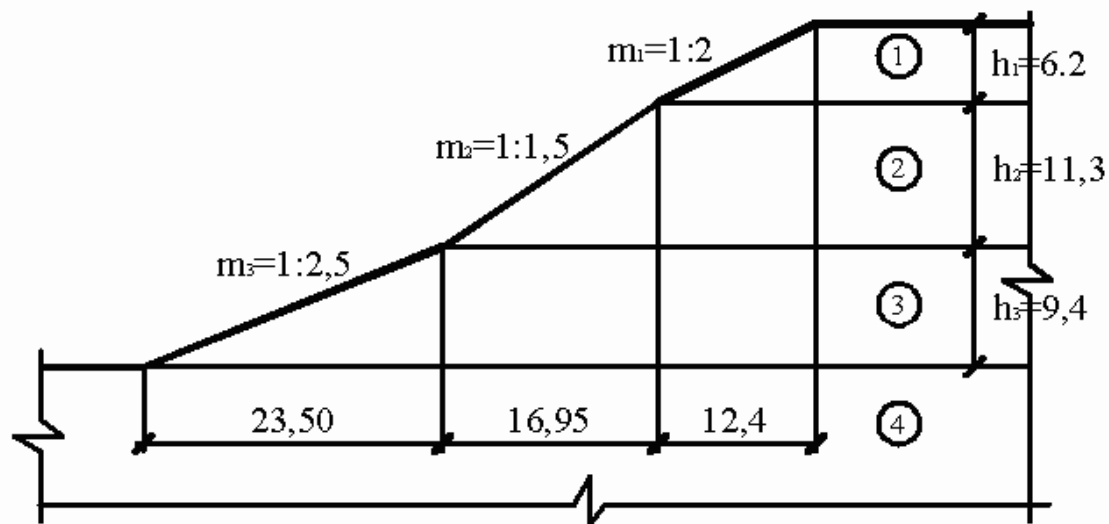


Рис. 1.1. Схема поперечного розрізу укосу з його розмірами

### Задача № 1.

#### Визначення необхідних характеристик ґрунтів для розрахунку і проектування доріг

1. Визначення коефіцієнта пористості:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma} (1 + W) - 1,$$

де:  $\gamma_s$  - питома вага часток ґрунту, кН/м<sup>3</sup>,

$\gamma$  - питома вага ґрунту, кН/м<sup>3</sup>,

W - природна вологість ґрунту.

2. Визначення ступеня вологості для піщаних ґрунтів:

$$S_r = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \gamma_w};$$

де  $\gamma_w$  - питома вага води (10 кН/м<sup>3</sup>).

3. Визначення числа пластичності для глинистих ґрунтів:

$$I_p = W_L - W_p$$

де  $W_L$  - вологість ґрунту, при якій ґрунт знаходиться на межі переходу пластичного і текучого станів;

$W_p$  - вологість ґрунту, при якій ґрунт знаходиться на кордоні твердого та пластичного стану.

4. Визначення показника плинності для глинистих ґрунтів:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$$

5. Кут внутрішнього тертя ( $\phi$ ), питомих зчеплення ґрунту (C) і модуль деформації (E) визначаються відповідно до ДБН (дивись Додаток 2).

Приклад розрахунку:

1. Піщаний ґрунт: Пісок пилюватий

$\gamma$	$\gamma_s$	W	$W_L$	$W_p$
17,5	26,5	0,18	-	-

Знайдемо коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma} (1 + W) - 1 = \frac{26,5}{17,5} (1 + 0,18) - 1 = 0,79.$$

За коефіцієнтом пористості визначаємо, що пісок пилюватий, середньої щільності.

Знайдемо ступінь вологості ґрунту:

$$S_r = \frac{W \cdot \gamma_s}{e \gamma_w} = \frac{0,18 \cdot 26,5}{0,79 \cdot 10} = 0,60$$

За ступенем вологості визначимо, що даний ґрунт – вологий, оскільки

$$0,5 < S_r \leq 0,8.$$

Далі знаходимо для даного ґрунту його характеристики; питоме зчеплення –  $c$ , кут внутрішнього тертя –  $\varphi$  і модуль деформації –  $E$ , (Додаток А, табл.1).

$$c = 2 \text{ кПа} = 0,02 \text{ кгс/см}^2; \varphi = 26^0; E = 11 \text{ МПа} = 110 \text{ кгс/см}^2$$

2. Глинистий ґрунт: Суглинок бурий

$\gamma$	$\gamma_s$	W	$W_L$	$W_p$
19,2	26,7	0,19	0,34	0,16

Знайдемо коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma}(1 + W) - 1 = \frac{26,7}{19,2}(1 + 0,19) - 1 = 0,65.$$

Знайдемо число пластичності:

$$I_p = W_L - W_p = 0,34 - 0,16 = 0,18.$$

Знайдемо показник плинності:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{0,19 - 0,16}{0,34 - 0,16} = 0,17.$$

За числом пластичності ґрунт відноситься до глин,  $I_p > 0,17$ . За показником плинності визначаємо консистенцію даного ґрунту. Даний ґрунт напівтвердий,  $0 \leq I_L \leq 0,25$ .

Далі знаходимо питоме зчеплення –  $c$ , кут внутрішнього тертя –  $\varphi$ , (додаток А табл. 2) і знаходимо модуль деформації –  $E$  (табл. 3, додаток А)

$$c = 68 \text{ кПа} = 0,68 \text{ кгс/см}^2; \varphi = 20^0; E = 24 \text{ МПа} = 240 \text{ кгс/см}^2$$

3. Глинистий ґрунт: Супісок пилюватий

$\gamma$	$\gamma_s$	W	$W_L$	$W_p$
16,0	26,7	0,19	0,21	0,14

Знайдемо коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma}(1 + W) - 1 = \frac{26,7}{16,0}(1 + 0,19) - 1 = 0,99.$$

Знайдемо число пластичності:

$$I_p = W_L - W_p = 0,21 - 0,14 = 0,07.$$

Знайдемо показник плинності:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{0,19 - 0,14}{0,21 - 0,14} = 0,71.$$

За числом пластичності ґрунт відноситься до супісків,  $0,01 \leq I_p \leq 0,07$ . За показником плинності визначаємо консистенцію даного ґрунту. Даний ґрунт пластичний,  $0 \leq I_L \leq 1$ .

Далі знаходимо питоме зчеплення –  $c$ , кут внутрішнього тертя –  $\varphi$  і модуль деформації –  $E$  для даного ґрунту

$$c = 9 \text{ кПа} = 0,09 \text{ кгс/см}^2; \varphi = 18^0; E = 7 \text{ МПа} = 70 \text{ кгс/см}^2.$$

## 4. Глинистий ґрунт: Глина третинна

$\gamma$	$\gamma_s$	W	$W_L$	$W_p$
20,1	26,5	0,18	0,25	0,14

Знайдемо коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma}(1 + W) - 1 = \frac{26,5}{20,1}(1 + 0,18) - 1 = 0,56.$$

Знайдемо число пластичності:

$$I_p = W_L - W_p = 0,25 - 0,14 = 0,11.$$

Знайдемо показник плинності:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{0,18 - 0,14}{0,25 - 0,14} = 0,36.$$

За числом пластичності ґрунт відноситься до суглинків  $0,07 \leq I_p \leq 0,17$ . За показником плинності визначаємо консистенцію даного ґрунту. Даний ґрунт тугопластичний,  $0,25 \leq I_L \leq 0,50$ .

Далі по таблиці 2, додаток А знаходимо питоме зчеплення – с, кут внутрішнього тертя -  $\phi$ . Модуль деформації - Е для даного ґрунту знаходимо за таб. 3 додатка А.

$$c = 33,4 \text{ кПа} = 0,334 \text{ кгс/см}^2; \phi = 23^0; E = 24,4 \text{ МПа} = 244 \text{ кгс/см}^2.$$

Таблиця 1.1.

Зведена таблиця характеристик ґрунту

№	Найменування	$\gamma$	$\gamma_s$	W	$W_L$	$W_p$	$\mu$	e	$I_L/S_r$	c	$\phi$	E
1	Пісок пилюватий середньої щільності, вологий	17,5	26,5	0,18	-	-	0,28	0,79	0,60	2	26	11
2	Глина напівтверда	19,2	26,7	0,19	0,34	0,16	0,41	0,65	0,17	68	20	24
3	Супісок пилюватий, пластичний	16,0	26,7	0,19	0,21	0,14	0,37	0,99	0,71	9	18	7
4	Суглинок тугопластичний	20,1	26,5	0,18	0,25	0,14	0,27	0,56	0,36	33,4	23	24,4



## Задача № 2. Метод горизонтальних сил

Цей метод дозволяє виконати перевірочний розрахунок з встановленням коефіцієнта запасу для укосу з будь-якою формою поверхні ковзання, і в тому числі для кругового. Ця обставина є дуже великою перевагою даного методу в порівнянні зі звичайними.

Суть цього методу полягає в графічному та аналітичному визначенні активного тиску ґрунту, в межах того чи іншого розрахункового блоку, як на підпірну стінку з вертикальним заднім ребром позбавленим тертя, і з поверхнею ковзання, нахиленої до горизонту під кутом.

Основні формули цього методу.

$$H = P * \operatorname{tg} \alpha;$$

де  $H$  – розпір (тиск на стінку) при відсутності в ґрунті тертя і сцеплення;  $\alpha$  – нахил по поверхні ковзання до горизонту;  $P$  – вага розрахункового блоку.

$$P = S * \gamma * 1;$$

де  $S$  – площа сектора,  $\text{м}^2$ ;  $\gamma$  – питома вага ґрунту (шару ґрунту)  $\text{кН/м}$ ;  $1$  – ширина укосу,  $\text{м}$ .

$$R = P * \operatorname{tg} (\alpha - \psi_p);$$

де  $R$  – непогашена частина тиску (активний тиск);  $\psi_p$  – кут опору зсуву при напрузі.

$$\psi_p = \operatorname{arctg} F_p = \operatorname{arctg} (\operatorname{tg} \varphi + C/\sigma);$$

де  $C$  – питоме зчеплення,  $\text{кПа}$ ,  $\sigma$  – питома вага шару ґрунту,  $h_i$  – висота шару ґрунту.

$$T = H - R = P * (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} (\alpha - \psi_p));$$

де  $T$  – частина розпору (тиск на стінку), сприйнятлива тертям і зчепленням в ґрунті.

Коефіцієнт стійкості.  $K_{\text{стійк}} = \sum T / \sum H$ .

Крива ковзання визначається положенням відрізків ломаною, що проводяться під кутом.

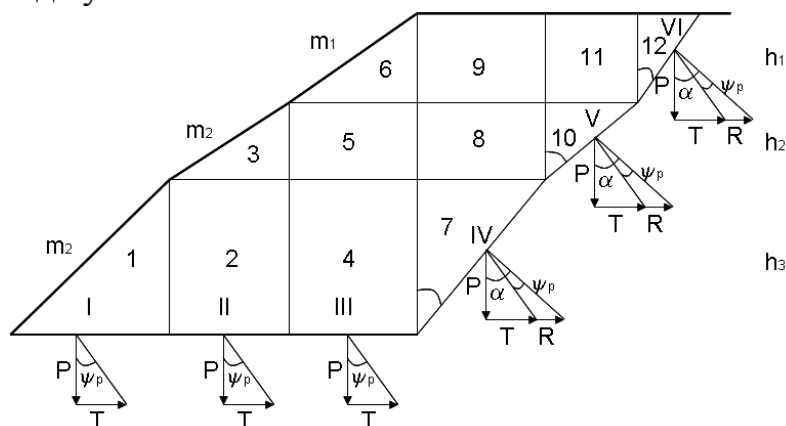


Рис. 2.1 Розрахункова схема для метода горизонтальних сил

Приклад розрахунку:

1. Визначимо  $\beta$ :

$$\beta_1 = (45^0 - 27^0/2) = 31^030';$$

$$\beta_2 = (45^0 - 35^0/2) = 27^030';$$

$$\beta_3 = (45^0 - 26^0/2) = 32^00'.$$

2. Визначемо площу відсіків.

$$S_1 = 1/2 \times 10,6 \times 12,4 = 65,72 \text{ м}^2.$$

$$S_2 = 10,6 \times 12,4 = 131,44 \text{ м}^2.$$

$$S_3 = 1/2 \times 12,4 \times 5,4 = 33,48 \text{ м}^2.$$

$$S_4 = 8,0 \times 10,6 = 84,8 \text{ м}^2.$$

$$S_5 = 8,0 \times 5,4 = 43,2 \text{ м}^2.$$

$$S_6 = 1/2 \times 8,0 \times 6,2 = 24,8 \text{ м}^2.$$

$$S_7 = 1/2 \times 7,2 \times 10,6 = 38,16 \text{ м}^2.$$

$$S_8 = 7,2 \times 5,4 = 38,88 \text{ м}^2.$$

$$S_9 = 7,2 \times 6,2 = 44,64 \text{ м}^2.$$

$$S_{10} = 1/2 \times 4,8 \times 5,4 = 12,96 \text{ м}^2.$$

$$S_{11} = 4,8 \times 6,2 = 29,76 \text{ м}^2.$$

$$S_{12} = 1/2 \times 4,4 \times 6,2 = 13,64 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо вагу окремих блоків.

$$P_1 = 65,72 \times 16,0 = 1051,52 \text{ кН.}$$

$$P_2 = 131,44 \times 16,0 + 33,48 \times 19,4 = 2752,55 \text{ кН.}$$

$$P_3 = 84,8 \times 16,0 + 43,2 \times 19,4 + 24,8 \times 17,5 = 2628,88 \text{ кН.}$$

$$P_4 = 38,16 \times 16,0 + 38,88 \times 19,4 + 44,64 \times 17,5 = 2146,03 \text{ кН.}$$

$$P_5 = 12,96 \times 19,4 + 29,76 \times 17,5 = 772,22 \text{ кН.}$$

$$P_6 = 13,64 \times 17,5 = 238,7 \text{ кН.}$$

4. Визначимо розпір  $H$  при відсутності в ґрунті тертя і зчеплення.

$$H_1 = P \times \text{tg } \alpha = 1051,52 \times \text{tg } 0 = 0.$$

$$H_2 = 2752,55 \times \text{tg } 0 = 0.$$

$$H_3 = 2628,88 \times \text{tg } 0 = 0.$$

$$H_4 = 2146,03 \times \text{tg } 58 = 3434,37 \text{ кН.}$$

$$H_5 = 772,22 \times \text{tg } 62,5 = 1483,42 \text{ кН.}$$

$$H_6 = 238,7 \times \text{tg } 58,5 = 389,5 \text{ кН.}$$

5. Визначимо непогашену частину тиску (активного тиску) при  $\psi_p$  для відповідного тиску ґрунту.

$$\psi_{p1} = \text{arctg} (\text{tg } \varphi + C/\sigma) = \text{arctg} (\text{tg } 26 + 0) = 26^0$$

$$\psi_{p2} = \text{arctg} (\text{tg } \varphi + C/\sigma) = \text{arctg} (\text{tg } 26 + 0) = 26^0$$

$$\psi_{p3} = \text{arctg} (\text{tg } \varphi + C/\sigma) = \text{arctg} (\text{tg } 26 + 0) = 26^0$$

$$\psi_{p4} = \text{arctg} (\text{tg } \varphi + C/\sigma) = \text{arctg} (\text{tg } 26 + 0) = 26^0$$

$$\psi_{p5} = \text{arctg} (\text{tg } \varphi + C/\sigma) = \text{arctg} (\text{tg } 35 + 1 / (5,4 \times 19,4 + 6,2 \times 17,5)) = 35^018'$$

$$\psi_{p6} = \text{arctg} (\text{tg } \varphi + C/\sigma) = \text{arctg} (\text{tg } 19 + 18 / (6,2 \times 17,5)) = 27^003'$$

5.1. Визначимо нахил по поверхні ковзання до горизонту  $\alpha$

$$\alpha_6 = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 31^\circ 30' = 58^\circ 30'$$

$$\alpha_5 = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 27^\circ 30' = 62^\circ 30'$$

$$\alpha_4 = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 32^\circ 0' = 58^\circ$$

5.2. Визначаємо непогашену частину тиску.

$$R_1 = P_1 \times \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p) = 1051,52 \times \operatorname{tg}(0^\circ - 26^\circ) = -512,86 \text{ КН.}$$

$$R_2 = P_2 \times \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p) = 2752,55 \times \operatorname{tg}(0^\circ - 26^\circ) = -1342,51 \text{ КН.}$$

$$R_3 = P_3 \times \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p) = 2628,88 \times \operatorname{tg}(0^\circ - 26^\circ) = -1282,19 \text{ КН.}$$

$$R_4 = P_4 \times \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p) = 2146,03 \times \operatorname{tg}(58^\circ - 26^\circ) = 1340,99 \text{ КН.}$$

$$R_5 = P_5 \times \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p) = 772,22 \times \operatorname{tg}(62^\circ 30' - 35^\circ 18') = 396,87 \text{ КН.}$$

$$R_6 = P_6 \times \operatorname{tg}(\alpha - \psi_p) = 238,7 \times \operatorname{tg}(58^\circ 30' - 27^\circ 03') = 145,99 \text{ КН.}$$

6. Визначимо частину розпору, який сприймає тертя і зчеплення в ґрунті.

$$T_1 = H_1 - R_1 = 0 - (-512,86) = 512,86 \text{ КН}$$

$$T_2 = H_2 - R_2 = 0 - (-1342,51) = 1342,51 \text{ КН}$$

$$T_3 = H_3 - R_3 = 0 - (-1282,19) = 1282,19 \text{ КН}$$

$$T_4 = H_4 - R_4 = 3434,37 - 1340,99 = 2093,38 \text{ КН}$$

$$T_5 = H_5 - R_5 = 1483,42 - 396,87 = 1086,55 \text{ КН}$$

$$T_6 = H_6 - R_6 = 389,5 - 145,99 = 243,51 \text{ КН}$$

Отримані дані заносимо в таблицю.

Таблиця 2.1

Зведена таблиця розрахунку стійкості схилу  
методом горизонтальних сил

№ п/п	P	$\alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\psi_p$	$\operatorname{tg} \psi_p$	H	R	T
1	1051.52	0	0	26	0.49	0	-512.86	512.86
2	2752.55	0	0	26	0.49	0	-1342.51	1342.5
3	2628.88	0	0	26	0.49	0	-1282.19	1282.2
4	2146.03	58	1.6	26	0.49	3434.37	1340.99	2093.3
5	772.22	62.3	1.92	35.18	0.71	1483.42	396.87	1086.6
6	238.7	58.3	1.63	27.03	0.51	389.5	145.99	243.51
					$\Sigma =$	5307.29	$\Sigma =$	6561.0

7. Визначаємо коефіцієнт стійкості.

$$K_{\text{стійкості}} = \Sigma T / \Sigma H = 6561 / 5307,29 = 1,23.$$

### Задача № 3.

**Побудова обрисів рівностійкого укосу графоаналітичним методом  $F_p$ .**

Серед багатьох методів оцінки стійкості схилів та укосів широко застосовується метод  $F_p$ , запропонований М.М.Масловим у 1949 році

і перевірений практикою інженерно-геологічних розрахунків, за яким оцінюється не тільки ступінь стійкості схилу або укосу, але і міцність гірських порід у найслабкіших зонах.

Критерієм міцності порід у схилах та відкосах при використанні цього методу є величина кута опору зсуву  $\psi_i$ , значення якого можна розрахувати за формулою :

$$\operatorname{tg} \psi_i = F_p = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\sigma_z},$$

Якщо схил чи укіс не завантажений, і напруження в ньому виникають тільки під дією власної ваги порід, то величина нормального напруження на горизонтальній площадці буде дорівнювати:  $\sigma_{zgi} = \gamma_i \cdot z_i$ ; а у випадку шаруватого схилу чи укосу  $\sigma_{zgi} = \sum \gamma_i \cdot z_i$ .

При проектуванні обрисів схилу графоаналітичним методом можна вибрати кілька варіантів з певними коефіцієнтами стійкості за формулою:  $K_{зан} = \frac{\operatorname{tg} \psi_i}{\operatorname{tg} \alpha_i}$ .

Розрахункова схема має такий вигляд (рис.3.1)

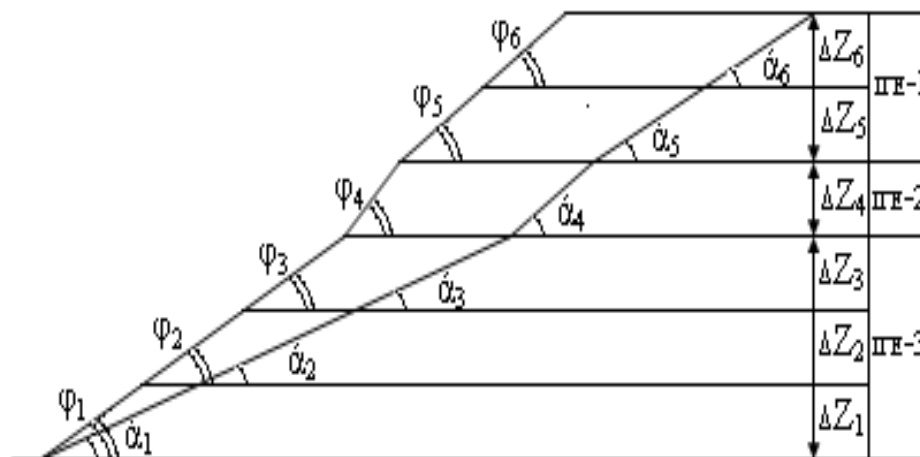


Рис. 3.1. Розрахункова схема для побудови обрисів рівностійкого укосу та укосу з певним коефіцієнтом запасу стійкості графоаналітичним методом  $F_p$ .

1. Будуємо геологічний переріз за результатами вишукувань на дослідній ділянці, поділяємо інженерно-геологічні елементи на шари потужністю 3 – 6 м і розраховуємо величини стискаючих напружень на підшвах шарів за формулою:  $\sigma_{zgi} = \sum \gamma_i \cdot z_i$ ; результати розрахунків заносимо до таблиці.

2. Розраховуємо кути зсуву для кожного шару за формулами :

$$\operatorname{tg} \psi_i = \operatorname{tg} \varphi_3 + \frac{c_3}{\sigma_{z^3}} ;$$

$$\psi_i = \operatorname{arctg} \left( \operatorname{tg} \varphi_3 + \frac{c_3}{\sigma_{z^3}} \right) ;$$

3. Розраховуємо кути нахилу поверхні схилу в межах виділених шарів при певних значеннях коефіцієнту запасу стійкості за формулою:

$$\alpha_i = \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{tg} \psi_i}{K_{зан}} \right) .$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці.

4. За отриманими результатами будуємо обриси рівностійкого відкосу (за кутами  $\psi_i$ ) та відкосу з певним коефіцієнтом запасу стійкості (за кутами  $\alpha_i$ ), починаючи з точки на підшві відкосу і відкладаючи відповідні кути в межах кожного розрахункового шару.

Результати розрахунків величин стискаючих напружень, кутів зсуву та кутів нахилу денної поверхні при певному значенні коефіцієнта стійкості.

Таблиця 3.1

№ ІГЕ						
$H, \text{м}$						
$\gamma, \text{кН/м}^3$						
$c, \text{кПа}$						
$\varphi, \text{град}$						
№ шару	1	2	3	1	2	3
$z_i, \text{м}$						
$\sigma_{zgi}, \text{кПа}$						
$c / \sigma_{zgi}$						
$\operatorname{tg} \varphi$						
$\operatorname{tg} \psi$						
$\psi$						
$\operatorname{tg} \psi / K_{зан}$						
$\alpha$						

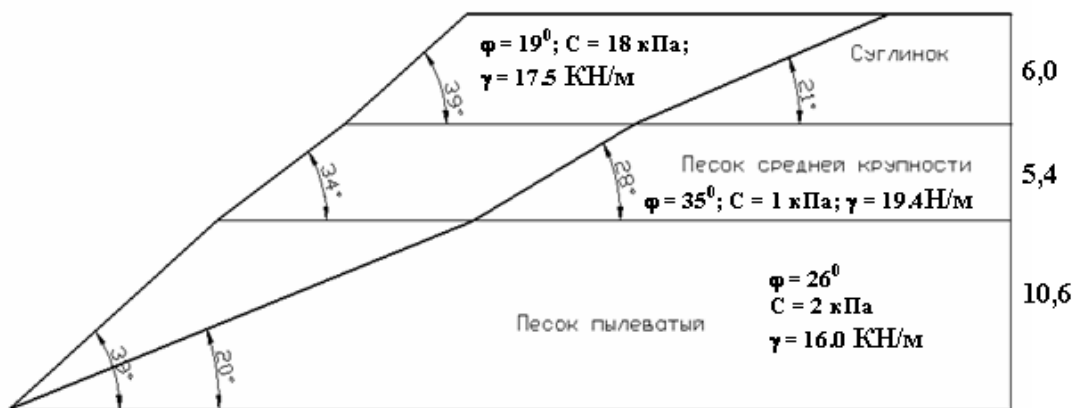


Рис. 3.2 Побудова рівностійкого укосу

#### Задача № 4.

#### Розрахунок стійкості укосу насипу методом кругло-циліндричних поверхонь ковзання (метод відсіків)

Розрахунок стійкості проводиться методом кругло-циліндричної поверхні ковзання або його також називають методом моментів оскільки вважається, що ґрунтовий масив знаходиться в рівновазі, тобто сума моментів діючих в ньому дорівнює нулю.

Масив ґрунту який сповзає знаходиться під дією двох моментів:

1. Момент, що зсுவує масив ґрунту.
2. Момент, що його утримує.

Допущення цього методу:

Руйнування укосу можуть бути внаслідок зсуву масиву ґрунту щодо центру поверхні ковзання т.О, масив ґрунту розглядається, як твердий блок, який при переміщенні по кругло-циліндричній поверхні ковзання.

Прикладена сила не в центрі відсіку, а умовно знаходиться на перетині його середньої лінії й поверхні ковзання.

Так як лінія ковзання криволінійна і в різних точках змінюється її кут нахилу до горизонту ( $\alpha$ ), то весь масив потрібно поділити на кілька розрахункових відсіків і для кожного визначити величини зрушуючих і утримуючих сил. Вага кожного відсіку  $G_i$  розкладається на нормальну  $N_i$  і дотичну  $T_i$  складові.

Вага кожного елемента

$$G_i = A_i * \gamma_i,$$

де:  $A_i$  - площа і-го елемента,  $\gamma_i$  - питома вага і-го елемента ґрунту

Нормальна складова напруги і-го відсіку

$$N_i = G_i * \cos \alpha_i$$

Дотична складова напруги і-го відсіку

$$T_i = G_i * \sin \alpha_i$$

Силами зрушення будуть  $T_i$  і момент цих сил  $M_{зр}$

$$M_{зр} = \sum T_i * R ,$$

де: R - радіус дуги ковзання.

Утримуючими силами буде зчеплення C поверхні ковзання довжиною L і нормальна складова ваги ґрунту N<sub>i</sub>.

Довжина дуги L

$$L = \frac{\pi R \theta}{180^\circ},$$

де:  $\theta$  - центральний кут.

Момент сил утримують укіс M<sub>утр</sub> буде визначатися, як опір зрушення по поверхні ковзання помноженому на радіус поверхні ковзання.

$$M_{утр} = (\sum N_i \times \text{tg} \varphi_{cp} + C \times L) \times R ,$$

де:  $\varphi_{cp}$  - середнє значення кута внутрішнього тертя ґрунту.

$$\text{tg} \varphi_{cp} = f_{cp} = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n};$$

$h_1, h_2, h_n$  - товщини окремих шарів.

Необхідно враховувати те, що для кожного питомого зчеплення C своя довжина дуги L.

Коефіцієнт стійкості K<sub>ст</sub> визначається наступним чином.

$$K_{ст} = \frac{M_{утр}}{M_{зр}} = \frac{(\sum N_i \times \text{tg} \varphi_{cp} + \sum C_i \times L_i) \times R}{\sum T_i \times R} = \frac{\text{tg} \varphi_{cp} \sum N_i + \sum C_i \times L_i}{\sum T_i}$$

Коефіцієнт стійкості K<sub>ст</sub>  $\geq \frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c}$  але не більш ніж на 10%, якщо це не

обумовлено особливостями споруди.

$\gamma_f, \gamma_n, \gamma_{fc}$  - коефіцієнти надійності за навантаження, відповідальності споруди, поєднання навантажень, які визначаються за СНіП 2.06.01-86 «Гідротехнічні споруди. Основні положення», СНіП 2.06.05-84 «Греблі з ґрунтових матеріалів».

Приклад розрахунку:

Для визначення лінійного коефіцієнта стійкості використовують методику послідовного наближення.

1. Центр кривий ковзання визначають методом послідовних наближень запропонованим шведським вченим Феленіусом. Спочатку визначають положення прямий АВ. Точка А розташована на перетині прямих проведених з кінців укосу під кутами  $\alpha_1$  і  $\beta$  і які приймають по таблицях залежно від кута нахилу укосу  $\alpha$ . При ламаних укосах виходять з спрямленого обриси укосу. Крапку В визначають шляхом геометричної побудови кола від підшови насипу вниз відкладають відрізок рівний Н - висоті укосу а потім від отриманої точки вправо або вліво залежно від розглянутого укосу відрізок дорівнює 4,5Н.

2. Проводять криві з центром на прямій АВ, що проходять через

підшву укосу і які виходять на поверхню укосу в точках  $0,25$ ;  $0,5$ ;  $0,75$  висоти насипу (розрахунково-графічної роботі приймається  $H$ ). З центру точки про проводиться дуга мінімальним радіусом з підніжжя схилу, яка відповідає лінії ковзання. Координати центру  $O$  визначають шляхом відновлення перпендикуляра до середини лінії проведеної з підніжжя схилу і точки  $0,25H$ ,  $0,5H$ ,  $0,75H$  до перетину з прямою  $AB$ .

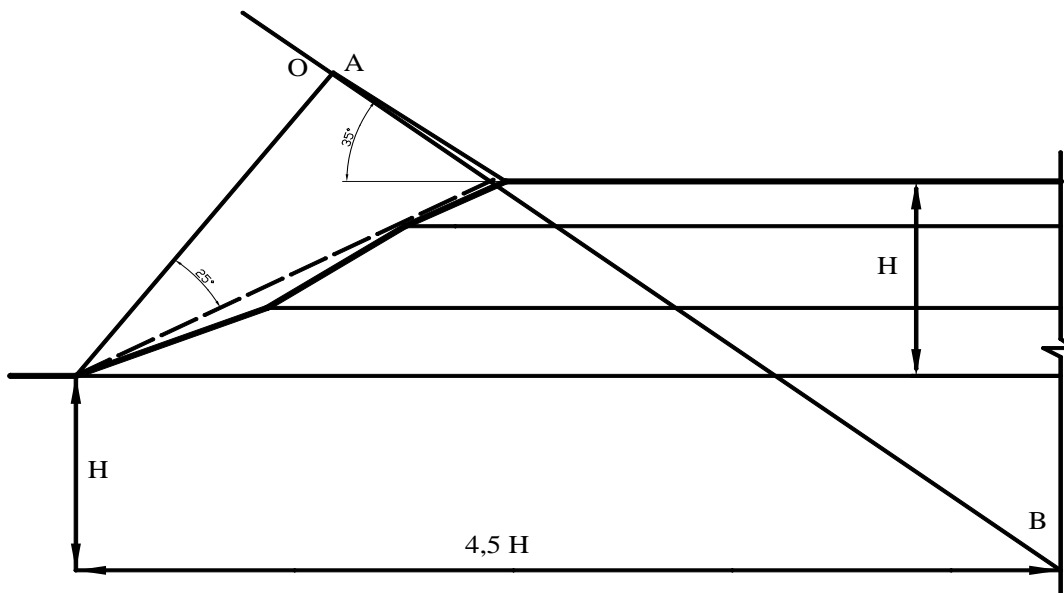


Рис. 4.1. Схема укосу з визначенням центру

Спозвзаючий масив, утворений дугою поділяють на ряд вертикальних відсіків однакової ширини (8 - 15, дивись рис. 4.2). Ширина підбирається в межах 2-3 м. При роботі на міліметровому папері розміром A2 підбирається масштаб 1:200.

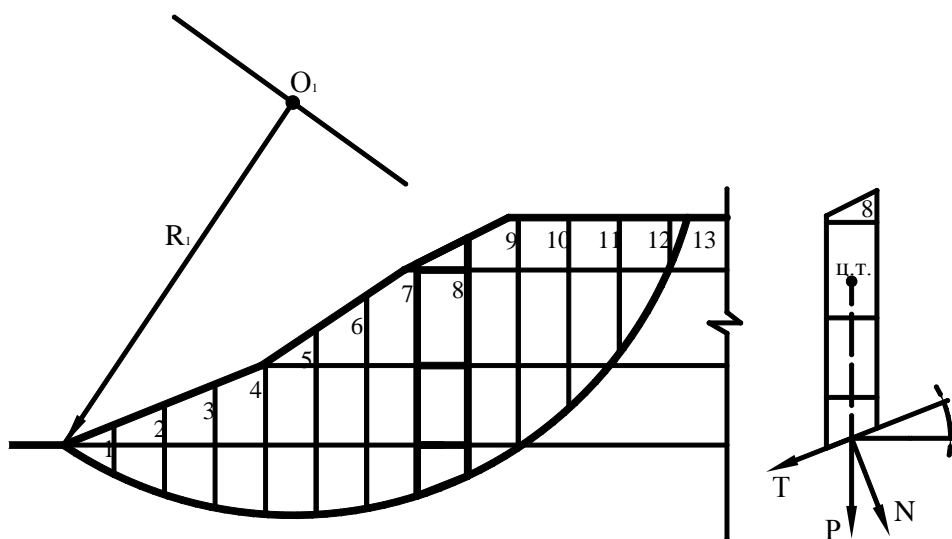


Рис. 4.2. Схема проведення колової кривої ковзання і розбиття укосу на блоки.



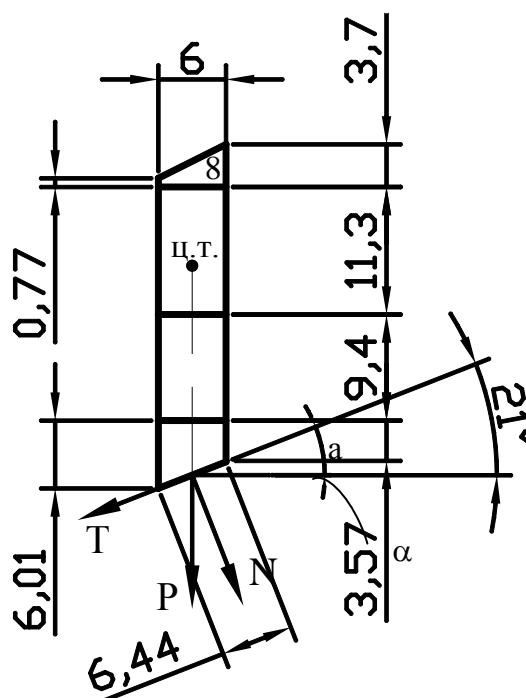


Рис. 4.3. Блок №8 з розмірами.

3. Визначаємо площу кожного шару ґрунту, наприклад блок №8:

площа 1 шару ґрунту (площа трапеції )

$$A = (3,7+0,77)/2 \times 6 = 13,41 \text{ м}^2;$$

площа 2 шару ґрунту (площа прямокутника )

$$A = 11,3 \times 6 = 67,8 \text{ м}^2;$$

площа 3 шару ґрунту  $A = 9,4 \times 6 = 56,4 \text{ м}^2;$

площа 4 шару ґрунту  $A = (3,57 + 6,01)/2 \times 6 = 28,74 \text{ м}^2;$

У розрахунках ще використовуємо площу трикутника за формулою

$$A = \frac{a*b}{2}$$

4. Обчислюється вага кожного блоку:

$$\text{для 1 шару } G_1 = 13,41 \times 17,5/9,81 = 23,92 \text{ т.}$$

$$\text{для 2 шару } G_2 = 67,80 \times 19,2/9,81 = 132,7 \text{ т.}$$

$$\text{для 3 шару } G_3 = 56,40 \times 16,0/9,81 = 91,99 \text{ т.}$$

$$\text{для 4 шару } G_4 = 28,74 \times 20,1/9,81 = 58,88 \text{ т.}$$

Сумарна вага блоку №8  $G = 307,49 \text{ т.}$

5. Обчислюється довжина дуги  $L$  по поверхні ковзання для кожного

блоку.  $L = \frac{\pi R \theta}{180^\circ}$ . Для блоку №8  $L = 6,44 \text{ м}$

6. Визначаються кути нахилу лінії ковзання до горизонтальної поверхні для кожного блоку (кут  $\alpha$ ), наприклад, для блоку №8 кут  $\alpha = 21^\circ$ .

7. У межах кожного блоку обчислюються нормальні  $N_i$  і дотичні  $T_i$  складові відсіку.

Для 8 блоку

$$N_i = G_i \times \cos \alpha_i = 307,49 \times \cos 21^\circ = 307,49 \times 0,9336 = 287,07 \text{ тнс.}$$

$$T_i = G_i \times \sin \alpha_i = 307,49 \times \sin 21^\circ = 307,49 \times 0,3584 = 110,2 \text{ тнс.}$$

Розрахунки виконуються для всіх блоків. Результати розрахунків заносяться в таблицю.

8. Для всіх блоків визначається  $\sum T_i$ , з урахуванням напрямку руйнуючої сили,  $\sum N_i$ .

9. Визначається коефіцієнт стійкості схилу насипу  $K_{ст}$ .

$$K_{уст} = \frac{M_{y0}}{M_{сов}} = \frac{tg \varphi_{cp} \sum N_i + \sum C_i \times L_i}{\sum T_i}$$

10. Відступивши від центру кривий мінімального значення  $K_{ст}$  1 - 2 см, отримуємо новий центр  $O_1$  кривий ковзання. Розрахунки коефіцієнта стійкості повторюють.

11. Знайдене  $K_{ст}$  відкладають у масштабі з відповідного центру ( $O_1, O_2, O_3, \dots$ ) перпендикулярно до прямої АВ. Поєднавши точки з ординатами  $K_{ст}$  отримують епюру значень коефіцієнтів стійкості, за якої визначають мінімальна  $K_{ст}$  (рис. 4.4).

12. Для більш точного визначення центру безпечної кривий ковзання, на прямий АВ через крапку з мінімальним  $K_{уст}$  проводять перпендикулярну пряму, на якій намічаються кілька положень центрів. З кожного центру проводять поверхня ковзання і визначають  $K_{ст}$ . За розрахунковий беруть найменший коефіцієнт стійкості.

На підставі проведених розрахунків робиться висновок.

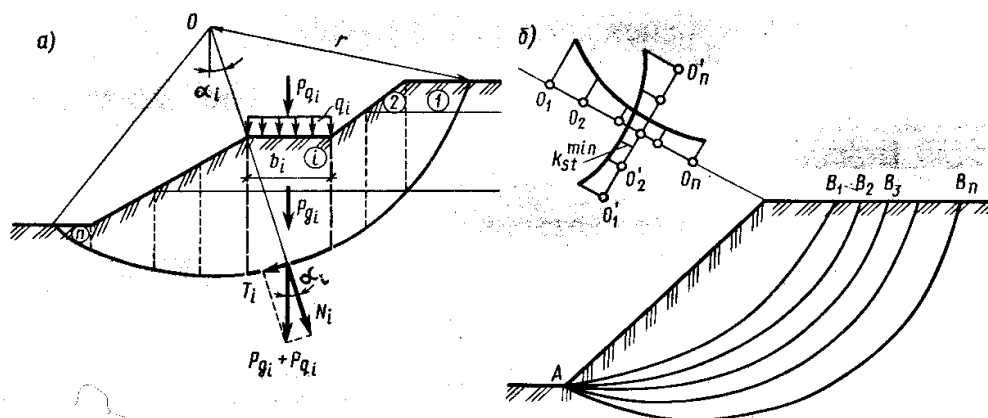


Рис.4.4 Схема до розрахунку стійкості схилів методом круглоциліндричних поверхонь ковзання: а) - розрахункова схема; б) визначення положення найбільш небезпечною поверхні ковзання; 1, 2, ... - номери елементів.

Таблиця 4.1

## Результати розрахунків

№№		Характеристики ґрунту			Характеристики по шарам в блоці и блока				Сили		Опір зрушенню	Зчеплення	
Блок	Шар	Питома вага ґрунту $\gamma$ , кН/м	Кут внутрішнього тертя $\phi$ , градус	Питоме зчеплення ґрунту $C$ , кПа	Площа, $A_i$ , м <sup>2</sup>	Вага, $G_i$ , тнс	Довжина крової $L$ , м	Кут $\alpha$ , градус	Зрушуюча $T_i(+)$ , тнс	Утримуюча $T_i(-)$ , тнс			$N_i$ , тнс
7													
Всього по блоку													
8	1	17,5	26	2	13,41	23,92							
	2	19,2	20	68	67,8	132,7							
	3	16,0	18	9	56,4	91,99							
	4	20,1	23	33,4	28,74	58,88							
Всього по блоку						307,49	6,44	21	110,2		287,07	120,6	215,1
9													
Всього по укося									$\sum T_i(+) +$ $T_i(-)$			$\sum N_i \times \text{tg } \phi_i$	$\sum C_i \times L_i$



Вихідні дані :  $H =$  ;  $\varphi =$  ;  $c =$  .

1. Розрахунки величин активного тиску та їх рівнодійних виконаємо за формулами:

$$\sigma_{ai} = \gamma (H' + h_{3,i}) \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - 2c \cdot \operatorname{tg}(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) =$$

$$\text{де : } H' = H - h_c ;$$

$$E_{ai} = \frac{\sigma_{ai} \cdot (H' + h_{3,i})}{2} =$$

2. Розрахунки величин моментів рівнодійних активного тиску виконаємо за формулою :

$$M_{a,i} = E_{ai} \frac{H' + h_{3,i}}{3} .$$

При заглибленні  $h_{3,1}$  матимемо  $M_{a,5} =$  ;

при заглибленні  $h_{3,2}$  , матимемо  $M_{a,10} =$  .

3. Розрахунки величин пасивного тиску та їх рівнодійних виконаємо за формулами :

$$\sigma_{p,0} = 2c \cdot \operatorname{tg}(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) =$$

$$\sigma_{p,i} = \gamma h_{3,i} \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) + 2c \cdot \operatorname{tg}(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) =$$

$$E_{p,i} = \frac{\sigma_{p,0} + \sigma_{p,i}}{2} \cdot h_{3,i} =$$

При заглибленні  $h_{3,i}$  матимемо :

$$\sigma_{p,5} = \quad E_{p,5} =$$

При заглибленні  $h_{3,i}$  матимемо :

$$\sigma_{p,10} = \quad E_{p,10} =$$

4. Розрахунки величин моментів рівнодійних пасивного тиску виконуємо за формулою :

$$M_{p,i} = \frac{E_{p,i} \cdot h_{3,i}}{2} =$$

При заглибленні  $h_{3.1}$  матимемо :  $M_{p.5} =$

При заглибленні  $h_{3.2}$  матимемо :  $M_{p.10} =$

5. За результатами виконаних розрахунків будуємо в масштабі графіки зміни величин моментів залежно від величини заглиблення і графічно знаходимо оптимальну величину заглиблення підпірної стінки, при якому моменти урівноважені (див. рис.9) :

$$M_{a.i} = M_{p.i} ,$$

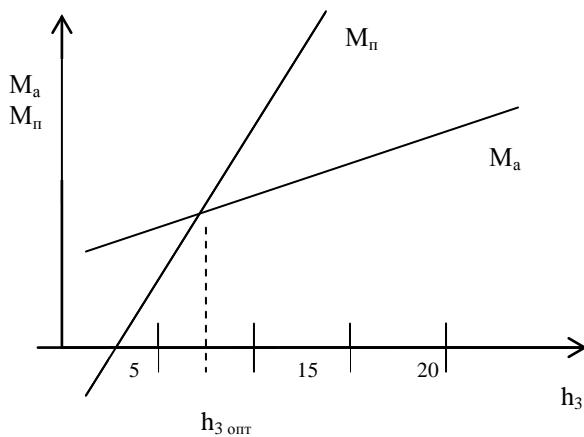


Рис.5.2. Графіки залежності моментів рівнодійних активного і пасивного тиску від заглиблення підпірної стінки.

Проекція точки перетину графіків зміни моментів на вісь  $h_{3.i}$  дає нам орієнтовне по точності, але оптимальне у принципі значення величини заглиблення підпірної стінки  $h_{3.opt}$ .

### ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ТА ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зоценко М.Л., Коваленко В.І., Яковлев А.В. та інші. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Полтава. ПНТУ., 2004. – 568 с.
2. Бойчук В.С., Кірічек Ю.О. Сільськогосподарські дороги та майданчики. К.: Урожай, 2000.-311с.
3. Бойчук В.С. Довідник дорожника.-Київ:Урожай.-2002.-558с.

## Додаток А

Таблиця А.1

Профіль укоса з його характеристиками

Варіант	Модуль закладення укоса			Товщина шару ґрунта, м		
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$h_1$	$h_2$	$h_3$
1	1.5	1.25	1.75	8.1	5.3	4.5
2	1.25	1.25	1.5	3.5	6.1	15.4
3	1.2	1.6	2.5	4.8	12.5	6.4
4	1.5	2.0	1.75	7.3	5.2	8.5
5	1.25	1.5	1.25	6.2	5.4	10.6
6	2.5	1.75	1.5	5.6	6.2	9.3
7	1.4	2.0	1.6	10.1	9.6	4.5
8	1.75	1.5	2.0	8.5	6.3	8.0
9	2.0	1.5	2.5	6.2	11.3	9.4
10	1.5	1.75	2.5	7.5	13.6	5.0
11	1.25	1.75	1.5	4.2	7.4	7.6
12	1.5	1.25	1.75	8.2	5.5	4.3
13	1.25	1.75	1.5	4.5	6.4	7.3
14	1.75	1.5	2.0	7.5	5.4	7.0
15	1.2	1.6	2.5	5.0	9.5	7.5

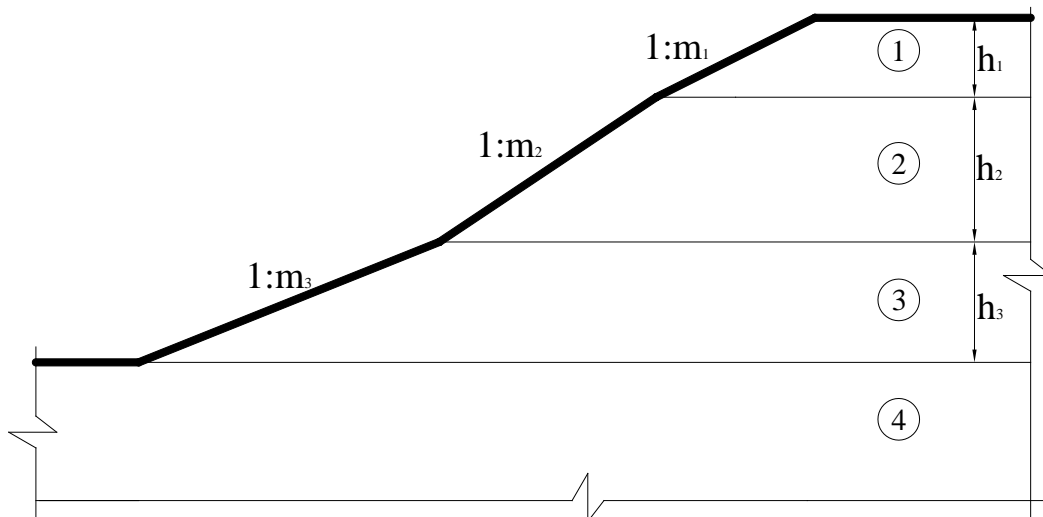


Рис. А.1. Схема укосів з ґрутовими умовами.

Таблиця А.2

## Інженерно-геологічні умови

Номер варіанту	Номер шару и назва грунту	$\gamma$ кН/м	$\gamma_s$ кН/м <sup>3</sup>	Вологість в долях від одиниці			Коефіцієнт Пуассона $\mu$
				W	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	
1	1 Суглинок	17,5	26,9	0,20	0,29	0,16	0,37
	2 Пісок середній крупнисті	19,4	26,2	0,20	-	-	0,29
	3 Пісок пілуватий	16,0	26,5	0,17	-	-	0,30
	4 Глина четвертина	19,8	27,4	0,23	0,44	0,22	0,43
2	1 Суглинок червонобирий	17,8	26,6	0,17	0,22	0,14	0,37
	2 Супісок пілуватий	16,7	26,4	0,16	0,16	0,10	0,35
	3 Пісок крупний	18,8	26,5	0,17	-	-	0,20
	4 Суглинок важкий	19,7	27,0	0,19	0,42	0,16	0,40
3	1 Суглинок	19,0	26,8	0,22	0,28	0,15	0,37
	2 Пісок мілкий	19,3	26,5	0,20	-	-	0,27
	3 Супісок пілуватий	15,0	26,6	0,21	0,24	0,18	0,30
	4 Глина	19,0	27,2	0,24	0,46	0,16	0,41
4	1 Пісок мілкий	19,2	26,5	0,20	-	-	0,29
	2 Пісок середній крупнисті	16,2	27,0	0,20	-	-	0,42
	3 Супісок пілуватий	16,3	26,7	0,18	0,20	0,14	0,30
	4 Глина третинна	20,0	27,6	0,25	0,46	0,16	0,41
5	1 Супісок пілуватий	18,0	26,8	0,18	0,20	0,15	0,30
	2 Суглинок легкий	17,5	26,6	0,17	0,21	0,12	0,42
	3 Пісок середній крупнисті	20,0	26,5	0,18	-	-	0,27
	4 Глина четвертина	18,5	27,4	0,27	0,42	0,17	0,41
6	1 Суглинок легкий	18,9	26,5	0,16	0,23	0,13	0,40
	2 Супісок пілуватий	19,2	26,6	0,15	0,18	0,12	0,31
	3 Пісок середній крупнисті	20,2	26,5	0,17	-	-	0,41
	4 Глина третинна	19,8	27,4	0,24	0,45	0,21	0,42
7	1 Пісок мілкий	19,0	26,5	0,18	-	-	0,28
	2 Супісок пілуватий	17,2	26,7	0,19	0,22	0,13	0,36
	3 Суглинок	16,5	27,0	0,15	0,30	0,1- 5	0,38
	4 Глина третинна	20,0	27,4	0,24	0,46	0,16	0,42



Продовження табл. А.2

Номер варіант у	Номер шару и назва грунту	$\gamma$ кН/м	$\gamma_s$ кН/м <sup>3</sup>	Вологість в долях			Коефіцієнт Пуассона $\mu$
				W	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	
8	1 Супісок пилуватий	19,0	26,6	0,19	0,22	0,15	0,30
	2 Пісок пилуватий	17,2	26,5	0,14	-	-	0,26
	3 Глина пластична	17,0	27,6	0,30	0,48	0,20	0,42
	4 Суглинок червонобирий	20,4	27,6	0,22	0,38	0,15	0,40
9	1 Пісок пилуватий	17,5	26,5	0,18	-	-	0,28
	2 Суглинок бурий	19,2	26,7	0,19	0,34	0,16	0,41
	3 Супісок пилуватий	16,0	26,7	0,19	0,21	0,14	0,37
	4 Глина третинна	20,1	26,5	0,18	0,25	0,14	0,27
10	1 Глина пластична	17,2	27,4	0,32	0,48	0,18	0,42
	2 Пісок мілкий	19,8	25,5	0,18	-	-	0,25
	3 Суглинок бурий	19,0	27,0	0,20	0,25	0,15	0,32
	4 Глина	20,4	27,8	0,24	0,44	0,17	0,41
11	1 Супісок пилуватий	19,0	26,6	0,20	0,22	0,15	0,30
	2 Пісок пилуватий	16,2	26,5	0,19	-	-	0,28
	3 Пісок середній крупністі	19,2	26,3	0,18	-	-	0,25
	4 Глина	19,2	27,0	0,22	0,34	0,16	0,40
12	1 Пісок середній крупністі	17,8	26,5	0,11	-	-	0,28
	2 Пісок пилуватий	16,8	26,4	0,18	-	-	0,29
	3 Супісок пилуватий	16,0	26,7	0,19	0,21	0,14	0,37
	4 Глина четвертина	19,7	27,4	0,25	0,44	0,20	0,42
13	1 Суглинок важкий	18,4	27,1	0,20	0,32	0,16	0,38
	2 Супісок пилуватий	17,3	26,6	0,20	0,21	0,15	0,30
	3 Пісок крупний	19,8	26,5	0,20	-	-	0,25
	4 Глина пластична	18,6	27,6	0,30	0,48	0,20	0,42
14	1 Суглинок	15,0	26,7	0,19	0,30	0,16	0,38
	2 Пісок мілкий	18,1	26,5	0,16	-	-	0,26
	3 Пісок середній крупністі	19,8	26,5	0,20	-	-	0,27
	4 Суглинок легкий	19,0	27,0	0,20	0,25	0,15	0,32
15	1 Супісок пилуватий	16,0	26,6	0,18	0,24	0,13	0,32
	2 Суглинок бурий	17,6	26,6	0,18	0,28	0,15	0,38
	3 Пісок мілкий	16,5	26,5	0,15	-	-	0,28
	4 Глина третинна	20,1	27,2	0,20	0,46	0,17	0,42

Продовження табл. А.2

Номер варіанту	Номер шару и назва ґрунту	$\gamma$ кН/м	$\gamma_s$ кН/м <sup>3</sup>	Вологість в долях від одиниці			Коефіцієнт Пуассона $\mu$	
				W	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>		
16	1	Суглинок легкий	18,9	26,5	0,16	0,23	0,13	0,40
	2	Супісок пилюватий	19,2	26,6	0,15	0,18	0,12	0,31
	3	Пісок середній крупності	20,2	26,5	0,17	-	-	0,41
	4	Глина третинна	19,8	27,4	0,24	0,45	0,21	0,42
17	1	Пісок мілкий	19,0	26,5	0,18	-	-	0,28
	2	Супісок пилюватий	17,2	26,7	0,19	0,22	0,13	0,36
	3	Суглинок	16,5	27,0	0,15	0,30	0,1- 5	0,38
	4	Глина третинна	20,0	27,4	0,24	0,46	0,16	0,42
18	1	Супісок пилюватий	19,0	26,6	0,19	0,22	0,15	0,30
	2	Пісок пилюватий	17,2	26,5	0,14	-	-	0,26
	3	Глина пластична	17,0	27,6	0,30	0,48	0,20	0,42
	4	Суглинок краснобурий	20,4	27,6	0,22	0,38	0 15	0,40

**Додаток Б**

Таблиця Б.1

Піщані ґрунти класифікують в залежності від коефіцієнта пористості и ступеня вологості.

Тип ґрунту	Вид ґрунту		
	щільний	Середньої щільності	Рихлий
Пісок: Гравійний, крупний і середньої крупності	$e < 0.55$	$0.55 \leq e \leq 0.70$	$e > 0.70$
Мілкий	$e < 0.60$	$0.60 \leq e \leq 0.75$	$e > 0.75$
Пилюватий	$e < 0.60$	$0.60 \leq e \leq 0.80$	$e > 0.80$

Таблиця Б.2

Різновид піщаних ґрунтів	Ступінь вологості
Мало вологі	$0 < e \leq 0.50$
Вологі	$0.5 < e \leq 0.80$
Насичені водою	$0.8 < e \leq 1.00$

Таблиця Б.3  
По числу пластичності  $I_p$  пілувато-глинистих ґрунтів розділяють на типи

Супісок	$0.01 \leq I_p \leq 0.07$
Суглинок	$0.07 \leq I_p \leq 0.17$
Глини	$0.17 < I_p$

Таблиця Б.4  
По консистенції пілувато-глинисті ґрунти за показником плинності  $I_L$  розділяють на різновиди

Супіски		Суглинок і глина	
Тверді	$I_L < 0$	Тверді	$I_L < 0$
		Напівтверді	$0 < I_L \leq 0.25$
Пластичні	$0 \leq I_L \leq 1$	Туго-пластичні	$0.25 < I_L \leq 0.50$
		М'яко-пластичні	$0.50 < I_L \leq 0.75$
Текучі	$1 < I_L$	Текуче-пластичні	$0.75 < I_L \leq 1$
		Текучі	$1 < I_L$

Таблиця Б.5

Закладення укошу	Кут нахилу укошу $\alpha$ , градус	Значення кутів, град	
		$\alpha_1$	$\beta$
1 : 0,58	60	29	40
1 : 1	45	28	37
1 : 1,5	33 <sup>0</sup> 41'	26	35
1 : 2	26 <sup>0</sup> 34'	25	35
1 : 3	18 <sup>0</sup> 25'	25	35
1 : 4	14 <sup>0</sup> 03'	25	36
1 : 5	11 <sup>0</sup> 19'	25	37

**Додаток В**

Таблиця В.1

Нормативні значення питомого зчеплення  $c_n$ , кПа (кгс/см<sup>2</sup>), кута внутрішнього тертя  $\varphi_n$ , град, і модуля деформації  $E$ , МПа (кгс/см<sup>2</sup>)

Піщані ґрунти	Позначки характеристик ґрунтів	Характеристики ґрунтів при коефіцієнті пористості $e$ , рівному			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравійні та крупні	$c_n$	2(0,02)	1(0,01)	-	-
	$\varphi_n$	43	40	38	-
	$E$	50(500)	40(400)	30(300)	-
Середньої крупності	$c_n$	3(0,03)	2(0,02)	1(0,01)	-
	$\varphi_n$	40	38	35	-
	$E$	50(500)	40(400)	30(300)	-

Продовження табл. В.1

Мілкі	$c_n$	6(0,06)	4(0,04)	2(0,02)	-
	$\varphi_n$	38	36	32	28
	E	48(480)	38(380)	28(280)	18(180)
Пилуваті	$c_n$	8(0,08)	6(0,06)	4(0,04)	2(0,02)
	$\varphi_n$	36	34	30	26
	E	39(390)	28(280)	18(180)	11(110)

Таблиця В.2

Нормативні значення питомого зчеплення  $c_n$ , кПа (кгс/см<sup>2</sup>), кута внутрішнього тертя  $\varphi_n$ , град, пилувато-глинистих не лесових ґрунтів четвертинних відкладень.

Найменування ґрунтів і найнижчих нормативних значень їх показники плинності		Позначки характеристик ґрунтів	Характеристики ґрунтів при коефіцієнті пористості $e$ , рівному						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супіски	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$	21	17	15	13	-	-	-
		$\varphi_n$	30	29	27	24			
	$0,25 \leq I_L \leq 0,75$	$c_n$	19	15	13	11	9	-	-
		$\varphi_n$	28	26	24	21	18		
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$	47	37	31	25	22	19	-
		$\varphi_n$	26	25	24	23	22	20	-
	$0,25 \leq I_L \leq 0,5$	$c_n$	39	34	28	23	18	15	-
		$\varphi_n$	24	23	22	21	19	17	-
	$0,5 \leq I_L \leq 0,75$	$c_n$	-	-	25	20	16	14	12
		$\varphi_n$			19	18	16	14	12
Глини	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$	-	81	68	54	47	41	36
		$\varphi_n$	-	21	20	19	18	16	14
	$0,25 \leq I_L \leq 0,5$	$c_n$	-	-	57	50	43	37	32
		$\varphi_n$	-	-	18	17	16	14	11
	$0,5 \leq I_L \leq 0,75$	$c_n$	-	-	45	41	36	33	29
		$\varphi_n$			15	14	12	10	7

Таблиця В.3

Нормативні значення питомого модуля деформації  $E$ , МПа ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ),  
пилувато-глинистих не лесових ґрунтів четвертинних відкладення

Походження та вік ґрунтів		Найменування ґрунтів і найнижчих нормативних значень їх показники плинності		Модуль деформації ґрунтів $E$ , МПа ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ), при коефіцієнті пористості $e$ , рівному										
				0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6
Четвертинні відкладення	Алювіальні, Делювіальні, Озерні, Озерно-алювіальні	Супіски	$0 \leq I_L \leq 1$	-	32 (320)	24 (240)	16 (160)	10 (100)	7 (70)	-	-	-	-	-
		Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	34 (340)	27 (270)	22 (220)	17 (170)	14 (140)	11 (110)	-	-	-	-
			$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	32 (320)	25 (250)	19 (190)	14 (140)	11 (110)	8 (80)	-	-	-	-
			$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	17 (170)	12 (120)	8 (80)	6 (60)	5 (50)	-	-	-
		Глини	$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	-	28 (280)	24 (240)	21 (210)	18 (180)	15 (150)	12 (120)	-	-	-
			$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	-	21 (210)	18 (180)	15 (150)	12 (120)	9 (90)	-	-	-
			$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	-	15 (150)	12 (120)	9 (90)	7 (70)	-	-	-

Продовження табл. В.3.

Походження та вік ґрунтів		Найменування ґрунтів і найнижчих нормативних значень їх показники плинності		Модуль деформації ґрунтів $E$ , МПа ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ), при коефіцієнті пористості $e$ , рівному										
				0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6
	Флювіогляціальні	Супіски	$0 \leq I_L \leq 1$	-	33 (330)	24 (240)	17 (170)	11 (110)	7 (70)	-	-	-	-	-
		Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	-	40 (400)	33 (330)	27 (270)	21 (210)	-	-	-	-	-	-
			$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	35 (350)	28 (280)	22 (220)	17 (170)	14 (140)	-	-	-	-	-
			$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	17 (170)	13 (130)	10 (100)	7 (70)	-	-	-	-
	Морені	Супіски Суглинки	$I_L \leq 0,5$	75 (750)	55 (550)	45 (450)	-	-	-	-	-	-	-	-
Юрські відкладення оксфордського яруса		Глини	$-0,25 \leq I_L \leq 0$	-	-	-	-	-	-	27 (270)	25 (250)	22 (220)	-	-
			$0 < I_L \leq 0,25$	-	-	-	-	-	-	24 (240)	22 (220)	19 (190)	15 (150)	-
			$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16 (160)	12 (120)

Для ґрунтів з проміжними значеннями  $e$ , указаних в [табл. 1-3](#), допускається визначать значення  $c_n$ ,  $\varphi_n$  и  $E$  по інтерполяції.

Числові значення коефіцієнтів  $\gamma_n, \gamma_{fc}$  и  $\gamma_c$  приведені в табл. В.4-В.6.

Таблиця В.4

Клас споруди	I	II	III	IV
Значення $\gamma_n$	1,25	1,20	1,15	1,10

Таблиця В.5

Види навантажень	Основні	Особливі	Будівельного періоду
Значення $\gamma_{fc}$	1,00	0,90	0,95

Таблиця В.6

Метод розрахунку	Задовольняючі умови рівноваги	Спрощенні
Значення $\gamma_c$	1,00	0,95