

## ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХИЛУ НА ДІЛЯНЦІ ОГЛЯДОВОГО МАЙДАНЧИКА

Шумінський В.Д., Степанчук С.В., Шидловська О.В., Данилюк О.М.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** В статті розглянуто питання, що стосуються аналізу оцінки стійкості схилу на ділянці оглядового майданчика за допомогою двох методів: за аналізом напружено-деформованого стану ґрунтів та методом блоків (за методом Г. М. Шахунянца).

**АННОТАЦИЯ:** В статье рассматриваются вопросы, касающиеся анализа оценки устойчивости склона на участке смотровой площадки с помощью двух методов: анализа напряженно-деформированного состояния грунтов и методом блоков (Г.М. Шахунянца).

**ABSTRACT:** The issues concerning to analysis of slope stability assessment on section of sighting site are considered in paper with application of both methods: analysis of stress-strain state of the soils and block method (G.M.Shahuniants method).

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Схил, напружено-деформований стан ґрунтів, метод блоків.

Однією з основних задач на зсувонебезпечних територіях являється оцінка стійкості схилу до початку і безпосередньо в період будівництва. На сьогоднішній день існує сотні методів перевірки стійкості схилів. Серед них: метод напружено-деформованого стану, метод Г.М.Шахунянца, метод Терцагі, Максвелла, Бішопа тощо.

В даній статті аналіз по оцінці стійкості схилу на ділянці оглядового майданчика виконано за допомогою двох методів: за аналізом напружено-деформованого стану ґрунтів та методом блоків (за методом Г. М. Шахунянца). Основним є метод напружено-деформованого стану ґрунтів, що



Споруда в плані має вигляд арки, довжиною – 125 м і шириною – 2,2 м. Арка складається з буронабивних паль, розташованих в один ряд діаметром 620 мм та ростверку (обв'язувальна балка). По верху обв'язувальної балки змонтована конструкція оглядового майданчика, що представляє собою монолітну залізобетонну плиту складної геометричної форми, товщиною 300 мм. На рис. 1 представлено план з розташуванням споруди та прилеглої території. На плані показано інженерно-геологічні розрізи, за якими виконано розрахунки по оцінці стійкості схилу.

Для прикладу розглянуто аналіз оцінки стійкості схилу по розрізу II-II (рис. 2). Оглядовий майданчик, що розташований на схилі, відноситься до класу наслідків (відповідальності) СС3 [1]. Розрахунки по оцінці стійкості схилу виконано для основного поєднання навантаження.

Нормативний коефіцієнт стійкості при основному сполученні навантажень визначається за формулою [2]:

$$[K_{st}] = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc}}{\gamma_c} = \frac{1,25 \cdot 1,0}{1,0} = 1,25,$$

де  $\gamma_n$  – коефіцієнт надійності за відповідальністю споруд,  $\gamma_n = 1,25$  [2];

$\gamma_{lc}$  – коефіцієнт сполучення навантажень при розрахунках за першою групою граничних станів,  $\gamma_{lc} = 1,0$  [2];

$\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи,  $\gamma_c = 1,0$  [1, 2].

Розрахунки по оцінці стійкості схилу за аналізом напружено-деформованого стану виконувались для двох варіантів:

варіант 1 – розрахунок по оцінці стійкості схилу до зсувів ґрунту станом на 2009 рік;

варіант 2 – розрахунок по оцінці стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту та конструкції оглядового майданчика станом на 2013 рік.

Для визначення причин зсуву виконано розрахунки стійкості схилу, при яких моделювалося зменшення механічних характеристик ґрунтів при їх водонасиченні за рахунок покрокового зменшення питомого зчеплення С до виникнення повного руйнування масиву ґрунту.

Розрахунки з оцінки стійкості схилу за аналізом напружено-деформованого стану масиву ґрунту виконувались за моделлю Мора-Кулона. Модель включає наступні параметри: жорсткості (E), коефіцієнт Пуассона ( $\nu_{gr}$ ), питоме зчеплення (c), кут тертя ( $\varphi$ ) і кут дилатансії ( $\psi$ ), об'ємну вагу ґрунту в сухому ( $\gamma_{unsat}$ ) і водонасиченому ( $\gamma_{sat}$ ) станах, коефіцієнти фільтрації  $K_x$  и  $K_y$ .

На рис. 2 показана схема для розрахунку стійкості схилу до зсувів схилу станом на 2009 рік. На рис. 3 – схема з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік.



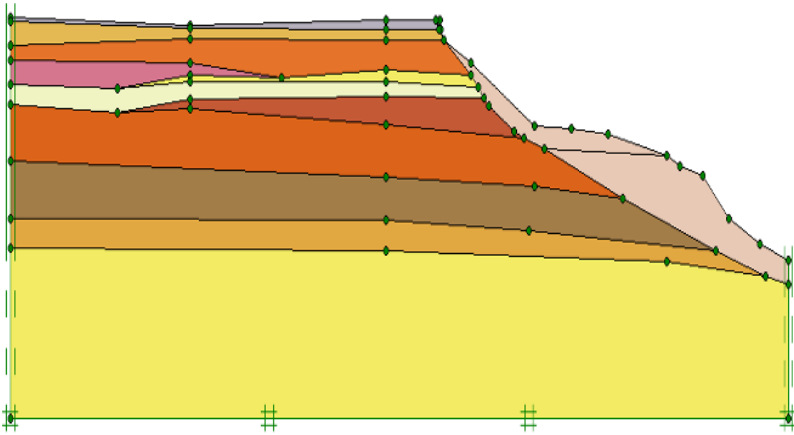


Рис. 3. Схема для розрахунку стійкості схилу до зсувів ґрунту станом на 2009 рік по розрізі 2-2 (Варіант 1)

Розрахунок стійкості схилу виконано методом *Phi-c-reduction* (*φ-c-приведення*), що використовується для розрахунків коефіцієнту стійкості. Параметри міцності контролювались загальним множником  $\Sigma Msf$ . Цей параметр збільшується при поетапному методі до тих пір, поки в ґрунті не виникне руйнування.

Розрахунки з оцінки стійкості схилу станом на 2009 та 2013 роки виконано в стані природної вологості з початковим значенням питомого зчеплення делювіальних ґрунтів (ІГЕ-5)  $C = 32$  кПа. Для визначення причин зсуву виконано розрахунки для схилу станом на 2013 рік при зменшенні питомого зчеплення ґрунтів до  $C = 20$  кПа.

Розрахунки виконано за наступними фазами:

фаза 1 – визначення напружено-деформованого стану схилу станом на 2009 рік (з початковим значенням  $C = 32$  кПа);

фаза 2 – визначення коефіцієнта запасу стійкості схилу до зсувів ґрунту станом на 2009 рік (з початковим значенням  $C = 32$  кПа);

фаза 3 – визначення напружено-деформованого стану схилу з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік (з початковим значенням  $C = 32$  кПа);

фаза 4 – визначення коефіцієнта запасу стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік (з початковим значенням  $C = 32$  кПа);

фаза 5 – визначення напружено-деформованого стану схилу з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік (зі зменшенням питомого зчеплення  $C = 20$  кПа);

фаза 6 – визначення коефіцієнта запасу стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік (зі зменшенням питомого зчеплення  $C = 20$  кПа).

фаза 7 – визначення напружено-деформованого стану схилу з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік (зі зменшенням питомого зчеплення  $C = 10$  кПа);

фаза 8 – визначення коефіцієнта запасу стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік (зі зменшенням питомого зчеплення  $C = 10$  кПа).

Результати розрахунків при  $C = 10$  кПа (фаза 7, 8) в даній статті не приводяться, оскільки при  $C$  нижче 20 кПа відбувається повне руйнування масиву ґрунту. Розрахункові схеми з оцінки стійкості схилу на ділянці оглядового майданчика за методом напружено-деформованого стану представлено на рис. 3, 4, а результати розрахунків - на рис. 5, 6.

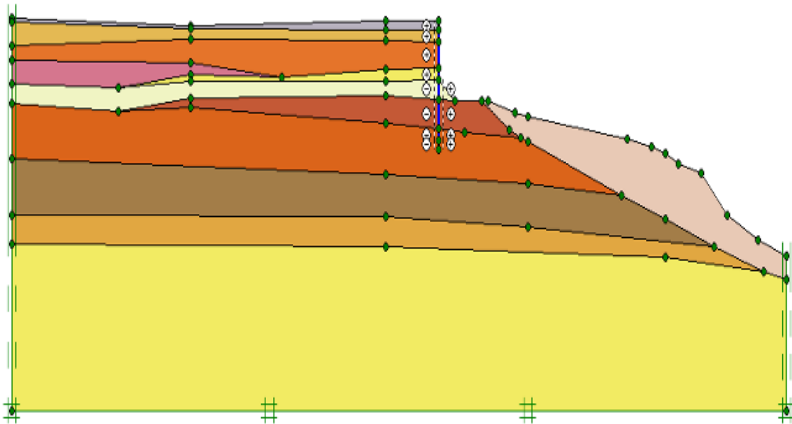


Рис. 4. Схема для розрахунку стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту та оглядового майданчика станом на 2013 рік по розрізі 2-2 (Варіант 2)

В результаті розрахунку з оцінки стійкості схилу на ділянці оглядового майданчика (розріз II-II) за методом напружено-деформованого стану отримано:

1. Коефіцієнт стійкості схилу до зсувів ґрунту в стані природної вологості на 2009 рік  $K_{st} = 1,40 > [K_{st}] = 1,25$ . Довготривала експлуатаційна надійність схилу буде забезпечена.

2. Коефіцієнт стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту в стані природної вологості та оглядового майданчика на 2013 рік  $K_{st} = 1,17 < [K_{st}] = 1,25$ . Довготривала експлуатаційна надійність схилу не забезпечена.

3. Коефіцієнт стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту в водонасиченому стані та оглядового майданчика на 2013 рік  $K_{st} = 1,14 < [K_{st}] = 1,25$ . Довготривала експлуатаційна надійність схилу не забезпечена.

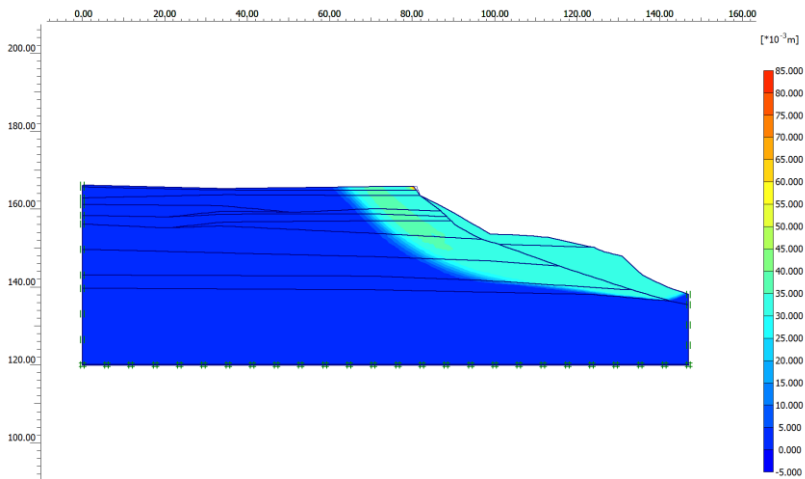


Рис. 5. Результати розрахунку стійкості схилу до зсувів станом на 2009 рік з початковим питомим зчепленням  $C = 32$  кПа ( $K_{st} = 1,40$ , Варіант 1, фаза 2)

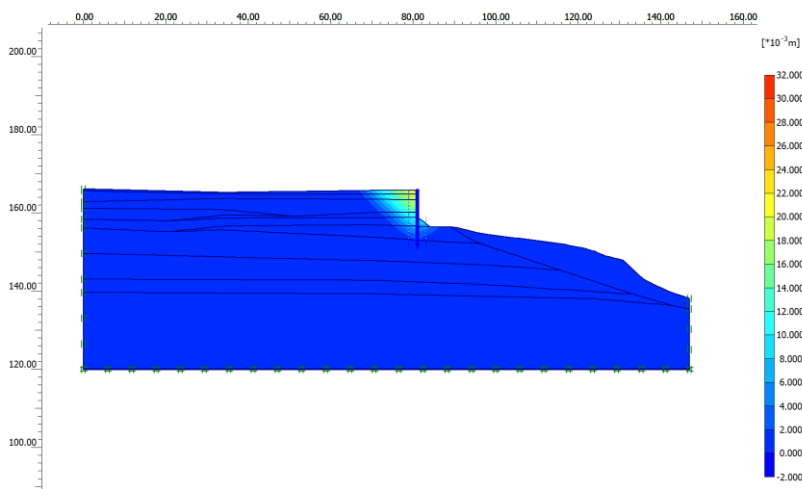


Рис. 6. Результати розрахунку стійкості ґрунту з врахуванням зсувів та оглядового майданчика станом на 2013 рік при початковому питомому зчепленні  $C = 32$  кПа ( $K_{st} = 1,17$ , Варіант 2, фаза 4)

Для порівняння розрахунків оцінки стійкості схилу на ділянці оглядового майданчика виконано додатковий розрахунок за методом блоків (метод Г.М. Шахунянца). В розрахунках розглядалися поверхні ковзання, що є більш небезпечними, для кожної з них визначався коефіцієнт запасу стійкості. Метод розрахунку стійкості схилу Г.М. Шахунянца базується на вирішенні плоскої по заданому перерізу при наявності в масиві схилу фіксованої поверхні ковзання. Розрахунок стійкості схилу за цим методом виконується в наступному порядку:

– використовуючи матеріали топографічної зйомки зсувної ділянки та інженерно-геологічних вишукувань, будують розріз зсувного тіла по даному вертикальному перерізу;

– розбивають розріз зсувного тіла вертикальними лініями на окремі відсіки так, щоб лінія ковзання зсуву в кожному відсіку мала незмінний похил.

Для кожного відсіку визначають його вагу за формулою:

$$P_i = \gamma \cdot h_i \cdot l_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  – вага  $i$ -го відсіку;  $l_i$  – довжина лінії ковзання в цьому відсіку;

$h_i$  – висота даного відсіку.

Далі знаходять нормальну  $N_i$  і тангенціальну  $T_i$  складові сили ваги відсіку за формулами:

$$T_i = P_i \cdot \sin \alpha_i; \quad (2)$$

$$N_i = P_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (3)$$

де  $\alpha_i$  – кут нахилу  $i$ -го відсіку до горизонту, град.

Коефіцієнт стійкості схилу по методу Г.М. Шахунянца [3] визначається за формулою

$$K_{st} = \frac{R}{F}, \quad (4)$$

де  $R$  – утримуючі сили (сила тертя  $Ntg\phi$  і сила зчеплення  $c_i l_i$ ):

$$R = \sum_{i=1}^n (N_i \cdot tg \phi_i + c_i l_i) \cdot \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}, \quad (5)$$

$F$  – зсуваючі сили (тангенціальна складова сили ваги відсіку  $T_i$ , сейсмічна  $T_{ci}$  і гідродинамічна  $F_g$  сили):

$$F = \sum_{i=1}^n (T_i + T_{ci} + F_g) \cdot \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}, \quad (6)$$

де  $\varphi_i$  – кут внутрішнього тертя ґрунту в межах  $i$ -го відсіку, град;

$c_i$  – питоме зчеплення ґрунту в межах  $i$ -го відсіку, кПа;



$l_i$  – довжина поверхні ковзання в межах  $i$ -го відсіку, м;  
 $T_{ci}$  – сейсмічна складова зсуваючих сил, що визначається за формулою

$$T_{ci} = T_i K, \quad (7)$$

де  $K$  – коефіцієнт сейсмічності;

$F_e$  – гідродинамічна сила, що визначається за формулою:

$$F_e = \rho g A i_{cp}, \quad (8)$$

де  $A$  – площа області фільтраційного потоку;

$i_{cp}$  – середній градієнт напору фільтраційного потоку вище кривої ковзання.

Також при розрахунках визначається зсувний тиск, що діє на кожен окремий відсік  $i$  на зсувний масив в цілому [4]:

$$E_{zc} = F - R / K_{st}, \quad (9)$$

де  $K_{st}$  – нормоване значення коефіцієнта стійкості, що для класу наслідків (відповідальності) ССЗ оглядового майданчика становить  $[K_{st}] = 1,25$  [2].

Для прикладу в статті наведено один найбільш небезпечний варіант кривої ковзання на локальній ділянці схилу, схема до розрахунку стійкості якого представлена на рис. 7.

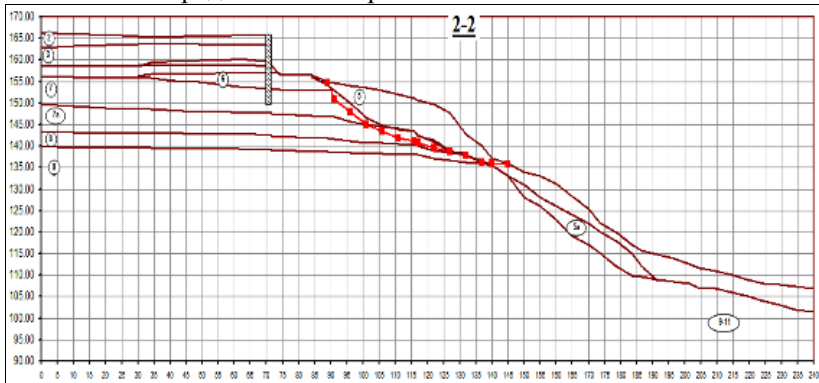


Рис. 7. Схема до розрахунку стійкості схилу на локальних ділянках

В результаті оцінки локальної стійкості схилу на ділянці оглядового майданчика за методом блоків (Г.М.Шахунянца) отримано:

1. Коефіцієнт стійкості схилу для природної вологості ґрунту рівний  $K_{st} = 1,93 > [K_{st}] = 1,25$ , що свідчить про стійкий стан даної ділянки схилу.

2. Коефіцієнт стійкості схилу в водонасиченому стані  $K_{st} = 1,22 < [K_{st}] = 1,25$ , що свідчить про те, що дана ділянка схилу знаходиться в стійкому стані, але довготривала експлуатаційна надійність схилу не забезпечена.

За результатами розрахунків з оцінки стійкості схилу зроблено наступні висновки:

1. За аналізом напружено-деформованого стану ґрунту:

1.1. Коефіцієнт стійкості схилу для ґрунту в стані природної вологості на 2009 рік  $K_{st}=1,40 > [K_{st}] = 1,25$ . Довготривала експлуатаційна надійність схилу та оглядового майданчика буде забезпечена.

1.2. Коефіцієнт стійкості схилу з врахуванням ґрунту в стані природної вологості та оглядового майданчика на 2013 рік  $K_{st} = 1,17 < [K_{st}] = 1,25$ . Довготривала експлуатаційна надійність схилу не забезпечена.

1.3. Коефіцієнт стійкості схилу з врахуванням зсувів ґрунту в водонасиченому стані та оглядового майданчика на 2013 рік  $K_{st} = 1,14 < [K_{st}] = 1,25$ . Довготривала експлуатаційна надійність схилу не забезпечена.

3. За методом блоків (Г.М.Шахунянца):

3.1. Для ґрунтів в стані природної вологості  $K_{st} = 1,93 > [K_{st}] = 1,25$ , що свідчить про те, що дана ділянка схилу для умови плоских деформацій знаходиться в стійкому стані.

3.2. Для ґрунтів у водонасиченому стані  $K_{st} = 1,22 < [K_{st}] = 1,25$ , що свідчить про те, що дана ділянка схилу для умови плоских деформацій знаходиться в стійкому стані. Довготривала експлуатаційна надійність схилу не забезпечена.

4. Схил знаходиться в стані рівноваги при природній вологості ґрунтів. При водонасиченні ґрунтів на локальних ділянках схилу можлива поява небезпечних геологічних процесів, таких як зсув, ерозія ґрунту тощо.

5. Для забезпечення стійкості споруди та прилеглої території рекомендуємо виконати підсіпку місцевим ґрунтом з бермами на відмітках 162,2...160,2 м. Для недопущення появи нових та розвитку існуючих ерозійних явищ на схилах балки, їх необхідно закріпити. Рекомендується провести їх залуження (закріплення схилів посівом рослин з розвиненою кореневою системою – травою, кущами, деревами) з використанням георешіток.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14:2009. – [Чинний від 2009-12-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
2. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування: ДБН В.1.1-24:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 69 с.
3. Справочник по гидротехнике. – М.: Гос. из-во литературы по строительству и архитектуре, 1955. - 828 с.
4. Инженерный захист территорий, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення: ДБН В.1-3-97. – [Чинний від 1997-07-01]. – К.: Держбуд України, 1997. – 40 с.

Стаття надійшла до редакції 17.10.2013 р.