

Ідентифікація параметрів міцності ґрунтів для оцінки стійкості зсувного схилу

Віктор Носенко¹, Тетяна Диптан², Дмитро Нечипоренко³

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,

¹v.s.nosenko@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8261-1846

²dyptan.tv@knuba.edu.ua, orcid.org/ 0000-0003-2852-014X

³dimanechiporenko072@gmail.com, orcid.org/ 0009-0006-6697-2381

DOI: 10.32347/0475-1132.46.2023.17-27

Анотація. У роботі представлено результати оцінки стійкості зсувного схилу, що були виконані методами граничної рівноваги та числового моделювання напружено-деформованого стану ґрунтів схилу.

Показано, що використання показників міцності ґрунтів питомого зчеплення c і кута внутрішнього тертя φ без їх уточнення (ідентифікації) може призвести до переоцінки величини коефіцієнта стійкості та помилкового віднесення схилів до стійких.

Ключовим в розрахунку є прийняття коректних параметрів ґрунтів для отримання розрахункових поверхонь ковзання близьких до фактично зафіксованих.

Об'єктом дослідження є штучний ландшафтний масив, що знаходиться на схилі. Ділянка має форму амфітеатру у вигляді сходів, що займають половину усієї площі, в центральній частині та похилих поверхонь по краях. Радіус верхньої грані складає 42,20 м, нижньої грані – 21,95 м. Кількість сходинок дорівнює шести. Абсолютна відмітка першої сходинки 289,00 м, відмітка низу 280,00 м.

При виконанні будівельних робіт, пов'язаних з формуванням ступінчастого рельєфу ландшафтного масиву на території об'єкту відбувся зсув, тому під час розрахунку стійкості схилу основною задачею було вибір коректних значень c і φ , щоб результати моделювання співпадали з даними натурних спостережень і на основі цих даних, в подальшому, можна було б прийняти обґрунтовані інженерні рішення про заходи стабілізації схилу і забезпечення його стійкості на етапі експлуатації.

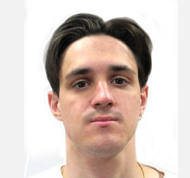
Для оцінки стійкості схилу було виконано серію розрахунків в початковому (природному) стані та у сучасному стані зі зміненими внаслідок зволоження характеристиками



Віктор Носенко
завідувач кафедри
геотехніки
к.т.н. доцент



Тетяна Диптан
старший викладач
кафедри геотехніки



Дмитро Нечипоренко
магістр кафедри
геотехніки

ґрунтів та в подальшому стані.

На основі геологічних вишукувань була проведена ідентифікація параметрів ґрунтів. В результаті уточнення параметрів міцності визначені коефіцієнти з стійкості, які відображають граничну рівновагу схилу, що відповідає реальній картині на місцевості. Для числового моделювання початкові коефіцієнти стійкості мали значення: для 3-х сходинок $K=2,396$; при повній розробці – $K=1,428$. Після коригування c і φ вони зменшилися в 2,3 рази та 1,4 рази відповідно. Аналогічна ситуація відбулася і для оцінки стійкості схилу методом граничної рівноваги. Для трьох сходинок початковий коефіцієнт $K=2,70$ зменшився в 2,5 рази; при повній розробці $K=1,54$ – зменшився в 1,5 рази.

Ключові слова. стійкість схилу, зсув, коефіцієнт стійкості, числове моделювання.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На сьогоднішній день в світі існує багато програмних комплексів для геотехнічних розрахунків. Ці програмні комплекси можуть реалізовувати достатньо велику кількість методів для вирішення геотехнічних задач, починаючи від найпростіших і завершуючи методами, що вимагають від спеціаліста глибокого розуміння питання і високого рівня кваліфікації.

Проте, будь-яка програма це лише дуже потужний калькулятор в який користувачі мають вносити дані, в нашому випадку це фізичні та механічні характеристики ґрунтів. На практиці виявилось, що при використанні інформації з інженерно-геологічного звіту розрахунок не завжди є коректним або взагалі може не відповідати реальним процесам, які відбулися з ґрунтовим масивом на місцевості. Тому важливим питанням є ідентифікація параметрів ґрунту на основі лабораторних або польових досліджень так щоб результати моделювання відповідали реальній картині деформацій. Це дає змогу відкоригувати значення параметрів таким чином, щоб модель ґрунту поведилась аналогічно до оригіналу.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблематика зсувів розглянута в роботах Драннікова А. М., Біди С. В., [2] Петренка Е. Ю. [3], Черкеза Є. А. [1].

В роботах Бойко І. П. [4] і Носенка В. С. [5] висвітлюються проблеми при використанні числового моделювання та коригування характеристик ґрунтів під час розрахунків.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є ідентифікація параметрів міцності ґрунтів отриманих за даними інженерно-геологічних вишукувань для наближення результатів розрахунку з оцінки стійкості зсувного схилу до фактичного стану ґрунтового масиву на місцевості.

ЗАДАЧІ

1) Оцінити стійкості зсувного схилу методом граничної рівноваги та числовим моделюванням із прямим використанням параметрів міцності отриманих за результатами інженерно-геологічних вишукувань.

2) Уточнити (ідентифікувати) параметрів міцності для кожного з методів та порівняння результатів.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є ландшафтний масив (Рис. 1), що знаходиться на схилі та має форму амфітеатру у вигляді сходів в центральній частині та похилих поверхонь по краях. Абсолютна відмітка першої сходинки дорівнює 289,00 м, а відмітка низу ландшафтного масиву 280,00 м. Бічні поверхні являють собою насипи з землі, із поступовим зменшенням висоти. Радіус верхньої грані складає 42,20 м, нижньої – 21,95 м (Рис. 2).



Рис.1. Початок будівництва.

Fig. 1. The beginning of construction.

У верхній частині переважають суглинки та глини, у середній - піски, а нижня частина складена лінзоподібним заляганням піщано-глинистих верств. Ґрунти зі специфічними властивостями (ІГЕ-3 характеризуються як просідаючі) були викриті у верхній частині, вони мають глибину залягання до 0,8 м, їх потужність становить лише 0,4-0,5 м.

Підземні води виявлено на глибині 5,4-14,2 м, в межах абсолютних відміток 274,18-274,76 м. Літологічна будова ділянки сприяє утворенню тимчасового водоносного горизонту типу "верховодка" (Рис. 3).

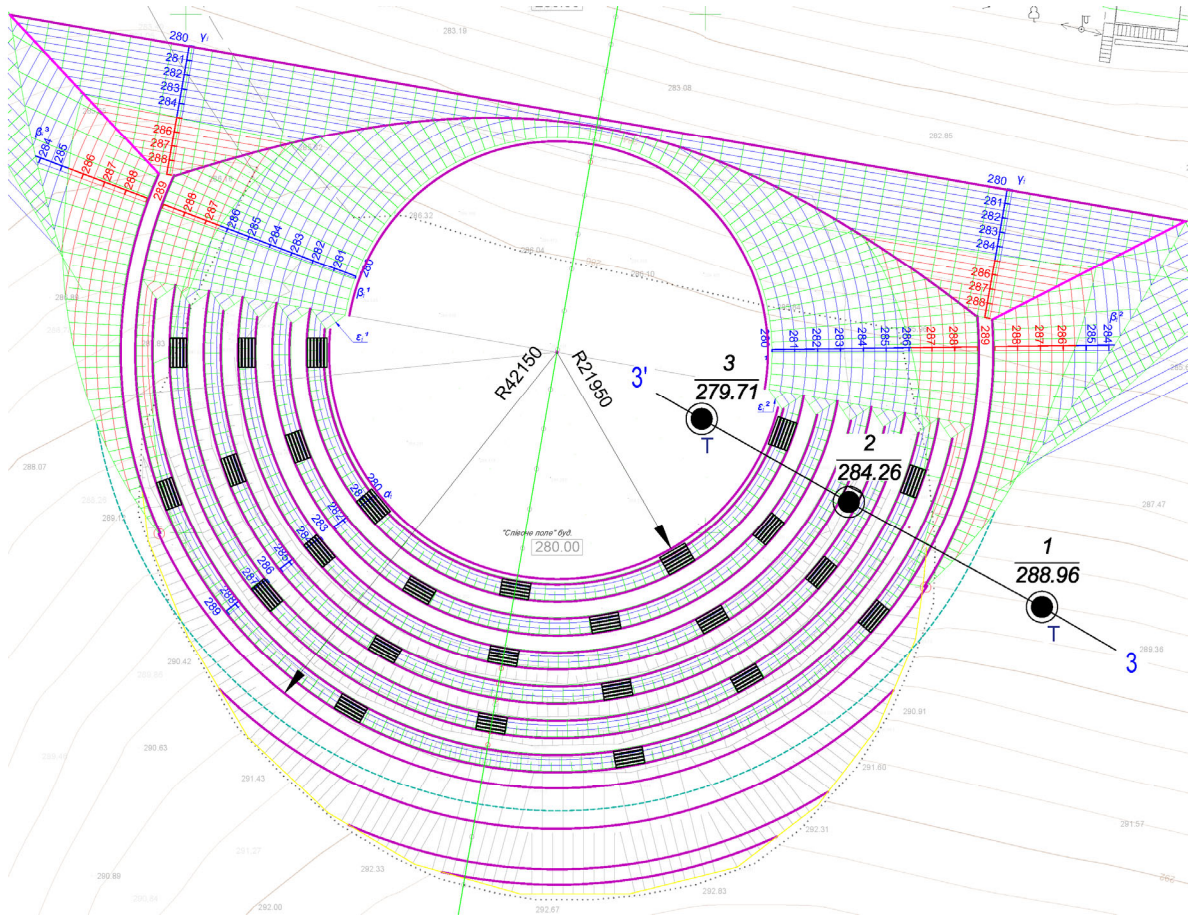


Рис. 2. План ділянки.
Fig. 2. Site plan.

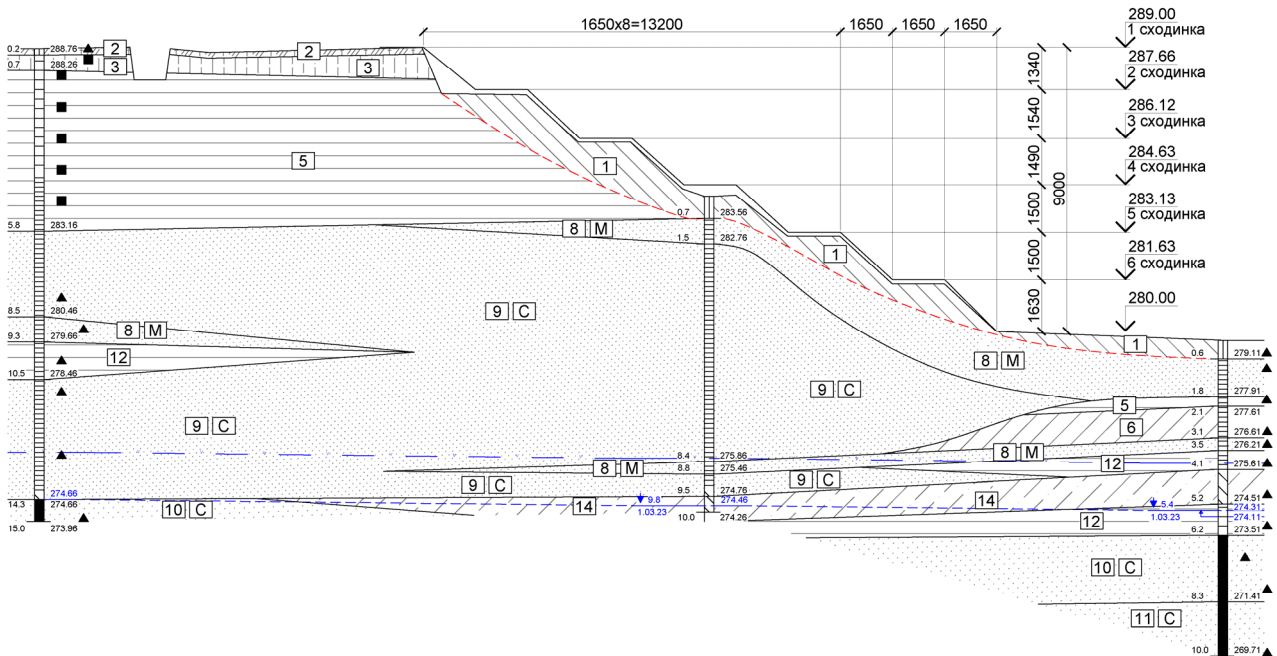


Рис. 3. Розріз 3-3'.
Fig. 3. Cross section 3-3'.

Табл. 1. Інженерно-геологічна колонка з нормативними значеннями фізико-механічних властивостей ґрунтів

Table. 1. Engineering-geological column with normative values of physical and mechanical properties of soils

№ ГЕ	Найменування ґрунту згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96ТУ Б	Нормативні значення			
		Модуль деформації, МПа	Щільність ґрунту, т/м ³	Питоме зчеплення, кПа	Кут внутр. тертя, град
		E	ρ	c	φ
1	Зсунутий ґрунт - суглинок, неоднорідний, з домішками піску, тугопластичної консистенції.	6	1,70	15	8
2	Ґрунтово-рослинний шар - суглинок, неоднорідний, тугопластичної консистенції.	6	1,74	16	9
3	Суглинок лесовидний, пілуватий, твердої та напівтвердої консистенції, просідний (початковий тиск просідання Psl = 0.15-0.20 МПа).	$\frac{18}{8}$ *	$\frac{1,83}{1,88}$ *	$\frac{56}{34}$ *	$\frac{10}{6}$ *
4	Суглинок пілуватий, тугопластичної консистенції.	13	$\frac{1,97}{2,00}$	$\frac{35}{10}$	$\frac{10}{10}$
5	Глина з лісками суглинку, твердої та напівтвердої консистенції.	20	$\frac{2,03}{2,04}$	$\frac{100}{35}$	$\frac{12}{4,8}$
6	Суглинок пілуватий, з лісками глини, твердої та напівтвердої консистенції.	17	$\frac{1,99}{2,01}$	$\frac{38}{15}$	$\frac{14}{14}$
7	Супісок з прошарками піску та суглинку, твердої та пластичної консистенції.	16	1,81	16	26
8	Пісок середньої щільності, з прошарками суглинку, малого та середнього ступеню водонасичення.	24	1,70	1	30
9	Пісок середньої крупності, середньої щільності, малого та середнього ступеню водонасичення.	31	1,75	2	34
10	Пісок середньої крупності, середньої щільності, з прошарками суглинку, насичений водою.	28	1,96	3	32
11	Пісок середньої крупності, середньої щільності, насичений водою.	35	1,98	2	36
12	Глина місцями з прошарками піску, твердої та напівтвердої консистенції.	19	2,02	70	13
13	Суглинок, з прошарками піску, напівтвердої та тугопластичної консистенції.	17	1,98	35	16
14	Супісок піщанистий, з прошарками піску, пластичної та текучої консистенції.	12	1,87	8	20
15	Пісковик дуже низької міцності, з супіщаним заповнювачем, твердої консистенції.	50	2,05	-	-

Примітка: в чисельнику параметри наведені в природному стані, в знаменнику – отримані в результаті випробувань методом одноплощинного зрізу.

При виконанні будівельних робіт пов'язаних з формуванням ступінчастого рельєфу ландшафтного масиву було вийнято значний об'єм ґрунту в результаті чого перепад висот схилу досяг близько 9 м. Така значна зміна природного рельєфу, а отже і напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтового масиву призвела до інтенсивного процесу ерозії з частковим зсувом верхнього шару ґрунту в межах середньої частини схилу вже через 3-4 місяці, а в деяких місцях перші ознаки зсуву були помітні під час проведення земляних робіт (Рис. 4).



Рис. 4. Початок зсуву після плануванні 3-х сходинок через 3 місяці.

Fig. 4. The beginning of the landslide after excavation of 3 steps after 3 months.

Для оцінки стійкості схилу в його фактичному стані виконано розрахунки в плоскій постановці з використанням числового моделювання і методу граничної рівноваги по одному з перерізів (лінія 3-3'). Саме в цьому місці були помітні ознаки зсуву з самого початку планувальних робіт.

Для підвищення точності та збіжності з природними процесами, які відбувалися на ділянці, згідно з архівними фото, було

проведено розрахунок в два етапи. Перший етап – це планування до 3-ї сходинки та перевірка стійкості. Другий етап – повне планування і перевірка стійкості.

Так як зсув на ділянці вже відбувся, то схил належить до категорії зсувних. Згідно ДБН В.1.1-46:2017 «Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів» коефіцієнт k_{sn} приймаємо для споруд класу наслідків СС2 $k_{sn}=1,30$.

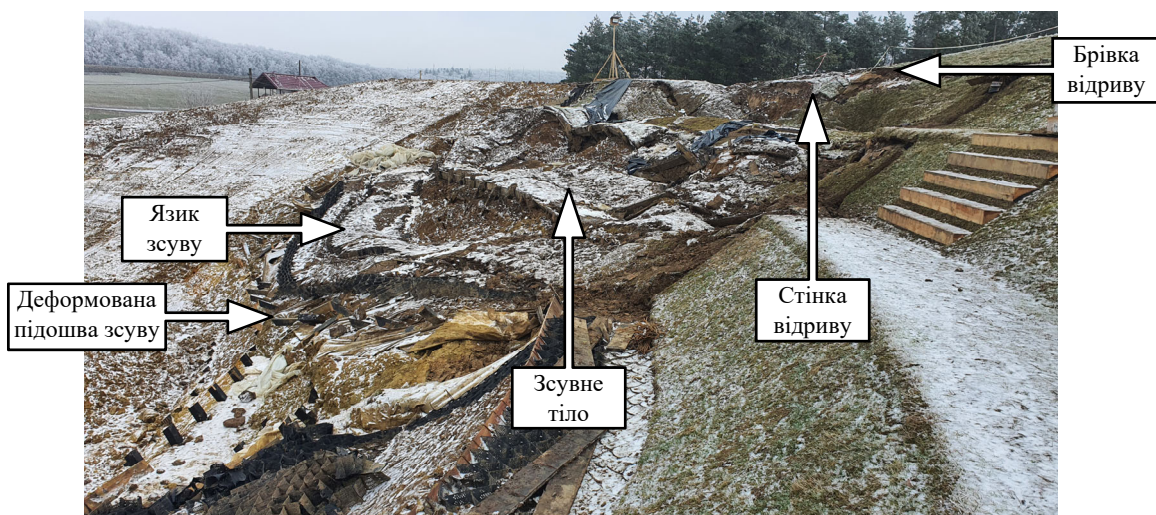


Рис. 5. Переріз 3-3' на місцевості (Відбувся зсувний процес) через 6 місяців.

Fig. 5. Cross section 3-3' in the area (Landslide has occurred) after 6 months.



Рис.6. Фактичний стан об'єкта через 9 місяців.

Fig. 6. The actual state of the object after 9 months.

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ
НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНОГО
СТАНУ ЗСУВНОГО СХИЛУ

Числове моделювання виконано за допомогою програмного комплексу Plaxis. В основу розрахунку покладено метод скінченних елементів. Робота ґрунтового масиву описується з використанням математичної моделі пружно-ідеально-пластичного середовища з критерієм міцності Кулона-Мора, а механізм втрати стійкості схилу та коефіцієнт безпеки обчислені з використанням підходу Shear reduction method (SRM – метод зниження міцності). Особливістю цього метода є те, що поверхня ковзання є результатом обчислень, тобто формується під час розрахунку у зоні найбільших дотичних напружень та деформацій зсуву.

Основними параметрами моделі є:

E – модуль деформації, кН/м²;

ν – коефіцієнт Пуассона;

φ – кут внутрішнього тертя, град;

c – питоме зчеплення, кН/м²;

γ – питома вага, т/м³.

В даній роботі ключовими параметрами є c – питоме зчеплення і φ – кут внутрішнього тертя. Метод SRM базується на принципі:

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg}\varphi_r + c_r, \quad (1)$$

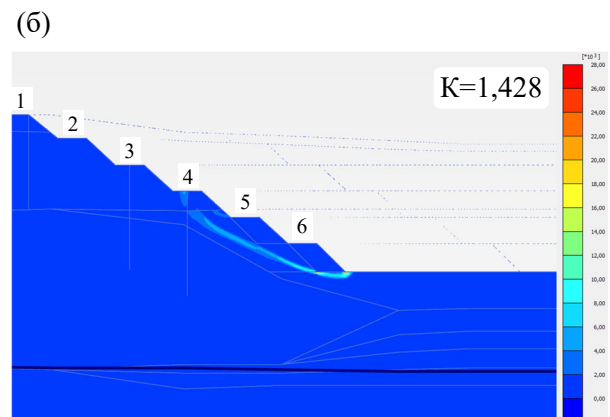
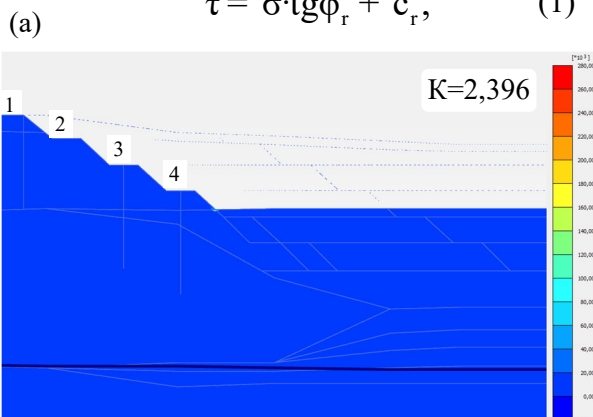


Рис. 7. Деформації зсуву: а) при плануванні 3-х сходинок; б) повне планування.

Fig. 7. Shear strains: a) 3 steps were excavated; b) complete excavation.

Аналізуючи результати розрахунків можна сказати, що вони не відповідають дійсності, так як коефіцієнти запасу стійкості значно завищені (при 3-х сходинка $K=2,396$; при повному плануванні $=1,428$).

де φ_r і c_r – параметри міцності при досягненні граничного стану.

$$\varphi_r = \frac{\varphi}{K}, \quad (2)$$

$$c_r = \frac{c}{K},$$

K – коефіцієнт на який необхідно зменшити параметри міцності ґрунту для досягнення граничного стану.

Для визначення основних фізико-механічних властивостей ґрунтів виконано польові та лабораторні дослідження.

Показники міцнісних характеристик ґрунту (c і φ) отримані при лабораторних випробуваннях способом одноплощинного зрізу (плитка по плитці), при повному водонасиченні зразків. Значення цих параметрів після зрізу були використані у місцях де повинна проходити потенційна поверхня ковзання, для моделювання зниження характеристик ґрунту в результаті впливу на нього вологи у вигляді атмосферних опадів та ґрунтових вод.

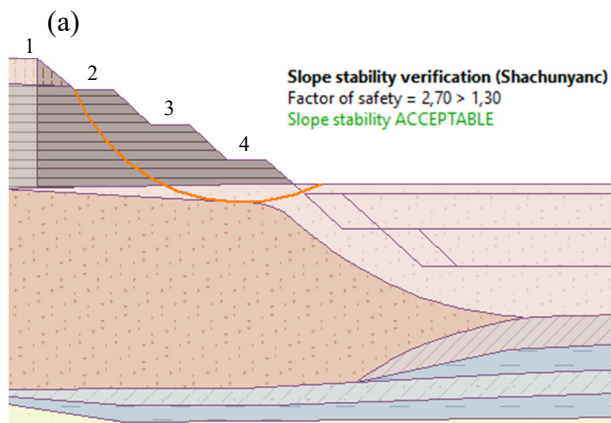
близьким до одиниці. На Рис. 5 видно, що при повному плануванні зсувне тіло напливло на 5, 6 сходинки, а згідно результатів обчислень (Рис. 7б) зона зсуву взагалі знаходиться не в тому місці де вона виникла насправді. Для збіжності результатів моделювання та реальної картини деформацій необхідно робити ідентифікацію параметрів ґрунту.

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХИЛУ МЕТОДОМ ГРАНИЧНОЇ РІВНОВАГИ

Для оцінки стійкості схилу за допомогою метода граничної рівноваги був використаний метод Шахунянца. Його суть полягає в тому, щоб задовольнити умови рівноваги сил на окремих відсіках (блоках), що контактують між собою. Напрямок дії цих сил, для даного метода, завжди горизонтальний (кут нахилу дорівнює нулю). Щоб отримати блоки необхідно розбити область над поверхнею ковзання січними вертикальними площинами.

Коефіцієнт стійкості в методі, що базується на аналізі граничної рівноваги – це відношення утримуючих сил до зсувних.

Для розрахунків стійкості схилу цим методом використовувався один з модулів



програмного комплексу GEO5 «Стійкість схилу», що дозволяє оцінити стійкість відкосів і насипів по круглоциліндричних або полігональних поверхням ковзання із застосуванням різного набору методів, таких як: Сарма, Спенсера, Шахунянца, Моргенштерна-Прайса та інших.

На відміну від числового моделювання метод граничної рівноваги вимагає перед початком розрахунку задатися поверхнею ковзання або ж їх набором. Під час розрахунку програма шукає таке положення поверхні ковзання при якому коефіцієнт стійкості має найменше значення.

Згідно результатів розрахунку поверхня ковзання при 3-х сходинках співпадає з реальною ситуацією, але коефіцієнт запасу стійкості дуже великий ($K=2,70$). У ситуації коли планування виконано повністю і всі 6 сходинок сформовані зсув ґрунту, як і в числовому моделюванні, відбувся зовсім не в тому місці у порівнянні із зсувом на місцевості (Рис. 8).

При використанні метода граничної рівноваги також необхідно виконувати ідентифікацію міцнісних параметрів ґрунту.

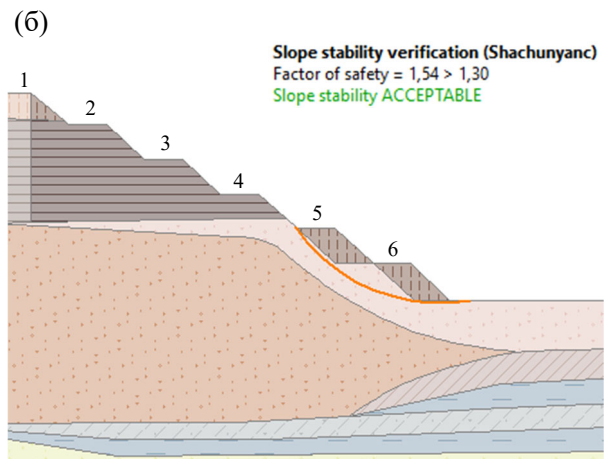


Рис. 8. Поверхня ковзання: а) при плануванні 3-х сходинок; б) повному плануванні.

Fig. 8. Slip surface: a) 3 steps were excavated; b) complete excavation.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МІЦНІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ

Після виконання оцінки стійкості з прямим використанням параметрів ґрунтів за даними звіту з інженерно-геологічних

досліджень стало очевидно, що результати розрахунків не відповідають дійсному стану схилу: коефіцієнти стійкості показують, що схил стійкий, а положення та форма поверхонь ковзання не відображають фактичну картину зсуву.

Тому необхідно ідентифікувати параметри ґрунтів таким чином, щоб дані розрахунків стали максимально близькими до реального стану зсуву на схилі.

Ведучими параметрами в задачах оцінки стійкості є параметри міцності ґрунтів c і φ , саме їх і потрібно уточнювати.

Було проведено серію розрахунків, в яких поступово змінювалися c і φ та проводилася оцінка положень поверхонь ковзання, в результаті чого зменшувалися коефіцієнти стійкості. Питоме зчеплення (c) було знижене в 7 разів і набуло значення 5 кПа, а величина кута внутрішнього тертя (φ) 11 град.

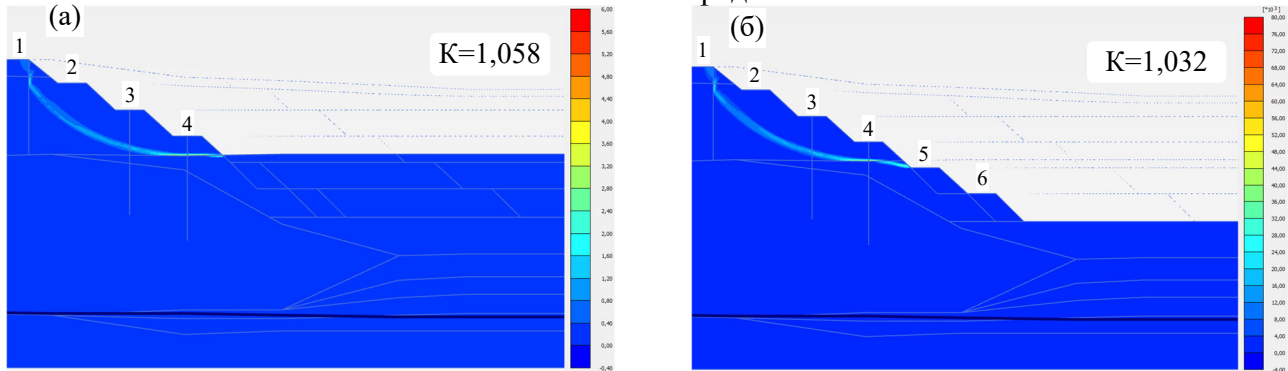


Рис. 9. Деформації зсуву після ідентифікації параметрів: а) при плануванні 3-х сходинок; б) повному плануванні.

Fig. 9. Shear strains after parameters identification: a) 3 steps were excavated; b) complete excavation.

В результаті ідентифікації параметрів ґрунту результати моделювання значно наблизилися до реальної картини зсуву. Тепер зона схилу в якій виникають найбільші зсувні деформації відповідає зоні у реальному схилі, а коефіцієнт запасу стійкості знизився до мінімального, отже ґрунтовий масив знаходиться в стані граничної рівноваги. Для 3-х сформованих сходинок коефіцієнт запасу стійкості, в порівнянні до розрахунку де використовувалися прямі параметри з інженерно-геологічного звіту, зменшився в 2,3 рази, для повної відкопки – в 1,4 рази.

Для отримання коректних значень при розрахунку методом граничної рівноваги міцнісні характеристики ґрунтів були змінені аналогічно до значень параметрів, як і в розрахунку за допомогою числового моделювання. Поверхні ковзання стали близькими до зони зсуву на місцевості в обох випадках (Рис. 10а, 10б). Значення коефіцієнтів стійкості знизилися, для 3-х сходинок – в 2,5 рази, для повному плануванні – в 1,5 рази і склали відповідно 1,06 та 1,04.

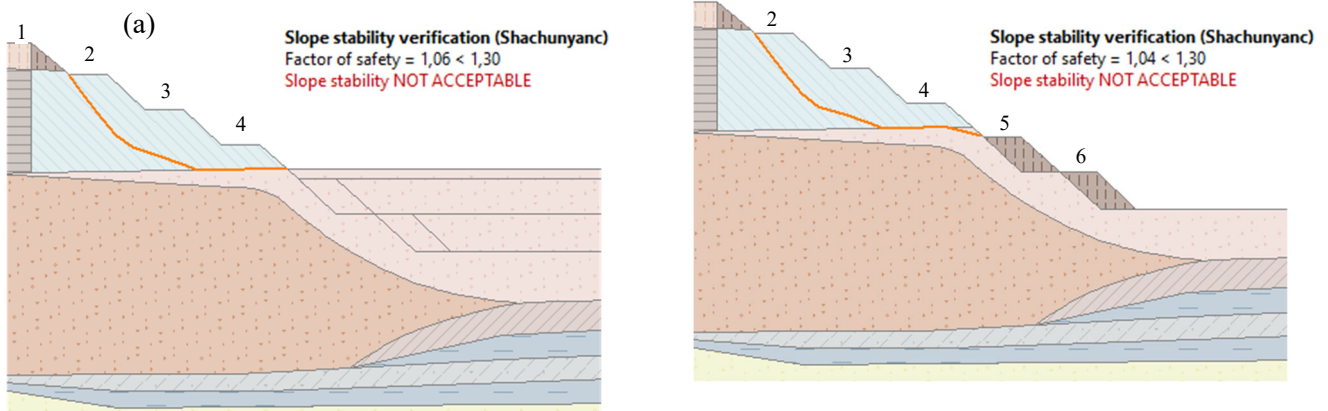


Рис. 10. Поверхня ковзання після ідентифікації параметрів: а) при плануванні 3-х сходинок; б) повна плануванні.

Fig. 10. Slip surface after parameters identification: a) 3 steps were excavated; b) complete excavation.

ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ СХИЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ РІЗНИХ МЕТОДІВ

Виконавши всі необхідні розрахунки порівняємо між собою результати, які були отримані в двох програмних комплексах за двома методами

До ідентифікації параметрів ґрунту поверхні ковзання для 3-х відкопаних сходинок зовсім відрізнялися одна від одної, після ідентифікації зона найбільших дотичних напружень в усіх випадках для обох програмних комплексів стала подібною. Різниця полягає у тому, що в Plaxis брівка відриву утворилася на першій сходинці, в GEO5 – на другій. Це пов'язано з тим, що були використані різні методи розрахунку.

Для порівняння коефіцієнтів запасу стійкості побудовані діаграми для значень до коригування параметрів (Рис. 11).

На графіках видно, що незалежно від методу яким був виконаний розрахунок, коефіцієнти запасу стійкості близькі за значеннями.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що міцнісні параметри ґрунтів, а саме питоме зчеплення (c) та кут внутрішнього тертя (φ) мають великий вплив на результати розрахунків. Тому перед початком будь-яких розрахунків для оцінки стійкості схилу необхідно їх уточнювати.

Продемонстровано необхідність виконання ідентифікації параметрів ґрунту (c і φ) незалежно від програмного комплексу і метода розрахунку. Для коректної оцінки стійкості схилу початкові значення параметрів, що отримані в результаті інженерно-геологічних досліджень були відкориговані. Питоме зчеплення знижене в 7 разів до величини 5 кПа.

Отримано поверхні ковзання (зони максимальних дотичних деформацій) подібні до зон, що утворилися в схилі згідно натурних спостережень.

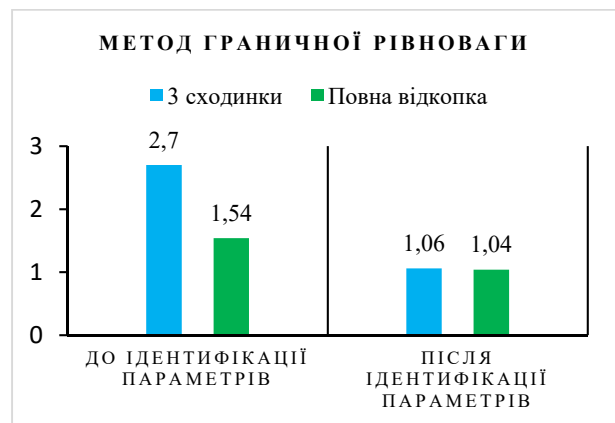
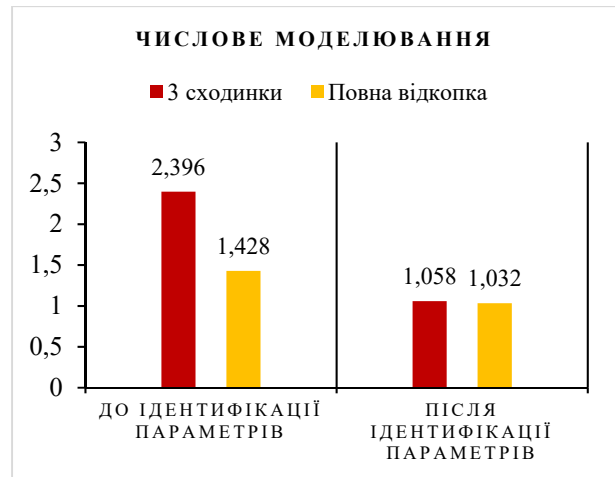


Рис. 11. Коефіцієнти стійкості до ідентифікації параметрів ґрунту та після.

Fig. 11. Slope stability safety factors until identification of soil parameters and after this.

В результаті ідентифікації параметрів міцності ґрунтів були визначені коефіцієнти запасу стійкості, які відображають граничну рівновагу схилу, що відповідає реальній картині на місцевості. У розрахунку з використанням методу числового моделювання початкові коефіцієнти стійкості мали значення: для трьох сходинок $K=2,396$; при повному плануванні – $K=1,428$. Після коригування c і φ вони знизилися в 2,3 рази ($K=1,058$) та 1,4 рази ($K=1,032$) відповідно. Аналогічна ситуація відбулася і для оцінки стійкості схилу методом граничної рівноваги. Для трьох сходинок початковий коефіцієнт $K=2,70$ знизився до $K=1,06$ (в 2,5 рази); при повному плануванні – $K=1,54$ знизився до $K=1,04$ (в 1,5 рази).

Такий підхід у розрахунках дозволяє у подальшому обґрунтувати надійні конструктивні рішення при проектуванні протизсувних споруд для забезпечення стійкості штучного ландшафтного схилу так як дає добру збіжність між результатами розрахунку та реальними процесами, які відбуваються в ґрунтовому масиві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cherkez E.A. Landslides at the North-Western Black Sea Coast (Ukraine) and the Engineering & Geological Effectiveness of Landslide Prevention Works. / E.A. Cherkez, T.V. Kozlova, S.N. Shatalin, V.I. Medinets, S.V. Medinets, I.E. Soltys // Third EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and Impact on Communities, Sep 2021, Volume 2021, p.1-5.
2. Біда С. В. Особливості виникнення та розвитку зсувних процесів на схилах, складених лесовидними відкладами / С.В. Біда, О.В. Куц, К.В. Підрійко // *Вісник Журнал з геології, географії та екології*. – Дніпропетровськ: ДНУ. – 2014. – 22, 3/2. – С. 162-167.
3. Петренко Е.Ю. Дослідження активізації деформацій основи на зсувонебезпечних схилах при техногенній дії. / Е.Ю. Петренко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2019. – Вип. 39. – С. 41-55.
4. Бойко І.П. Ідентифікація параметрів ґрунтів на основі результатів натурних випробувань паль. / І.П. Бойко, Л.О. Скочко, М.В. Хоронжевський // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 42. – С. 9-18.
5. Носенко В.С. Оцінка стійкості схилу з використанням різних розрахункових методів. / В.С. Носенко, Л.О. Скочко, А.Р. Маламан // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 43. – С. 40-51.

REFERENCES

1. Cherkez E.A., Kozlova T.V., Shatalin S.N., V.I. Medinets, Soltys I.E. (2021) Landslides at the North-Western Black Sea Coast (Ukraine) and the Engineering & Geological Effectiveness of Landslide Prevention Works. Third EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards

- and Impact on Communities, Sep 2021, Volume 2021, p.1 – 5.
2. Bida S.V., Kuts O.V., Pidriyko K.V. (2014). Osoblyvosti vynyknennya ta rozvytku zsvnykh protsesiv na skhylakh, skladykh lesovydnymy vidkladamy. [Features emergence and development of landslides on the slopes, composed of loess sediment]. *Journal of Geology, Geography and Geoecology: DNU*, 22(3/2): 162-167 (in Ukrainian).
 3. Petrenko E.Y. (2019). Doslidzhennya aktyvizatsiyi deformatsiy osnovy na zsvonebezpechnykh skhylakh pry tekhnohenniy diyi. [Investigation of activation of base deformations on landslide hazardous slopes with anthropogenic action]. *Osnovu i fundamenti: Mizhvidomchyy naukovotekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 39: 41-55 (in Ukrainian).
 4. Boyko I.P., Skochko L.O., Khoronzhevskiy M.V. (2021). Identyfikatsiya parametriv gruntiv na osnovi rezul'tativ pryrodnykh vyprobuvan' pal'. [Identification of soil parameters based on the results of field tests of piles]. *Osnovu i fundamenti: Mizhvidomchyy naukovotekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 42: 9-18 (in Ukrainian).
 5. Nosenko V.S., Skochko L.O., Malaman A.R. (2021). Otsinka stiykosti skhylyu z vykorystanniam riznykh rozrakhunkovykh metodiv. [Comparative assessment of the slope stability using different calculation methods]. *Osnovu i fundamenti: Mizhvidomchyy naukovotekhnichnyy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 43: 40-51 (in Ukrainian).

Identification of soil strength parameters for assessing stability of a sliding slope

Viktor Nosenko
Tatiana Dyptan
Dmytro Nechyporenko

Summary. The article presents the results of assessment of stability of the sliding slope, which was performed with the use methods of limit equilibrium and numerical modeling of the stress-strained state of the slope soils.

It is obvious that usage of soil strength parameters c and φ without their clarification (identification) can lead to an overestimation of the value of the safety factor and thus slopes will be mistakenly classified as stable.

The choice of the correct soil parameters is a key factor in the calculations in order to obtain calculated slip surfaces close to the actually recorded ones.

The object of the study is an artificial landscape massif located on a slope. The site has the shape of an amphitheater in the form of stairs that occupy half of the entire area in the central part and sloping surfaces at the edges. The radius of the upper face is 42.20 m, the lower face is 21.95 m. The total number of steps is six. The absolute mark of the first step is 289.00 m, the mark of the bottom of the amphitheater is 280.00 m.

During construction works related to the formation of a stepped landform of the landmass, a landslide happened on the territory of the object, therefore, during the calculation of the stability of the slope, the main task was to choose the correct values of c and φ so that the modeling results coincide with the data of field observations and on the basis of these data, it would be later on possible to make reasonable engineering decisions about measures to stabilize the slope and ensure its stability at the stage of operation.

To assess stability of the slope, a series of calculations was performed in the initial (natural) state and in the current state with characteristics changed due to wetting.

Soil parameters were identified on the basis of engineering and geological investigations. As a result of specifying the strength parameters, the coefficients of the stability were determined, which reflect the ultimate equilibrium of the slope, which corresponds to the real picture in the area. For numerical modeling, the initial stability coefficients had the following values: for 3 steps $K=2.396$; with complete excavation $K=1.428$. After adjusting c and φ , they decreased by 2.3 times and 1.4 times, respectively. A similar situation occurred for the assessment of slope stability using the limit equilibrium method. For three steps, the initial coefficient $K=2.70$ decreased by 2.5 times; with complete excavation, $K=1.54$ decreased by 1.5 times.

Keywords. slope stability, slide, coefficient of stability, numerical simulation.