

УДК 624.13

Олішевська С. О., аспірант спеціальності 131 Прикладна механіка
Іванова Г. П., к.т.н., доцент кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки
(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ СХИЛІВ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ PHASE2

Стійкість схилів є ключовим аспектом у геотехнічній інженерії, оскільки зсувні процеси можуть призводити до значних економічних і екологічних наслідків [1].

Традиційний методи аналізу, такий як метод меж рівноваги, широко використовується, проте він не враховує реальний розподіл напружень і деформацій у ґрунтовому масиві. У цьому контексті метод кінцевих елементів, реалізований у програмному комплексі Phase2 компанії Rocscience, забезпечує більш точний аналіз стійкості схилів завдяки можливості врахування напружено-деформованого стану порід та впливу зовнішніх факторів.

Програма Phase2 дозволяє моделювати двовимірний напружено-деформований стан ґрунтів і порід, визначати критичні зони пластичних деформацій та оцінювати стійкість схилів за допомогою методу зниження міцності. Цей метод передбачає поетапне зменшення параметрів зчеплення та кута внутрішнього тертя ґрунту шляхом введення спеціального коефіцієнта зниження міцності F , до досягнення критичного стану, що дозволяє визначити коефіцієнт запасу стійкості.

Формально цей метод базується на редукції характеристик міцності згідно з рівняннями

$$c' = \frac{c}{F} \text{ та } tg\varphi' = \frac{tg\varphi}{F},$$

де c' та φ' знижені значення параметрів, що використовуються на кожному етапі аналізу. Чисельне моделювання виконується у рамках методу скінченних елементів або методу скінченних різниць, що дає змогу враховувати напружено-деформований стан масиву.

Стійкість визначається шляхом поступового збільшення F до того моменту, коли виникає незворотне деформування або коли чисельна модель перестає збігатися. Значення F , при якому відбувається порушення рівноваги системи, відповідає коефіцієнту стійкості схилу або укусу. Таким чином, метод зниження міцності дозволяє отримати кількісну оцінку критичного стану, а також визначити зони можливого руйнування, що робить його ефективним інструментом для прогнозування зсувних процесів і проектування інженерних споруд.

Чисельне моделювання в Phase2 передбачає побудову геометричної моделі схилу з урахуванням фізико-механічних характеристик ґрунтів, рівня ґрунтових вод, фільтраційних потоків та впливу зовнішніх навантажень, таких як транспортні навантаження чи сейсмічні впливи. Граничні умови задаються таким чином, щоб забезпечити коректне відображення взаємодії ґрунтового масиву з навколишнім середовищем, при цьому нижня межа моделі є нерухомою, а бічні межі можуть допускати горизонтальні переміщення [2].

Важливим аспектом моделювання є вибір відповідної фізико-механічної моделі ґрунту. Окрім цього, програмне забезпечення дозволяє враховувати гідростатичний тиск води, вплив дренажних систем та моделювати поведінку схилу при зміні рівня ґрунтових вод [3]. При аналізі схилу з використанням Phase2 визначаються зони пластичних деформацій, можливі критичні поверхні ковзання та оцінюється механізм зсуву, що

дозволяє зробити висновки щодо необхідності укріплення схилу або зміни проєктних параметрів [4].

Оцінка коефіцієнта запасу стійкості проводиться шляхом застосування методу зниження міцності, коли параметри зчеплення та кута внутрішнього тертя поступово зменшуються до моменту досягнення критичного стану. Якщо значення коефіцієнта запасу стійкості менше нормативного, необхідно впроваджувати заходи щодо стабілізації схилу, такі як застосування підпірних стін, анкерних систем, георешіток або зміна геометрії схилу.

Отримані результати використовуються для оцінки безпеки природних та штучних схилів, проєктування підпірних конструкцій, оптимізації заходів із закріплення схилів та прогнозування ризиків природних катастроф. Завдяки можливостям чисельного моделювання Phase2 є ефективним інструментом для інженерів-геотехніків, що дозволяє виконувати комплексний аналіз стійкості схилів з урахуванням складних геотехнічних, гідрогеологічних та сейсмічних факторів. Головною перевагою використання Phase2 є можливість візуалізації процесів руйнування схилу, що значно підвищує якість оцінки та прийняття інженерних рішень у сфері геотехнічного будівництва.

Список використаних джерел:

1. Olishevskaya S. O. Overview of Landslide Trends in the World and in Ukraine. *Science and Transport Progress*. 2024. No. 2(106). P. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2024/306141>
2. Numerical modelling of the pit wall stability while optimizing its boundaries to ensure the ore mining completeness / O. Sdvizhkova et al. *Mining of Mineral Deposits*. 2024. Vol. 18, no. 2. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining18.02.001>
3. Mathematical modeling the quarry wall stability under conditions of heavily jointed rocks / S. Aitkazinova et al. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. No. 6. P. 18–24. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/018>
4. Sensitivity of Multistage Fill Slope Based on Finite Element Model / B. Yuan et al. *Advances in Civil Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6622936>