

**ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХИЛІВ КАР'ЄРУ В УМОВАХ ВОДОНАСИЧЕННЯ ЯК
ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ**

Дослідження присвячено аналізу стійкості схилів кар'єру №7, розташованого в межах Малишевського родовища, яке активно експлуатується Вільногірським гірничо-металургійним комбінатом. У фокусі — східний сегмент кар'єру, де видобуток титано-цирконієвих руд ведеться у складних гідрогеологічних умовах. Специфіка геологічної будови, підвищений рівень водонасичення порід та наявність міоценового водонесного горизонту створюють передумови для розвитку зсувних процесів, що можуть не лише впливати на безпеку виробництва, а й становити реальну загрозу для інженерних споруд, персоналу й довколишніх населених пунктів [1].

Проведений аналіз засвідчив, що основною причиною дестабілізації схилів є підвищення порового тиску, який виникає внаслідок фільтраційного проникнення ґрунтових вод. Це явище суттєво знижує ефективні напруження у ґрунтовій товщі та послаблює здатність порід чинити опір зовнішньому навантаженню. В умовах активної гірничої діяльності та зміни природного дренажного балансу ця проблема має комплексний характер і потребує оперативного реагування, особливо з урахуванням потенційного ризику деструкції елементів критичної інфраструктури, які розміщені у безпосередній близькості до виробничої зони.

Математичне моделювання, виконане в рамках дослідження, покликане не лише уточнити межі стійкості схилів, а й дати змогу передбачити поведінку гірського масиву в умовах гідродинамічних змін. У роботі поєднано два підходи: метод граничної рівноваги для оцінки загального коефіцієнта стійкості та метод скінченних елементів, який дає змогу дослідити просторову структуру напружено-деформованого стану. Особливу увагу приділено взаємозв'язку між розподілом фільтраційних потоків і зниженням опірних характеристик ґрунтів, що особливо актуально для ділянок із локальними ослабленнями або порушенням дренажем.

Критичні зони схилів визначалися з урахуванням геометрії уступів, параметрів гірничої техніки та фізико-механічних властивостей місцевих порід. Результати моделювання показали, що в умовах підвищеного зволоження, особливо за повного водонасичення порід, відбувається зростання порового тиску, який знижує ефективне напруження в масиві. Це, у свою чергу, призводить до істотного зменшення коефіцієнта стійкості: в окремих зонах його значення опускалося нижче 1.0, що вказує на втрату рівноваги та загрозу розвитку зсувів.

Зазначене є неприпустимим з точки зору чинних нормативних вимог. Згідно з положеннями ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення» (п. 10.4) [2], для постійних або довготривалих навантажень мінімально допустиме значення коефіцієнта стійкості становить 1.25–1.5, а для тимчасових або короткочасних дій — не менше 1.1–1.2. Відтак зафіксовані в моделі показники вказують на необхідність упровадження додаткових інженерних заходів, спрямованих на стабілізацію схилів та забезпечення безпеки гірничих робіт.

У контексті цивільної безпеки втрата стійкості схилів становить суттєву загрозу, оскільки може призвести до обвалів, руйнування інженерної інфраструктури, пошкодження транспортних і енергетичних мереж, а також створити небезпеку для об'єктів, розташованих в межах зони впливу. Це обумовлює необхідність створення інтегрованої цифрової моделі, здатної не лише реагувати на аварійні ситуації, а й здійснювати превентивний моніторинг стану схилів із використанням сценарного та параметричного аналізу.

Застосування програмних комплексів PLAXIS, GeoStudio та Slide забезпечило високу точність чисельного моделювання, дозволяючи не лише враховувати вплив водонасичення, а й створювати детальні карти розподілу напружень. На їх основі можна своєчасно виявляти зони ризику, оптимізувати дренажні системи, підсилювати слабкі ділянки укосів та мінімізувати негативний вплив на суміжні елементи виробничої або житлової інфраструктури. У такий спосіб математичне моделювання виступає важливим інструментом попередження надзвичайних ситуацій, спрямованим на підвищення рівня техногенної та екологічної безпеки у зоні гірничих робіт.

Список літератури

1. Крись Ю. О. Основи та фундаменти: Практикум: навч. посібник / Ю. О. Крись — Вид. 2-ге, перероб. та доп. — Рівне: НУВГП, 2019. — 247 с.
2. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення.