

УДК 622. 27: 622.834

Є.О. НЕСМАШНИЙ, д-р техн. наук, проф., Г.І. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
А.В. БОЛОТНИКОВ, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХІДНОГО БОРТА ГЛЕЄВАТСЬКОГО КАР'ЄРА №1 В ЗОНІ ЙОГО ПІДРОБЛЕННЯ ПІДЗЕМНИМИ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ

За результатами аналітичних розрахунків стійкості по найбільш відповідальних розрахункових профілей визначено та науково-технічно обґрунтовано гранично допустимі стійкі параметри східного борту кар'єру №1 ПАТ «ЦГЗК» для обґрунтування проекту його заглиблення до відм. -398 м. Уперше запропоновано використання кластерного аналізу для контролю стану стійкості бортів кар'єрів і відвалів.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Особливістю східного борту Глеєватського кар'єру №1 є те, що його розробка ведеться в існуючій неактивній зоні вторинного обвалення, що утворилася внаслідок підземного відпрацьовування залізних руд.

Для забезпечення ефективного і безпечного ведення гірничих робіт виникають завдання з оцінки стійкості бортів кар'єру з урахуванням геологічної будови родовища, визначення місцеположення зон «виходу» вивірв вторинного обвалення на денну поверхню і структурного послаблення тріщинуватого породного масиву.

**Постановка завдання.** Проект заглиблення Глеєватського кар'єра до відм. (-398) м розробляється з метою повного відпрацьовування балансових запасів залізних руд. Проектне рішення передбачає збільшення висоти бортів кар'єра з існуючого гор.(-350) м до гор.(-500) м з відповідним збільшенням кутів укосів бортів кар'єра від 30-32 до 34-36 град. Згідно [1] при розробці проектного контуру необхідно встановлювати стійкі кути бортів кар'єрів на підставі всебічного аналізу геологічних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних і гірничотехнічних умов родовища, які впливають на стійкість порід в укосах. Проведений аналіз повинен підкріплюватись відповідною оцінкою стійкості. Метою даного дослідження є обґрунтування вимог до проекту експлуатації кар'єру, яке здійснено шляхом прогнозу оцінки ступеня стійкості його борту. Від вирішення поставленого завдання значною мірою залежить успішність, економічна ефективність і безпека ведення гірничих робіт.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** У середині минулого століття, в період активного проектування і відкриття кар'єрів Кривбасу технологічним питанням відкритої розробки, пов'язаним з веденням гірничих робіт приділялось багато уваги. Також визначенню умов стійкості бортів кар'єру і деформуванню підроблених породних масивів присвячені наукові роботи В.В. Кулікова, Г.І. Чорного, А.Г. Шапара. Але проблема прогнозу і оперативної оцінки стійкості уступів і бортів кар'єру має багато невирішених аспектів і на сьогодні залишається актуальним науково-технічним завданням.

**Викладення матеріалу.** Кар'єр №1 входить до складу ПАТ «ЦГЗК», який розробляє залізісті кварцити родовища Велика Глеєватка з продуктивністю 5,0 млн т магнетитової руди. Кар'єром розробляються залізісті кварцити I,II,IV залізістих горизонтів, які представлені двома типами руд - магнетитовими та окисленими.

Промислове значення мають не окислені та окислені кварцити 1,2,4,5-х залізістих пластів середньої світи. Запаси залізістих кварцитів родовища мають високу ступінь розвідування і підготовлені до промислового освоєння. Кількість розвіданих запасів неокислених кварцитів досягає 84 і окислених 85,8 %. У наш час виймаються і переробляються тільки неокислені кварцити.

За умовами залягання і фізико - механічним властивостям гірських порід на родовищі можна виділити наступні інженерно - геологічні комплекси.

I-й пласт ( $sx^{1f}$ ): кварцит - хлорит-слюдисті породи з прошарками сланців. Зона глибини окислення складає 20-500 м. Коефіцієнт міцності за шкалою М.М. Протод'яконова: - не окислених кварцитів 10-12; окислених кварцитів 8-10.

II-й пласт ( $sx^{2f}$ ) сидерит-магнетитові кварцити з прошарками хлоритових сланців. Потужність пласта 60-200 м. Окислені залізісті кварцити залягають на глибині 40-100 м на півночі і 140-400 м у центрі родовища. Коефіцієнт міцності за шкалою М.М.Протод'яконова: - не окислених кварцитів 10-16; - окислених кварцитів 12-18.

IV-й пласт ( $sx^{4f}$ ): сидерит-магнетитові кварцити з прошарками кварцит-хлоритових сланців та безрудних кварцитів. Потужність пласта 15-100 м, окислені гірські породи розташовані на глибині 25-400 м. Коефіцієнт міцності за шкалою М.М.Протод'яконова - не окислених кварцитів 14-18; - окислених кварцитів 12-18.

V-й пласт ( $sx^{5f}$ ): окислені кварцити залізно - мартитового складу. Потужність пласту 5-100 м. Коефіцієнт міцності за шкалою М.М. Протод'яконова 14-16. Ритмічне чергування залозистих пластів розділяється другим ( $sx^{2s}$ ), третім-четвертим ( $sx^{3-4s}$ ) і п'ятим ( $sx^{5s}$ ) сланцевими пластами.

Корінні породи покриті шаром осадових порід потужністю 25-30 м, а також ґрунтово-рослинним шаром (0,5 м). У висячому боці залізородної товщі розташовуються графіт-кварц-слюдисті сланці, метапісковики, конгломерати, кварц-карбонатні породи Гданцівської та Глеєватської світ загальною площею 550-600 м.

Інженерно-геологічний комплекс третинних і четвертинних осадових відкладень представлений пісками, глинами і суглинками, сумарна потужність яких не перевищує 25-35 м.

У породах метаморфічного комплексу родовища широко розвинені площинна та лінійна кори вивітрювання, зони тектонічних порушень. Треба відзначити, що під впливом процесів вивітрювання всі гірські породи родовища істотно змінили мінеральний склад і фізико-механічні характеристики. Глибина розповсюдження лінійної кори вивітрювання досягає більш 700 м.

Розміри та умови залягання рудоносних пластів родовища наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розміри та умови залягання рудоносних пластів родовища

Найменування показників	Стратиграфічний індекс рудоносного пласта, $sx^{1f}$			
	пластоподібна			
Глибина залягання рудного тіла від поверхні, м	25-30	25-30	30-35	30-35
Довжина рудного тіла, м	5000	5000	4500	3500
Потужність рудного тіла від...до ,м середня	15...115	15...140	60...240	5...100
	65	77	150	52
Напрямок і кут падіння рудного тіла, градус	Південь-Захід 55-70	Південь-Захід 55-70	Південь-Захід 55-70	Південь-Захід 55-65

Стійкість бортів кар'єрів та уступів, складених скельними породами, визначається величинами молекулярного зчеплення і кута внутрішнього тертя у моноліті та по поверхнях послаблення (тріщини, контакти верств гірських порід з різними фізико-механічними властивостями). Основним фактором, який впливає на стійкість укосів, є структурне порушення законтурного масиву. У цьому разі важливо знати послаблюючий вплив та інтенсивність тріщинуватості, так як відомо, що тріщинуватість є невід'ємною властивістю скельних порід, яка знижує міцнісні властивості гірського масиву.

Вивчення інтенсивності складчастості і тріщинуватості масиву дозволяє визначити коефіцієнт структурного послаблення  $\lambda$ , який знижує опір масиву гірських порід на зріз у порівнянні з опором зрізу у зразку. Від вибору значення коефіцієнта структурного послаблення міцності масиву залежить кінцевий результат визначення значень кутів укосів уступів і нахилів бортів кар'єру при проектуванні, а також достовірність оцінки ступеня стійкості цих гірничотехнічних об'єктів.

Для бортів кар'єрів, за даними натурних випробувань Г.Л. Фісенка, встановлено емпіричну залежність між зчепленням у зразках і масиві гірської породи  $C_m = C(1 + \lambda \ln H/l_i)^{-1}$ , де  $C$  і  $C_m$  - молекулярне зчеплення у зразках і масиві відповідно;  $\lambda$  - коефіцієнт структурного послаблення, який залежить від характеристики тріщинуватості;  $H/l_i$  - відношення висоти борту кар'єру до середніх розмірів елементарних структурних блоків.

За умов відсутності досліджень порушеності суцільності масиву у межах техногенно послаблених зон при розрахунках стійкості східного борту кар'єру № 1 для визначення показників зчеплення гірських порід з урахуванням коефіцієнтів структурного послаблення використовувались дані для аналогічних гірничо-геологічних умов, що наведено у [2].

Для оцінки ступеня стійкості уступів і кар'єрів гірських порід використовуються наступні фізико-механічні характеристики: густина гірських порід  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>; кут внутрішнього тертя  $\rho$ , градус; коефіцієнт молекулярного зчеплення порід  $C$ , Па. Для розрахунку коефіцієнта запасу стійкості використані вихідні дані фізико-механічних властивостей порід, по яким були пройдені стволи шахт «Родина», «Жовтнева», ім. Фрунзе. Використовувались усереднені розрахункові значення міцнісних властивостей з урахуванням коефіцієнта структурного ослаб-

лення для показників зчеплення і пористості та водопоглинення для значень густини відповідних порід.

Для оцінки стійкості східного борту була виконана геометризація інженерно-геологічних розрізів з урахуванням тектонічних і структурних особливостей родовища та обрані найбільш відповідальні розрізи 1-1 - 5-5 по контуру східної частини кар'єру, які показано на рис. 1

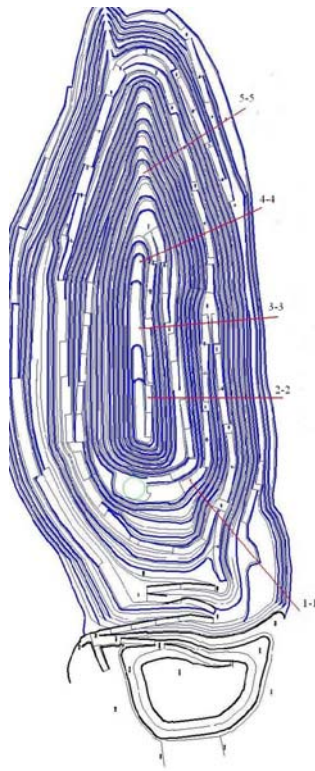


Рис. 1. Загальний план кар'єру №1 із зазначеним проектним контуром та розрахунковими лініями розрізів

Геомеханічну схему для розрахунку величини коефіцієнта запасу стійкості борту кар'єру підробленого підземними гірничими виробками подано на рис. 2.



Рис. 2. Схема до розрахунку стійкості борту кар'єру підробленого підземними гірничими виробками

В основу даної схеми покладено аналіз механізму «виходу» підземних пустот на денну поверхню. Результати цього аналізу дозволяють стверджувати, що основним чинником, що знижує ступінь стійкості бортів підроблених кар'єрів, є факт зменшення

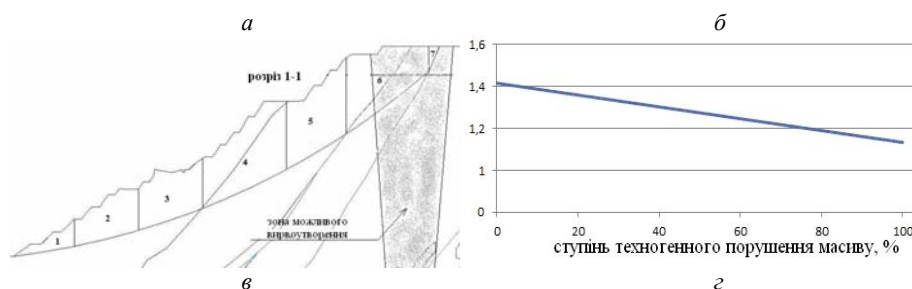
величини молекулярного зчеплення практично до нуля внаслідок дезінтеграції породного масиву. Формування потенційної поверхні сковзання у верхній частині борту відбувається по шарам порід до того моменту, коли у гірничому масиві виникають дотичні напруження, достатні для формування площадок сковзання. Потенційна поверхня сковзання частково пересікає зони «виходу» вирв і порожнин у прибортовій частині масиву, що потребує корегування у розрахунках стійкості значень сил молекулярного зчеплення. Тому, при виконанні обчислень, на ділянці перетину потенційної поверхні

сковзання з імовірною зоною «виходу» вирви вторинного обвалення на денну поверхню, величина сил молекулярного зчеплення приймається рівною нулю. Величина кута внутрішнього тертя для техногенно порушеного породного масиву залишається такою, як і для природного масиву.

Гірські породи і масиви внаслідок впливу підземних гірничих робіт в межах кар'єру мають складну будову зон зрушень вищого порядку: плавних зрушень лежачого боку; тріщин і терас лежачого боку; вирвоутворень та провалів; терас висячого боку; тріщиноутворення. Ступінь порушення породного масиву вирвами вторинного обвалення визначається наступним параметром:  $K_{\text{вир}} = (L_0/L) \cdot 100\%$ , де  $L_0$  - довжина призми можливого зсуву, м;  $L$  - довжина ділянки, де можливе перетинання поверхні ковзання з зоною «виходу» вирви вторинного обвалення на денну поверхню, м.

Розрахунок коефіцієнта запасу стійкості борту кар'єра підробленого підземними гірничими виробками виконувався методом алгебраїчного додавання сил по п'яти найбільш характерним розрізами з урахуванням ймовірності виходу на денну поверхню вирв вторинного обвалення [3,4].

На рис. 3 надано приклади вертикальних розрізів та відповідні графіки залежностей зміни коефіцієнта запасу стійкості від ступеня техногенного порушення борту кар'єру.



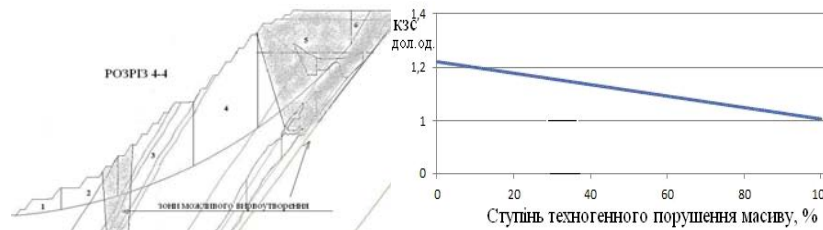


Рис. 3. Схеми до розрахунку коефіцієнта запасу стійкості - а,б; залежності зміни коефіцієнта запасу стійкості від ступеня техногенного порушення борта кар'єру - б,г; 1-7 - розрахункові блоки

Розріз 1-1 по південно-східному борту кар'єру (див. рис. 3а).

Проектний кут нахилу борта кар'єру 30 град., висота 447 м, розташований від гор. (-352 м) до гор. (+95 м). Профіль борту плоский. Круте падіння породних шарів у бік виробленого простору обумовлює формування верхньої частини поверхні сковзання по тріщинах і контактам порід, а в нижній частині форма поверхні сковзання наближена до кругло циліндричної.

Мінімальне середнє значення коефіцієнта запасу стійкості дорівнює 1,42 і порівняння з нормативним значенням 1,2 показує, що східний борт по розрахунковому профілю 1-1 має значний запас ступеня стійкості. На рис. 3с наведено закономірність зменшення коефіцієнта запасу стійкості східного борту по розрізу 1-1 при ймовірному збільшенні ступеня його порушення вирвами вторинного обвалення. Закономірність зменшення коефіцієнта запасу стійкості східного борту по розрізу 1-1 при ймовірному збільшенні ступеня його порушення вирвами вторинного обвалення. показує, що ступінь стійкості східного борту по розрізу 1-1 знизиться до граничного значення в тому випадку, коли ступінь його порушення досягне 70-75 % (рис. 3с).

Розріз 4 - 4 по східному борту кар'єру (див. рис. 3б).

Проектний кут нахилу борта кар'єру 36 градусів, висота 457 м, місце розташування від гор. (-362 м) до гор. (+95 м). Профіль борту плоский. Потенціальна поверхня сковзання має аналогічну форму з попередніми розрізами.

Мінімальне середнє значення коефіцієнта запасу стійкості дорівнює 1,22 і порівняння з нормативним значенням 1,2 показує, що східний борт по розрахунковому профілю 4-4 має практично нормативний запас стійкості. Закономірність зменшення коефіцієнта запасу стійкості східного борту по розрізу 4-4 при ймовірному збільшенні ступеня його порушення вирвами вторинного обвалення. показує, що ступінь стійкості східного борту на даній ділянці знизиться до гранично мінімального значення в тому випадку, коли ступінь його порушення досягне 10 % (рис. 3г).

Результати визначення коефіцієнтів запасу стійкості по всім обраним розрахунковим розрізам східного борту Глеєватського кар'єра №1 ПАТ «ЦГЗК» з кутами нахилу борта 35-37 град. показують, що визначені значення коефіцієнта запасу стійкості (1,22-1,42) не менш величини 1,20, рекомендованої існуючими нормативними документами [1,5] для робочих бортів з терміном служби до 3-х років (див. табл. 3).

Таблиця 3

Зведені результати розрахунку стійкості східного борту Глеєватського кар'єра №1 ПАТ «ЦГЗК»

Номер розрізу	Маркшейдерські осі	Розрахунковий КЗС, дол. од.	Ступінь прогнозованого порушення масиву, %	КЗС з урахуванням порушення масиву, дол. од.
1-1	275 - 310	1,42	21	1,36
2-2	236	1,24	11	1,21
3-3	192	1,27	Не очікується	1,27
4-4	146	1,22	10	1,20
5-5	76 - 128	1,29	27	1,23

Вихід вирв вторинного обвалення на денну поверхню може привести до локального деформування і руйнування (як правило, в бік породного масиву) уступів і груп уступів, розташованих на борту кар'єра. Для запобігання цього небажаного явища рекомендується розглянути питання про можливість застосування закладки, в тому числі твердої, для ліквідації пустот і запобігання виходу вирв в районі східного борту Глеєватського кар'єра. З точки зору забезпечення стійкості борта кар'єру в цілому, вихід вирв вторинного обвалення у верхній частині борту (зона призми активного тиску) менш небезпечна, ніж вихід вирв в нижній частині борту (зона призми упору), що підтверджується виконаними розрахунками і встановленими

закономірностями зміни коефіцієнта запасу стійкості від ступеня підроблення борту підземними гірничими роботами.

**Висновки і напрямок подальших досліджень.** Встановлені закономірності зміни коефіцієнта запасу стійкості східного борту Глеєватського кар'єра від збільшення ступеня техногенного порушення прибортового масиву вірогідним виходом вирв вторинного обвалення дозволили визначити граничні значення ступеня порушення прибортового масиву ( $K_{пр} = 10-76\%$ ), при якому стійкість східного борту Глеєватського кар'єра буде відповідати нормативним вимогам.

Враховуючи прогностичний характер вихідної інформації, опис і систематизація таких дефектів у просторі - складне завдання, яке потребує розроблення спрощених моделей і припущень. За допомогою кластерного аналізу можливо створення моделей, які врахують складність просторової організації реальної геомеханічної системи. Для цього потрібно задати функцію розподілу зон вирвоутворень за їх характеристичними розмірами і фізико-механічними властивостями. Звичайно, ця функція має зміст функції розподілу ймовірності поділу борта кар'єру на об'єми вторинних зрушень при заданих деформаційних параметрах. На наш погляд, використання кластерного аналізу для контролю стану стійкості бортів кар'єрів і відвалів є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприяє підвищенню обґрунтованості геомеханічних прогнозів стійкості бортів кар'єра та формалізації пошуку оптимальних рішень. Розроблення кластерної моделі буде складовою частиною подальших досліджень авторів.

#### Список літератури

1. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Київ: МППУ. - 2008. - 702с.
2. Выявление пустот в восточном борту Глеватского карьера и разработка мероприятий по безопасному ведению горных работ в зонах его подработки подземными горными работами: Отчет по НИР (заключ.) / Министерство промышленной политики Украины ГП «НИГРИ» № ГР 0111U004428; - Кривий Ріг, 2011. - 85 с.
3. Открытые горные работы: Спр. / **К.Н.Трубецкой, М.Г. Потапов, Н.Н. Мельников и др.** - М.: Горное бюро, 1994. - 590 с.
4. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідectво про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ/С.Я. Бехлер, А.В. Болотников, С.О. Несмашний, О.В. Максимов, Г.І. Ткаченко. – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.
5. **Попов В.Н., Байков Б.Н.** Технология отстройки бортов карьеров / М., Недра, 1991. - 250 с.
6. **Зотеев.В.Г.** Основные проблемы формирования предельных контуров карьеров в скальных породах: Сб. науч. тр. - Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1987.- №83.- С. 8-15.

Рукопис подано до редакції 12.11.11

УДК 622.142.5:553.31

М.В. ШОЛОХ, канд.техн.наук, доц., О.Л. ТОПЧІЙ, М.П. СЕРГЄЄВА, викладачі ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОДОВИЩА ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ ЙОГО ЗАПАСІВ

Надано методику, яка базується на основі даних детальної розвідки з використанням сучасних математичних методів, що дозволяють урахувати не тільки особливості розподілу корисного компонента на даному родовищі, але і методику проведення геометризації для уточнення промислових запасів.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Для об'ємів, які відповідають розмірам проб, Д. Кріге розробив метод оцінки вмісту в даній точці шляхом усереднення вмістів в найближчих опробованих точках з вагами, які зменшуються по мірі збільшення відстані від розглядаємої точки [1,2]. Цей метод отримав назву крайгінга. Для застосування крайгінга необхідно було в першу чергу по даним опробування оцінити кореляційну функцію (або варіограму). Від правильності її оцінки залежить точність підрахунку запасів. У зв'язку з цим були розглянуті питання зміни цих функцій в залежності від геометрії проб, орієнтації ліній опробування по відношенню до рудного тіла і інш. Де Війсом були запропоновані емпіричні формули для обліку впливу геометрії проб на вид цих функцій, але ефективність їх використання залишилась спірною. Разом з тим, це питання суттєво впливає на рішення задач крайгінга. У більш загальному вигляді воно може бути поставлене, як вивчення вида цих функ-