

ПРО ГЕОТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРІВ

О. О. Фролов, канд. техн. наук, Є. А. Загоруйко, асп. (НТУУ «КПІ»)

Приведены основные причины сдвигов бортов карьеров. Рассмотрены этапы решения проблемы стойкости бортов. Выполнен анализ факторов, влияющих на состояние массива горных пород. Указаны условия, при которых обеспечивается формирование откосов по заданным значениям углов.

Актуальною проблемою при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом є проблема стійкості укосів бортів кар'єрів. Особливої гостроти вона набула останнім часом, коли глибина відпрацювання кар'єрів різко зростає. При цьому досвід, накопичений при відпрацюванні неглибоких кар'єрів, уже не задовольняє новим вимогам [1].

Особливе занепокоєння викликають зсуви в скельних породах, які тривалий час вважалися досить стійкими. Зокрема, це незначні обвалення в укосах уступів, складених тріщинуватими скельними породами, які істотно ускладнюють ведення гірничих робіт через зменшення ширини транспортних берм і берм безпеки.

Аналіз результатів численних досліджень дозволив встановити, що основними причинами зсувів є:

несприятливі структурно-літологічні умови, а саме: тектонічні порушення, зміна кута падіння шарів масиву порід, наявність прошарків глини та інших ослаблених зон, що падають у бік виробки;

зміна фізичних властивостей порід, насамперед, втрата міцності через зволоження атмосферними та підземними водами, і зменшення міцності порід у часі;

техногенні фактори: динамічний вплив гірничотранспортного устаткування, масових вибухів і землетрусів на масив гірських порід.

Розв'язання проблеми стійкості бортів кар'єрів проходило поетапно. На першому етапі до середини 50-х років ХХ століття стійкість бортів визначалася якісними характеристиками гірського масиву. Другий етап (кінець 50-х – початок 60-х років) характеризується тим, що борт кар'єру розглядається як геотехнічне спорудження, параметри якого можна розрахувати, використовуючи фізико-механічні характеристики масиву.

На третьому етапі, внаслідок розвитку механіки гірських порід, на перший план висувається теоретичне розроблення та удосконалення методів розрахунку стійкості бортів кар'єрів і укосів відвалів для реальних геологічних умов, зокрема удосконалення відомих методів розрахунку стійкості бортів (В. Фелленіуса, В. В. Соколовського, С. С. Голушкевича, Г. Т. Шахунянца), які перевірялися в натурних і лабораторних умовах.

Практичний стан проблеми оцінки стійкості бортів кар'єрів на стадії проектування, за даними геологічної розвідки, свідчить про недостатній науковий і технічний рівень проектів. Як правило, в проекти закладаються параметри бортів і уступів кар'єрів із завищеними кутами укосів. Однак з початком розробки внаслідок розвитку деформаційних процесів виявляється невідповідність між проектними параметрами кар'єрів і фактичним станом. Це ускладнює ведення відкритих гірничих робіт, знижує рівень їх безпеки, вимагає проведення додаткових інженерно-геологічних досліджень і розроблення нових рішень для коректування проекту розробки родовищ.

Досвід роботи гірничих підприємств свідчить про те, що найчастіше помилкові рішення приймаються через використання недостовірних інженерно-геологічних даних і відсутність даних про наявність розламів, закономірностей розвитку мереж великих тріщин у масиві, властивостей порід у масиві та ін. Отримання цих даних є найбільш трудомістким процесом при обґрунтуванні проектних рішень по встановленню оптимальних параметрів кар'єрів.

У зв'язку з цим на сучасному етапі розвитку гірничої справи особлива увага приділяється прогнозу зміни інженерно-геологічних умов родовищ корисних копалин у зоні впливу кар'єрних розробок.

Цій проблемі присвячена робота [2], в якій уперше розглядаються теоретичні і методичні основи інженерно-геологічного прогнозування, зокрема при веденні гірничих робіт. На базі комплексного підходу автори обґрунтували стратегію інженерно-геологічного прогнозу і розробили рекомендації щодо застосування методів прогнозування при відкритому та іншому способах розробки твердих корисних копалин. Наведені також загальні відомості про деформації гірських порід на кар'єрах, умови і причини їх утворення. Відзначається, що незважаючи на удосконалення методів визначення властивостей, стану масивів гірських порід і оцінки стійкості укосів, у вітчизняній і закордонній практиці відомо чимало випадків порушення стійкості укосів. Виконано аналіз факторів, що визначають деформації гірських порід на кар'єрах. Ці фактори об'єднані в дві групи: природні (геологічні) і гірничотехнічні. Сукупність усіх факторів визначає напружений стан масиву і умови його деформування. Встановлено, що група геологічних факторів, в яку входять склад, стан, будова і властивості гірських порід, є визначальною. Ці фактори визначають умови деформування масиву, вибір розрахункових схем оцінки стійкості укосів і вихідних розрахункових параметрів. Відмічається недостатня вивченість більшості факторів, які входять у цю групу. Важливість дослідження геологічних факторів пояснюється тим, що ця група факторів є певною мірою керованою, що дозволяє знижувати шкідливий вплив кар'єрних розробок на масив гірських порід.

У [2] наведено недоліки і переваги більш ніж 100 розрахункових методів оцінки стійкості укосів, прогнозу деформацій методами фізичного моделювання і порівняльно-геологічним методом і прогнозу стійкості укосів методами математичного моделювання, детально описані методи натурно-експериментального прогнозування на основі маркшейдерсько-геодезичних та геофізичних спостережень. Дається оцінка інженерно-геологічних умов як

основи для вибору ефективних технологічних рішень. Підкреслюється, що параметри основних технологічних процесів при відкритій розробці родовищ корисних копалин значною мірою визначаються характером тріщинуватості скельних і напівскельних гірських порід. Вплив тріщинуватості скельних порід на стійкість укосів різного призначення детально розглянуто в роботах [3–13].

Практика показує, що кути укосів кар'єрів залежать від інженерно-геологічних умов, силового впливу підземних вод і технології ведення гірничих робіт поблизу бортів кар'єрів. Зміна кутів укосу з поглибленням кар'єрів є закономірною. Кути укосу можуть змінюватися від $20...30^\circ$ в зонах, де розвинені площинні поверхні ослаблення, тріщини, зони вивітрювання тощо, до 60° у скельній породі. За рахунок дренажу і осушення небезпечних укосів можна підвищити кут укосу на $5...7^\circ$. Слід зазначити, що визначити реальний кут укосу з достатнім ступенем упевненості неможливо. Ця проблема не розв'язується і методом експертиз [14].

Важливе місце при оцінці стійкості укосів займає моніторинг. Практика свідчить, що зрушення порід починається задовго до початку основного зсуву і, звичайно, не фіксується візуально. Потрібні інструментальні маркшейдерські спостереження з використанням дистанційних методів з допомогою оптичних, лазерних та інших приладів. На відстані $300...1500$ м можна встановити швидкість зсуву з точністю $\pm 1,7$ мм. Експериментально доведено, що при швидкості зрушення, меншій за $7,5$ мм за добу, основне руйнування відбудеться не раніше, ніж через наступні 24 години.

Значний вплив на стійкість бортів чинять буропідривні роботи (БПР). Вони викликають небезпеку обвалення уступів у кінцевому положенні борту кар'єру невеликої глибини. В практиці відомий випадок, коли після вибуху заряду ВР загальною масою ~ 250 т утворилася тріщина на відстані $60...70$ м за контуром кар'єру.

Вплив вибухових робіт на стійкість укосів у вітчизняній практиці розглядається в роботах В. М. Мосинця, А. Б. Фадєєва, А. М. Гайдіна, М. Е. Певзнера і Б. В. Смирнова [2, 15, 16].

Для зниження шкідливого впливу БПР вчені рекомендують змінити їх параметри, а саме: розташовувати ряди свердловин під кутом $60...90^\circ$ до контуру борту; застосовувати екрануючі вруби; використовувати штучне зміцнення уступів; вводити в розрахунки підвищений коефіцієнт запасу стійкості, а за наявності необхідної інформації вводити в розрахунки також параметри міцності порід у масиві, отримані методом обернених розрахунків на ділянках розвитку деформацій. Ці параметри в конкретних гірничотехнічних і інженерно-геологічних умовах ураховують масштабний фактор, що включає і вплив БПР.

Аналізуючи фактори, які впливають на стійкість бортів кар'єрів, необхідно відзначити, що геологічна будова гірського масиву визначає ймовірнісну геометрію руйнування і визначає потенційну поверхню руйнування. При цьому виділяються такі найбільш типові схеми руйнування укосів:

з криволінійною поверхнею руйнування (в гомогенних породах або в породах з густою мережею дрібних тріщин);

по східчистій поверхні;
по площинній витриманій тектонічній зоні або розламу;
у вигляді клина.

У зв'язку з тим, що ці схеми руйнування скельних укосів базуються на спрощених геометричних припущеннях, надійність коефіцієнта стійкості носить ймовірнісний характер. Прикладом цьому є проектування буровугільного кар'єру „Санта Барбара” в Італії [17]. При розрахунку стійкості бортів кар'єру використовували величини опору зрушенню уздовж поверхні ковзання, отримані на основі вивчення міцнісних властивостей зразків у лабораторних умовах. В реальних умовах виявилось, що міцність породи уздовж поверхні ковзання дорівнює так званій залишковій міцності ґрунту. Зсув відбувся через утворення поверхні ковзання в результаті прогресуючого руйнування. На наш погляд, достовірні характеристики контактної міцності можуть бути отримані тільки з використанням обернених розрахунків, які враховують масштабний фактор у повному обсязі.

Наведений аналіз праць, присвячених стійкості укосів бортів кар'єрів свідчить про те, що сприятливі структурно-геологічні умови, контроль підземних вод і БПР можуть забезпечити умови для формування більш крутих укосів. Зазначимо, що кожний градус крутості укосів заощаджує значні кошти за рахунок скорочення об'ємів розкриття.

Оскільки структурно-геологічні та гідрогеологічні умови належать до природних факторів і впливати на них відносно важко, а в деяких випадках і неможливо, то БПР залишаються чи не єдиним чинником, який дає можливість формувати укоси бортів кар'єрів згідно з проектними рішеннями.

БПР слід планувати таким чином, щоб вибух не впливав або впливав незначною мірою на постійний борт кар'єру. Це досягається оптимальним розташуванням системи свердловин, типом вибухової речовини та конструкцією заряду. Тому при подальших дослідженнях, що стосуються проектування укосів, особливу увагу слід приділяти удосконаленню методів ведення БПР у зонах формування постійних бортів кар'єру.

1. Певзнер М. Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах. – М.: Недра, 1978. – 256 с.

2. Гайдин А. М., Певзнер М. Е., Смирнов Б. В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1983. – 310 с.

3. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.

4. Руководство по определению оптимальных углов бортов карьеров и откосов и отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1962. – 138 с.

5. Егоров А. Я., Кононов В. В. Определение характеристик сопротивления сдвигу трещиноватых скальных пород по ослабленным поверхностям в карьерных откосах / Инженерная геология. – 1988. – № 3. – С. 109–112.

6. *Рац М. В., Чернышев С. Н.* Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1970. – 160 с.
7. *Миллер Л.* Инженерная геология. Механика скальных массивов. – М.: Мир, 1971. – 470 с.
8. *Джеггер И.* Механика горных пород и инженерные сооружения. – М.: Мир, 1975. – 375 с.
9. *Пирогов И. А.* Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.
10. *Савич А. И. и др.* Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. – М.: Энергия, 1969. – 170 с.
11. *Варга А. А.* Методические рекомендации по изучению мелкой трещиноватости при изысканиях для гидротехнического строительства. – М.: Энергия, 1981. – 81 с.
12. *Чернышев С. Н.* Трещины горных пород. М.: Наука, 1983. – 240 с.
13. *Чернышев С. Н.* Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов. – М.: Недра, 1984.
14. *Кторов А. Я.* Особенности трещинообразования в нескальных породах // Инженерная геология. – 1986. – № 4. – С. 65–69.
15. *Мосинец В. Н.* Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1976. – 172 с.
16. *Фадеев А. Б.* Дробящее и сейсмическое действие взрывов на карьерах. – М.: Недра, 1972. – 185 с.
17. *D. Exid.* Slides in very deep cuts. Comparison between prediction and actual behaviour in Italian // *Fiev. Ital. Geo. teoh.* – 1968. – N 3. – P. 18.