

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ТРІЩИНУВАТОГО ГРАНІТНОГО МАСИВУ І ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО НАПРЯМУ ЗАКЛАДЕННЯ ВИДОБУВНОГО УСТУПУ

(Представлено д.г.-м.н., проф. Підвисоцьким В.Т.)

Розглянуто і проаналізовано методику та алгоритм вибору оптимального напрямку закладення уступу при видобуванні блоків граніту. Показано залежність розташування уступу відносно площин тріщинуватості, що з врахуванням характеру орієнтації систем тріщин дозволить одержати максимальний вихід кондиційних блоків.

Вступ. Рішення багатьох гірничо-технічних завдань, коли об'єктом впливу виступає масив гірських порід, потребує дослідження і обліку тріщинуватості. Видобування блочного каменю значною мірою залежить від розвитку та інтенсивності тріщин.

Від повноти врахування особливостей тріщинуватості й напрямку закладення видобувних уступів відносно систем тріщин залежить вихід кондиційних блоків. Тому вибір оптимального напрямку видобування на основі оцінки геоструктурної будови масиву є одним з найважливіших завдань при розробці родовищ блочного каменю.

Мета роботи – провести аналіз особливостей видобування блочного каменю; розглянути методику моделювання тріщинуватого гранітного масиву; розробити алгоритм вибору раціонального напрямку видобування блоків каменю з врахуванням тріщинуватості масиву.

Аналіз досліджень і публікації. Залежність розташування вибоїв при відпрацюванні родовищ блочного каменю від орієнтації систем тріщин і можливість збільшення виходу кондиційних блоків при правильному їх розташуванні розглядається у працях таких вчених: Мельникова Н.В., Ржевського В.В., Шлаїна І.Б., Белікова Б.П., Пічугіна В.Г., Корсакова П.Ф., Бакка М.Т.

Проте слід зазначити, що висвітлення даного питання в літературі є досить обмеженим, в зв'язку з цим у виробничих умовах видобувні роботи плануються без достатніх наукових обґрунтувань, що знижує техніко-економічні показники роботи кар'єрів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розробка родовищ блочного каменю вирізняється рядом специфічних особливостей, які дозволяють виділити такі кар'єри в особливу групу гірничодобувних підприємств.

Цими особливостями є:

- а) використання особливих варіантів системи розробки і способів розкриття родовища;
- б) необхідність у процесі видобування блочного каменю зберігати його цілісність, основні якісні показники і декоративні властивості;
- в) використання спеціальних методів відокремлення блоків від забою, їх підйом і відвантаження, транспортування;
- г) комплексне використання гірської маси, що попутно видобувається, кількість якої як правило значно перевершує вихід кондиційних блоків.

Родовища облицювального каменю розробляються відкритими кар'єрами, уступною системою, горизонтальними шарами (уступами і підступами) зверху вниз. Вимоги, що висуваються гірничою промисловістю до отримання крупних нетріщинуватих блоків облицювального каменю, обумовлюють необхідність використання специфічних способів розробки.

Необхідною умовою при розробці гранітних родовищ блочного каменю, на відміну від інших видів корисних копалин, є отримання монолітних блоків із збереженням їх природних якостей.

Велике значення мають також доставка блоків з кар'єру і транспортування, оскільки підйом і пересування крупних блоків без належних пристроїв може призвести до їх руйнування.

Комплексне використання гірської маси має велике значення для підвищення рентабельності роботи гірничого підприємства.

Використання бризантних вибухових речовин, що широко використовуються при видобуванні інших видів корисних копалин, тут повністю виключається, оскільки виникаючий при цьому високий тиск (до 100000 кг/см²) глибоко розповсюджується в масиві гірських порід і викликає утворення численних тріщин. Тому з метою отримання суцільних блоків із збереженням природних якостей застосовуються інші способи відокремлення блоків.

Серед чинників, обумовлюючих низький вихід блоків з гірської маси, виділяють ті, які можна усунути, і ті, що не усуваються (надмірна тріщинуватість). До перших слід віднести неправильне розташування уступів кар'єру щодо систем тріщин.

Вибір напрямку просування фронту видобування повинен бути обраний з врахуванням тріщинної

анізотропії. Правильний вибір напрямку фронту розробки не тільки полегшує відокремлення блоків від гірського масиву, а й сприяє збільшенню виходу кондиційних блоків.

Для вирішення завдання вибору оптимального напрямку закладення вибою, з врахуванням тріщинуватості, пропонується модель розробки тріщинуватості гранітного масиву.

Особливістю розробки блочного родовища граніту, як сказано вище, є те, що видобування йде окремими блоками правильної форми пошарово. Згідно з ДСТУ 2.7-59-97 блоки повинні мати правильну форму. Величина відхилень від прямого кута двох суміжних граней на всю висоту не повинна перевищувати:

- 25 мм – у пасерованих блоків;
- 50 мм – у непасерованих блоків.

Уступи витримані по висоті та прямолінійні. Таким чином, виходить, що родовище при розробці розбивається на окремі правильні блоки, які утворюють об'ємну решітку. Виходячи з цього, приймаємо таку модель родовища з урахуванням точності представлених реальних умов.

Дану ділянку родовища обмежуємо рівновеликим паралелепіпедом Ω і умовно поміщаємо в перший октант. Потім перетинаємо його площинами, паралельними відповідно площинам XOY , XOZ , YOZ на одиничні кубики з ребрами a . Одержуємо об'ємну решітку. Таким чином, модель родовища з мережею тріщин і геометричними елементами (уступами) кар'єру приймається у вигляді об'ємної решітки, що перетинається системами площин тріщин. Системи тріщин представлені системами площин, що характеризуються такими параметрами:

$$\alpha_i, \beta_i, d_i, d_{oi}, \quad (1)$$

де α_i – середній азимут падіння i -тої системи тріщин;

β_i – середній кут падіння i -тої системи тріщин;

d_i – математичне очікування (середня зважена) відстані між тріщинами в i -тій системі;

d_{oi} – математичне очікування відстані від початку системи координат до першої тріщини i -тої системи.

За параметрами $\alpha_i, \beta_i, d_i, d_{oi}$ в прийнятій системі координат складаються рівняння площини i -тої системи у відрізках:

$$\cos \alpha_i x + \cos \beta_i y + \cos \gamma_i z = d_{oi} + j_i d_i. \quad (2)$$

Фіксоване положення решітки і систем тріщин приймемо за A_0 . Системи тріщин, перетинаючись між собою, утворюють деяку кількість суцільних многогранників (Qm). При цьому деяка частина кубиків m_0 , що містяться в Ω , цілком вмістяться в деяких многогранниках з (Qm), тобто будуть суцільними. Якщо, залишаючи решітку в положенні A_0 , повертати систему площин тріщин навколо осі OZ на деякі кути $A_k = A_0 + k\Delta A$, то m прийматиме відповідно деякі значення m_k .

Величина ΔA приймається виходячи з точності визначення параметрів (1).

Поставимо задачу:

Знайти таке положення об'ємної решітки (зберігаючи паралельність нижньої основи кубиків до площини XOY) щодо орієнтації систем тріщин, при якому m_k прийме максимальне значення.

При такому положенні гірських виробок (уступів) відносно систем тріщин буде досягнутий максимальний вихід кондиційних блоків.

Як критерій оптимальності пропонується максимізація виходу суцільних блоків. Обґрунтованість вибору такого критерію очевидна, якщо врахувати, що кінцевим результатом роботи гранітних кар'єрів є отримання монолітних блоків певних розмірів.

Для заданого кута повороту A_k вибіркою випадкових кубиків і перевіркою їх на той, що перетинається, оцінимо m_k . Зважаючи на великий об'єм генеральної сукупності, кількості кубиків, для розв'язання задачі застосуємо вибіркового метод дослідження.

При використанні випадкового пошуку для розв'язання поставленої задачі виникає необхідність обґрунтування числа реалізацій. Під реалізацією розуміється вибір випадкової точки із заданого простору Ω і перевірка її за відповідним алгоритмом. Ставиться завдання оцінки необхідної кількості реалізацій для оцінки кубиків, що не перетинаються.

Позначимо через P шукану (невідому) кількість кубиків, що не перетинаються. Алгоритм випадкового пошуку для вирішення поставленої задачі еквівалентний вибору з поверненням, тобто кожного разу нова випадкова точка вибирається із всієї безлічі точок простору Ω . Припустимо, що необхідно знайти P з похибкою, що не перевищує числа β . Яке число n реалізацій необхідне для цього? Позначимо через P' кількість одержаних кубиків, що не перетинаються, при n реалізаціях. Тоді необхідно, щоб $|P - P'| \leq \beta$. Оскільки оцінка проводиться з деякою достовірністю, введемо поняття довірчого рівня α , тобто необхідно, щоб співвідношення $|P - P'| \leq \beta$ виконувалося з ймовірністю не менше, ніж α . Оскільки кількість кубиків, що не перетинаються, у просторі Ω дорівнює P , то ймовірність того, що випадкова точка належатиме кубіку, що не перетинається, теж дорівнює P . Тому задача зводиться до схеми випробувань Бернуллі з ймовірністю успіху P в одиничному випробуванні. Причому

$nP' = S_n$ – число успіхів у n випробуваннях.

Нехай допустима помилка оцінки P дорівнює $\beta = 0,05$, довірчий рівень $\alpha = 0,95$.

Тоді

$$P \left\{ |P - P'| \leq 0,05 \right\},$$

$$P \left| \frac{S_n}{n} - P' \right| \leq 0,05. \tag{3}$$

Тому n повинно бути вибрано настільки великим, щоб ця величина стала більше 0,95. Скористаємося нормальним наближенням.

$$\Phi(X) - \Phi(-X) = 0,95 \tag{4}$$

Корінь X рівняння дорівнює 1,96, звідки:

$$n \geq 1600pq. \tag{5}$$

У цю нерівність входить невідоме p , але оскільки pq ніколи не перевищує 0,25 (рис. 1), то об'єм вибірки:

$$n > 400, \tag{6}$$

тобто 400 реалізацій достатньо для оцінки будь-якого P з достовірністю 0,95 при допустимій похибці оцінки 5 %.

Ця оцінка дозволяє дати рекомендацію для використання випадкового пошуку при вирішенні поставленої задачі.

Алгоритм випадкового пошуку слід застосовувати при великому об'ємі даної ділянки простору Ω , а саме: якщо число кубиків, що містяться в ньому, перевищує число $(2-3) \cdot 400$. При меншому об'ємі Ω для вирішення задачі слід застосовувати повний перебір.

Для зручності повертатимемо навколо осі OZ системи площин тріщин, описаних рівнянням (2), при фіксованому положенні решітки. Для отримання нових рівнянь системи площин тріщин при повороті їх на кут A_k навколо осі OZ обчислюються параметри рівнянь $\cos\alpha_{ik}$, $\cos\beta_{ik}$, а коефіцієнт $\cos\gamma_{ik}$ залишається без зміни. Для цього визначають кути.

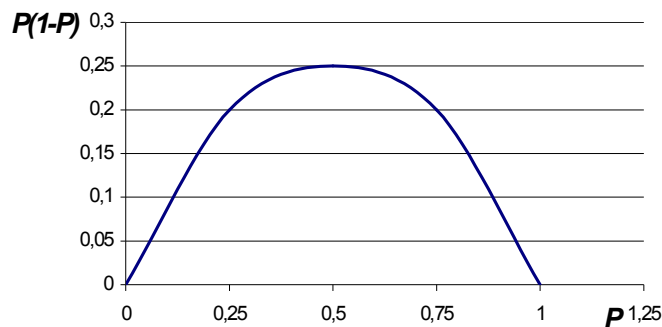


Рис. 1. Оптимальне значення параметра pq

З рис. 2 видно, що

$$\cos\alpha'_{ik} = \frac{\cos\alpha_{ik}}{\sin\gamma_i};$$

$$\cos\beta'_{ik} = \frac{\cos\beta_{ik}}{\sin\gamma_i}, \tag{7}$$

де α_{ik} ; β_{ik} ; γ_i – кути, утворені між нормаллю P до площини і осями координат.

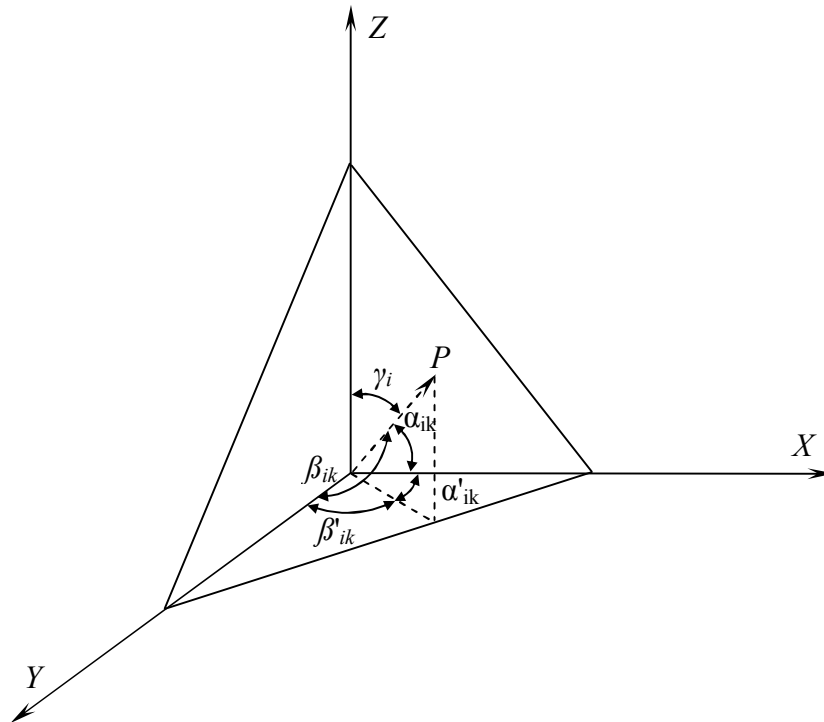


Рис. 2. Схема обчислення нових параметрів рівнянь площин тріщин при їх повороті на кут ΔA

З (7) одержуємо:

$$\alpha'_{ik} = \arccos\left(\frac{\cos \alpha_{ik}}{\sin \gamma_i}\right);$$

$$\beta'_{ik} = \arccos\left(\frac{\cos \beta_{ik}}{\sin \gamma_i}\right).$$
(8)

При повороті площин на кут $A_k = A_k + I + \Delta A$ одержимо:

$$\alpha'_{ik} = \alpha_{ik} + \Delta A;$$

$$\beta'_{ik} = \beta_{ik} + \Delta A.$$
(9)

Звідси кути α_{ik}, β_{ik} обчислюються за формулами:

$$\cos \alpha_{ik} = \cos \alpha'_{ik} \sin \gamma_i;$$

$$\cos \beta_{ik} = \cos \beta'_{ik} \sin \gamma_i.$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n; k = 0, 1, 2, \dots, \left[\frac{2\pi}{\Delta A} \right].$$
(10)

Таким чином одержуємо нові рівняння площин при повороті систем на кут A_k в горизонтальній площині. Для випадкового вибору куба решітки датчиком випадкових чисел формуються три незалежні рівномірно розподілені в заданих межах по осях випадкові величини, що являють координати X, Y, Z центра випадкового куба. Визначаються найближчі до центра куба площини з кожної системи. Для цього знаходяться параметри:

$$j_i = \frac{\cos \alpha_{ik} X' + \cos \beta_{ik} Y' + \cos \gamma_{ik} Z' - \bar{d}_{oi}}{\bar{d}_i},$$
(11)

де X', Y', Z' – координати центра випадкового куба. Потім величина j_i заокруглюється до найближчого цілого.

Далі визначається, чи перетинається даний куб хоча б однією площиною всіх сімей. Для цього всі координати вершин куба X_t, Y_t, Z_t по черзі підставляються в рівняння найближчих площин кожної системи, і обчислюються величини:

$$C_{it} = \cos \alpha_{ik} X_t + \cos \beta_{ik} Y_t + \cos \gamma_{ik} Z_t - \bar{d}_{oi} - \bar{d}_i;$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n; k = 0, 1, 2, \dots, \left[\frac{2\pi}{\Delta A} \right]; t = 1, 2, 3, \dots, 8.$$
(12)

Причому, якщо всі C_{it} для $t = 1, 2, 3, \dots, 8$ мають однакові знаки, це означає, що жодна з площин системи не перетинає даний куб. Кожен неперетнутий куб фіксується. Таким чином для всіх A_k за фіксованим об'ємом вибірки оцінюється кількість кубиків, що не перетинаються. Після перебору A_k від 0 до 2π виділяється такий кут A_k , при якому число кубиків m_k , що не перетинаються, є максимальним, тобто отримується максимальний вихід суцільних блоків.

Нижче (рис. 3) наведено блок-схему алгоритму вибору оптимального кута закладення видобувного уступу.

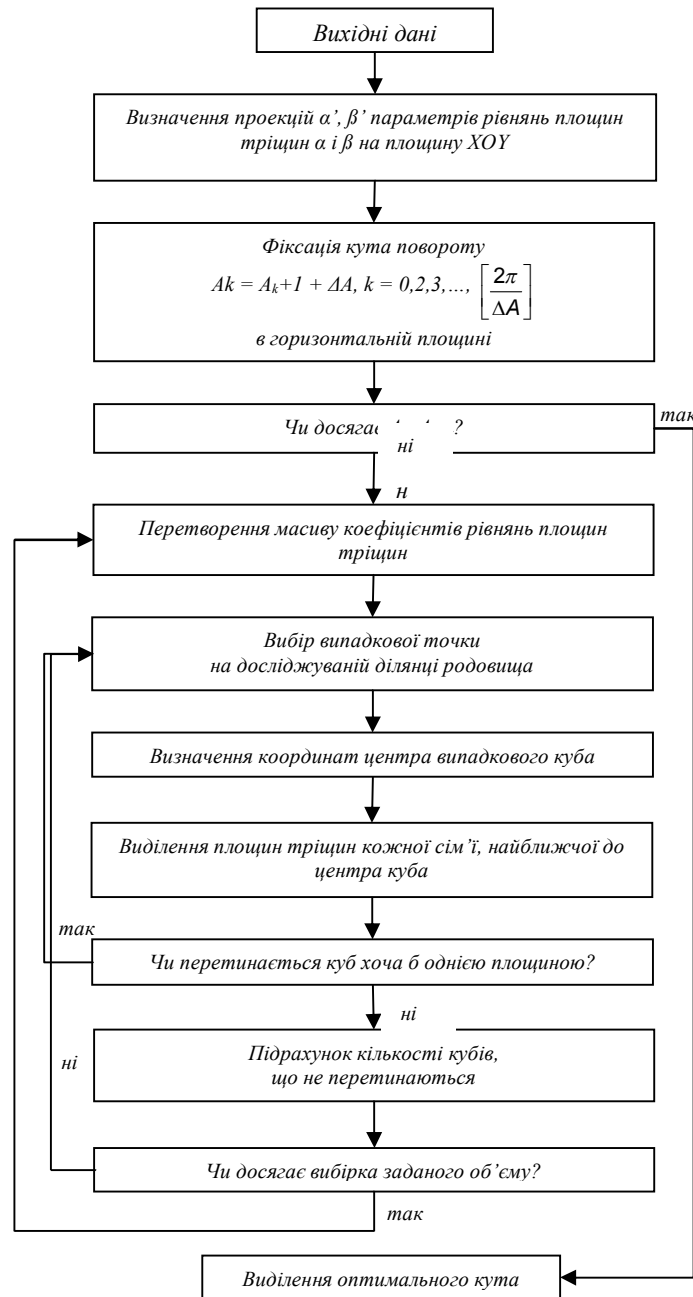


Рис. 3. Блок-схема алгоритму розв'язання задачі

Висновки. На основі запропонованої моделі тріщинуватого гранітного масиву розроблено алгоритм вибору раціонального напрямку видобування блоків з урахуванням орієнтації систем тріщин. Побудована модель родовища з урахуванням особливостей розробки тріщинуватого масиву є основою і необхідною ланкою в розв'язанні практичних задач планування і проведення видобувних робіт.

Розташування уступів і вибір напрямку видобування блоків з урахуванням характеру орієнтації систем тріщин дозволить одержати максимальний вихід кондиційних блоків.

Дану методику вибору раціонального напрямку видобування гранітних блоків значною мірою може бути застосовано і при відпрацюванні інших родовищ облицювального каменю.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Беликов Б.П.* О методике изучения трещиной тектоники месторождений строительного и облицовочного камня. – Изд-во АН СССР, 1963. – 125 с.
2. *Букринский В.А.* Практический курс геометрии недр. – М.: Недра, 1965.
3. *Гмурман В.Е.* Руководство по решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1975. – 333 с.
4. *Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т.* Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – Санкт-Петербургский горный ин-т, 1997. – 428 с.
5. *Михайленко В.В.* Теорія ймовірностей, математична статистика та випадкові функції. – Житомир: ЖІТІ, 2003. – 292 с.
6. *Мельников Н.В.* Техника открытых горных работ. – М.: Гос. научно-техническое изд. литературы по горному делу, 1968. – 185 с.
7. *Мельников Н.В.* Краткий справочник по открытым горным разработкам. – М.: Недра, 1972. – 115 с.
8. *Пичугин В.Г.* Оптимальный объем блоков природного камня. – М.: Строительные материалы, 1974 – 155 с.
9. *Ржевский В.В.* Технология и комплексная механизация открытых горных работ. – М.: Недра, 1973. – 227 с.
10. *Хальд А.* Математическая статистика с техническими приложениями. – М.: Наука, 1956. – 185 с.
11. *Шлаин И.Б.* совершенствование технологии на предприятиях нерудной промышленности. – М.: Строительные материалы, 1970. – № 5.

МАМРАЙ Василь Васильович – аспірант кафедри геотехнологій імені професора Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- геотехнології;
- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- математичне моделювання.

Подано 21.09.2007