

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТРІЩИНУВАТОСТІ ТА БЛОЧНОСТІ РОДОВИЩ ОБЛИЦЬОВАЛЬНОГО КАМЕНЮ

(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)

Проаналізовані та узагальнені дані по методах вивчення тріщинуватості та оцінці блочності покладів облицьовального каменю. Визначені основні недоліки існуючих методів оцінки тріщинуватості і блочності та визначені основні напрямки з удосконалення цих методів.

Однією з головних задач гірничодобувних підприємств, що спеціалізуються на видобуванні природного облицьовального каменю, є збільшення виходу блочної сировини, який знаходиться в прямій залежності від гірничо-геологічних умов, технології видобування блочного каменю та організації робіт з видобування. Гірничо-геологічні умови в першу чергу визначають природну тріщинуватість масивів та розміри природних окремоостей, які мають вирішальний вплив на вихід блочної продукції.

Одним з напрямів підвищення виходу блочної продукції є прогнозування виходу блоків природного облицьовального каменю з породного масиву. Оскільки вирішальний вплив на блочність має тріщинуватість, прогнозування слід виконувати на основі детального вивчення та аналізу тріщинуватості масиву.

В даний час не існує єдиного методу вивчення тріщинуватості, за допомогою якого можна було б достовірно та однозначно з високою точністю оцінити тріщинуватість і дати прогнозну оцінку коефіцієнта виходу блоків. Це пояснюється тим, що умови формування родовищ облицьовального каменю досить різні, в результаті цього формуються родовища з різноманітними гірничо-геологічними умовами.

Існує досить багато методів вивчення тріщинуватості, але всі вони можуть бути поділені на дві групи: статистичні і геофізичні. Кожний з цих методів має свої переваги та недоліки і свою область застосування. Опис методів вивчення тріщинуватості масивів та їх порівняльні характеристики наведені в таблиці 1.

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 1, можна зробити висновок, що для детального вивчення тріщинуватості необхідно підходити комплексно, тобто використовувати декілька способів для отримання найбільш повної інформації про тріщинуватість та її характеристики.

З огляду на це можна зробити висновок, що за основний метод вивчення тріщинуватості доцільно взяти статистичний метод масових замірів тріщин в забоях та оголеннях. Цей метод при відповідній якості виконання дає досить повну інформацію про систему повздовжніх – S , поперечних – Q та діагональних – D тріщин. Недолік цього методу, а саме, відсутність інформації про горизонтальну тріщинуватість, можна компенсувати, використовуючи метод вивчення тріщинуватості масиву за допомогою колонкового буріння свердловин та вивченням керен за цими свердловинами. В результаті, використовуючи дані методи, можна отримати повну інформацію про тріщинуватість масиву, що дасть змогу з більшою точністю оцінити його блочність.

При визначенні блочності масиву та прогнозної оцінки блочності можна виділити наступні методи.

Метод Б.П. Белікова вивчення тріщинної тектоніки та оцінки блочності оснований на безпосередніх спостереженнях за тріщинами в кар'єрах та їх статистичною обробкою. Суть методу полягає у виконанні замірів (порядку 100–200) на ділянці оголення кар'єру, при цьому заміряють всі без виключення тріщини та їх параметри (азимут простягання і кути падіння), а також відстані між тріщинами на будь-якому інтервалі. При цьому згідно з Б.П. Беліковим блочність оцінюється числом інтервалів між тріщинами на проміжку 10 м в хрест простягання даної системи тріщин. При вимірюванні відстаней між тріщинами особливо відмічаються тріщини з інтервалом більше 1 м. Обидва отримані значення – кількість інтервалів на 10 м (перший коефіцієнт) і число інтервалів довжиною 1 м (другий коефіцієнт) – в сумі називають коефіцієнтом частоти і записують на діаграму при відповідних максимумах.

Ісолиця І

Порівняльна характеристика методів вивчення тріщинуватості масивів блочного каменю

№	Метод вивчення тріщинуватості	Характеристика методу вивчення тріщинуватості	Переваги	Недоліки
<i>Систематичні методи</i>				
1	Метод масових замірів тріщин в забоях і оголеннях	Представляє собою інструментальну прив'язку тріщин масивів і наступну її обробку з складанням планів, карт і діяграм тріщинуватості з метою вивчення закономірності розповсюдження тріщин. При цьому найбільш достовірні дані можуть бути отримані при крупномасштабній зйомці масштабу 1:200, 1:500 з нанесенням тріщина всіх систем та елементів їх залягання (азимутів простягання, кутів падіння та відстані між тріщинами)	<ul style="list-style-type: none"> Найбільш повно характеризує густоту і орієнтування повздовжніх – S, поперечних – Q, діагональних – D вертикальних і круглопадаючих тріщин 	<ul style="list-style-type: none"> Неможливе вивчення горизонтальних і слабо падаючих тріщин, тобто система пластових подоліх тріщин L зовсім не вивчається. Велика трудоємність процесу заміру тріщин і комерційної обробки результатів замірів. Для ефективного використання потребує систематичного виконання замірів та обробки результатів в міру просування гірських робіт.
2	Метод безпосереднього спостереження за виходом блочної продукції в кар'єрі	Суть методу полягає в систематичному обмірі відібраних блоків на певній ділянці кар'єрного поля за певний звітний проміжок часу. Маркшейдерським обміром фіксується фактично вироблена гірська маса з масиву поклада, а також фактичний вихід блочної продукції за категоріями. За результатами співставлення об'ємів відрахованої гірської маси та отриманої продукції оцінюють блочність даного масиву або ділянки	<ul style="list-style-type: none"> Висока достовірність даних 	<ul style="list-style-type: none"> Блочність оцінюється на кінцевій стадії розробки, тобто без вивчення тріщинуватості масиву. Не враховується фактор окремого впливу природної і технологічної тріщинуватості, хоча остання інколи має вирішальний вплив на блочність
3	Метод проходження свердловин бурінням і вивченням керна	Виконується способом вивчення тріщинуватості за підлягати керном з подальшою зарисовкою схеми тріщинуватості керна на всьому інтервалі підлягачого керна, з вивченням відстані між тріщинами і елементів їх залягання. Даний спосіб особливо широко використовується при геологорозвідувальних роботах або при дорозвідці родовища, оскільки він дає попереднє уявлення про тріщинуватість масиву	<ul style="list-style-type: none"> Дає повну уяву про систему пластових тріщин L і про зміну відстаней між ними з глибиною 	<ul style="list-style-type: none"> Системи вертикальних і круто падаючих тріщин S, Q, D зовсім не вивчаються. В процесі буріння у керні утворюються технологічні тріщини, які важко відізнати від тектонічних і протектонічних. Достить важко визначити напрям падіння тріщин. Велика вартість робіт
4	Метод вивчення тріщинуватості способом спостереження за протіканням води чи стисненого повітря через свердловини	Полягає в тому, що після проходження свердловини остання заповнюється водою чи стисненим повітрям і, спостерігаючи за оголеними частинами забою, встановлюють місце виходу повітря чи появи води. Даний спосіб дозволяє робити висновок в основному про горизонтальну тріщинуватість без визначення напрямку тріщинуватості, розмірів тріщин і елементів їх залягання	<ul style="list-style-type: none"> Результати вивчення тріщинуватості даним способом можна використати при розв'язанні задачі геологічного, гідрогеологічного характеру 	<ul style="list-style-type: none"> Даний спосіб вивчення тріщинуватості практично не дає уяви про тріщинуватість масиву
<i>Геобізнані методи</i>				
5	Спосіб магнітної зйомки, ультразвукова зйомка, звукова та електрокартаж	Дані способи вивчення тріщинуватості масивів є одними з перспективних в майбутньому, оскільки гірські породи в залежності від їх складу та умов залягання характеризуються певними фізичними властивостями – густиною, магнітністю, звукопроникністю, пружністю тощо. А це дозволяє для вивчення багатьох задач використовувати геофізичні методи досліджень	<ul style="list-style-type: none"> Можливість виявлення зон підвищеної тріщинуватості та зон рихлих відкладен, що дасть змогу побудувати рельєф поверхні міліної вогорди 	<ul style="list-style-type: none"> Внаслідок невеликої роздільної здатності магнітна і мікросейсмічна зйомка поки що мало ефективна для вивчення тріщинуватості природного каменю

Статистична обробка результатів здійснюється шляхом побудови кругових діаграм з використанням рівноплощинної сітки Вальтер-Шмідта (проекція Ламберта верхньої напівсфери на екваторіальну площину), з нанесенням полюсів тріщин у вигляді точок. Методика побудови кругових діаграм Б.П. Белікова порівняно проста: використовуючи рівноплощинну сітку Вальтер-Шмідта за вимірними в натуру азимутами простягання та кутами падіння будується точкова діаграма. Подальша обробка діаграм полягає у проведенні ізоліній щільності. В результаті отримують цифрову діаграму, в якій проводяться ізолінії аналогічно, як і при топографічній зйомці. Ізолінії проводять через точки, що відповідають відповідним значенням проценту щільності.

Якщо при використанні даного методу знехтувати нерівномірністю на даному інтервалі тріщин, то середній об'єм блока отримуємо шляхом перемноження середніх довжин інтервалів за трьома основними системами тріщин:

$$V_{cp} = a \cdot b \cdot c, \quad (1)$$

де V_{cp} – середній об'єм блока, м³;

a – середня довжина інтервалу за першою системою тріщин, м;

b – середня довжина інтервалу за другою системою тріщин, м;

c – середня довжина інтервалу за третьою системою тріщин, м.

Формулу (1) можна використовувати лише при умові, коли кути між системами тріщин близькі до 90°. У випадку, коли хоча б один з кутів відрізняється від прямого, об'єм блоків обчислюється за формулою косокутних паралелепіпедів.

Враховуючи простоту даного методу, він має свої недоліки:

- при визначенні блочності до уваги беруться тільки три системи тріщин. Діагональні тріщини не враховуються, хоча останні мають вирішальний вплив на блочність масиву;
- при визначенні блочності відстані між сусідніми тріщинами однієї системи усереднюються і розглядаються як постійна величина, хоча в дійсності це змінна величина, яка змінюється зі зміною форми породного масиву.

Другим методом вивчення блочності масиву є “графічний метод”, запропонований Г.П. Горбулевім. Суть методу полягає в детальному вивченні тріщинуватості масиву з заміром всіх параметрів тріщин (їх кути нахилу, протяжність, азимут простягання і відстані між ними), з подальшим нанесенням на маркшейдерські плани крупних масштабів. Далі на план тріщинуватості наносять розміри стандартних блоків, які будуть випилюватися. При цьому частина стандартних блоків буде розсічена тріщинами і буде непридатною для використання. Знаючи кількість непридатних для використання блоків, тобто таких, що були розсічені тріщинами, встановлюють процентний вихід стандартних блоків з гірської маси. Даний метод є досить простим, але має свої недоліки:

- неможливо в одній геометричній площині зобразити всю систему тріщин;
- цей метод можна використовувати тільки для блоків, що мають стандартні розміри (блоки, що випилюються каменерізними машинами), і він абсолютно непридатний для використання в умовах родовищ з видобування блоків габроїдних порід, оскільки тут об'єми блоків зміщуються в широких межах.

За методом Чернишова С.Н. оцінка блочності масиву визначається за допомогою наступної залежності:

$$V_t = \frac{a_{I1} \cdot a_{I2} \cdot a_{I3}}{\sin \varphi_{I-II}}, \quad (2)$$

де a_{I1} , a_{I2} , a_{I3} – відстані між двома сусідніми тріщинами в 1, 2 і 3-й системах тріщин відповідно, м; φ_{I-II} – кут між ребром перетину тріщин систем I–II із системою III, град.

Даний метод потребує детального вивчення тріщинуватості масиву з заміром всіх параметрів тріщинуватості (азимутів простягання та кутів падіння, а також відстаней між тріщинами однієї системи). Недоліком даного методу є те, що він не враховує систему діагональних тріщин, хоча остання має вирішальний вплив на блочність.

Чеськими дослідниками був розроблений і запропонований так званий „гранотектонічний метод”. Даний метод дозволяє судити про форму та розміри природних та штучних блоків. Гранотектонічний метод використовує методи статистики і дозволяє робити прогнози тріщинуватості в закритій частині родовища. Для цього на ділянці, що досліджується, виконують близько 100 замірів, заміряючи відстані між тріщинами, елементи їх залягання,

кількість пологих тріщин на 1 погонний метр породи. Під час дослідження вивчається також kern розвідувальної свердловини. На основі отриманих даних будують діаграми і гранотектонічні карти.

Крім того, визначають розміри максимального і мінімального блоків. Вертикальну зміну тріщинуватості вивчають по кернях зі свердловин. За результатами вивчення окремоостей в масиві можна встановити зв'язок тріщинуватості з орієнтуванням мінералів, тобто з текстурою, що дасть уяву про анізотропію механічних властивостей. Недоліком даного способу є те, що до вивчення не приймаються діагональні тріщини та закономірність розвитку тріщин в масиві.

Згідно з дослідженнями Бакка М.Т. [2] тріщини в масиві розміщуються згідно з нормальним законом розподілення тріщин, тобто найбільша кількість тріщин даної системи має однакові або близькі елементи залягання, визначаючи полюс даної системи. При цьому під системою тріщин розуміють їх просторову сукупність. Кількість тріщин, що зменшується та має елементи залягання, що відхиляються один від одного, утворюють ореол розсіювання. Чим менший ореол розсіювання, тим ближчі тріщини до свого полюса. Після заміру параметрів всіх систем тріщин (азимут простягання, кути падіння та відстані між тріщинами) вони наносяться на кругові діаграми. При цьому тріщина кожної системи на діаграмі позначається двома ділянками, які розташовані на протилежних кінцях діаграми. Ореоли розсіювання в середньому складають: за азимутами простягання $\delta = 30^\circ$; за кутами падіння $\gamma = 20^\circ$. Для визначення об'єму усереднених форм природних блоків на даному родовищі необхідно знати значення кутів між трьома основними системами тріщин S, Q, L з точністю до $\pm 5^\circ$.

Методика визначення блочності полягає в співставленні об'ємів природного та штучного блоків на певній ділянці родовища. При цьому вихід блоків розглядається як:

$$V = \left(1 - \frac{V_{np} - V_{шт}}{V_{шт}} \right) \cdot 100\% \cdot K_{заг}, \quad (3)$$

де V_{np} – об'єм природного блока, m^3 ;

$V_{шт}$ – об'єм штучного блока, m^3 ;

$K_{заг}$ – загальний коефіцієнт, що враховує вплив всіх факторів та поширення тріщинуватості в масиві.

В даному методі не враховано те, що тріщинуватість родовища на різних його ділянках має різне значення, а це, в свою чергу, призведе до зміни загального коефіцієнта тріщинуватості, який залежить від зміни відстані між вертикальними тріщинами, через наявність зон напругування та діагональних тріщин.

Згідно з дослідженнями, виконаними в ВНІперуд, як критерій оцінки показників тріщинуватості і блочності прийнята питома тріщинуватість u_{mp} , яка характеризує середню довжину тріщин, що припадають на $1 m^2$ досліджуваної ділянки:

$$u_{mp} = \frac{z_{mp}}{S_0}, \quad m/m^2, \quad (4)$$

де z_{mp} – загальна довжина тріщин на ділянці, м;

S_0 – площа ділянки, що перпендикулярна лініям тріщин, m^2 .

Цей показник характеризує об'ємну порушеність масиву площинами тріщин і пов'язаний з іншими характеристиками тріщинуватості і блочності порід кореляційними залежностями. Максимальний об'єм блока в масиві визначається як середнє з видимих максимальних окремоостей. Залежність між середніми розмірами блока в масиві d_i та інтенсивністю тріщинуватості може бути визначена за наступною формулою:

$$d_i = a \cdot u_{mp}^b, \quad (5)$$

де u_{mp} – питома тріщинуватість, m/m^2 ;

a, b – емпіричні коефіцієнти.

Дана залежність дає змогу визначити процентний вихід блоків, але не дає уяви про просторові параметри тріщинуватості – азимут простягання і кути падіння систем тріщин.

Карасьов Ю.Г. [3] запропонував метод оцінки блочності на основі розрахунку площ основ природних блоків в масивах родовищ облицювального каменю в площині третьої тріщини – пологопадаючої системи. Суть даного методу полягає в наступному. За результатами замірів збирається інформація за всіма параметрами тріщин на певній ділянці родовища (азимут простягання – α , кути падіння – β та відстані між тріщинами систем – l). Далі на листі

міліметрового паперу розкреслюється квадрат 10×10 см в масштабі 1:100 або 1:200, середини сторін квадрата розграфлюються по сторонах світу Пн., С., Пд., З., що відповідає азимуту 0° (360°), 90°, 180°, 270°. Через точку середини сторони квадрата проводяться лінії, що за своїми значеннями відповідають азимутам простягання виділених систем тріщин. Паралельно їм, на відстані l , наносяться лінії відповідної системи тріщин. Для підрахунку площ товарних блоків на отриманому плані виконують побудову прямокутних фігур, одна сторона яких співпадає з напрямком певної системи тріщин масиву.

При перетині вертикальних тріщин під кутом менше 70° обчислення площ блоків виконують за наступною формулою:

$$s = \frac{l_2 - l_1 \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot l_1, \text{ м}^2, \quad (6)$$

де l_1, l_2 – відстань між тріщинами I та II систем, м;

α – гострий кут між I та II системами тріщин масиву, град.

Об'єм блоків визначається як добуток площі їх основи на відстань між горизонтальними тріщинами масиву, яка вважається витриманою та усередненою на даній ділянці родовища.

Недоліком даного методу є те, що пластові тріщини вважаються горизонтальними і відстань між ними приймається постійною, а також те, що при побудові площинної моделі не враховуються кути падіння всіх систем тріщин, хоча ці фактори мають вагомий вплив на блочність масиву. Крім того неможливо в одній геометричній площині зобразити всю систему тріщин.

Як показує аналіз методів визначення тріщинуватості та блочності, вони можуть бути використані тільки для певних гірничо-геологічних умов. Використання будь-якого з розглянутих методів не дає повної і чіткої уяви про тріщинуватість масиву, а отже визначення блочності на основі цих методів не може бути достовірним. Звідси випливає необхідність розробки нових гірничо-геологічних моделей або удосконалення існуючих, за допомогою яких можна було б з високою точністю оцінювати ступінь тріщинуватості масиву, а за цими даними оцінювати та прогнозувати блочність родовища.

В цілому при розробці або удосконаленні гірничо-геологічних моделей потрібно врахувати наступні фактори:

- дана модель повинна повністю та з високим ступенем достовірності враховувати всі системи тріщин L, S, Q, D та їх параметри (азимут простягання, кути падіння та відстані між тріщинами);
- повинні характеризувати тріщинуватість масиву та окремих його ділянок;
- повинні враховуватись гірничо-геометричні особливості поширення тріщин в масиві;
- можливість прогнозування блочності родовища на основі даної моделі;
- відносна простота в побудові та використанні даної моделі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бакка Н.Т., Ильченко Н.В. Облицовочный камень. – Москва: Недра, 1992. – 303 с.
2. Бакка Н.Т. Прогнозирование блочности на месторождениях облицовочных гранитов горпо-геометрическими методами. Дисс. канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1974. – 166 с.
3. Карасев Ю.Г. Формирование технологических комплексов по зонам на карьерах облицовочного камня высокой прочности. Дисс. докт. тех. наук. – Москва, 1991. – 321 с.
4. Чернышов С.Н. Трещины горных пород. – Москва: Наука, 1983. – 240 с.

КОТЕНКО Володимир Володимирович – асистент кафедри геотехнології та промислової екології Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерія.

Подано 20.01.2003