

УДК 691.212

Р.В. Соболевський, к.т.н.
О.О. Кісель, асист.
В.В. Коробійчук, аспір.
О.А. Зубченко, асист.

Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ МІНІМІЗАЦІЇ ВТРАТ ПРИ БУРОВИБУХОВОМУ СПОСОБІ ВИДОБУВАННЯ БЛОКІВ ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ

Проаналізовані основні фактори, що впливають на утворення кількісних та якісних втрат декоративного каменю при відділенні його від масиву при буровибуховому способі видобування блоків. Запропоновано ряд технологічних рішень, спрямованих на зменшення втрат декоративного каменю.

Вступ. Механічні і фізико-технічні методи підготовки блочного каменю до виймання майже не змінюють властивості породи, що розробляється, й їй надається перевага. Однак якщо брати до уваги матеріальні витрати при видобуванні та продуктивність процесів, вони мають ряд недоліків. Це пов'язано, в першу чергу, з високою твердістю і міцністю граніту, що й обумовлює низьку продуктивність і високу вартість робіт з видобування гранітних блоків зазначеними методами. Ось чому на кар'єрах з видобування високоміцних порід типу гранітів широкого розповсюдження набули вибухові методи, хоча і вони мають низку недоліків, пов'язаних з виникненням в масиві різного типу тріщин, які, в свою чергу, послаблюють його міцність.

Постановка проблеми. Після створення в процесі підготовки граніту до виймання трьох вільних площин подальший процес видобутку виконується у дві стадії. Спершу відокремлюються від масиву крупні моноліти каменю, які на другій стадії розколюють на блоки механічним способом. Першостадійне відокремлення крупних монолітів від масиву здійснюється, в основному, вибуховим методом.

Аналіз сучасного стану буровибухової технології відбивання скельних блоків та ефективність використання енергії вибуху свідчать, що в цьому напрямі є багато недосліджених питань. А саме, не розв'язані такі важливі задачі, як запобігання блоків, що відокремлюються, від ураження енергією вибуху і збереження монолітності каменю, зменшення нерівностей відколу поверхні відокремлення монолітів, недостатня ефективність дії існуючих конструкцій зарядів та відсутність методів керування зміщенням блоків в горизонтальній площині, що призводить до значних втрат якості сировини і потребує додаткових витрат часу й ручної праці. При цьому значно ускладнюється організація технологічного процесу.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженнями в області підготовки блочних гранітів до виймання вибуховими методами і підвищення ефективності буровибухових робіт присвятили свої роботи Бакка М.Т. [1, 2, 3], Першин Г.Д. [5], Пшенична Є.Г. [5], Северин Є.В. [5], Косолапов О.І. [6], Подойніков С.І. [6], Ракішев Б.Р. [7], Бабин Ю.Н. [7], Шерстюк Б.Ф. [7], Бобович В.С. [7], Ржевський В.В. [8], Синельников О.Б. [9] та інші.

Дослідження авторів з даної тематики виконувались з метою визначення раціональних методів і оптимальних параметрів буровибухової технології відбивання скельних блоків.

Викладення основного матеріалу дослідження. Використання буровибухових технологій видобутку блоків декоративного каменю призводить до суттєвих як якісних, так і кількісних втрат декоративного каменю. Кількісні втрати обумовлені втратами при бурінні шпурів. Якісні втрати обумовлені порушенням монолітності каменю тріщинами від вибуху і процесом розколювання відділених вибуховим методом монолітів на кондиційні блоки за допомогою механічних способів, а також втратами за рахунок нерівності бокової грані блоку та втратами за рахунок відколювання кутів блоку і моноліту.

Втрати при бурінні шпурів при відокремленні моноліту залежать від діаметра шпура, його довжини та кількості шпурів, необхідних для виконання операції, й обчислюється за допомогою такого рівняння:

$$V_{к.в.} = \left(\frac{\pi \cdot d_{ш}^2}{4} \right) \cdot L_{ш} \cdot N_{ш} \quad (м^3), \quad (1)$$

де $d_{ш}$ – діаметр шпура, м;

$L_{ш}$ – довжина шпура, м;

$N_{ш}$ – кількість шпурів, шт.

При підрахунку кількісних втрат потрібно враховувати можливе відхилення проекції осі шпура від запроєктованої. Тому довжина шпура дорівнює:

$$L_{ш} = \sqrt{H^2 \cdot (1 + D^2)} \text{ (м)}, \tag{2}$$

де H – проектна довжина шпура, яка дорівнює висоті моноліту, м;

D – абсолютне значення відхилення бура від заданої площини на один погонний метр буріння, м.

Отже об'єм кількісних технологічних експлуатаційних втрат каменю при відокремленні моноліту від масиву за допомогою буровибухового способу можна визначити з такого рівняння:

$$V_{к.в.} = \left(\frac{\pi \cdot d_{ш}^2}{4} \right) \cdot \sqrt{H^2 \cdot (1 + D^2)} \cdot N_{ш} \text{ (м}^3\text{)}. \tag{3}$$

Найбільш важливими серед якісних втрат декоративного каменю є втрати, що обумовлені порушенням монолітності каменю тріщинами, утвореними при виконанні вибухових робіт. Для дослідження цих втрат були обрані методи кольорової дефектоскопії, результати застосування оброблялись з допомогою ЕОМ. Як основний чинник, що визначає величину порушення монолітності декоративного каменю, була обрана відстань між шпурами, оскільки при інших способах статичного і динамічного тріщиноутворення саме цей фактор визначав ступінь порушеності масиву.

Порядок проведення експерименту полягав у такому:

- на бокові грані блоку, що досліджується, наносились дефектоскопічні розчини;
- через певні проміжки часу (30–120 хв.) нанесені розчини змивались, в результаті чого барвник залишався в тріщинах (рис. 1);
- виконували знімки поверхні блоку, на якій закріплена масштабна сітка, цифровою фотокамерою;
- на отриманих знімках за допомогою ЕОМ визначалась величина зон порушеності каменю внаслідок буровибухових робіт.



Рис. 1. Лінія розколу гранітного блоку Покостівського родовища, яка утворена при виконанні буровибухових робіт

Результати проведеного дослідження наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дефектоскопічного дослідження лінії розколу, яка утворена при виконанні вибухових робіт

№ з/п	Відстань між шпурами, м	Ширина зони порушення масиву, м	№ з/п	Відстань між шпурами, м	Ширина зони порушення масиву, м
1	0,21	0,07	6	0,45	0,16
2	0,24	0,08	7	0,52	0,18
3	0,31	0,11	8	0,56	0,19
4	0,36	0,12	9	0,63	0,20
5	0,42	0,13	10	0,65	0,23

Графічна залежність ширини зони порушення масиву від відстаней між шпурами наведена на рис. 2.

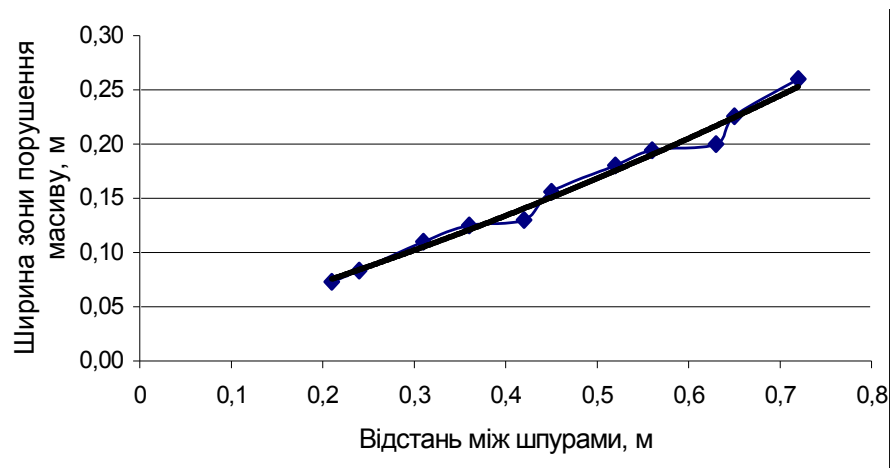


Рис. 2. Графічна залежність ширини зони порушення масиву від відстаней між шпурами

Аналіз даних, наведених в табл. 1, свідчить про досить тісний зв'язок між параметрами, що досліджуються. Це підтверджує і значення коефіцієнта кореляції $r = 0,95$.

Аналітично залежність ширини зони порушення від відстані між шпурами описується поліномом другого порядку, який має вигляд:

$$y = 0,1265 \cdot x^2 + 0,23 \cdot x + 0,0217, \text{ (м)}. \quad (4)$$

Отже, для зменшення порушення масиву при виконанні буровибухових робіт необхідно намагатися зменшити відстань між шпурами. Але від відстані між шпурами залежить не тільки якість блоків, що видобуваються, але й техніко-економічні показники роботи кар'єру. Зменшення відстані між шпурами призводить до росту об'ємів бурових робіт, а тому вибір оптимальної відстані між шпурами необхідно здійснювати з врахуванням збитків від погіршення якості сировини і збільшення собівартості видобутку блоків.

Втрати за рахунок нерівності бокової грані блоку зумовлені відхиленням магістральної тріщини від горизонтальної осі відбійки. Дослідимо передумови виникнення цього явища з позиції теорії пружності.

При одночасному підриванні двох шпурових зарядів в результаті їх взаємодії найбільші напруги виникають в площині цих зарядів, що й призводить до того, що магістральні тріщини розвиваються вздовж даного напрямку назустріч одна одній. При змиканні тріщин утворюється єдина порожнина, що і викликає зміни механізму дії продуктів детонації вибухових речовин. З утворенням єдиної магістральної тріщини продукти детонації спрямовуються в цю тріщину і таким чином відбувається відрив блоку каменю від масиву. Форма магістральної тріщини фактично визначає якість бокової поверхні блоку і залежить від кута, під яким зустрінуться радіальні тріщини, утворені при підриванні в кожному окремому шпурі. Відхилення магістральної тріщини від горизонтальної осі відбійки зумовлює в деяких випадках необхідність пасерування грані видобутого блоку.

В загальному випадку втрати при пасеруванні блоку за рахунок відхилення магістральної тріщини від осі шпура можна визначити з виразу:

$$V_m = \frac{l_w^2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sin \alpha_1 \cdot h_w}{2 \cdot \sin(180 - \alpha_1 - \alpha_2)} \text{ (м}^3\text{)}, \quad (5)$$

де l_w – відстань між шпурами, м;

h_w – глибина шпура, м;

α_1 і α_2 – відповідно відхиленням магістральної тріщини від горизонтальної осі відбійки з боку першого і другого шпура, град.

Вплив відхилення магістральної тріщини від горизонтальної осі відбійки на величину втрат декоративного каменю можна дослідити, проаналізувавши рис. 3.

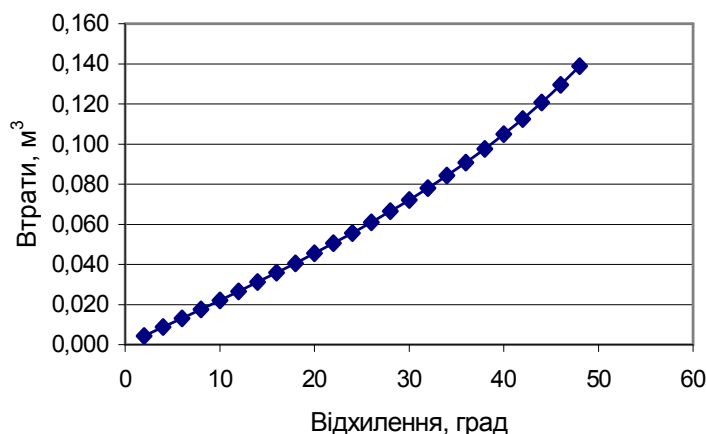


Рис. 3. Вплив відхилення магістральної тріщини від горизонтальної осі відбійки на величину втрат декоративного каменю

Аналіз графічної залежності втрат декоративного каменю від відхилення магістральної тріщини від горизонтальної осі відбійки дозволяє зробити висновок про прямопропорційну лінійну залежність між цими величинами. Тому досить актуальним є зменшення відхилення магістральної тріщини від очікуваної лінії розколу. Досягти цього можна за рахунок штучного створення концентраторів напруг в стінках шпура з метою підвищення ефективності збереження сировини.

При відокремленні монолітів від масиву металевими вибуховими речовинами небезпека появи тріщин і зколів виникає не тільки в точці прикладення вибухового імпульсу, але й в кутових частинах блоку, що відокремлюється, оскільки тут виникають імпульсні реакції, що викликані недотриманням ексцентриситету прикладення вибухового імпульсу. Сила цих реакцій визначається потужністю заряду й положенням його в товщі масиву і достатня для відколу блоків у верхній та нижній його частинах.

Зколи, що виникають на гранях блоку, призводять до погіршення його якості. Частота виникнення зколів кутів обумовлена ексцентриситетом розміщення заряду в шпурі. Показники частоти відколювання кутів (введено коефіцієнт частоти відколювання кутів K_q , який характеризує ймовірність зколювання кута моноліту) залежно від величини зміщення центрів заряду e наведені в табл. 2 (за даними експериментів на Головінському, Коростишівському і Сліпчицькому кар'єрах).

На рис. 4, 5, 6 відповідно для кожного кар'єру суцільною лінією показані криві залежності коефіцієнта частоти від лінійного зміщення центру заряду, які носять характер полінома параболічної функції.

Таблиця 2

Коефіцієнти частоти відколювання кутів

Кар'єр	Чисельні значення зміщення центру заряду, м						
	0	+0,25	+0,50	+0,75	-0,25	-0,50	-0,75
Головінський	0,17	0,55	0,73	1,00	0,50	0,75	0,86
Коростишівський	0,28	0,55	0,64	0,80	0,47	0,64	1,00
Сліпчицький	0,20	0,50	0,70	0,86	0,50	0,66	0,88

Користуючись аналітичним методом вираження експериментальних кривих, була встановлена параболічна залежність коефіцієнта частоти відколювання кутів K_q від інтервалу зміщення зарядів Δe . При цьому ці залежності показані на відповідних рисунках пунктирною лінією.

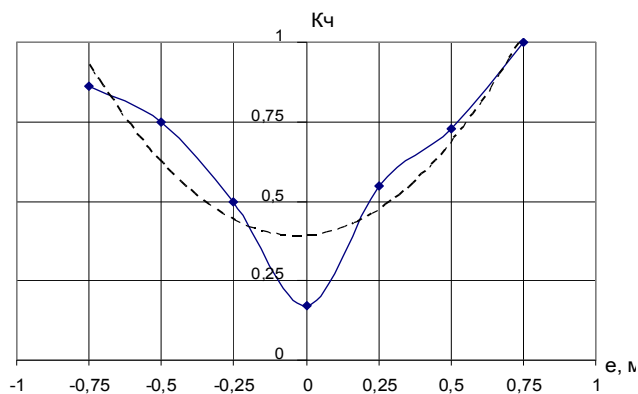


Рис. 4. Залежність коефіцієнта частоти відколювання кутів $K_{ч}$ від інтервалу зміщення зарядів Δe , що обчислена для Головінського кар'єру

Для Головінського кар'єру ця залежність має такий вигляд:

$$K_{ч} = 1,042 \cdot \Delta e^2 + 0,061 \cdot \Delta e + 0,391 . \tag{6}$$

При цьому коефіцієнт детермінації складає $R^2 = 0,814$.

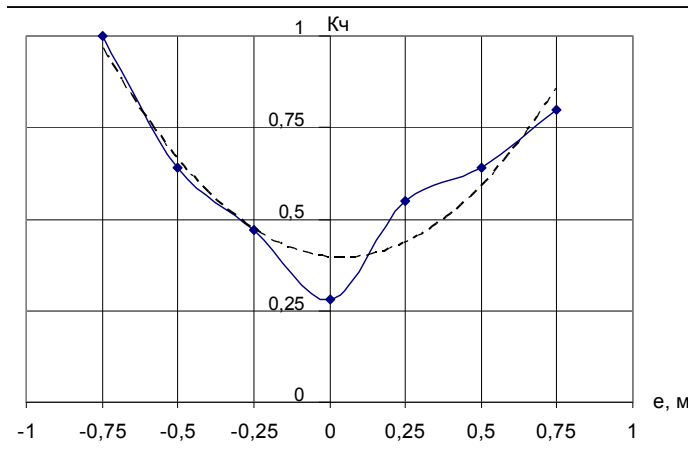


Рис. 5. Залежність коефіцієнта частоти відколювання кутів $K_{ч}$ від інтервалу зміщення зарядів Δe , обчислена для Коростишівського кар'єру

Для Коростишівського кар'єру ця залежність описується функцією виду:

$$K_{ч} = 0,918 \cdot \Delta e^2 + 0,074 \cdot \Delta e + 0,396 . \tag{7}$$

При цьому коефіцієнт детермінації дорівнює $R^2 = 0,893$.

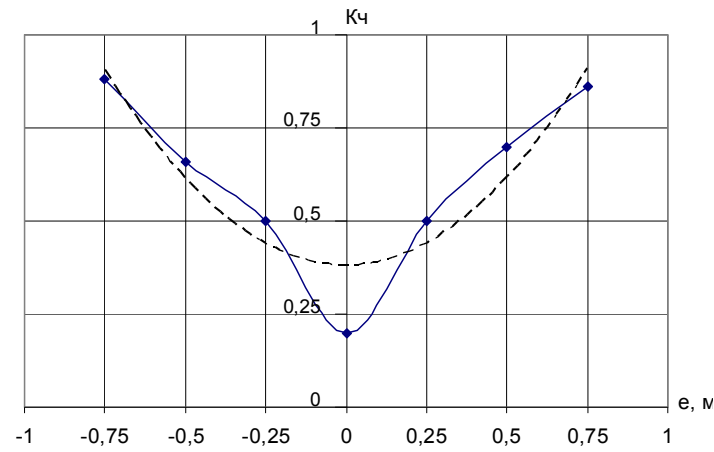


Рис. 6. Залежність коефіцієнта частоти відколювання кутів $K_{\text{ч}}$ від інтервалу зміщення зарядів Δe , що обчислена для Сліпчицького кар'єру

Для Сліпчицького кар'єру ця залежність має вигляд:

$$K_{\text{ч}} = 0,933 \cdot \Delta e^2 + 0,003 \cdot \Delta e + 0,381. \quad (8)$$

Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,814$.

Маючи можливість визначення частоти виникнення зколів кутів моноліту в залежності від розміщення заряду, ми можемо з великим ступенем надійності прогнозувати якісні втрати:

$$V_k = k_{\text{ч}} \cdot l_3 \cdot h_3 \cdot b_3, \quad (9)$$

де $K_{\text{ч}}$ – коефіцієнт частоти відколювання кутів;

l_3, h_3, b_3 – відповідно середня довжина, глибина і ширина зколу за даними спостережень, м.

Очевидно, що значного зменшення втрат декоративного каменю за рахунок зколу кутів можна досягти, в першу чергу, за рахунок підбору оптимального зміщення центру заряду в шпурі для кожного родовища.

Висновки. Отже, для мінімізації втрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменю необхідно:

- зменшувати діаметр шпура;
- створювати в шпурах концентратори напруг для забезпечення оптимального утворення магістральних тріщин;
- зменшувати відстань між шпурами для зменшення зони тріщиноутворення;
- ретельно підбирати конструкцію заряду для кожного родовища.

Слід зазначити, що реалізацію всіх зазначених вище заходів необхідно здійснювати з врахуванням збитків від погіршення якості сировини і збільшення собівартості видобутку блоків за рахунок зростання вартості бурових робіт.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бакка Н.Т., Ильченко И.В. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений: Справочник. – М.: Недра, 1992. – 303 с.
2. Бакка Н.Т. Разработка технологий и комплексов оборудования добычи блоков из высокопрочных трещиноватых пород: Дисс...д.т.н. – М.: Фонды МГИ, 1987.
3. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. –С.-Пб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1997. – 428 с.
4. Косолапов А.И. Технология добычи облицовочного камня. – Красноярск: КГУ, 1990. – 192 с.
5. Першин Г.Д., Пшеничная Е.Г., Северин Е.В. Процесс разрушения массива при шпуровой добыче блочного камня // Добыча, обработка и применение природного камня. – Магнитогорск, 2004. – С. 92–102.
6. Подойников С.И. Исследование технологии добычи штучного камня на гранитных месторождениях с целью увеличения производительности карьеров (на примере карьеров Ленинградской области): Автореф. дисс...к.т.н. – Л., 1977. – 18 с.
7. Ракшиев Б.Р., Бабин Ю.Н., Шерстюк Б.Ф., Бобович В.С. Техника и технология добычи гранитных блоков. – М.: Недра, 1989.

8. *Ржевский В.В.* Открытые горные работы: Учебник для вузов: в 2 ч. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
9. *Синельников О.Б.* Природный облицовочный камень: Часть I. Облицовочные камни: Учебное пособие. – М.: МГТУ, 2000. – 362 с.

СОБОЛЕВСЬКИЙ Руслан Вадимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

КІСЄЛЬ Олена Олександрівна – асистент кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

КОРОБІЙЧУК Валентин Вацлавович – асистент кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- комп'ютерні технології.

ЗУБЧЕНКО Олена Анатоліївна – асистент кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- комп'ютерні технології.

Подано 21.09.2006