

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

Житомирський державний технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ МІНІМІЗАЦІЇ ВТРАТ ПРИ ЗАВАЛЮВАННІ МОНОЛІТІВ ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ

*Проаналізовані основні фактори, які впливають на утворення якісних втрат декоративного каменю при завалюванні моноліту. Запропоновано і обґрунтовано ряд технологічних рішень, спрямованих на зменшення втрат декоративного каменю.*

**Вступ.** Україна має біля 5 % світових ресурсів природного декоративного каменю, займаючи при цьому лише 0,4 % площі світової суші. Гірнична промисловість є одним з найбільших секторів державної економіки України. Тенденції швидкого розвитку технічного прогресу дозволяють збільшити видобуток блочного природного декоративного каменю. Видобування блочного каменю пов'язано з технологічними втратами. За прогнозами експертів (рис. 1), в майбутньому передбачається збільшення технологічних втрат декоративного каменю в процесі його видобування.

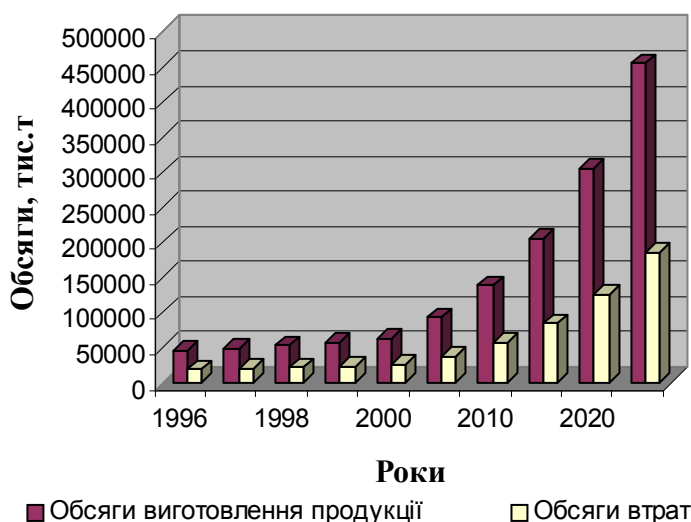


Рис. 1. Прогноз зміни обсягів втрат декоративного каменю в світі

**Постановка проблеми.** Технологічні втрати приводять до зменшення видобування цінної блочної сировини, а також до зниження конкурентноздатності продукції каменевидобувної та каменеобробної галузей промисловості за рахунок підвищення впливу на ціну продукції сировинної складової. Найбільші втрати декоративного каменю спостерігаються при його видобуванні. Тому досить актуальним є дослідження можливих шляхів мінімізації втрат каменю при завалюванні моноліту, що є однією з основних операцій при видобуванні більшості високоміцних порід каменю.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженням структури втрат декоративного каменю на різних стадіях його видобування та обробки займалися Бакка М.Т. [1, 2, 3], Першин Г.Д., Пшенична Є.Г., Северин Є.В. [5], Косолапов О.І., Подойніков С.І. [6], Ракішев Б.Р., Бабин Ю.Н., Шерстюк Б.Ф., Бобович В.С. [7], Ржевський В.В. [8], Синельников О.Б. [9], Караулов Г.О., Караулов Н.Г., Афонін О.В. [10] та інші.

Найбільш детально втрати каменю при завалюванні моноліту були досліджені в праці [10]. В результаті проведених досліджень автори Караулов Г.О., Караулов Н.Г., Афонін О.В. [10] встановили, що при завалюванні монолітів мармуру втрати в значній мірі залежать від висоти уступу і форми окремої й змінюються на 0,5–7,3 % від загального об'єму моноліту.

Жоден з названих вище авторів не займався дослідженням можливих шляхів мінімізації втрат каменю при завалюванні моноліту, що дозволяє вести мову про забезпечення наукової новизни результатів досліджень, які виконуються у статті.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** На кар'єрах високоміцного декоративного каменю України найбільшого поширення отримали двох- і трьохстадійна системи розділення масиву гірських

порід. Для цих схем характерна наявність операції завалювання моноліту. Зваживши на те, що останнім часом широке використання новітніх технологій дозволило значно збільшити висоту моноліту, необхідно обґрунтувати раціональні технологічні параметри завалювання монолітів.

В літературі досить широко описані технічні засоби, які використовуються при завалюванні моноліту, але про можливі шляхи уникнення деформацій при виконанні цієї операції інформація відсутня. Це можна пояснити тим, що при завалюванні моноліту втрати є якісними, а отже – і не такими очевидними, що призвело до поверхневого дослідження можливих шляхів уникнення втрат. Найбільш поширеним є використання так званих демпферних подушок, які створюються з різноманітних підручних матеріалів на кар'єрах. Але в жодному літературному джерелі не вказуються конкретні параметри демпферних подушок для певних умов. Так в праці [11] вказано, що для пом'якшення удару при падінні моноліту майданчик в зоні його розташування покривається шаром мармурового дріб'язку товщиною 0,3 м. Але досвід видобування блоків мармуру, граніту, лабрадориту й інших порід свідчить, що така висота подушки призводить до утворення тріщин внаслідок динамічного навантаження моноліту в момент удару.

Напрругу, що виникає в моноліті в момент удару, можна описати формулою:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

де  $P$  – сила удару моноліту об поверхню робочого майданчика, Н;

$F$  – площа поверхні удару, м<sup>2</sup>.

Сила удару моноліту об поверхню робочого майданчика визначається з виразу:

$$P = \frac{S}{t} = \frac{\rho \cdot V \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot g \cdot h}{4}}}{2 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}}}, \quad (2)$$

де  $S$  – ударний імпульс в момент удару моноліту об поверхню робочого майданчика

$t$  – тривалість удару, с.

Скоротивши вираз (2), отримаємо:

$$\sigma = 2,72 \cdot \sqrt{\rho \cdot E \cdot h_i}, \quad (3)$$

де  $\rho$  – щільність декоративного каменю, т/м<sup>3</sup>;

$E$  – модуль Юнга, Па;

$h_i$  – висота перерізу моноліту, що досліджується, м.

Висоту перерізу моноліту необхідно визначати з певним інтервалом з виразу:

$$h_i = (h_m - n \cdot L) \cdot \cos\left(\arctg \frac{b_m}{h_m}\right), \quad (4)$$

де  $h_m$  – висота моноліту, м;

$b_m$  – ширина моноліту, м;

$n$  – номер перерізу;

$L$  – відстань між перерізами, м.

Руйнування мармуру при перекиданні моноліту на робочий майданчик відбудеться при перевищенні напруги, яка виникає в моноліті в момент удару, динамічної межі міцності декоративного каменю на розтяг  $[\sigma_p]_d$ , Па.

Тобто для уникнення руйнування моноліту необхідно забезпечити виконання такої умови:

$$\sigma > [\sigma_p]_d. \quad (5)$$

Динамічну межу міцності декоративного каменю на розтяг  $[\sigma_p]_d$  можна визначити, скориставшись відомою з теорії опору матеріалів формулою:

$$[\sigma_p]_d = k_d \cdot [\sigma_p]_{cm}, \quad (6)$$

де  $k_d$  – динамічний коефіцієнт (коефіцієнт удару), для реальних масивів може приймати значення

$k_d = 1,25 - 2$ ;  $[\sigma_p]_{cm}$  – статична межа міцності декоративного каменю на розтяг, Па.

Зіставивши вирази (3), (4), (6), можна визначити граничну висоту падіння, при перевищенні якої може відбутись руйнування моноліту:

$$h_{cp} = \frac{(k_{\sigma} \cdot [\sigma_p]_{cm})^2}{2,72^2 \cdot \rho \cdot E} \tag{7}$$

Знаючи граничну висоту падіння, можна визначити висоту подушки в кожній точці перерізу, яку необхідно створити зі штибу та околу для уникнення руйнування моноліту:

$$H_{ni} = h_i - h_{cp} = (h_m - n \cdot L) \cdot \cos(\arctg \frac{b_m}{h_m}) - \frac{(k_{\sigma} \cdot [\sigma_p]_{cm})^2}{2,72^2 \cdot \rho \cdot E} \tag{8}$$

Розглянемо запропоновану методику на прикладі Омелянівського родовища граніту. Середня висота моноліту становить 5 м, ширина – 4 м, довжина – 5 м. Середнє значення модуля Юнга для родовища становить  $E = 40,0$  ГПа. Середня статична межа міцності граніту на розтяг  $[\sigma_p]_{cm} = 25$  МПа, щільність декоративного каменю  $\rho = 2,66$  т/м<sup>3</sup>.

Розрахункові параметри подушки для уникнення деформацій в моноліті наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові параметри подушки для уникнення деформацій при завалюванні моноліту

Висота перерізу $h_i$ , м	Напруга $\sigma$ , МПа	Гранична висота падіння $h_{cp}$ , м	Висота подушки $H_{ni}$ , м	Відстань від основи моноліту, м
0,16	11,09	3,18	0,00	0,2
0,31	15,68		0,00	0,4
0,47	19,20		0,00	0,6
0,62	22,18		0,00	0,8
0,78	24,79		0,00	1,0
0,94	27,16		0,00	1,2
1,09	29,34		0,00	1,4
1,25	31,36		0,00	1,6
1,41	33,26		0,00	1,8
1,56	35,06		0,00	2,0
1,72	36,77		0,00	2,2
1,87	38,41		0,00	2,4
2,03	39,98		0,00	2,6
2,19	41,49		0,00	2,8
2,34	42,94		0,00	3,0
2,50	44,35		0,00	3,2
2,65	45,72		0,00	3,4
2,81	47,04		0,00	3,6
2,97	48,33	0,00	3,8	
3,12	49,59	3,18	0,00	4,0
3,28	50,81		0,10	4,2
3,44	52,01		0,26	4,4
3,59	53,18		0,42	4,6
3,75	54,32		0,57	4,8
3,90	55,44		0,73	5,0

Параметри подушки, яку необхідно створити для уникнення деформацій в моноліті, наведені на рис. 2.

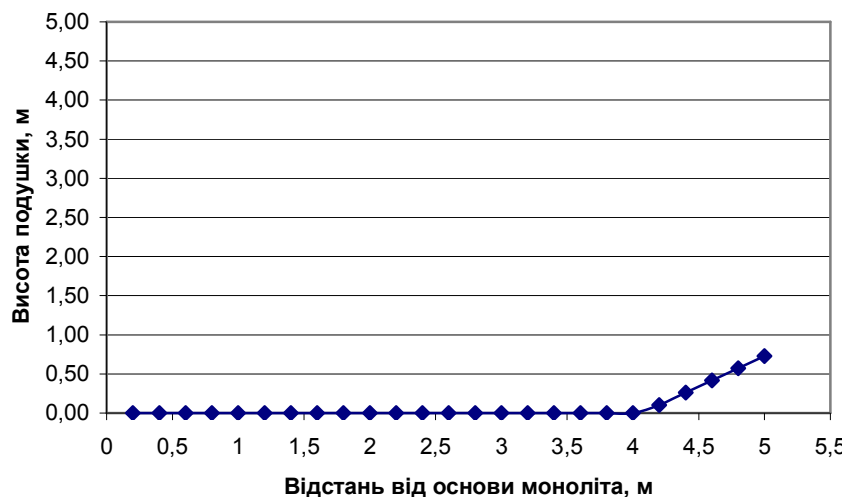


Рис. 2. Розрахункові параметри подушки створеної для уникнення деформацій в моноліті

Розрахункові дані свідчать, що висота подушки для уникнення деформацій в моноліті повинна становити 0,73 м. Визначимо необхідну кількість гірської породи для створення подушки.

$$V_n = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot h}{3} + b \cdot h \cdot l, \quad (9)$$

де  $b$  – відстань від початку подушки до точки з максимальною висотою, м;

$h$  – висота подушки, м;

$l$  – довжина моноліту, м.

Для наших умов отримаємо:

$$V_n = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot h}{3} + b \cdot h \cdot l = \frac{3,14 \cdot 1^2 \cdot 0,73}{3} + 1 \cdot 0,73 \cdot 5 = 4,41 \text{ (м}^3\text{)}. \quad (10)$$

Отже, для забезпечення деформаційної стійкості моноліту при його завалюванні необхідне залучення гірської маси для створення подушки, яке для умов Омелянівського гранітного кар'єру становить 4,41 % від об'єму моноліту.

#### Висновки:

1. Основними параметрами, які визначають величину деформації моноліту, є його висота і ширина та фізико-механічні властивості.

2. Висоту подушки в кожній точці перерізу, яку необхідно створити зі штибу та околу для уникнення руйнування моноліту, можна визначити з виразу:

$$H_{ni} = h_i - h_{zp} = (h_m - n \cdot L) \cdot \cos(\arctg \frac{b_m}{h_m}) - \frac{(k_o \cdot [\sigma_p]_{cm})^2}{2,72^2 \cdot \rho \cdot E}.$$

3. Для забезпечення деформаційної стійкості моноліту при його завалюванні необхідне залучення гірської маси для створення подушки, яке для умов Омелянівського гранітного кар'єру становить 4,41 % від об'єму моноліту.

#### 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 институт, 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: Сборник научных трудов. – Магнитогорск, 2004. – № 4. – 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. – Ленинград, 1977. – 18 с.
7. *Ракишев 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. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
9. *Синельников О.Б.* Природный облицовочный камень: Часть I. Облицовочные камни: Учебное пособие. – М.: МГГУ, 2000. – 362 с.
10. *Караулов Г.А., Караулов Н.Г., Афонин А.В.* Исследование влияния параметров системы разработки на потери блочного камня // Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов. – Магнитогорск, 2002. – № 4. – С. 51–56.
11. *Чижев Т.И., Бернштейн Р.Л., Головкин В.А. и др.* Справочник горного мастера нерудных карьеров. – М.: Недра, 1977. – 357 с.

СОБОЛЕВСКИЙ Руслан Вадимович – кандидат технических наук, доцент кафедры геотехнологий та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

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

Наукові інтереси:

- гірництво;
- комп'ютерні технології.

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

Наукові інтереси:

- гірництво;
- комп'ютерні технології.

Подано 11.01.2007