

УДК 622.271

Р.В. Соболевський, к.т.н., доц.  
В.Г. Левицький, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ТОВАРНИХ БЛОКІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ТА ЇЇ ВПЛИВУ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КАР'ЄРУ**

*Визначено похибки прямого вимірювання лінійних розмірів товарних блоків природного каменю та похибки непрямого вимірювання об'ємів блоків шести груп, проаналізовано вплив даних похибок на економічні втрати кар'єру.*

**Вступ.** За масштабами видобутку блочного каменю Україна займає провідне місце у світі та є одним з основних експортерів природного каменю на світовому ринку. Блоки, які видобуваються із масиву гірських порід, призначаються для виготовлення облицювальних плит, архітектурно-будівельних виробів та інших видів продукції з каменю. Відповідно до вимог світових стандартів блоки характеризуються: формою, довжиною, шириною, висотою і об'ємом; якістю лицьової поверхні. Крім цього, гірську породу, з якої видобуваються блоки, оцінюють за декоративними, фізико-механічними властивостями і петрографічним складом.

Зважаючи на тенденцію зростання обсягів видобування блоків декоративного каменю вітчизняними каменедобувними підприємствами, точне об'єктивне визначення комерційного об'єму, який визначає вартість продукції, стає нагальним науково-практичним завданням, вирішення якого потребує в першу чергу дослідження точності вимірювання лінійних розмірів товарних блоків. Отже актуальність дослідження точності вимірювання лінійних розмірів товарних блоків природного каменю та її впливу на техніко-економічні показники кар'єру є очевидною.

**Постановка проблеми.** Неточність вимірювання спричинює багато факторів, серед яких можна виділити: людський; нерівності граней блока; об'єм блока та умови, за яких здійснюють вимірювання. Внаслідок цих та інших факторів виникає похибка вимірювання розмірів нетто, яка не дає можливості точно визначити об'єм товарного необробленого блока, а це, в свою чергу, призводить до економічних втрат кар'єру.

**Метою статті** є дослідження методів визначення бруutto, нетто і комерційних розмірів блока, їх точності та величини матеріальних втрат у грошовому еквіваленті, спричинені похибками вимірювання.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Вивченням питання вимірювання лінійних розмірів блоків та їх об'єму займалися такі українські та російські вчені, як Бакка М.Т. [1], Ільченко І.В. [1], Карасьов Ю.Г. [2], Смирнов А.Г. [3], Косолапов А.І. [4], але жоден з них не розглядав це питання на предмет точності вимірювання та величини похибок, які при цьому виникають.

**Викладення основного матеріалу статті.** Згідно з європейськими стандартами [5] EN 13373 «Методи випробовування природного каменю: визначення геометричних характеристик виробів» та ДСТУ БВ.2.7-54-97 [6] розмір бруutto необробленого блока визначається довжиною сторін мінімального паралелепіпеда, описаного навколо необробленого блока (рис. 1, а). Розмір нетто необробленого блока визначається в такому порядку: визначається найбільший вписаний блок у формі паралелепіпеда, який не містить жодної сторони без прямого кута, а також отворів від свердління та інших; отримана в результаті фігура є розміром нетто.

Комерційний розмір необробленого блока одержується відніманням від кожного розміру нетто блоків I–III групи 5 см, для блоків інших груп зменшення лінійних розмірів нетто коливається в межах 2–5 см. Також існує поняття неефективного об'єму, який визначають як середнє арифметичне бруutto та нетто об'ємів (п. 6 ДСТУ БВ.2.7-54-97) з обчисленням комерційного об'єму:

$$V_{неэф.} = \frac{V_{б.} + V_{н.}}{2} - V_{к.}, \quad (1)$$

де  $V_{неэф.}$  – неефективний об'єм, м<sup>3</sup>;

$V_{б.}$  – бруutto-об'єм, м<sup>3</sup>;

$V_{н.}$  – нетто-об'єм, м<sup>3</sup>;

$V_{к.}$  – комерційний об'єм, м<sup>3</sup>.

Тріщини та отвори шпурів, що знаходяться в неефективному об'ємі, не можуть бути предметом висування претензій щодо якості сировини та приводом для зниження вартості комерційного об'єму блока. Зниження вартості на дефектність блоків природного каменю надається в межах 10–25 % в результаті детальної експертизи з обов'язковим укладанням паспорту блока.

Товарні блоки повинні мати форму прямокутного паралелепіпеда або близьку до нього. Ширина і висота блока повинна мати розміри від 0,2 до 2,0 м, а довжина – від 0,2 до 2,8 м. В окремих випадках блоки мають великі лінійні розміри, але їхня реалізація допускається за згодою споживача.

Блоки згідно з п. 3.3 ДСТУ БВ.2.7-54-97 [6] поділяються за об'ємом на шість груп: VI група – 0,01–0,7 м<sup>3</sup>; V група – 0,71–1,0 м<sup>3</sup>; IV група – 1,01–2,0 м<sup>3</sup>; III група – 2,01–3,5 м<sup>3</sup>; II група – 3,51–5,0 м<sup>3</sup>; I група – понад 5,0 м<sup>3</sup>.

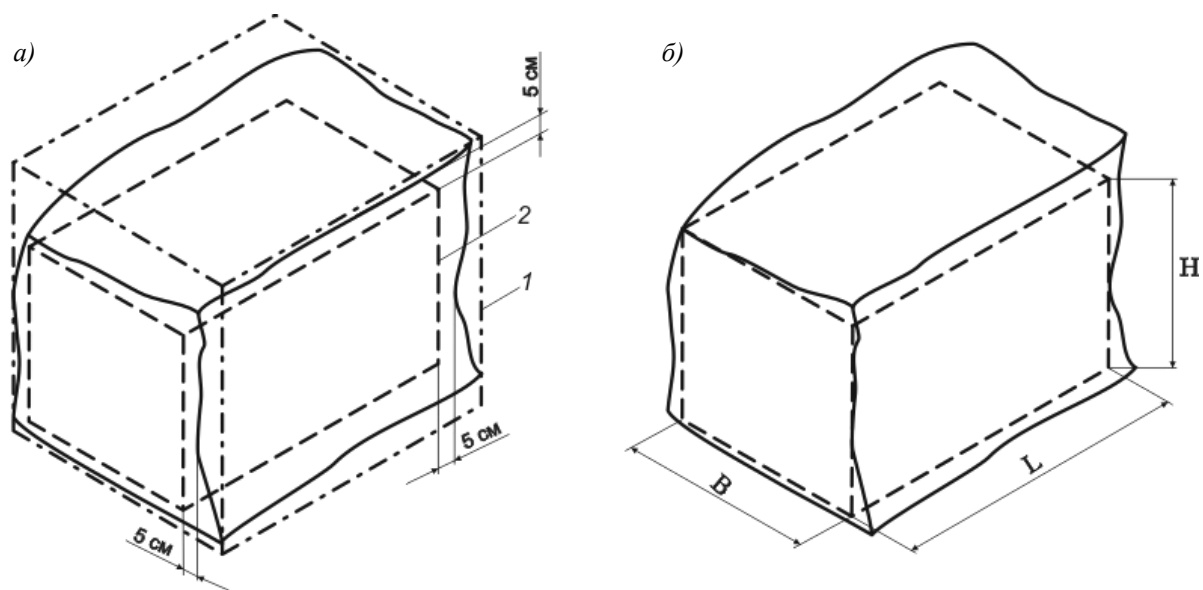


Рис. 1. Розміри необробленого блока:  
 а) 1 – розмір брутто; 2 – комерційний розмір;  
 б) L – довжина блока; B – ширина блока; H – висота блока

Існуючі стандарти допускають використання при визначенні розмірів блоків такий вимірювальний інструмент: перевірний кутник, мірна металічна лінійка, перевірна лінійка, мірна металічна рулетка, щуп, а також мірний шаблон, зображений на рис. 2 [1]. За допомогою кутника, лінійки та щупа визначають відхилення кутів суміжних граней блока від прямого кута, а також нерівності зколу лицьових поверхонь блока.

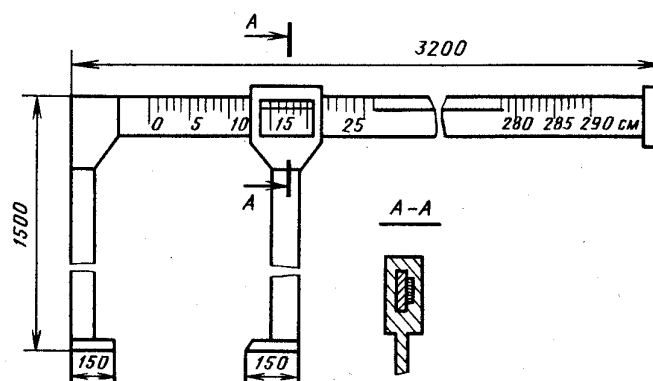


Рис. 2. Мірний шаблон для визначення лінійних розмірів блоків

Для дослідження точності вимірювання лінійних розмірів блоків розміри знімалися по 5 разів з кожної грані блока, при чому найдовша грань блока приймалася за його довжину  $L$  (рис. 1, б). Вимірювання розмірів кожного блока здійснювалися майстром Покостівського кар'єру мірною рулеткою довжиною 5 м. Всього було виконано 225 вимірів. Результати вимірювань розмірів товарних блоків були розподілені по групах відповідно до п.3.3 ДСТУ БВ.2.7-54-97. До кожної групи було віднесено по три блоки. Відхилення від розмірів та якість поверхні вибраних блоків задовольняє вимоги стандарту. Згідно з ДСТУ БВ.2.7-54-97 лінійні розміри блоків I–III груп визначаються з похибкою до 20 мм, похибка розмірів блоків IV–VI груп складає 10 мм. Об'єм блоків розраховувався за розміром нетто до третього знака після коми, і результати розрахунків зводилися в табл. 1.

Таблиця 1

Обробка результатів непрямих вимірювань об'ємів блоків

Група	Середнє значення об'єму блока $V, \text{ м}^3$	Відносна похибка $\varepsilon_V$	Абсолютна похибка $\Delta V, \text{ м}^3$	Загальні економічні втрати, грн.		
				по Покостівському родовищу $\Delta C_1$	по Лезниківському родовищу $\Delta C_2$	по Корнинському родовищу $\Delta C_3$
VI	0,165	0,056	0,009	4	4	4
	0,24	0,057	0,014	6	6	6
	0,317	0,06	0,019	8	8	8
V	0,732	0,045	0,033	14	21	13
	0,757	0,046	0,035	15	22	14
	0,758	0,043	0,033	14	21	13
IV	1,49	0,028	0,042	34	42	29
	1,764	0,033	0,058	46	58	41
	1,81	0,027	0,049	39	49	34
III	2,614	0,033	0,086	112	133	82
	3,065	0,031	0,095	124	147	90
	3,314	0,033	0,109	142	169	104
II	4,24	0,033	0,14	224	259	151
	4,903	0,027	0,132	211	244	142
	5,013	0,032	0,16	256	296	172
I	7,469	0,027	0,202	405	473	287
	7,506	0,03	0,225	364	424	258
	7,725	0,03	0,232	418	487	296

Обробка результатів прямих вимірювань лінійних розмірів блоків (табл. 1) та непрямих вимірювань об'ємів блоків виконується за формулами, наведеними нижче [7].

Середня квадратична похибка  $S_{\bar{x}}$ :

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – значення параметра, який вимірюється;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне значення;

$n$  – кількість вимірювань,  $n = 5$ .

Абсолютна випадкова похибка:

$$\Delta x_{\text{вип}} = t_p(n) S_{\bar{x}}, \quad (3)$$

де  $t_p(n)$  – коефіцієнт Ст'юдента,  $t_{0,95}(5) = 2,8$ .

$p$  – довірна ймовірність,  $p = 0,95$ .

Інструментальна похибка:

$$\Delta x_{\text{ін}} = \frac{t_p(\infty) \delta}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

де  $\delta$  – межа основної похибки, яку допускає засіб вимірювання, згідно з його паспортом,  $\delta = 0,2$  мм;

$t_p(\infty)$  – коефіцієнт Ст'юдента для нескінченного числа вимірювань за даною довірчою ймовірністю,  $t_{0,95}(\infty) = 2,0$ .

Похибка відліку:

$$\Delta x_{\text{відл}} = \rho v, \quad (5)$$

де  $v$  – межа похибки відліку за шкалою засобу вимірювання (половина ціни поділки),  $v = 0,5$  мм.

Повна похибка вимірювання:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{вип}}^2 + \Delta x_{\text{ін}}^2 + \Delta x_{\text{відл}}^2}. \quad (6)$$

Оскільки інструментальна похибка ( $\Delta x_{\text{ін}} = 0,23$  мм) та похибка відліку ( $\Delta x_{\text{відл}} = 0,48$  мм) значно менші (в 50–100 разів) абсолютної випадкової похибки, то повна похибка вимірювання  $\Delta x = \Delta x_{\text{вип}}$ .

Відносна похибка вимірювання:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}}. \quad (7)$$

Середнє значення об'єму блоків:

$$\bar{V} = \bar{L} \bar{B} \bar{H} \tag{8}$$

Відносна похибка:

$$\begin{aligned} \varepsilon_V &= \sqrt{\left[ \frac{\partial(\ln V)}{\partial x_1} \Big|_{x=\bar{x}_1} \cdot \Delta x_1 \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\ln V)}{\partial x_2} \Big|_{x=\bar{x}_2} \cdot \Delta x_2 \right]^2 + \dots + \left[ \frac{\partial(\ln V)}{\partial x_n} \Big|_{x=\bar{x}_n} \cdot \Delta x_n \right]^2} = \\ &= \sqrt{\left[ \frac{1}{\bar{L}} \cdot \Delta L \right]^2 + \left[ \frac{1}{\bar{B}} \cdot \Delta B \right]^2 + \left[ \frac{1}{\bar{H}} \cdot \Delta H \right]^2} = \sqrt{\varepsilon_L^2 + \varepsilon_B^2 + \varepsilon_H^2}. \end{aligned} \tag{9}$$

Абсолютна похибка:

$$\Delta V = \varepsilon_V \cdot \bar{V} \tag{10}$$

Різницю  $\Delta C$  між вартістю блока декоративного каменю, визначену за традиційним способом вимірювання його розмірів і за найбільш ймовірними значеннями цих параметрів знаходимо за формулою:

$$\Delta C = C \cdot \Delta V, \tag{11}$$

де  $C$  – експертна вартість блоків граніту відповідних груп за 1 м<sup>3</sup> комерційного об’єму [8] (табл. 2).

Таблиця 2

Експертна вартість блоків граніту різних родовищ

Родовище	Ціна 1 м <sup>3</sup> граніту відповідної групи, грн./м <sup>3</sup>					
	I	II	III	IV	V	VI
1. Покостівське	1800	1600	1300	800	425	400
2. Лезниківське	2100	1850	1550	1000	625	400
3. Корнинське	1275	1075	950	700	400	400

На основі визначених похибок вимірювання об’ємів блоків  $\Delta V$  та різниці вартості блоків  $\Delta C$  (табл. 1) побудуємо графіки залежностей цих параметрів від об’єму блоків (рис. 3, 4).

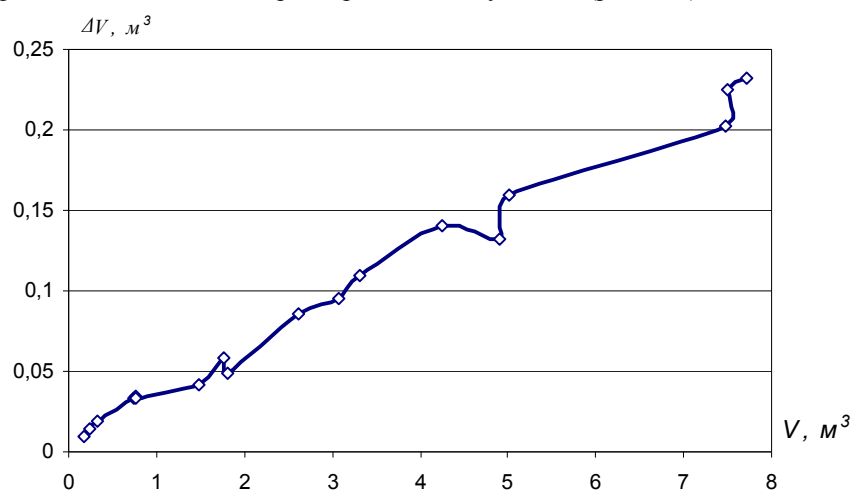


Рис. 3. Залежність похибок вимірювання  $\Delta V$  від об’єму блоків  $V$

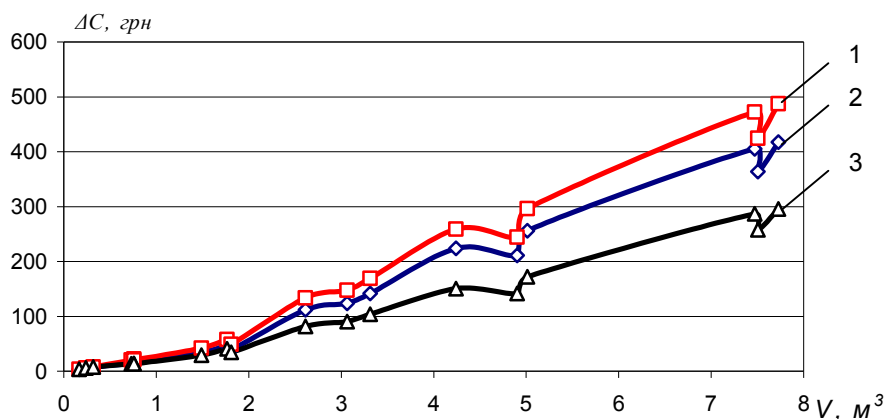


Рис. 4. Залежність економічних втрат  $\Delta C$  від об'єму блоків  $V$  різних родовищ: 1 – лезниківський граніт; 2 – покостівський граніт; 3 – корнинський граніт

Результати статистичного дослідження функціонального взаємозв'язку між об'ємом блоків та похибками визначення комерційного об'єму і економічними втратами наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати статистичного дослідження функціонального взаємозв'язку між об'ємом блоків та похибками визначення комерційного об'єму і економічними втратами

Параметр	Родовище граніту	Коефіцієнт кореляції	Математична модель	Коефіцієнт детермінації	Критерій Фішера		Адекватність моделі
					критичне	дійсне	
$\Delta V$	Покостівське	0,99385	$y = 0,0281x + 0,0088$	0,9877	0,44016	0,00080	Адекватна
$\Delta C_1$	Покостівське	0,99089	$y = 55,005x - 29,322$	0,9819	0,44016	0,00032	Адекватна
$\Delta C_2$	Лезниківське	0,99153	$y = 63,723x - 31,697$	0,9831	0,44016	0,00024	Адекватна
$\Delta C_3$	Корнинське	0,99144	$y = 38,073x - 17,08$	0,9830	0,44016	0,00068	Адекватна

Аналіз отриманих результатів показав, що між об'ємом блока та похибками визначення комерційного об'єму, а також економічними втратами для різних родовищ декоративного каменю спостерігаються прямо пропорційні залежності, які з високим ступенем достовірності описуються лінійними функціями. Крім того, було встановлено, що похибка вимірювання блоків VI–V груп змінюється в межах 4 % і майже не впливає на економічні втрати для всіх родовищ декоративного каменю.

За результатами проведених досліджень для Покостівського родовища граніту були змодельовані річні збитки підприємства при різних обсягах видобування товарних блоків (рис. 5).

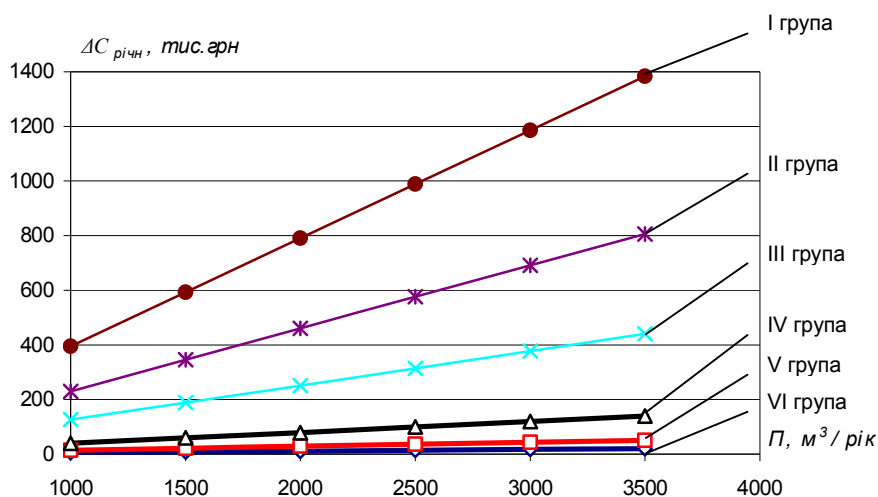


Рис. 5. Залежність річних економічних втрат  $\Delta C_{\text{річн.}}$  від продуктивності кар'єру П блочного каменю

Вивчення результатів проведених досліджень показало, що збитки, пов'язані з неточним визначенням комерційного об'єму блоків для середнього каменедобувного підприємства потужністю 3000 м³/рік, можуть сягати 1,8 млн. грн. на рік.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Порівняно великі допуски ДСТУ на точність визначення лінійних розмірів блоків зумовлюють значні відносні похибки визначення комерційних об'ємів (для випадку, що досліджувався, – 2–6 %).

Точність вимірювання розмірів блоків та визначення меж комерційного об'єму визначає економічну ефективність всього процесу видобування декоративного каменю (втрати досягають 25 % від річної виручки), що робить актуальним пошук шляхів вдосконалення методики визначення характерних розмірів і об'ємів товарних блоків. Тому подальші дослідження необхідно орієнтувати на визначення основних факторів, які впливають на точність визначення комерційного об'єму та вивчення можливостей використання сучасних методів вимірювань на основі стереофотограмметрії та лазерного сканування для однозначного точного визначення шуканих параметрів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бакка Н.Т., Ильченко И.В. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений: Справочник. – М.: Недра, 1992. – 303 с.
2. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – С.-Пб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1997. – 428 с.
3. Бакка Н.Т., Смирнов А.Г. Добыча и обработка природного камня. – М.: Недра, 1990. – 445 с.
4. Косолапов А.И. Технология добычи облицовочного камня. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1990. – 190 с.
5. ДСТУ EN 1467:2007 «Будівельні матеріали. Камінь природний. Блоки необроблені. Вимоги» Національний стандарт України від 01.01.2007.
6. ДСТУ БВ.2.7-59-97 «Блоки із природного каменю для виробництва облицовальних виробів. ЗТУ»
7. Баранов Е.Г., Бунько В.А. Основы научных исследований. Горное дело. – К.: Выща школа, 1984. – 176 с.
8. Коштовне та декоративне каміння. – ДГЦУ. – № 5 (47). – 2007. – С. 38–39.

СОБОЛЕВСЬКИЙ Руслан Вадимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехнологій імені професора Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа.

ЛЕВИЦЬКИЙ Володимир Григорович – аспірант кафедри геотехнологій імені професора Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерська справа;
- фізичні процеси видобування і обробки природного каменю.

Подано 28.09.2007