

**В.В. Котенко, ст. викл.
О.О. Кісель, асист.**

Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ БЛОЧНОЇ СИРОВИНИ ПРИ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОСОБАХ ВІДОКРЕМЛЕННЯ БЛОКІВ

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

Виконано дослідження втрат блочної сировини від технології відокремлення монолітів від масиву і поділення їх на товарні блоки та визначені найбільш раціональні технологічні способи відокремлення

Загальна постановка проблеми та зв'язок з науково-практичними завданнями. Під блоком розуміють продукт, який складається з цільної гірської породи, здатний розміщуватися в робочій зоні верстату, має форму паралелепіпеда і призначений для подальшої обробки з метою отримання виробів з природного декоративного каменю [2, 3, 4, 5, 8, 10].

В умовах України якість природних блоків регламентується вимогами ДСТУ Б.В.2.7-59-97 “Блоки з природного каменю для виробництва облицзовальних виробів. Технічні умови”. Згідно з даним нормативним документом класифікація блоків виконана за об'ємом і вони поділені на шість груп: I гр. – 5,0 м³ і більше; II гр. – від 3,5 до 4,9 м³; III гр. – від 2 до 3,4 м³; IV гр. – від 1 до 1,9 м³; V гр. – від 0,7 до 0,9 м³ і VI гр. – менше, ніж 0,7 м³ [6].

Блоки повинні мати форму паралелепіпеда, допустимі відхилення від перпендикулярності для пиляних блоків складають – 40 мм, для колотих від 110 до 150 мм. Висота виступів і впадин не повинна перевищувати: для пиляних блоків – для нижньої грані не більше 40 мм, для решти – 100 мм; для колотих – для нижньої грані не більше 100 мм, для решти – від 100 до 200 мм. Крім того, у товарних блоків допускається наявність однієї тріщини тектонічного походження, яка не порушує його суцільності й розповсюджується на дві суміжні грані шириною не більше 0,5 мм і довжиною до 1/3 найменшого розміру граней.

У світовій практиці вимоги до блоків формуються в основному замовниками. Практично в європейських країнах, і зокрема у Фінляндії [10], блоки за якістю поділяють на I і II сорт. До I сорту належать блоки, що мають форму паралелепіпеда, об'єм – більше 2,5 м³, однорідний склад і не мають тріщин. Якщо одна з умов не виконується, блоки переводяться в категорію II сорту.

Всередині I сорту блоки мають різну ціну, яка змінюється залежно від довжини і висоти блока. За базову прийнята довжина до 2 350 мм, при довжині від 2 360 до 2 600 мм вартість блока дорожчає на 10 %, а більше 2 610 мм – на 20 %. Базовою висотою блоку є висота до 1 150 мм, при висоті блоку більше 1 160 мм вартість блока підвищується на 11–14 %.

Такий підхід до класифікації товарних блоків ґрунтується на величині виходу готових плит з 1 м³ блока. Саме співвідношення висоти і довжини блока визначають величину виходу плит, а ширина не впливає на вихід, а тому вона не враховується при визначенні ціни блока.

В товарних блоках з природного декоративного каменю можна виділити три види об'єму: фактичний (об'єм брутто), продуктивний (об'єм нетто) і ефективний (комерційний).

Фактичний об'єм – це об'єм товарного блока, за яким він поступає в каменеобробний цех з кар'єру.

Продуктивний об'єм – це об'єм товарного блока визначений за розмірами вписаного паралелепіпеда в фактичний об'єм товарного блока і може бути визначений за наступною формулою:

$$V_{пр.} = l_{пр.} \cdot a_{пр.} \cdot h_{пр.}, \quad (1)$$

де, $l_{пр.}$, $a_{пр.}$, $h_{пр.}$ – відповідно продуктивні довжина, ширина і висота блока.

Фактичний об'єм блока може бути вирахований за формулою:

$$V_{ф.} = l_{ф.} \cdot a_{ф.} \cdot h_{ф.}, \quad (2)$$

де $l_{ф.} = l_{пр.} + \Delta l_{1ср.} + \Delta l_{2ср.}$ – фактична довжина блока

$a_{ф.} = a_{пр.} + \Delta a_{1ср.} + \Delta a_{2ср.}$ – фактична ширина блока

$h_{ф.} = h_{пр.} + \Delta h_{1в.ср.} + \Delta h_{2н.ср.}$ – фактична висота блока

де $\Delta l_{1ср.}$ і $\Delta l_{2ср.}$ – середня відстань між положенням торцевих граней продуктивного і фактичного об'ємів;

Δa_{1cp} і Δa_{2cp} – середня відстань між положенням бокових граней продуктивного і фактичного об'ємів;

$\Delta h_{1e,cp}$ – середня відстань між положенням верхньої грані продуктивного і фактичного об'ємів;

$\Delta h_{2n,cp}$ – середня відстань між положенням нижньої грані продуктивного і фактичного об'ємів.

Геометричні параметри товарних блоків з природного декоративного каменю зображені на рис. 1.

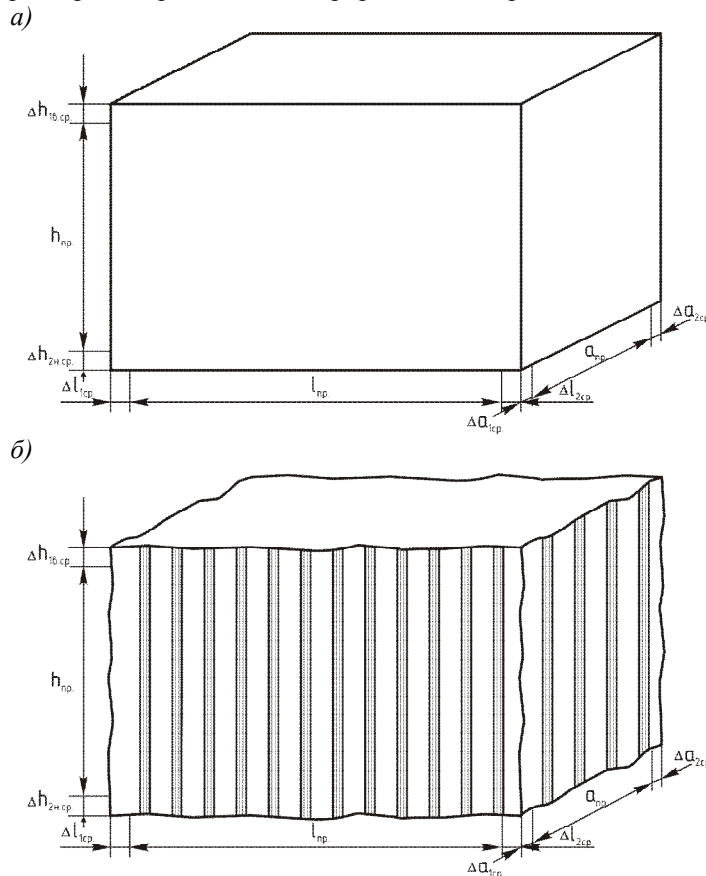


Рис. 1. Геометричні параметри блока: а) пиляного; б) колотого

Ефективний об'єм – є частиною продуктивного об'єму, який використовується безпосередньо для виготовлення різної продукції і розраховується різними методами залежно від виду продукції, що виготовляється.

Сьогодні показує, що на ринку природного декоративного каменю існує дефіцит сировини на блочний декоративний камінь, внаслідок чого каменеобробні підприємства не завантажують повністю свої виробничі потужності. З іншого боку, дефіцит блочної сировини створює безвідповідальне відношення до неї з боку каменедобувних підприємств. В результаті блоки природного декоративного каменю мають низьку якість, яка інколи не відповідає вимогам ДСТУ Б.В.2.7-59-97, а природні ресурси використовуються вкрай нераціонально і з використанням неефективних технологій, за рахунок чого значна частина блочної сировини втрачається при видобуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням втрат природного декоративного каменю та раціональним використанням блочної сировини в різний час займалися Бакка М.Т. [1, 2, 3, 8], Карасьов Ю.Г. [7, 8], Смирнов А.Г. [5], Григорович М.Б. [4], Левицький В.Г. [9] та ряд інших вчених. Зокрема в даних роботах виконані дослідження щодо класифікації втрат блочної сировини, визначені основні чинники, що спричиняють величину цих втрат і в деяких роботах визначені напрямки до зменшення втрат сировини.

Метою даної роботи є дослідження величини втрат блочної сировини під час відокремлення монолітів від масиву, або поділення останніх на товарні блоки різними технологічними способами та визначення найбільш ефективних технологій відокремлення.

Викладення основного матеріалу. Сьогодні існують різні технології відокремлення каменю від масиву і їх вибір залежить від фізико-механічних властивостей породи та гірничо-геометричних умов залягання масиву. Взагалі за характером дії на масив всі способи можна поділити на три групи, рис. 2 [2, 3, 5, 8].

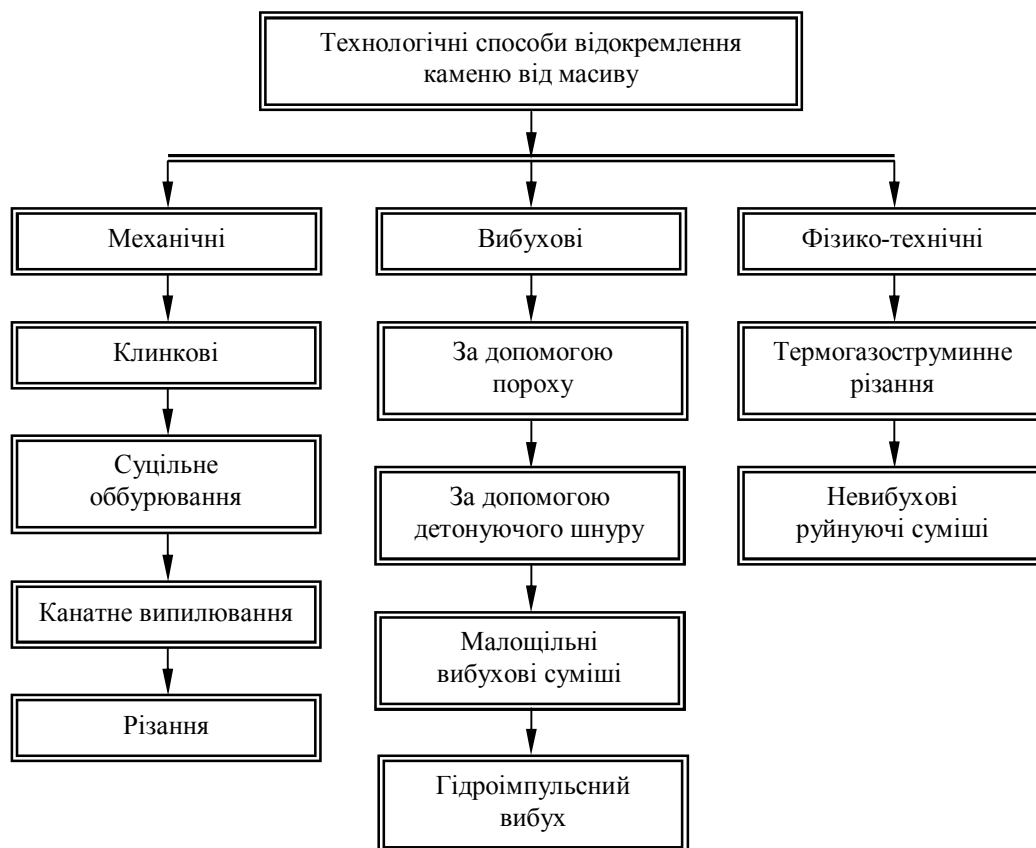


Рис. 2. Технологічні способи відокремлення каменю від масиву

Як показує аналіз технології видобування декоративного блочного каменю на лабрадоритових родовищах УКЩ, у чистому вигляді сьогодні майже неможливо зустріти один з вказаних способів відокремлення, найчастіше використовується комбінація двох або навіть трьох способів відокремлення каменю від масиву. Це можна пояснити тим, що кожний з вказаних способів має свої переваги в певних геологічних і технологічних умовах, а оскільки масив природного декоративного каменю являє собою тіло складної будови, з точки зору геології, мінералогічного складу, тріщинуватості, обводненості, міцності й т. ін., то для досягнення високої ефективності необхідно використовувати різні способи відокремлення каменю від масиву залежно від умов, що склалися.

Кожен зі способів відокремлення каменю від масиву побудований на принципі руйнування певного об'єму природного каменю для відокремлення блока. Тому залежно від способу, що використовується, будуть утворюватися додаткові втрати природного декоративного каменю за рахунок відокремлення, які можна віднести до технологічних [9].

Виконаємо дослідження цих втрат залежно від способу відокремлення товарного блока від масиву. Для дослідження виберемо способи відокремлення, які найчастіше зустрічаються в практиці видобувних робіт.

Залежно від способу відокремлення буде формуватися і грань блока, яка буде характерна лише для даного способу відокремлення. Основні форми граней, які можна зустріти при різних способах відокремлення, зображені на рис. 3, де:

- рис. 3, а – при відокремленні клинковим способом або гідроклинковим;
- рис. 3, б – при відокремленні вибуховим способом;
- рис. 3, в – при відокремленні суцільним оббурюванням;
- рис. 3, г – при відокремленні канатним випилюванням;
- рис. 3, д – при відокремленні за природною тріщинуватістю;
- рис. 3, е – при відокремленні термогазоструминними пальниками.

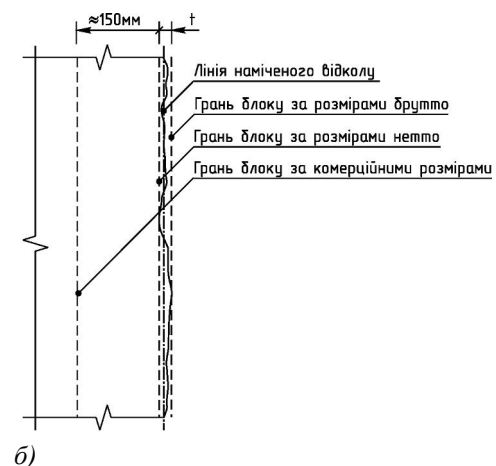
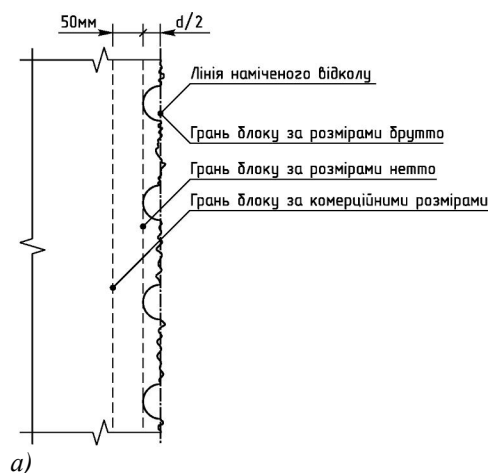
Між фактичним і продуктивним розмірами блока є різниця, рис.1, яка формує втрати каменю, величина яких залежать від способу відокремлення.

Розрахунок величини втрат природного декоративного каменю представлений в табл. 1.

Таблиця 1

Величина втрат декоративного каменю залежно від способу відокремлення від масиву

№ з/п	Спосіб відокремлення	Розрахункова формула для визначення втрат	Пояснення
1.	Клинками або гідроклинками (рис. 3, а)	$\Delta l_{втр.} = 50\text{мм} + \frac{d}{2}$	Втрати формуються за рахунок буріння шпурів $\varnothing 29\text{--}54$ мм, для встановлення клинків і нерівностей граней при відколюванні до 50 мм
2.	Вибуховий (рис. 3, б)	$\Delta l_{втр.} = 150\text{мм} + \frac{d}{2}$	Втрати формуються за рахунок буріння шпурів $\varnothing 29\text{--}54$ мм, для заряджання вибухової речовини і пошкодження поверхневого шару декоративного каменю ударною хвилею (зона з розвиненою мікротріщинуватістю) до 150 мм
3.	Суцільне оббурювання (рис. 3, в)	$\Delta l_{втр.} = 50\text{мм} + \frac{d}{3}$	Втрати формуються за рахунок буріння свердловин $\varnothing 80\text{--}120$ мм і нерівностей граней, що утворюються при бурінні до 50 мм
4.	Канатне випилювання (рис. 3, з)	$\Delta l_{втр.} = 30\text{мм} + \frac{b}{2}$	Втрати формуються за рахунок пропилю щілини канатом $b \approx 12$ мм і нерівностей граней, що утворюються до 30 мм
5.	За природною тріщинуватістю (рис. 3, д)	$\Delta l_{втр.} = 50\text{мм} + \Delta a$	Втрати формуються за рахунок товщини природної тріщини – Δa і нерівностей граней, що утворюються до 50 мм
6.	Термогазоструминними пальниками (рис. 3, е)	$\Delta l_{втр.} = 150\text{мм} + t$	Втрати формуються за рахунок нерівностей поверхні грані, що утворюється термогазоструминним пальником – t і пошкодженого поверхневого шару декоративного каменю високими температурами, до 150 мм



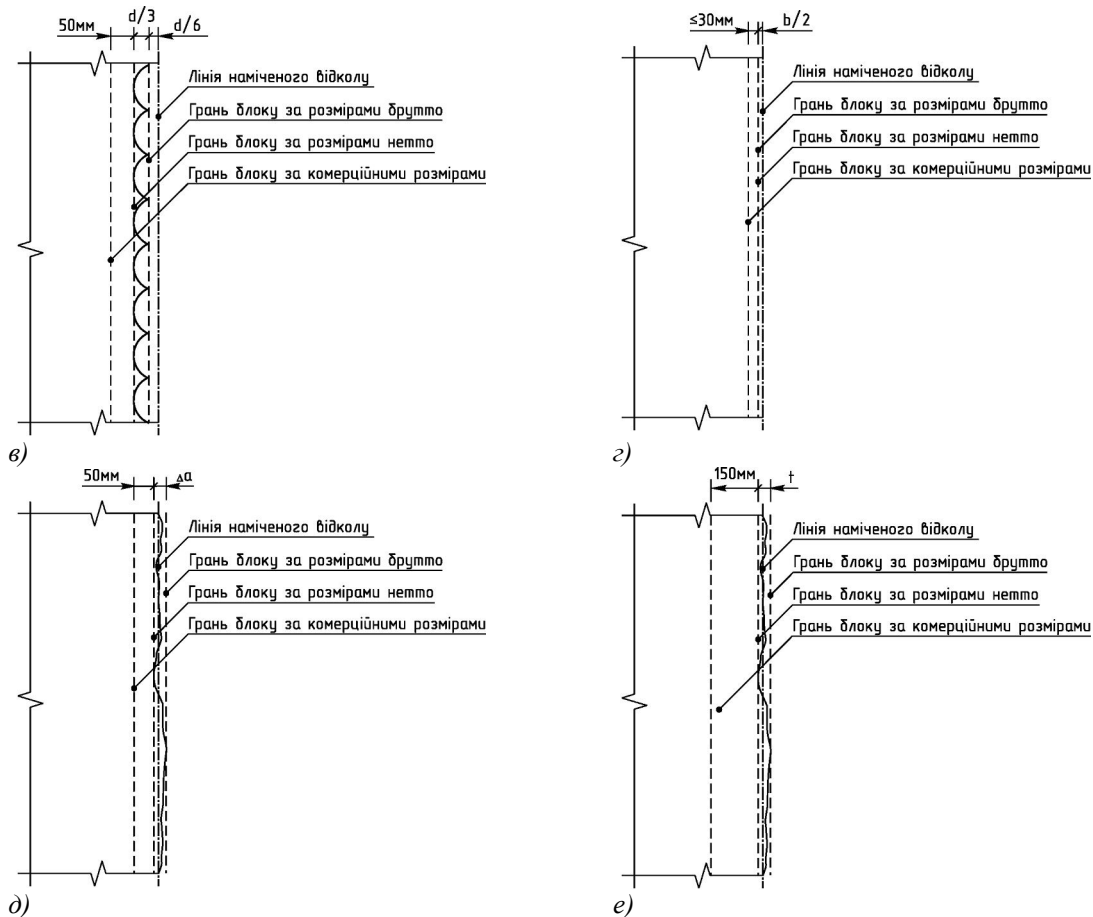


Рис. 3. Основні форми граней та їх параметри, що утворюються при різних способах відокремлення блока від масиву

Як показано вище, фактичний і продуктивний об’єм блока можна розрахувати за формулами (1) і (2). Виконаємо дослідження втрат на бокові грані блочної декоративної сировини від технологічного способу відокремлення блока і від його об’єму.

За умови, що блок відокремлюється з усіх граней однаковим технологічним способом, величину втрат можна розрахувати так:

$$V_{втр.} = S_{пов.} \cdot \Delta l_{втр.}, \tag{3}$$

де $S_{пов.}$ – площа усіх бічних граней блока;

$\Delta l_{втр.}$ – величина втрат каменю при відокремленні від масиву.

Якщо виразити $S_{пов.}$:

$$S_{пов.} = 2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot h \cdot a + 2 \cdot a \cdot l = 2 \cdot (l \cdot h + h \cdot a + a \cdot l), \tag{4}$$

то:

$$V_{втр.} = 2 \cdot \Delta l_{втр.} \cdot (l \cdot h + h \cdot a + a \cdot l). \tag{5}$$

У чистому вигляді таку технологію (відокремлення усіх граней одним способом) відокремлення блоків сьогодні зустріти неможливо, частіше за все зустрічаються комбіновані технології відокремлення блока від масиву.

Так, досить часто протилежні грані блока утворюються однаковими технологічними способами, наприклад: бічні грані створюються в результаті виконання штучних площин канатним випилюванням, суцільним оббурюванням, або термогазоструминними пальниками; фронтальна і тильна грані часто виконують клинковими, гідроклинковими, вибуховими засобами або за допомогою невибухових руйнівних сумішей; верхня і нижня грані зазвичай утворюються існуючою природною тріщинуватістю масиву, яка враховується при веденні гірничих робіт, а за умови відсутності тріщин – канатним пилянням, або буровибуховим способом.

В даному випадку при визначенні втрат необхідно враховувати втрати для кожного способу відокремлення окремо, а загальну величину втрат рекомендується визначати за наступною формулою:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{втр.}} &= 2 \cdot l \cdot h \cdot \Delta a_{\text{ср.}} + 2 \cdot h \cdot (a - 2 \cdot \Delta a_{\text{ср.}}) \cdot \Delta l_{\text{ср.}} + 2 \cdot (a - 2 \cdot \Delta a_{\text{ср.}}) \cdot (l - 2 \cdot \Delta l_{\text{ср.}}) \cdot \Delta h_{\text{ср.}} = \\
 &= 2 \cdot \left[l \cdot h \cdot \Delta a_{\text{ср.}} + h \cdot (a - 2 \cdot \Delta a_{\text{ср.}}) \cdot \Delta l_{\text{ср.}} + (a - 2 \cdot \Delta a_{\text{ср.}}) \cdot (l - 2 \cdot \Delta l_{\text{ср.}}) \cdot \Delta h_{\text{ср.}} \right] = \\
 &= 2 \cdot \left[\begin{aligned} &l \cdot h \cdot \Delta a_{\text{ср.}} + h \cdot a \cdot \Delta l_{\text{ср.}} + a \cdot l \cdot \Delta h_{\text{ср.}} - \\ &- 2 \cdot (l \cdot \Delta h_{\text{ср.}} \cdot \Delta a_{\text{ср.}} + h \cdot \Delta a_{\text{ср.}} \cdot \Delta l_{\text{ср.}} + a \cdot \Delta l_{\text{ср.}} \cdot \Delta h_{\text{ср.}}) + 4 \cdot \Delta l_{\text{ср.}} \cdot \Delta h_{\text{ср.}} \cdot \Delta a_{\text{ср.}} \end{aligned} \right].
 \end{aligned} \tag{6}$$

В загальному випадку, коли усі грані утворюються різними технологічними способами, величину втрат рекомендується визначати за наступною формулою:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{втр.}} &= l \cdot h \cdot \Delta a_{1\text{ср.}} + l \cdot h \cdot \Delta a_{2\text{ср.}} + h \cdot (a - a_{1\text{ср.}} - a_{2\text{ср.}}) \cdot \Delta l_{1\text{ср.}} + h \cdot (a - a_{1\text{ср.}} - a_{2\text{ср.}}) \cdot \Delta l_{2\text{ср.}} + \\
 &+ (a - a_{1\text{ср.}} - a_{2\text{ср.}}) \cdot (l - \Delta l_{1\text{ср.}} - \Delta l_{2\text{ср.}}) \cdot \Delta h_{1\text{ср.}} + (a - a_{1\text{ср.}} - a_{2\text{ср.}}) \cdot (l - \Delta l_{1\text{ср.}} - \Delta l_{2\text{ср.}}) \cdot \Delta h_{2\text{ср.}} = \\
 &= l \cdot h \cdot (\Delta a_{1\text{ср.}} + \Delta a_{2\text{ср.}}) + h \cdot (a - a_{1\text{ср.}} - a_{2\text{ср.}}) \cdot (\Delta l_{1\text{ср.}} + \Delta l_{2\text{ср.}}) + \\
 &+ (a - a_{1\text{ср.}} - a_{2\text{ср.}}) \cdot (l - \Delta l_{1\text{ср.}} - \Delta l_{2\text{ср.}}) \cdot (\Delta h_{1\text{ср.}} + \Delta h_{2\text{ср.}}).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Графічно залежність питомих втрат каменю $k_V = \frac{V_{\text{втр.}}}{V_{\text{ф.}}}$ від технологічного способу відокремлення і об'єму самого блока представлена на рис. 4.

Аналізуючи графічну залежність, рис. 4, можна зробити такі висновки:

- найбільшою величиною питомих втрат характеризуються способи відокремлення блоків з використанням газоструминних різаків і вибухових речовин, причому характерною ознакою для вказаних способів є те, що їх використання можна розглядати доцільним лише для блоків або масивів, які мають великі об'єми: так, для способу з використання термогазоструминних різаків це – об'єми більше 4,0–5,0 м³; для способу з використання вибухових речовин – більше 2,0–3,0 м³;
- окремою групою способів відокремлення блоків, що мають наближено однакові питомі втрати, є: спосіб використання клинків і гідроклинків, суцільне оббурювання і спосіб з використанням тріщинуватості, причому дані способи доцільно використовувати і для блоків, що мають малі об'єми, навіть менше 1,0 м³;
- найбільш раціональним способом відокремлення блоків, з точки зору питомих втрат, є спосіб з використанням канатного випилювання. Серед усіх розглянутих способів він має найменші питомі втрати, причому доцільність і ефективність використання його поширюється на блоки будь-якого об'єму;
- характерною ознакою для усіх способів відокремлення є зниження питомих втрат зі збільшенням об'єму товарного блока, що відокремлюється, причому, крутішими є криві для способів, що характеризуються великими питомими втратами (з використанням термогазоструминних пальників і вибухових речовин), більш пологі криві для способів, які можна розглядати як способи з середніми питомими втратами (клинки і гідроклинки, суцільне оббурювання і за тріщинуватістю) і майже виположена крива, характерна для способу відокремлення за допомогою канатної пили.

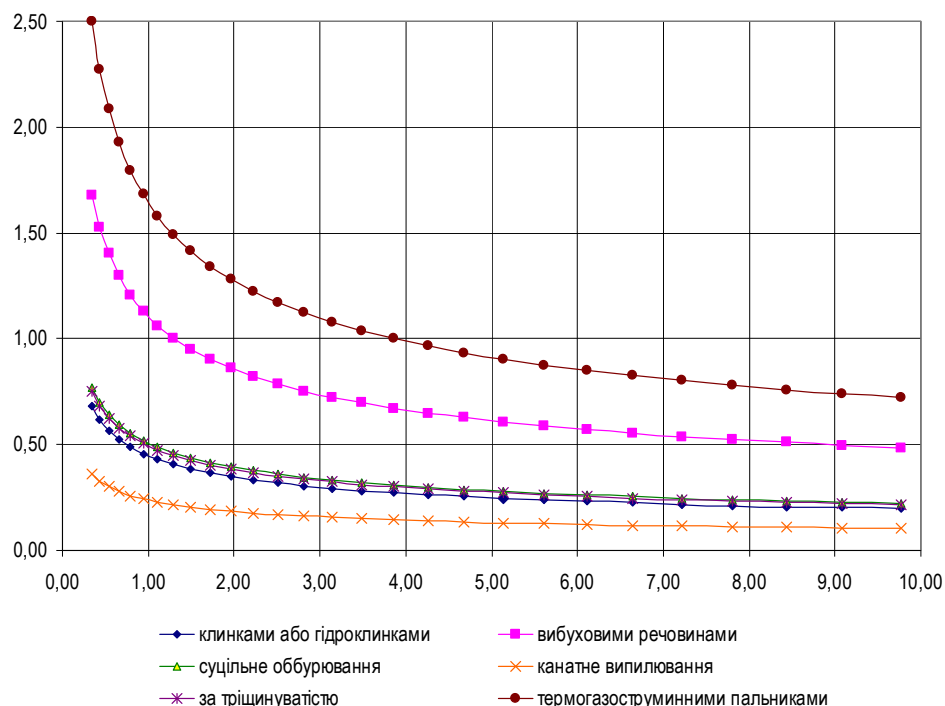


Рис. 4. Залежність питомих втрат каменю від способу відокремлення і від об'єму товарного блока, м³/м³

При використанні різних технологічних способів відокремлення для одного товарного бока або масиву доцільно користуватися питомим показником втрат на одиницю площі грані блока або моноліту, який можна розрахувати за формулою:

$$k_s = \frac{V_{втр.}^{сп.}}{S_{ф.}}, \tag{8}$$

де $V_{втр.}^{сп.}$ – втрати каменю на даній грані при використанні даного способу відокремлення;

$S_{ф.}$ – площа даної грані блока за фактичними розмірами блока.

Графічно залежність питомих втрат каменю на одиницю площі грані блока або моноліту (згідно з даними табл. 1) від способу відокремлення представлена на рис. 5.

З графіка, рис. 5, можна зробити висновок, що: найбільшими втратами характеризуються способи відокремлення газоструминними пальниками і вибуховими речовинами, середніми втратами – способи відокремлення клинками і гідроклинками, суцільним оббурюванням і за тріщинуватістю; найменшими втратами – спосіб відокремлення канатним випилюванням.

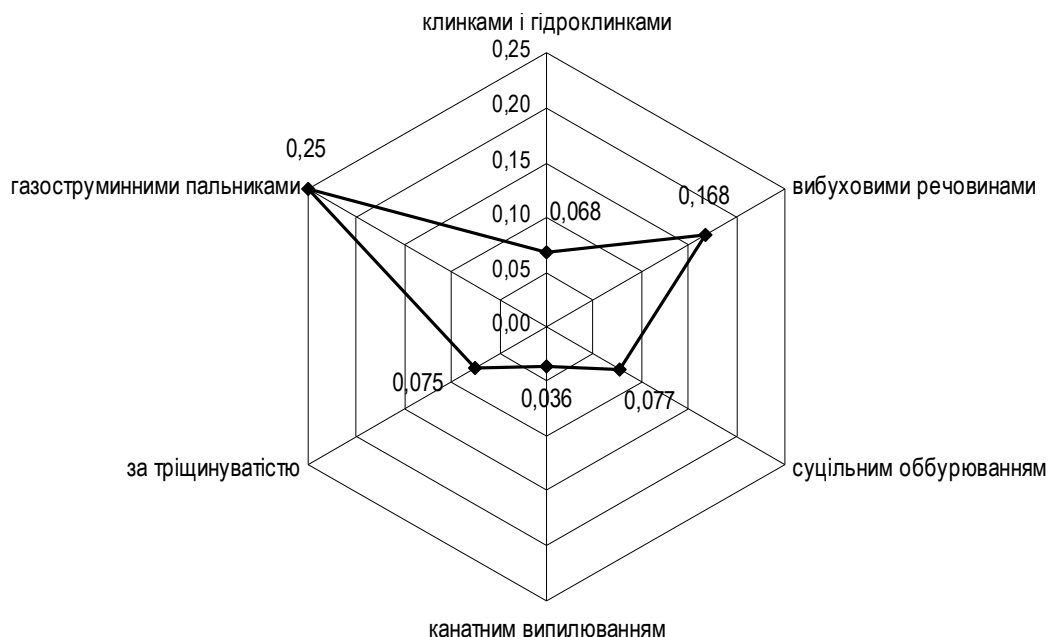


Рис. 5. Залежність питомих втрат каменю на одиницю площі грані блока або моноліту від способу відокремлення, m^3/m^2

Загальні висновки:

- в готовому товарному блоці з природного декоративного каменю розрізняють три види об'ємів: фактичний, продуктивний і ефективний. Різниця даних об'ємів являє собою втрати блочної сировини на різних етапах видобування або обробки природного декоративного каменю;
- сьогодні існують різні технологічні способи відокремлення блоків від масиву, які характеризуються різними втратами блочної сировини при підготовці блоків до виймання і при відколюванні, причому найбільшими втратами характеризуються способи з використанням термогазоструминних пальників і вибухових речовин, середніми втратами – способи з використанням клинків, гідроклинків, суцільним оббурюванням, за природною тріщинуватістю і з використанням невибухових руйнуючих засобів і найменшими втратами характеризується спосіб з використанням канатного випилювання;
- для усіх способів відколювання характерне зменшення питомих об'ємних втрат сировини при відколюванні блоків великого об'єму;
- підготовка блоків до виймання або відколювання з використанням термогазоструминних пальників або вибухових речовин є ефективним тільки для блоків або монолітів великого об'єму в середньому більш ніж $3,0-4,0 m^3$;
- кожен зі способів підготовки до виймання або відколювання блоків характеризується постійними коефіцієнтами площинних питомих втратах сировини при підготовці окремої грані блока, який доцільно використовувати для визначення втрат сировини при комбінованому способі відокремлення блоків.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бакка Н.Т. Прогнозирование блочности на месторождениях облицовочных гранитов горно-геометрическими методами: Дисс. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1974. – 166 с.
2. Бакка Н.Т., Ильченко И.В. Облицовочный камень. – М.: Недра, 1992. – 303 с.
3. Бакка М.Т., Кузьменко О.Х., Сачков Л.С. Видобування природного каменю. Геолого-промислова і технологічна оцінка родовищ природного каменю: Навч. посібник. – Ч. 1. – К.: КПІ, 1993. – 352 с.
4. Григорович М.Б. Оценка месторождений облицовочного камня при поисках и разведке. – М.: Недра, 1976. – 151 с.
5. Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под ред. А.Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – 446 с.
6. ДСТУ Б.В.2.7-59-97 “Блоки із природного каменю для виробництва облицовальних виробів. Технічні умови”. – Чинний від 1997-07-01. – К.: Держстандарт України, 1997. – 27 с.

7. *Карасев Ю.Г.* Формирование технологических комплексов по зонам на карьерах облицовочного камня высокой прочности: Дисс. ... докт. тех. наук. – Москва, 1991. – 321 с.
8. *Карасёв Ю.Г., Бакка Н.Т.* Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – Санкт-Петербург: Горный институт им. Г.В. Плеханова, 1997. – 428 с.
9. *Котенко В.В., Левицький В.Г.* Порівняльний аналіз втрат каменю та продуктивності робіт при підготовці монолітів великого об'єму до виймання різними технологічними комплексами // Тези наукових доповідей ХХХ наукової конференції, присвяченої 45-ій річниці Житомирського державного технологічного університету. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – С. 72–74.
10. *Синельников О.Б.* Природный облицовочный камень. – Ч. I. – Облицовочные камни: Учебное пособие. – М.: МГГУ, 2000. – 362 с.

КОТЕНКО Володимир Володимирович – старший викладач кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- гірництво;
- технологія розробки покладів декоративного каменю.

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

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- геометризація покладів природного декоративного каменю.

Подано 18.01.2007