

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 582.5:519.863

М.Т. Бакка, д.т.н., проф.**А.О. Криворучко, асист.***Житомирський державний технологічний університет***МОДЕЛЮВАННЯ РОДОВИЩ ГАБРОЇДНИХ ПОРІД ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИДОБУВАННЯ БЛОКІВ З ГАБРОЇДНИХ ПОРІД**

Розглянуто основні питання щодо створення моделі родовища габроїдних порід та визначені основні критерії, що впливають на вибір технологічних комплексів з видобування габроїдних порід.

На даний час на каменедобувних підприємствах виникають труднощі при виборі технологічного комплексу для видобування блоків. Так, на більшості кар'єрів вибирають технологічне обладнання й технологію виходячи з умови максимальної продуктивності і не враховують критерій мінімізації втрат декоративної сировини та комплексність її використання. Відсутні розробки щодо вибору оптимальних параметрів моноліту, який відділяють від масиву. Область застосування сучасних методик визначення продуктивності та оптимальності застосування технологічного комплексу підготовки монолітів до виймання – переважно граніти. Дуже мало розробок для таких основних порід, як габро і лабрадорити, які докорінно вирізняються за своїми властивостями від гранітів. На сучасних кар'єрах все більшого впровадження набуває високопродуктивне фінське та італійське устаткування. А отже виникає потреба в розробці оптимальних параметрів роботи устаткування та визначення параметрів масиву, при яких його доцільно використовувати з метою збереження декоративних властивостей сировини, ресурсів та матеріалів.

Різноманітність способів та технологій підготовки каменю до виймання і можливість використання їх при широкій варіації властивостей гірських порід суттєво ускладнює їх вибір для умов конкретного родовища і навіть для певних частин даного родовища. Особливо гостро дана проблема стоїть при видобуванні габроїдних порід, для яких притаманні значні варіації властивостей [6]. Недоцільно встановлювати відповідність технологічного комплексу показникам властивостей породи за допомогою дослідно-промислового видобування. А використання тільки одного технологічного комплексу на різних ділянках кар'єрного поля призводить до зниження продуктивності, погіршення техніко-економічних показників роботи кар'єру, що проявляється в зниженні коефіцієнта виходу блоків та погіршенню їх якості [1]–[3], [5]. Тому розділення кар'єрного поля на технологічні зони, яким притаманні сталі властивості (інтенсивність тріщинуватості, блочність, міцнісні характеристики, декоративність та вміст рудних компонентів) дозволить для кожної виділеної зони визначити параметри елементів системи розробки (напрямок виймання шарів корисної копалини, структуру комплексів обладнання), які й дадуть можливість забезпечити виймання блоків з природного каменю з мінімальними втратами та мінімальною собівартістю.

Дослідженням та вибором технологічних комплексів займалися ряд науковців. Так, у роботах Косолапова А.І. [5] при виборі технологічних комплексів беруться до уваги ефективність видобування та необхідна продуктивність, при цьому економічним показникам відведена другорядна роль. У роботі [2] також за основу взято продуктивність та вихід блоків з гірської маси.

Отже переважна більшість науковців розглядає продуктивність та блочність як основні параметри, а декоративності, вмісту рудних компонентів та економічним показникам надається другорядна роль.

Для габроїдних порід через неоднорідність будови [6] актуальності набуває комплексний підхід при створенні моделі родовища та при визначенні основних критеріїв, що впливають на вибір технологічних комплексів за видобування габроїдних порід. Так, для визначення ефективності роботи каменедобувних підприємств в цілому і окремих технологічних комплексів необхідно застосувати системний підхід. Ефективність господарської діяльності характеризується порівняно невеликим колом показників. Однак на кожний показник здійснює вплив ціла система факторів. Для системного підходу характерні комплексна оцінка впливу різнопланових факторів, цільовий підхід до їх вивчення. Знання факторів виробництва, вміння визначати їх вплив на показники ефективності роботи каменедобувного підприємства та на вибір технологічного комплексу дозволять впливати на рівень даних показників внаслідок управління факторами створити механізм пошуку резервів.

Зміна параметрів структури масиву призводить до зміни показників виходу блоків, параметрів елементів системи розробки, складу і структури комплексу обладнання.

Оскільки для родовищ основних порід характерні значні варіації властивостей в просторі [6], то виникає необхідність використовувати декілька способів видобування, залежно від фізико-технічних властивостей окремої ділянки; а отже – і використання декількох технологічних комплексів.

Однак необхідно брати до уваги й те, що застосування декількох способів підготовки каменю до виймання на одному кар'єрному полі родовища основних порід доцільно тільки за таких умов:

- ✓ можна досягти суттєвого підвищення продуктивності кар'єру;
- ✓ можна досягти підвищення коефіцієнта виходу блоків;
- ✓ знижуються витрати на видобування блоків;
- ✓ підвищується якість добувних блоків.

При цьому необхідно:

- ✓ розроблювати методичне забезпечення щодо доцільності використання технологічного комплексу при видобуванні порід основного складу і обґрунтування раціональних технологічних параметрів роботи комплексу;
- ✓ знаходження резервів підвищення продуктивності технологічного комплексу без суттєвого збільшення витрат;
- ✓ особливу увагу звертати на особливості розробки родовищ природного каменю, такі як:
 - 1) невеликі розміри кар'єрних полів у плані, невелика продуктивність;
 - 2) необхідність зберігати фізико-технічні властивості та декоративні якості гірських порід, що видобуваються;
 - 3) наявність упорядкованих систем тріщин обумовлює параметри видобувного уступу;
 - 4) анізотропність властивостей;
 - 5) значні об'єми супроводжуючої гірської маси, що перевищує обсяг основної продукції;
 - 6) значні варіації гірничо-геологічних умов та властивостей порід.

Відповідно до методик, викладених [1], [2], [5] та враховуючи специфічні особливості видобування блоків, необхідно розділити видобувний масив на певні ділянки. При цьому вихідну інформацію необхідно представити моделями показників порід, які характеризують труднощі та доцільність видобування блоків тим чи іншим технологічним комплексом, у вигляді рівнянь:

$$\begin{cases} \sigma_m = f_1(x, y, z) \\ K_m = f_2(x, y, z) \\ a_a = f_3(x, y, z) \\ B_{cp} = f_4(x, y, z) \\ K_p = f_5(x, y, z) \\ D = f_6(x, y, z) \end{cases}, \quad (1)$$

де $\sigma_m = f_1(x, y, z)$ – міцнісні характеристики;
 $K_m = f_2(x, y, z)$ – коефіцієнт тріщинуватості;
 $a_a = f_3(x, y, z)$ – коефіцієнт анізотропії;
 $B_{cp} = f_4(x, y, z)$ – коефіцієнт виходу блоків;
 $K_p = f_5(x, y, z)$ – вміст рудних компонентів;
 $D = f_6(x, y, z)$ – декоративність.

де x, y, z – просторові координати родовища.

Потім необхідно розглядати дані ділянки як певні системи зі своїми відповідними властивостями (сталими на кожній даній ділянці).

Визначають блочність кожної ділянки масиву (в період розвідки родовища) та для кожного способу визначаємо коефіцієнт виходу товарних блоків:

$$B_{\sigma i} = B_{mi} \cdot k_{zi} \cdot k_a, \quad (2)$$

де $B_{\sigma i}$ – блочність при i -му способі видобування;

B_{mi} – блочність i -ої ділянки;

k_{zi} – коефіцієнт, що враховує технологічні втрати при використанні i -го технологічного комплексу.

k_a – коефіцієнт, що враховує залежність питомих втрат сировини від співпадання напрямків анізотропії та фронту видобувних робіт.

Параметри, що характеризують вміст рудних компонентів у масиві та декоративність, визначаються за даними геологічної розвідки. Дані показники характеризують якісні властивості масиву і дають можливість визначати високодекоративні ділянки масиву або некондиційні (з великим вмістом рудних компонентів).

Вивчення анізотропності масиву дає змогу вибрати оптимальний напрямок проведення видобувних робіт і напрямку розділення моноліту на блоки при двостадійній схемі видобування (рис. 1). Оптимальне орієнтування фронту видобувних робіт на кар'єрах природного облицювального каменю дозволить:

- ✓ збільшити продуктивність технологічного комплексу майже на 20–50 %;

- ✓ досягнути найменших нерівностей сколу поверхні блоку, зменшивши технологічні витрати видобування на 30–40 %;
- ✓ виключити необхідність подальшої обробки блоків для надання їм правильної форми;
- ✓ максимально зберегти декоративні властивості природного облицювального каменю;
- ✓ максимально зберегти іризацію лабрадоритових порід (в лабрадоритових масивах площини іризації фіксуються доволі чітко, це – результат одноподібного орієнтування кристалів лабрадориту, що викликано рухом магми);
- ✓ зменшити працемісткість процесу видобування.

При цьому відповідно до попередніх досліджень [4] анізотропні властивості основних порід суттєво впливають на працемісткість та енергомісткість процесу розпилювання їх на штрипсових чи дискових каменерозпилювальних верстатах.

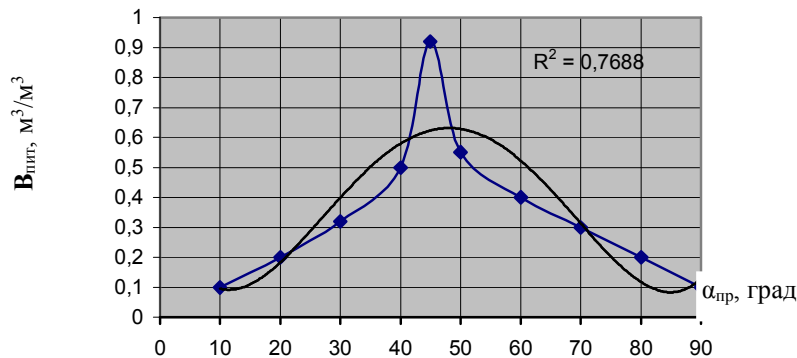


Рис. 1. Залежність питомих втрат сировини від співпадання напрямів анізотропії та фронту видобувних робіт

Розподіл блочності в масиві можна виразити аналітичним або графоаналітичним способом.

Інтенсивність розповсюдження систем тріщин можуть змінюватися як за площиною (рис. 2, 3), так і за глибиною (рис. 4). Відповідно до досліджень [2]–[9] та геологічних звітів [9]–[14] для родовищ габроїдних порід існують такі емпіричні залежності відстаней між постільними тріщинами (d) від координат свердловини (x, y) і їх відміток по глибині (z):

– для Сліпчицького родовища:

$$d = 4,44 - 8,13 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 2,21 \cdot 10^{-8} \cdot y^3 - 3,38 \cdot 10^{-4} \cdot z^2; \tag{3}$$

– для Головинського родовища:

$$d = 4,83 + 2,18 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 7,43 \cdot 10^{-6} \cdot y^2 - 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot z^3. \tag{4}$$

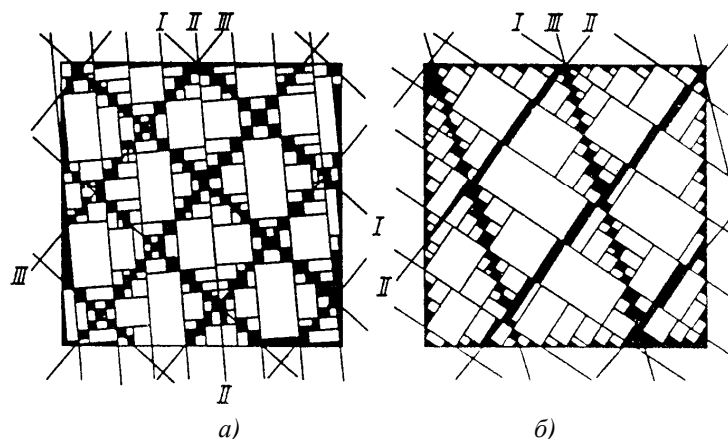


Рис. 2. Картограма тріщинуватості ділянок 1(а) і 2(б) Головинського кар'єру. I, II, III – системи тріщин

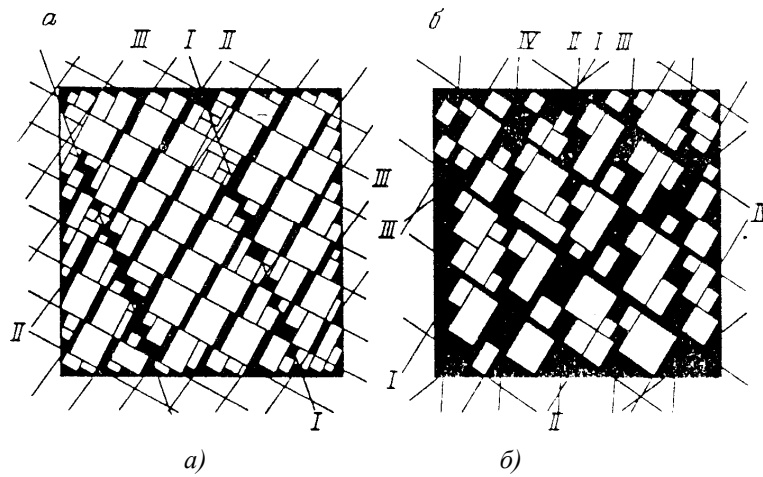


Рис. 3. Картограма тріщинуватості ділянок 3(а) і 4(б) Головинського кар'єру. I, II, III – системи тріщин

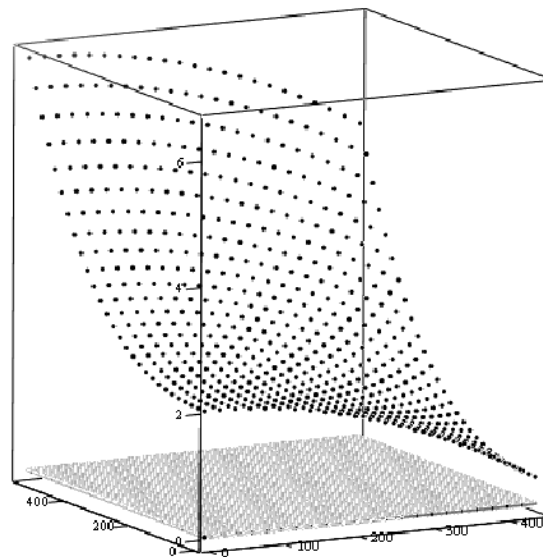
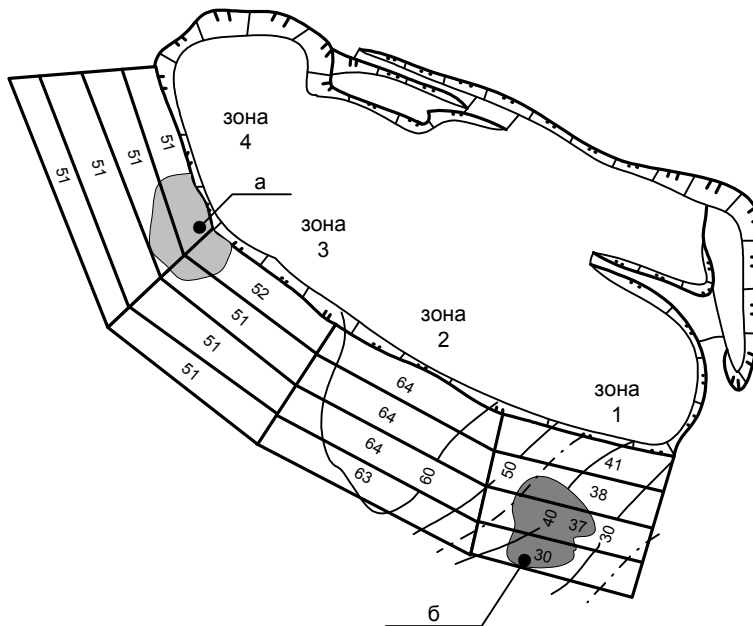


Рис. 4. Модель зміни відстаней між постільними тріщинами (d) від координат свердловини (x, y) для Сліпчицького родовища на горизонті +85

Відповідно до вищенаведених параметрів та моделей можна побудувати узагальнену гірничо-геометричну модель родовища рис. 5.



а – зона з підвищеним вмістом рудних компонентів;
 б – високо декоративна зона

Рис. 5. Гірничо-геометрична модель родовища

Економічну доцільність та ефективність використання того чи іншого технологічного комплексу відповідно до методики [7] та специфічних особливостей розробки родовищ облицювального каменю можна встановити залежно від задач, які ставить перед собою каменедобувне підприємство, які, в свою чергу, залежать від якісних та кількісних властивостей масиву та можливостей каменедобувного підприємства.

Якщо підприємство спеціалізується на видобуванні одного виду продукту (блоків з природного каменю), використовуючи n видів ресурсів. Ці величини будемо позначати відповідно через y і x_1, x_2, \dots, x_n . А оскільки технологія видобування, яку пропонують до використання, повинна бути вже досить добре вивчена, то і відома виробнича функція $f : y = f(x) = f(x_1, \dots, x_n)$.

Позначимо через p ціну продукції, що випускається, а через w_{ik} – ціну i -го виду ресурсу $i = 1, \dots, n$. Ці ціни характеризують поняття прибутку (одержані кошти від продажу видобутих блоків) і витрат на матеріали. Прибуток від реалізації готової продукції $y = f(x)$ визначається формулою $p \cdot f(x)$. Витрати, що відповідають вектору витрат $x = (x_1, \dots, x_n)$, тобто загальні витрати, рівні $w_1 \cdot x_1, \dots, w_n \cdot x_n$. Ці витрати називають *змінними витратами*, тому що вони пов'язані (змінюються разом) з обсягом видобування. Крім того, каменедобувне підприємство несе і *постійні витрати* (c_0), які пов'язані з витратами на утримання підприємства. Тому загальні витрати (C) складаються з двох компонентів:

$$C(x) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + c_0. \tag{5}$$

Оскільки постійні витрати не залежать від обсягів видобування блоків, то при складанні короткострокових моделей та при виборі оптимального технологічного комплексу ними переважно нехтують. Тоді загальний результат виробництва (x, y) (витрати–випуск) можна оцінити величиною:

$$P = p \cdot f(x) - \sum w_i \cdot x_i. \tag{6}$$

Якщо величина P додатня, то пари (x, y) приносить прибуток, у протилежному випадку – збиток.

За допомогою вищенаведених формул побудуємо математичні моделі різних задач каменедобувного підприємства.

1. **Довгострокова задача.** На довгостроковий період підприємство може планувати будь-які витрати, тому модель задачі має вигляд:

$$\begin{aligned} P(x_1, \dots, x_n) &= p \cdot f(x_1, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^n w_i x_i \rightarrow \max ; \\ E_i &= (B_{\text{oi}} - B_{\text{mini}}) B_{\text{oi}} \rightarrow \max ; \end{aligned} \tag{7}$$

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n.$$

Це – задача безумовної максимізації прибутку. Тут постійні витрати c_0 не враховані, оскільки вони не впливають на максимізацію функції P за змінними витратами x_1, x_2, \dots, x_n . У векторній формі довгострокова задача має вигляд:

$$\begin{aligned} P(x) &= p \cdot f(x) - \langle w, x \rangle \rightarrow \max; \\ E_i &= (B_{\bar{\sigma}_i} - B_{\min i}) B_{\bar{\sigma}_i} \rightarrow \max; \\ x &\geq 0. \end{aligned} \quad (8)$$

де $w = (w_1, \dots, w_n)$ – вектор цін матеріалів, що витрачають при видобуванні.

2. **Короткострокова задача.** Ця задача планується з обліком наявних на даний період запасів ресурсів на даному підприємстві (доцільно застосовувати при обмежених ресурсах), тому її модель не тільки враховує природні умови, а будується на умовній оптимізації:

$$P(x_1, \dots, x_n) = p \cdot f(x_1, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^n w_i x_i \rightarrow \max \quad (9)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} E_i &= (B_{\bar{\sigma}_i} - B_{\min i}) B_{\bar{\sigma}_i} \rightarrow \max \\ x_i &\in X_i, i = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (10)$$

де $X_i \subset R_+^n$ – безліч можливих допустимих значень витрат i -го виду матеріалу.

Короткострокову задачу ставить підприємство при обмежених ресурсах (особливо на етапі розкриття родовища). Вибір технологічного комплексу в даному випадку залежить передусім від наявних ресурсів.

3. **Задача багатопродуктного виробництва.** Оскільки підприємство видобуває не одні блоки, а (n) видів продукції (комплексно використовує як відходи видобування, так і розкривні породи). Нехай для кожного j -го виду продукту відомі виробнича функція $f_j : y_j = f_j(x) = f_j(x_1, \dots, x_n)$ і ціна p_j ($j = 1, \dots, n$); для кожного j -го виду ресурсу відомі функція g_j , що описує сумарні витрати цього ресурсу для видобування всіх n видів продуктів, і його наявна кількість $b_j \geq 0$ ($i = 1, \dots, n$). У цьому випадку моделі довгострокової і короткострокової задач відповідно мають вигляд:

$$\begin{aligned} P(x) &= \langle p \cdot f(x) \rangle - \langle w, x \rangle \rightarrow \max; \\ E_i &= (B_{\bar{\sigma}_i} - B_{\min i}) B_{\bar{\sigma}_i} \rightarrow \max; \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

і

$$\begin{aligned} P(x) &= p \cdot f(x) - \langle w, x \rangle \rightarrow \max; \\ \text{при обмеженнях:} \\ E_i &= (B_{\bar{\sigma}_i} - B_{\min i}) B_{\bar{\sigma}_i} \rightarrow \max; \\ g(x) &\leq b, x \geq 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Тут $p = (p_1, \dots, p_n)$ – вектор цін продуктів, що видобуває підприємство, $g(x) = (g_1(x), \dots, g_n(x))$ – вектор-функція витрат, $b = (b_1, \dots, b_n)$ – вектор наявних запасів ресурсів.

4. **Задача на мінімізацію витрат.** В усіх наведених вище моделях виробництва ставиться задача максимізації прибутку, тобто цільова функція має сенс прибутку. Однак при розробці тріщинуватих ділянок або некондиційних. Для постановки задачі на мінімізацію витрат припустимо, що підприємству необхідно видобути продукцію обсягом y_1^*, \dots, y_n^* , тобто розглянемо фіксовані обсяги видобування. У цьому випадку задача оптимізації виробництва може бути поставлена в такий спосіб:

$$\begin{aligned} C(x_1, \dots, x_n) &= \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \rightarrow \min \\ \text{при обмеженнях:} \\ f_j(x_1, \dots, x_n) &= y_j^*, j = 1 \dots m; \\ x_i &\geq 0, i = 1 \dots n; \\ E_i &= (B_{\bar{\sigma}_i} - B_{\min i}) B_{\bar{\sigma}_i} \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (13)$$

Вираз $E_i = (B_{oi} - B_{\min i})B_{oi} \rightarrow \max$ обмежує застосування вибухових способів, які використовують найбільш дешево і мобільне джерело енергії вибухової речовини. Незважаючи на дешеве і мобільність джерела енергії, вибухові способи мають суттєві недоліки – руйнування і порушення цілісності масиву, створення штучних систем тріщин, зменшення декоративності, якості і цілісності як блоків, так і виробів з них. Однак незважаючи на названі суттєві недоліки, вибухові способи відділення каменю від масиву все ще знаходять широке застосування в даний час. Задачу на мінімізацію витрат необхідно застосовувати на малокоштовних або некондиційних ділянках масиву, де використання вибухових способів найбільш доцільне.

Бажаючи “перевиконати” план випуску, обмеження рівності можна замінити на обмеження нерівності:

$$f_j(x_1, \dots, x_n) \geq y_j^* \quad (14)$$

Відповідно до сказаного вище можна побудувати розріз родовища з зазначенням зон та графік ефективності застосування 1-го, 2-го, 3-го способів підготовки каменю до виймання (рис. 6).

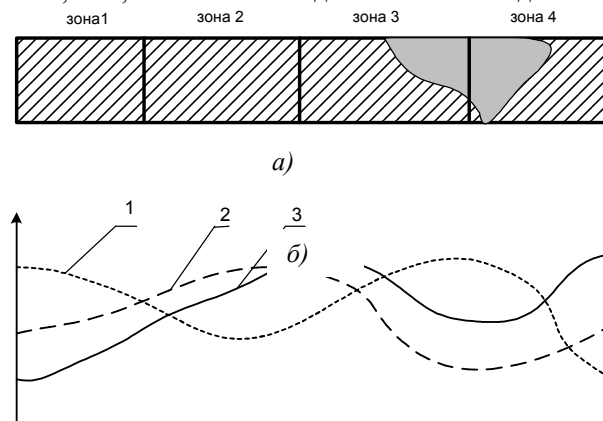


Рис. 6. Схема розділення кар'єрного поля на зони за способами підготовки каменю до виймання: а – розріз родовища; б – графік ефективності застосування 1-го, 2-го, 3-го способів підготовки каменю до виймання

Вибирати необхідно той спосіб, при якому на графіку ефективності площа між вісю та кривою ефективності – максимальна.

Отже, дослідження підвищення продуктивності технологічних комплексів з видобування блоків природного каменю, обґрунтування оптимальних параметрів роботи технологічних комплексів, розробка і впровадження новітніх технологій має важливе і актуальне значення. Адже розвиток і освоєння нових методів і технологій видобування природного облицювального каменю дозволить суттєво розширити область його застосування, значно знизити його собівартість і підвищити якість, що зробить вітчизняну продукцію конкурентноспроможною на світовому ринку.

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. – Санкт-Петербург.: Изд-во Санкт-Петербург. горного ун-та, 1997.
3. Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под. общ. ред. А.Г. Смирнова – М.: Недра, 1990. – 445 с.
4. Карасев Ю.Г. Чиев Т.И. Повышение эффективности распиловки облицовочного камня // Горный журнал. – 1991. – № 3. – С. 30–31.
5. Косолапов А.И. Технология добычи облицовочного камня. – Красноярск: КрасГУ, 1990. – 148 с.
6. Криворучко А.О. Особенности будови родовищ габроїдних порід коростенського плутону // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 1(24) / Технічні науки. – С. 228–232.
7. Данилов Н.Н. Иноземцева Л.П. Учебник по математической экономике с теорией и задачами. 1999 Кемеровский государственный университет, 1999.
8. Личак И.Л. Петрология Коростенского плутона. – К.: Наукова думка, 1983. – 245 с.

9. Ломаев Н.А. Геологическое обследования и оценка месторождений облицовочного камня Украины // Укргеоинформ. – № 8756. – К., 1987. – 210 с.
10. Дубяга Е.А. Отчет о разведке на иризирующий лабрадорит месторождения “Синий Камень” – К., 1956. – 196 с.
11. Вдовиченко Е.В. Отчет о результатах разведки Слипченского месторождения габро-норита на облицовочный камень в Черняховском р-не. Житомирской обл. УССР. – К., 1964.
12. Артемова Р.М. Отчет о доразветке запасов лабрадорита на Головинском месторождении (Черняховский р-н. Житомирской обл.). – К., 1961.
13. Голощанов В.Д. Отчет о геолого-разведочных работах на Слипчинском месторождении габро-норита. – Одесса, 1954.
14. Жукова А., Солонинко И., Мокренко А. Научно-технический отчет об обследовании перспектив блочности габро-норита Слипчицкого месторождения (Житомирская обл., УССР).
15. <http://lanserv2.kemsu.ru/departs/mathciber/book/matekon/index.html>

БАККА Микола Терентійович – доктор технічних наук, професор, завідує кафедрою геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерія;
- математичне моделювання;
- екологія.

КРИВОРУЧКО Андрій Олексійович – асистент кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерія;
- математичне моделювання.

Подано 26.01.2004

Бакка М.Т., Криворучко А.О. Моделювання родовищ габроїдних порід та визначення основних критеріїв вибору оптимального технологічного комплексу для видобування блоків з габроїдних порід

Бакка М.Т., Криворучко А.О. Моделирование месторождений габброидных пород и определение основных критериев при выборе технологического комплекса для добычи блоков с габброидных пород

Bakka M.T., Krivoruchko A.O. The gabbro deposits modeliv, and the basic criteria definition technological complex of gabbro blocks extraction

УДК 582.5:519.863

Моделювання родовищ габроїдних порід та визначення основних критеріїв вибору оптимального технологічного комплексу для видобування блоків з габроїдних порід / Бакка М.Т., Криворучко А.О.

Розглянуті основні питання стосовно створення моделі родовища габроїдних порід та визначенні основні критерії, що впливають на вибір технологічних комплексів по видобуванню габроїдних порід.

УДК 582.5:519.863

Моделирование месторождений габброидных пород и определение основных критериев при выборе технологического комплекса для добычи блоков с габброидных пород / Бакка М.Т. Криворучко А.О. //

Рассмотрены основные вопросы касающиеся моделирования месторождений габброидных пород и определение основных критериев при выборе технологического комплекса для добычи блоков с габброидных пород

УДК 582.5:519.863

The gabbro deposits modeliv, and the basic criteria definition technological complex of gabbro blocks extraction/ Bakka M.T., Krivoruchko A.O. //

The basic questions of gabbro deposits modeling and the basic criteria definition in the technological complex of gabbro blocks extraction are considered.