

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ РУДИ І КОРИСНОЇ КОПАЛИНИ У РУДНІЙ СИРОВИНІ РУДНОГО ПОТОКУ**

Виконано дослідження технологічних і структурних схем формування рудних потоків корисної копалини у рудній сировині і ідентифікація функцій елементів по їхньому відношенню до розглянутих типів елементарних перетворень, що дозволяє побудувати моделі формування (трансформації) якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Визначена структура одиничного елемента рудного потоку корисної копалини у рудній сировині при генеральному і перспективному плануванні, що враховує схему розкриття і порядок відпрацювання родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисних копалин, горизонтів, поверхів, панелей, блоків. Доказано, що при поточному плануванні, структура одиничного елемента залежить від системи розробки, що застосовується, технології і організації доставки, транспортування, складування і відвантаження, а у ході виробничих процесів, відбувається часткове або повне злиття потоків руди і корисної копалини у рудній сировині, яка видобута з окремих очисних забоїв у єдиний потік руди і корисної копалини у рудній сировині. Розглянуто процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині з погляду теорії множин при якому все родовище, поклад, рудне тіло або дільниця корисних копалин розбивається на елементарні блоки відповідного об'єму, які характеризуються якістю руди і корисної копалини. Якісні характеристики родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисних копалин представлені у вигляді тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині впорядкованого у просторі безліччю елементів. Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині в рудопотоках і дозволяє вірогідно оцінювати контрольовані якісні характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, істотно підвищуючи точність прогнозування.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** У процесі видобування з родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисних копалин якість руди і корисної копалини у рудній сировині послідовно приймає декілька форм існування. Серед яких виділяється сукупність елементарних перетворень, що переважно утворюють ту або іншу форму якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Технологічні і структурні схеми формування рудних потоків корисної копалини у рудній сировині і ідентифікація функцій елементів по їхньому відношенню до розглянутих типів елементарних перетворень дозволяють побудувати моделі формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Рудний потік корисної копалини у рудній сировині, можна представити, як упорядковану в часі послідовність значень об'ємів спостереження з відповідною якістю руди і корисної копалини у рудній сировині, тобто як тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Відповідно до теорії [2-5,8], тимчасові динамічні ряди якості руди і корисної копалини у рудній сировині подібного типу є інтервальними. Складові рудного потоку корисної копалини у рудній сировині, часом існування яких є інтервали розбивки тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині, є одиничними елементами рудного потоку корисної копалини. Вони характеризуються часом існування  $T_i$  (інтервал дискретності), об'ємом  $V_i$  і якістю руди і корисної копалини у рудній сировині  $C_i$ . Кожному одиничному елементу можна поставити у відповідність сукупність елементарних об'ємів  $V_j$  у балансових запасах надр з їхніми якісними характеристиками руди і корисної копалини у рудній сировині  $C_j$ . Виділення одиничного елемента рудного потоку руди і корисної копалини у рудній сировині є процедурою умовною і здійснюється відповідно до вимог споживачів руди і корисної копалини у рудній сировині на кожному періоді управління.

**Постановка завдання.** На стадії генерального планування одиничним елементом рудного потоку є потоки руди і корисної копалини у рудній сировині кар'єру кожного промислового типу (сорт) або ізольованого «сліпого рудного тіла», покладу або його дільниці з глибоких горизонтів шахти. Об'ємними і якісними характеристиками такого одиничного елемента є балансові запаси надр і якість руди і корисної копалини у рудній сировині кожного промислового типу або родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисних копалин, який відпрацьовують роздільно або переробляють по технологічних схемах, що принципово розрізняються.

Тимчасова довжина  $T_i$  одиничного елемента, визначається промисловими запасами руди і корисної копалини у рудній сировині даного типу  $V_i$  і продуктивністю  $Q_i$  гірничого підприємства по даному типу, тобто  $T_i = V_i / Q_i$ . При перспективному плануванні, з розбивкою на п'ятиріччя, а майбутнього п'ятиріччя по роках, об'ємні і якісні характеристики одиничних елементів руд-

ного потоку корисної копалини у рудній сировині відповідають об'єму і якості руди і корисної копалини у рудній сировині річного і п'ятирічного видобування. При поточному плануванні, коли річний план видобування розділяється по кварталах і місяцях, об'ємні і якісні характеристики одиничних елементів рудного потоку корисної копалини у рудній сировині відповідають об'єму і якості квартального або місячного видобування руди і корисної копалини у рудній сировині. При оперативному плануванні, характеристиками одиничних елементів є об'єм і якість декадного, добового і змінного видобування руди і корисної копалини у рудній сировині [1].

**Викладення матеріалу та результати.** Структура одиничного елемента рудного потоку корисної копалини у рудній сировині при генеральному і перспективному плануванні визначається схемою розкриття і порядком відпрацювання родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, горизонтів, поверхів, панелей, блоків. При поточному плануванні, структура одиничного елемента залежить в основному від системи розробки, що застосовується, технології і організації доставки, транспортування, складування і відвантаження. Нарешті, структура одиничного елемента рудного потоку корисної копалини у рудній сировині при оперативному плануванні, визначається не тільки параметрами технологічних процесів, але і впливом організаційних факторів. Первинним джерелом неоднорідності якості руди і корисної копалини у рудній сировині є складна якісна структура родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, який виражає просторову мінливість геологічних показників родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, а при видобуванні ця просторова мінливість послідовно трансформується у тимчасову мінливість рудного потоку корисної копалини у рудній сировині. Направленість і глибина трансформації визначаються технологічним рівнем гірничого виробництва, який залежить від чисельних факторів, що обумовлені схемою підготовки і системою розробки, структурою комплексної механізації і організації гірничих робіт. У ході виробничих процесів, відбувається часткове або повне злиття потоків руди і корисної копалини у рудній сировині, яка видобута з окремих очисних забоїв у єдиний потік руди і корисної копалини у рудній сировині. Таким чином, якість видобутої руди і корисної копалини у рудній сировині, буде визначатися не тільки вихідною якістю одиничних рудних потоків корисної копалини, які сформовані у різних очисних блоках, але і тимчасовими характеристиками кожного процесу (елемента) єдиного технологічного ланцюга.

Розглянемо процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині з погляду теорії множин [8,10,12-14]. Все родовище, поклад, рудне тіло або ділянка корисних копалин розіб'ємо на  $N$  елементарних блоків об'ємом  $V_i$ , які характеризуються якістю руди і корисної копалини  $C_i (i = 1, 2, \dots, N)$ . Якісні характеристики родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин представлені у вигляді деякого тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині впорядкованого у просторі безліччю елементів  $S = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ . За весь період  $T$  експлуатації родовища, покладу, рудного тіла або ділянки корисних копалин, безліч елементів  $S$  перетворюються в результаті гірничих робіт у деяке впорядковане у часі безліччю елементів  $W = (C'_1, C'_2, \dots, C'_N)$ , які характеризують вихідний потік руди і корисної копалини у рудній сировині і над елементами безлічі  $S$  здійснюється в результаті діяльності кар'єру чи залізничної шахти деяке функціональне перетворення

$$F : \begin{pmatrix} C_1, C_2, \dots, C_N \\ C_1, C_2, \dots, C_N \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Основним аналітичним апаратом для вивчення подібних перетворень є матриці. У розглянутій постановці процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині буде описуватися за допомогою матричного рівняння

$$C' = AC, \quad (2)$$

де  $C$  - матриця елементів  $C_i$ , що має один стовпець і  $N$  рядків;  $C'$  - матриця елементів  $C'_i$ , що має один стовпець і  $N$  рядків;  $A$  - квадратна матриця розміром  $N \times N$ .

Лінійне перетворення, яке описане за допомогою матриці  $A$ , представляємо як тимчасовий динамічний ряд послідовних елементарних перетворень, що пов'язані з виробничими процесами видобування руди і корисної копалини у рудній сировині. Якщо вихідним є безліч елементів

$S = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ , то для моменту часу, який відповідає відбійці руди і корисної копалини, перетворення матриці  $C$  полягає просто в перестановці елементів  $C_i$

$$C'_f = U_f C, \quad (3)$$

або

$$\begin{pmatrix} C'_{f_1} \\ C'_{f_2} \\ \cdot \\ \cdot \\ C'_{f_k} \end{pmatrix} = U_f \cdot \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ C_N \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Матриця  $U_f$  є матриця перестановок, елементи якої дорівнюють нулю або одиниці. Впорядкування по рядках у матриці  $C'_f$  відповідають впорядкуванню у часі в момент відбійки руди і корисної копалини. При доставці, підземному транспортуванні, підйомі і поверхневому транспортуванні тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $C'_f$  може піддаватися подальшим перетворенням того ж типу. Відбувається тимчасове перемішування елементів  $C'_i$ , які відносяться до одного або різних одиночних потоків руди і корисної копалини у рудній сировині. Сумарний ефект описується добутком матриць одного типу

$$U_f = U_f^k \cdot U_f^{k-1} \dots U_f^1, \quad (5)$$

і має такий вигляд

$$U_g = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_k & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_k & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \cdot & \dots & \alpha_k \end{pmatrix} \begin{matrix} N \text{ рядків,} \\ k \\ \end{matrix} \quad (6)$$

$N$ -стовпців,

де  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  - коефіцієнти зважування при акумуляції (додаванні);  $k$  - число акумулюючих елементів.

У найпростішому випадку, коли елементарні об'єми  $V_i$  однакові, всі  $\alpha_i$  дорівнюють  $1/N$ , тобто додавання (акумуляція) є середнім арифметичним. У загальному випадку

$$\alpha_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^N V_i}. \quad (7)$$

Рівняння, яке описує процес акумуляції, має вигляд

$$C_g = U_g C_f = U_g U_f C. \quad (8)$$

Розподіл будемо описувати елементарним лінійним перетворенням, матриця якого має вигляд (4,6). З інших елементарних перетворень враховуються ті, які відбуваються в межах об'ємів  $V_i$ . До них відносяться змішування руди і корисної копалини у рудній сировині, яке виражається матрицею  $U_p$ , і класифікація, яка описана матрицею  $U_q$ . Розглянуті типи лінійних перетворень  $U_f, U_g, U_h, U_p, U_q$  дозволяють повністю описати процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині за тривалий проміжок часу як результат послідовних трансформацій зазначеного виду. У найпростішому випадку матриця  $A$  може мати вигляд

$$A = U_q U_p U_h U_g U_f, \quad (10)$$

а процес формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині буде описуватися матричним рівнянням

$$C' = U_q U_p U_h U_g U_f C. \quad (11)$$

Якщо об'єми  $V_i$  визнати неподільними, то можна обмежити загальну модель виразом

$$C' = U_h U_g U_f C. \quad (12)$$

У загальному випадку, число співмножників у поданні матриці  $A$  значно більше, однак, всі вони зведені до комбінації розглянутих вище елементарних перетворень.

У реальних умовах вихідний тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $C$ , а також матриці перетворення  $A$  володіють стохастичними властивостями.

Це приводить до того, що тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині, який описується матрицею  $C'$ , представляє собою випадкову послідовність, ймовірнісні властивості якої пов'язані з ймовірнісною природою розміщення геологічних показників балансових запасів у надрах і зі стохастичними властивостями матриці перетворення  $A$ .

Отже, ймовірнісні характеристики тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $C'$  визначаються, з одного боку, властивостями вихідної якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $C$ , а з іншого боку - структурою матриці перетворення  $A$ .

Взаємний вплив цих складових матриць на якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $C'$  на різних періодах планування і видобування різних і пов'язаних в основному з вибором елементарних об'ємів  $V_i$ , для яких визначається якість  $C_i$  вихідного тимчасового динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині.

Аналіз матричного рівняння (4,6), дозволяє, обґрунтувати вибір методики оцінки якості руди і корисної копалини у рудній сировині на різних етапах планування.

З математичної точки зору, така оцінка, є вирішенням завдання умовного або безумовного прогнозування.

При генеральному плануванні (при проектуванні), об'єми одиничних елементів рудного потоку корисної копалини у рудній сировині, які відповідають елементам матриці  $C$  у рівнянні (4,6), порівнюються з об'ємами «сліпих рудних покладів» з глибоких горизонтів шахти або типів руди, які відпрацьовуються протягом тривалого часу.

Послідовність видобування балансових запасів цих об'ємів можна не враховувати, тоді матриця  $A$  набуває простого виду

$$C' = IC = C, \quad (13)$$

де  $I$  - одинична матриця.

Судячи з виду рівняння, завдання прогнозування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, зводиться до оцінки якості руди і корисної копалини у балансових запасах надр, безпосередньо до визначення елементів матриці  $C$ .

Залежно від кількості розвідувальних даних, оцінка знайдена статистичними або геостатистичними методами [18-20]. Для перспективного планування матричне рівняння буде записане у вигляді

$$C' = U_j C, \quad (14)$$

де  $U_j$  - матриця перестановок, елементи якої задані перспективним планом розвитку гірничих робіт.

Оцінка членів тимчасового динамічного ряду  $C'$  проведена шляхом визначення якості руди і корисної копалини у балансових запасах надр, з урахуванням планованих перестановок об'ємів  $V_i$ . Вибір математичних методів визначення оцінки і її похибок залежить від кількості розвідувальних даних.

При поточному плануванні, коли параметри систем розробки і розподіл об'ємів видобування по забоях відомі, модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, враховує процеси перестановки і акумуляції елементарних об'ємів рудних потоків корисної копалини у рудній сировині з різних забоїв. Матричне рівняння має вигляд

$$C' = U_g U_f C. \quad (15)$$

Матриця  $A$  при цьому буде задана аналітичною моделлю гірничих робіт. Оскільки, випадковими відхиленнями від нормативних параметрів гірничих робіт можна зневажити, матриця  $A$  стає детермінованою і носить явно виражений стохастичний характер, без обліку якого, умовне прогнозування втрачає смисл.

У цьому випадку, при оцінці  $C'$  використовуємо методи безумовного прогнозування, що базуються на моделях тимчасовий динамічний рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** При плануванні, в процесі формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині беруть участь всі елементарні перетворення, все різноманіття факторів, вплив яких на тимчасовий динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині заздалегідь передбачити неможливо.

Отримані залежності будуть використовуватися для побудови агрегованих тимчасовий динамічний рядів процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, якщо відомі характеристики вихідного основного ряду.

Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині в рудо потоках і дозволяє вірогідно оцінювати контрольовані якісні характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, істотно підвищуючи при цьому точність прогнозування.

#### *Список літератури*

1. **Аврамов В.Е., Азбель Е.И., Ефремова Н.И.** Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. Новосибирск, Наука, 1979.
2. **Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д.** Внутрикаторное усреднение железных руд. М., Недра, 1980.
3. **Бастан П.П., Азбель Е.И., Ключкин Е.И.** Теория и практика усреднения руд. М., Недра, 1979.
4. **Бокс Дж., Дженкинс Г.** Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир, 1974.
5. **Гудков В.М., Васильев В.М., Николаев К.П.** Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
6. **Добина А.С., Евстропов Н.А.** Стандартизация продукции в горнодобывающей промышленности. М., изд. ВИСМ, 1978.
7. Измерение качества продукции. Вопросы квалитетрии. **Под ред. А.В. Гличева.** М., Стандарт, 1971.
8. Геометризація родовищ корисних копалин. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямом «Гірництво» / **Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В.** та інші - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008. -367 с.
9. Инструкция по производству маркшейдерских работ. - М.: Недра, 1987. - 240 с.
10. **Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В.** Автоматизация маркшейдерских работ: Навчальний посібник. -2-е вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. - 344 с.
11. **Baranowski M.** Zastosowanie fotogrametrii w miernictwie podziemnym / M. Baranowski // Prz. gorniczy. - 1974. - Vol. 30. - № 11. - P. 571-577.
12. **Beyer C.** Erfahrungen beim Abbau eines 9m mächtigen Kohlenpfeilers um eine Schachtröhre / C. Beyer. - Budapest, 1972. - 236 p.
13. **Brinkmann E.** Dauerstandsverhalten von Holzpfeilern / E. Brinkmann, F. Neveling // Glückauf-Forsch. - Vol. 30. - 1969. - P. 85-87.
14. **Chambon C.** Einfluß der gebauten Mächtigkeit und der Teufe auf die Strebkonvergenz / C. Chambon // Bergb. - Wiss.(13). -1966. - P. 153-160.
15. **Chen C.T.** Visible and ultraviolet optical properties of single-crystal and polycrystalline hematite measured by spectroscopic ellipsometry / C. T. Chen, B. D. Caban // J.Opt.Soc.Amer. - Vol. 7. - 1981. - 240 p.
16. Deeper open pits // International Mining. - № 10. - 2009. - P. 52-55.
17. **Gorachard G.** Dispersions-equation coefficients for the refractive index and birefringence of calcite and quartz crystals / Gorachard Ghosh // Opt.Comm. - Vol.163. - 1999. -P. 95-102.
18. **Herzinger C.M.** Ellipsometric determination of optical constants / C. M. Herzinger, B. Johs, McGahan and J. A. Woollan. - 1995. - 123 p.
19. **Meier G.** Erkundung und Verwahrung tagesnaher Holraum in Sachsen / G. Meier // Gluckauf. -1997. - P. 241-245.
20. **Mie G.** Beiträge zur Optik trüber Medich Special kolloidaler / G. Mie // Metalsösungen. Ann. Phys. - B. 25. - 1998. - P. 377-445.