

6. **Драч І. В.** Ефективність балансування ротора автобалансуючими пристроями з сипкими робочими тілами і кульками малого діаметра / **І. В. Драч, В. П. Ткачук** // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 1. – С. 126–130.
7. **Решетов Д.Н.** Детали машин: Підручник – М.: Машиностроение, 1989. — 496 с.
8. **Докшанин С.Г., Трошин С.И.,** Детали машин и основы конструирования. Смазка деталей машин и смазочные устройства: учеб.-метод. пособие – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013.
9. **Русов В. А.** Спектральная вибродиагностика. – М.: Наука, 1996. – 243 с.
10. **В. П. Ройзман, С. А. Петрашук,** Вибрації в техніці та технологіях. - 2015. - № 3. - С. 117-122.

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

УДК 622.03-021.465:622'11

М. В. ШОЛОХ^{*}, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИРОДНО-ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ МІНЛИВОСТІ ВМІСТУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У НАДРАХ

Мета. У роботі розглянуто геостатистичні (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) методи оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах при поділу блоків на однорідні об'єми.

Методи дослідження. Оцінка блоків великого і малого розмірів з різним числом даних у блоках і за межами визначається по величині відносної похибки оцінок у порівнянні з фактично виміряними значеннями на відпрацьованих дільницях рудного тіла і покладах родовища. Порівняння точності результатів традиційних і геостатистичних методів оцінки фактору впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників надр не суперечить теорії оптимальної статистичної оцінки і використовується для моделі мінливості показників і окремих параметрів.

Наукова новизна. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників надр і в блоках, які складенні різнотипними корисними копалинами. Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах.

Практична значимість. Оцінка середнього значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників у надрах базується на дослідженні мінливості характеристики ознак, аналізі геометричних характеристик блоків дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів і параметрів розвідувальних мереж. Розрахунки показують, що для малих блоків дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. Для регулярних мереж опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Результати. Розглянуті дискретний, випадковий і універсальний крайгінг оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах більш ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюються. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках, які складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в тому, що поряд зі звичайними варіограмами вмісту якісних показників для кожного типу корисних копалин будується індикаторна варіограма.

Ключові слова: запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, крайгінг оцінки, індикаторні варіограми.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-62-68

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питаннями впливу мінливості вмісту якісних показників надр [1] і прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах займалися провідні вчені [2–5]. Запропоновано досить багато методів прогнозування, більшість з яких не є ефективними з погляду похибки оцінки вмісту якісних показників корисних копалин у надрах, оскільки не враховують характер мінливості показників об'ємно-якісних ознак. Завдання прогнозування середніх значень геологічних об'ємно-якісних ознак показників корисних копалин у надрах – найважливіша при реалізації функцій маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин. Застосування методів опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, що засновані на теорії випадкових функцій, дає задовільні результати для блоків малого розміру,

які недостатньо «освітлені» розвідувальними даними і з якими доводиться зустрічатися в умовах діючих гірничовидобувних підприємств.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання про ефективність застосування різних математичних методів моделювання і прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах розглядається у дослідженнях [4; 6–8]. До теперішнього часу отримані дані не дозволяють віддати перевагу традиційним або геостатистичним методам, що пов'язано, з недостатньо глибоким аналізом конкретних гірничо-геологічних умов використання.

Постановка завдання. Завдання оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках успішно вирішується рівняннями крайгінга і оцінкою величини дисперсії, якщо модель розміщення об'ємно-якісних ознак в просторі не містить закономірної складової $C_{\gamma}(X,Y,Z,t)$, а автокореляційна функція $K(h)$ або

власна функція $\gamma(h) = \frac{1}{2}S(h) = K(0) - K(\infty)$ задані. Існують варіанти реалізації методу в зазначених умовах [9–11].

Перший – пов'язаний з точним вирішенням системи рівнянь крайгінга (дискретний крайгінг), другий – з можливими спрощеннями, виходячи з фізичного смислу рівнянь (випадковий крайгінг). Спрощення рівнянь виникає, при ситуаціях, коли результат оцінки очевидний до проведення розрахунків.

Викладення матеріалу та результати. Якщо лінійні розміри блоку, який оцінюється має той же порядок, що і середня відстань між точками опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках. Тоді зрозуміло, що в оцінку блоку внесок внесуть лише ті проби, які ближче розташовані до центра блоку, який оцінюється, тобто вагові коефіцієнти проб, що відділенні від блоку дорівнюють нулю. Такий висновок підтверджується точним вирішенням системи рівнянь крайгінга, які враховують всі вихідні дані. Другий варіант пов'язаний з оцінкою порівняно великих блоків. У цьому випадку очікується, що всі проби, які перебувають у межах блоку, мають приблизно однакові ваги. Проби на периферії блоку залучаються в оцінку з однаковими вагами [12].

Таким чином, висновок про можливість спрощення рівнянь крайгінга, а і оцінки середнього значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках повинен базуватися як на дослідженні мінливості характеристики ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків дільниць рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів і параметрів розвідувальних мереж. Як показують розрахунки, для малих блоків способу розробки дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб [13–15]. У цьому випадку для регулярних мереж опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках розрахунки коефіцієнтів виконуються заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Подібні розрахунки для моделей мінливості об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, описаних схемами де Вейса і сферичною, наведені в [16]. Аналогічні приклади для експонентної схеми розглянуті в роботі [17]. При використанні комп'ютерних технологій для знаходження оцінок середніх значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках у випадках відхилень від стандартних умов алгоритмічно зручніше вирішується задаючи число проб, що беруть участь в оцінці, або межі ореола, у межах якого проби залучаються до оцінки. В обох випадках порядок системи рівнянь крайгінга не перевищує шести. Якщо лінійні розміри блоків перевершують середню відстань між пробами в декілька разів, а об'єми блоків набагато менші об'єму способу розробки дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища, у якому вони перебувають, то оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках буде спрощена. При цьому число проб, що попадають в блок оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках об'єму v , дорівнює n , а число всіх проб у межах способу розробки дільниць рудного тіла і покладу залізородного родовища V дорівнює N . Оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках визначається з виразу

$$\tilde{C} = \lambda \bar{C}_n + (1 - \lambda) \bar{C}_N, \quad (1)$$

де $\bar{C}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_k$ – середня арифметична оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках по пробах у середині блоку способом розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища v ; $\bar{C}_N = \frac{1}{N} = \sum_{m=1}^N C_m$ – середня арифметична оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках по пробах усього способа розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища V .

Припустивши, що проби в межах блоку v розташовані випадково і сам блок розташований випадково в способі розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища V (гіпотеза випадкового крайгінга), то вирази для оцінки і дисперсії природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках будуть мати вид

$$\lambda = \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n}\sigma_v^2}; \quad \sigma_k^2 = (\sigma_n^2 - \sigma_v^2) \left[1 - \frac{\sigma_n^2 - \sigma_v^2}{\frac{N}{N-n} \left(\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n} \right) \sigma_v^2} \right], \quad (2)$$

де $\sigma_n^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n K(|\bar{r}_k - \bar{r}_m|)$.

Якщо число проб N по всьому способі розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища корисних копалин V перевершує число проб n в середині блоку v , який оцінюється, то отримують наближені формули

$$\lambda \approx \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2}; \quad \sigma_k^2 = \left(1 - \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2} \right) \sigma_v^2 \quad (3)$$

Параметри оцінки і дисперсії крайгінга блоку v залежать від числа проб і від характеристик автокореляційної $K(r)$ або структурної $S(r)$ функцій. Таким чином, при оцінці великих і малих блоків способом розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища корисних копалин громіздкі рівняння крайгінга, що отримані у загальній теорії, значно спрощенні і розрахунки проведені при відсутності закономірної складової в розміщенні природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках $C(X, Y, Z, t)$.

При наявності тренда, всі розглянуті наближення стають неправомочними. У цьому випадку необхідно виділити тренд, використовуючи, метод найменших квадратів. Коефіцієнти рівняння тренда, обумовлені при цьому методі не зміщені, однак вони не мінімізують дисперсію, якщо відхилення значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках ознаки від тренда автокорельовані. При визначенні тренда досліджується відхилення на автокореляцію. При її наявності оцінки коефіцієнтів автокореляції, що обчислюється по різницях, будуть зміщеними.

Геостатистичні розрахунки для відхилень від тренда, що обумовлений методом найменших квадратів, можуть виявитися неефективними, тому необхідно враховувати автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда. Такий підхід до оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках є універсальний крайгінга. У такому обліку немає необхідності, якщо число точок опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках більше 100. У протилежному випадку варто видозмінити підхід до проблеми оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках, що приводить до рівнянь крайгінга [18].

Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках. Припустивши, що значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках представляються у вигляді

$$C = m(r) + R(r), \quad (4)$$

де $m(r)$ – закономірна складова (тренд); $R(r)$ – відхилення, що представляють значення реалізації стаціонарної випадкової функції природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках з нульовим математичним очікуванням, тобто

$$M[C(r)] = m(r) \text{ і } M[R(r)] = 0.$$

Рівняння тренда представляються у вигляді лінійної комбінації відомих функцій природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках $\varphi_k(x)$

$$m(r) = b_1\varphi_1(r) + b_2\varphi_2(r) + \dots + b_q\varphi_q(r). \quad (5)$$

Оптимальний вибір коефіцієнтів b_q і становить сутність універсального крайгінга. Якщо відоме значення показника C у точках r_i , тобто $C_i = C(r_i)$, причому число проб N перевершує число коефіцієнтів у рівнянні тренда $q(N > q)$. Тоді

$$C_i = m(r_i) + R(r_i); \quad (6)$$

$$m(r_i) = b_1\varphi_1(r_i) + b_2\varphi_2(r_i) + \dots + b_q\varphi_q(r_i), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

Оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках компонента $m(r)$ у точці r_0 знаходимо у вигляді лінійної комбінації

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{i=1}^N p_i C_i. \quad (8)$$

Умова не зміщення такої оцінки

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)] = 0. \quad (9)$$

Підставивши (6) і (8) в (9), отримаємо

$$\sum_{i=1}^N p_i \varphi_k(r_i) = \varphi_k(r_0), \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (10)$$

Додатковою умовою є вимога мінімуму дисперсії оцінки \tilde{m}

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)]^2 = \min. \quad (11)$$

Мінімізація дисперсії методом множників Лагранжа приводить до системи рівнянь універсального крайгінга

$$\sum_{j=1}^q Q_{ij} b_j = P_j, \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad (12)$$

де Q_{ij} – елементи матриці опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках Q з q рядками і N стовпцями, причому

$$Q = \Phi^T S^{-1} \Phi,$$

де $\Phi = \|\varphi_{ij}(x_i)\|$; Φ^T – матриця, транспонована стосовно матриці Φ ; S^{-1} – матриця, зворотна матриці коваріаційної функції відхилень у точках опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках S , елементи якої визначаються як

$$S_{ij} = M[R(r_i)R(r_j)], \quad i, j = 1, 2, \dots, N.$$

У свою чергу, P_j представляє собою елементи вектора-стовпця P

$$P = \Phi^T S^{-1} F,$$

де F – вектор-стовпець, елементи якого сутність значення показника C_i у точках опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках $r_i (i=1, 2, \dots, N)$.

Оцінку тренда в довільній точці r_0 знаходимо з виразу

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{k=1}^q \tilde{b}_k \varphi_k(r_0). \quad (13)$$

Для знаходження оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках в точці r_0 необхідно оцінити також компоненту $R(r_0)$. Проводячи крайгінг у відповідність до загальної теорії і враховуючи, що $M[R(r)] = 0$, отримується вираз оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках

$$\tilde{R}(r_0) = S_0 S^{-1} \tilde{R}, \quad (14)$$

де $S_0 = (S_{01}, S_{02}, \dots, S_{0N})$ – вектор-рядок, елементи якого $S_{0i} = M[R(r_i)R(r_0)]$; R – вектор-стовпець із елементами $f_i - \hat{m}(r_i)$.

Розглянуті геостатистичні методи оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) найбільш ефективні (по точності) в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюються. Однак на способі розробки дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища ці умови рідко виконуються, що приводить до необхідності поділу блоків на однорідні об'єми. Нами запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках, що складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в наступному. Поряд зі звичайними варіограмами вмістів якісних показників для кожного типу корисних копалини будуються індикаторні варіограми. Для цього вводимо індикаторні мінливості $I(x) = 1$, якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини даного типу і $I(x) = 0$, у випадку якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини іншого типу. Отже для n типів корисних копалин уведуться n індикаторних мінливих $I_i (i = 1, 2, \dots, n)$. Потім будуються варіограми для індикаторних мінливих. Після побудови моделі мінливості проводимо звичайний крайгінг індикаторних мінливих у заданому блоці. Отримані оцінки $I_1^*, I_2^*, \dots, I_n^*$ представляють відносні частки корисних копалин кожного типу в блоці.

Після оцінки результати уточнюються у такий спосіб. Мінімізується

$$\sum_{i=1}^n \omega_i [I_i - I_i^*] = \min$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + \dots + I_n = 1; \\ I_1 \geq 0; I_2 \geq 0; \dots; I_n \geq 0, \end{cases}$$

де ω_i – вагові коефіцієнти, які задані заздалегідь, у найпростішому випадку $\omega_i = \frac{1}{n}$.

У такій постановці остаточні оцінки I_i знаходяться методом квадратичного програмування. Якщо відомі варіограми для вмістів Z_i по кожному типу корисних копалин, то середній вміст якісних показників у блоці знаходиться таким же способом. Тобто спочатку визначається оцінка за допомогою крайгінга мінливості $Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*$, потім методом квадратичного програмування знаходяться остаточні оцінки Z_1, Z_2, \dots, Z_n , виходячи з виразу

$$\sum_{i=1}^n \omega_i (Z_i - Z_i^*)^2 = \min$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n l_i Z_i = Z; Z_i \geq 0,$$

де Z – оцінка крайгінга в блоці по усередненій варіограмі по всіх типах корисних копалин.

Для обґрунтування доцільності включення в систему маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин і залізорудної сировини найбільш ефективних (по точності) математичних методів прогнозування характеристик природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках на великому фактичному матеріалі по експлуатованих залізорудних родовищах було проведено порівняння розглянутих вище модифікацій крайгінга із трьома найбільш часто застосовуваними на

практиці традиційними методами: середньозваженого арифметичного; зі зважуванням назад пропорційно квадратам відстаней; зі зважуванням з урахуванням анізотропії.

У результаті порівняння встановлена залежність точності оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин, що отриманні різними методами від виду моделі, мінливості кількості інформації, розмірів і просторового співвідношення блоків, що оцінюється і розвідувальної мережі [19–21]. Дані порівняння методів прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках наведені в табл. 1. Розглянута оцінка блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами. Ефективність методів визначається по величині відносної похибки оцінок у порівнянні їх з фактично вимірними значеннями на відпрацьованих дільницях рудних тіл і покладів родовища залізистих кварцитів.

Таблиця 1

Порівняння методів прогнозування характеристик природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках

Вид моделі прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві і блоках	Похибка оцінок (%), що отриманні методами						
	Середньо зважене арифметичне	зважування назад пропорційно квадратам відстаней	зважування і облік анізотропії	дискретний крайгінг	випадковий крайгінг	універсальний крайгінг	індикаторний крайгінг
$C_{Fe_{загальне}} = C_T + C_K + C_C$	13,1	12,4	11,5	10,2	10,7	9,5	8,9
$C_{Fe_{магнетитове}} = C_K + C_C$	15,2	15,8	15,4	15,1	15,8	11,2	10,7
$C_{Fe_{окислене}} = C_K + C_C$	9,5	9,1	9,7	9,3	9,5	8,2	8,0

Примітка. C_T – тренд закономірної складової; C_C – некорельюєма випадкова складова, яка характеризується законом розподілу; C_K – корельюєма випадкова складова, яка представляється реалізацією стаціонарної випадкової функції і характеризується автокореляційною або структурною функцією.

Висновки та напрямок подальших досліджень. З наведених даних слідує, що універсальний крайгінг, що враховує автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда, дає помітно кращі результати для блоків малого розміру. При відсутності тренда методи оптимальної статистичної оцінки характеризуються меншою похибкою, величина якої залежить від відносного внеску C_K у загальну мінливість. Дискретний крайгінг дає тим меншу похибку у порівнянні з іншими методами, чим більше корельюємо випадкова складова. Результати, які отриманні всіма методами, по точності порівнянні, якщо випадкова складова C_C превалює. При оцінці якісних показників великих блоків випадковий крайгінг у порівнянні із середньозваженою арифметичною оцінкою дає кращі результати при наявності кореляційної складової C_K і за умови, що величина інтервалу кореляції порівнянна з лінійними розмірами блоку. При випадковому розміщенні ознаки обидва методи по точності оцінок дають фактично однакові результати. Запропонований індикаторний крайгінг є найбільш ефективним серед всіх методів (у тому числі і серед розглянутих геостатистичних) при оцінці якісних показників блоків, які складенні корисними копалинами різних типів. Порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках суперечить теорії оптимальної статистичної оцінки і може бути пояснена тільки невдалим вибором моделі мінливості показників або окремих її параметрів. Детальний аналіз мінливості показників і конкретних умов оцінки природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у надрах і блоках повинен завжди передувати обґрунтованому вибору математичного методу прогнозування.

Список літератури

1. Единые правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. (1987). М., Недра.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ (1987). – ВНИМИ. – М., Недра. – 240 с.
3. Kwa B. L. Mousset-Jones P. F. (1984). Indicator approaches to the mineral reserve estimation of a gold deposit in Nevada – In: 18 th Int. Symp. APCOM. London, p. 343–366.
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. (1974). Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир.
5. Гудков В. М., Васильев В. М., Николаев К. П. (1976). Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра.

6. Матерон Ж. (1968). Основы прикладной геостатистики. М., Мир.
7. Шолох Н. В. (1999). Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений. / Сб. научных трудов второго международного симпозиума «Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке». – Ялта. – С. 218–220.
8. Шолох М. В., Топчий О. Л. (2012). Прогнозування якісних показників корисних копалин при комплексному освоєнні родовища. / Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 32. – С. 241–245.
9. Шолох М. В., Сергєєва М. П. (2013). Моніторинг прогнозування показників корисної копалини родовища на основі стохастичного моделювання відосіблених і взаємозалежних динамічних рядів. / Сб. матеріалів міжнародної науко – техн. конференції. – Донецьк: ДонНГУ. – Вип. 3. – С. 47–52.
10. Шолох М. В. (2016). Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 101. – С. 49–55.
11. Шолох М. В. (2016). Методика визначення і нормування вмісту якісних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». – 160 с.
12. Sholokh M. V. (2017). Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals. / For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kyyvyi Rih. – s. 179.
13. Шолох Н. В. (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса / Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог. – Вип. 89. – С. 144–147.
14. Федоренко П. И., Шолох Н. В., Переметчик А. В. (2007). Выбор оптимальной методики оценки исходных геологических данных при прогнозировании качественных показателей железорудных месторождений. / Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог. – Вип. 91. – С. 102–106.
15. Sholokh M. V. (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. – С. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski». – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.
16. Sholokh M. V. (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering. – С. 132–135. / International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing». Book of Abstracts. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, –221 p.
17. Шолох Н. В. (2002). Оптимальные алгоритмы и программы для автоматизации построения горно-геометрических графиков. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 78. – Кривой Рог. – С. 179–182.
18. Шолох Н. В. (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 89. – Кривой Рог. – С. 144–147.
19. Шолох Н. В., Топчий А. Л. (2014). Формирование качества полезного ископаемого и рудного сырья горнорудных предприятий Кривбасса. / Збірник наукових праць «Гірничий вісник». – Науково-технічний збірник ДВНЗ «КНУ». – Випуск № 97. – Кривий Ріг. – 2014. – С. 26–30.
20. Шолох М. В. (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізородних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників–2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т. К. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
21. Шолох М. В. (2018). Нормування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів по ступеню підготовленості до видобутку. – С. 742–761. / The Second International scientific congress of scientists of Europe. – Proceedings of the II International Scientific Forum of Scientists «East–West» (May 10–11, 2018). Premier Publishing s. r. o. Vienna. 822 p. ISBN–13 978-3-903197-91-6; ISBN–10 3-903197-91-2.
22. Шолох М. В., Сергєєва М. П. (2018). Моделювання характеристик об'ємно-якісних показників потоків залізородної маси кар'єрів і шахт. / Зб. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг. – Вип. 103. – С. 17–22.
23. Шолох М. В. (2018). Моделювання прогнозної оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин. 274–287. / The 3rd International youth conference – Perspectives of science and education – (July 6, 2018) SLOVO\WORD, New York, USA. 2018. 524 p. ISBN 978-1-77192-403-0.

Рукопис подано до редакції 09.04.2019

УДК 666.125.016.1:669.017.1

В.А. ШАПОВАЛОВ, Л.Н. САЙГАРЕЄВ, Т.П. ЯРОШ, кандидати техн. наук, доценти
І. Е. СКІДІН, ст. викладач, Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ЕКОЛОГІЇ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Метою статті є аналіз прямого та опосередкованого впливу заходів з підвищення енерго- та ресурсоефективності ливарного виробництва на санітарно-екологічний стан у виробничих відділеннях та на підприємстві у цілому.

Методи. У результаті аналізу та бенчмаркінгу запропоновані заходи щодо зниження енергоемності виробничого процесу виготовлення виливок. Детально розглянуті та проаналізовані аспекти вирішення завдань екології та