7. Борьба с пылью в рудных карьерах / [Михайлов В.А., Бересневич П.В., Борисов В.Г. и др.]. – М. : Недра, 1981. – 262 с.
8. Способ контроля газового состава атмосферы после взрывов А.Е. Азаркович, Л.Г. Болховитинов, А.С. Зверев/ АС. СССР 1798649, Кл. G01N 1/22, Заявл. 25.09.90. Опубл. 28.02.93. Бюл. № 8.
9. Спосіб контролю складу атмосфери після вибухів А.С. Аралкин, Т.А. Комиссаренко / Патент України № 118217, бюл. №14, 25.07.2017
10. **Тыщук В.Ю.** Исследование удельного пылегазовыделения при массовых взрывах в карьерах и способы снижения вредных выбросов./ Тыщук В.Ю.// Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2010 (5), с.127–132.
11. Проблеми енергозбереження і механізації в гірничо-металургійному комплексі: Матеріали молодіжної науково-технічної конференції – Кривий Ріг: КНУ, 2019
12. **Берлянд М.Е.** Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
13. **Левин А.В.** О диффузии пылегазового облака в пограничном слое атмосферы // Тр.УкрНИИГМИ, вып. 150, 1976, с. 8-10.
14. Методика расчета выбросов вредных веществ карьеров с учетом нестационарности их технологических процессов. – Кривой Рог, ВНИИБТГ, 1989. - 57 с.
15. **А.В. Звягинцева, А.Ю. Завьялова.** Анализ основных технологических и инженерно-технические мероприятия, направленные на сокращение пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах горно-обогатительного комбината. //Гелиогеофизические исследования - 2015.

Рукопис подано до редакції 05.11.2019

УДК 553.04-047.58:622.03

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗНОЇ ОЦІНКИ МІНЛИВОСТІ ВМІСТУ ЯКІСНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У МАСИВІ І РОЗПУШЕНІЙ ЗАЛІЗОРУДНІЙ МАСІ

Мета. Метою даної роботи є моделювання динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Побудова моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

Методи дослідження. Розглянуто підходи для моделювання взаємозалежних динамічних рядів мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізольованих рядів. Для моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників використано метод найменших квадратів. Побудовано адаптивну і дискретну лінійну модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин множинної регресії та алгебраїчного критерію стійкості.

Наукова новизна. Запроєктовано рекомендації технології прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин окремих рівнів залізорудної маси з невеликими інтервалами дискретності. Розглянуто приклади визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик ознак і розрахунок прогнозних оцінок вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізорудній масі. Для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин відособлених рядів вмісту якісно-технологічних показників залізорудної маси використано дільниці рудного тіла і покладів родовищ Кривбасу.

Практична значимість. Рекомендована методика моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і побудова моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин динамічних рядів, обмежується двома взаємозалежними динамічними рядами вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

Результати. Розглянуті моделі прогнозування характеристик ознак мають високоадаптивні властивості, високу точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. За рахунок статистичного аналізу інформації прогнозування характеристик ознак окремих рівнів залізорудної маси, які пов'язанні технологічними процесами досягнуто узагальнення методів прогнозування ізольованих рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на взаємозалежні.

Ключові слова: моделювання, об'ємно-якісні показники, динамічні ряди, родовище, залізисті кварцити.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-46-53

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі є моделювання прогнозової оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних показників і процесів його формування. Виділяється статичний і динамічний методи моделювання. За допомогою статичних моделей вивчається природно-просторове розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі. Динамічна модель використовується для опису природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізорудній масі.

Аналіз досліджень і публікацій. З поставлених завдань і форм подання даних виділяється два підходи і до вирішення проблеми моделювання природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі [1–3]. *Перший* (аналітичне моделювання) полягає у знаходженні аналітичного виразу, який описує природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у просторі і часі, а *другий* (матричне або цифрове моделювання) – пов'язаний з відновленням значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників у фіксованих точках і об'ємах, які розташовані у вузлах регулярної мережі.

Постановка завдання. Для прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі проводиться аналітичне моделювання у такий спосіб. Якщо для визначення, $M_1, M_2, \dots, M_n$ – точок площини XOY , що лежать у деякій області D , у якій вимірюються значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, $C_1, C_2, \dots, C_n$. Залежно від призначення моделювання, характеру вимірюваних значень C аналітичне моделювання представляє собою завдання інтерполяції або згладжування і у інтерполяційній постановці знайдеться функція $U(X, Y, Z, t)$, щоб виконувалась умова

$$\sum_{i=1}^n [U(X_i, Y_i, Z_i) - C_i]^2 = 0, \quad (1)$$

де X_i, Y_i, Z_i – координати точки M_i .

Викладення матеріалу та результати. Умова (1) представляє собою критерій точного проходження поверхні топографічного порядку $U(X, Y, Z, t)$ через вузли інтерполяції (X_i, Y_i) . Підбір $U(X, Y, Z, t)$ за умови (1) здійснюється числом способів і щоб завдання інтерполяції мало однозначне рішення, вводяться обмеження на клас функцій, які використовуються при моделюванні поверхонь топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Обчислення використовується для аналітичного моделювання метода поліноміальної інтерполяції [4–6]. Інтерполяційна поверхня топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, $U=U(X, Y, Z, t)$, що задовольняє критерію (1), має властивості закінченості, однозначності, безперервності, плавності і при цьому використовується функціонал виду

$$I_\beta(U) = \iint_D \left[\left(\frac{d^2 U}{dx^2} \right)^2 + \beta \left(\frac{d^2 U}{dx dy} \right)^2 + \left(\frac{d^2 U}{dy^2} \right)^2 \right] dx dy. \quad (2)$$

Умова $I_{\beta=1} = \min$ відповідає мінімізації площі поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, $U(X, Y, Z, t)$, а мінімізація $I_{\beta=2}$ – мінімальній середній швидкості мінливості кутів нахилу поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, і у одновірному випадку

$$\int_a^b \left| \frac{d^2 U}{dx^2} \right|^2 dx = \min \quad (3)$$

виражає умову мінімуму середньої кривизни лінії поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, $U=U(X)$ на відрізку $[a, b]$. Функція поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, яка задовольняє критерію точного проходження через вузли інтерполяції [вираз (1)] і умовам закінченості, однозначності, безперервності і плавності [вирази (2) і (3)], представляє собою «склеєні» поліноми невисокого порядку поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, – сплайн-функції. Розглянемо методи сплайн-інтерполяції, які використовуються для маркшейдерського забезпечення управління природно-просторовим розміщенням мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпущеної залізорудної маси. Аналітичне моделювання поверхонь топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у тих випадках, коли розміщення ознаки у просторі не носить яскраво вираженого закономірного характеру або його вимірювання у точках (X_i, Y_i, Z_i) проведені з похибками, розглядається як завдання згладжування. При цьому критерій (1) замінюється умовою

$$\sum_{i=1}^n [U(X_i, Y_i, Z_i) - C_i]^2 = \min. \quad (4)$$

Знаходження функцій поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, $U(X, Y, Z, t)$ за умови (4) є метод найменших квадратів і апроксимуюча поверхня топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, представляється у вигляді лінійної комбінації

$$U(X, Y, Z) = \sum \alpha_i \varphi_i(X, Y, Z), \quad (5)$$

де $\{\varphi_i(X, Y, Z)\}$ – система лінійно незалежних функцій поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом $\{X^i\}$; m – порядок багаточлена у правій частині виразу (5), причому $m < n$; коефіцієнти α_i визначаються із системи рівнянь, які отримані з умови мінімуму (4).

На основі методу найменших квадратів виділяється тренд, яким описується поліномом невисокого порядку ($m=1, 2, 3$), з чутливістю методу до нерівномірного розташування точок вимірювання M_i поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Аналогічно із завданням інтерполяції при згладжуванні вмісту якісно-технологічних показників визначається додатковий мінімум $I_{\beta=1}(U)$ поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Оптимальне згладжування здійснюється за допомогою двовимірних сплайнів [7], а згладжування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів виникає у зв'язку з наявністю випадкової складової ознаки у природно-просторовому розміщенні мінливості вмісту якісно-технологічних показників. Чисельні теоретичні і експериментальні дослідження мінливості вмісту якісно-технологічних показників характеристик дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища балансово-промислових запасів проведені в [8–10], показали, що природно-просторове розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів описується виразом

$$C(X, Y, Z, t) = C_m(X, Y, Z, t) + C_c(X, Y, Z, t) + C_k(X, Y, Z, t), \quad (6)$$

де $C_m(X, Y, Z, t)$ – тренд закономірної складової; $C_c(X, Y, Z, t)$ – некорельована випадкова складова, яка характеризується законом розподілу; $C_k(X, Y, Z, t)$ – корельована випадкова складова, яка представляє собою реалізацію стаціонарної випадкової функції поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, і характеризуємо автокореляційною чи стру-

ктурною функцією вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів.

Локальне згладжування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів на регулярній мережі, що використовується для побудови числових моделей на основі комп'ютерних технологій, базується на статистичній ідеї зваження результатів спостережень у сусідніх точках, тобто значення ознаки поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, у довільній точці поля (X, Y, Z, t) знаходимо з виразу

$$\tilde{C}(X, Y, Z, t) = \sum_{k=1}^n p_k C_k. \quad (7)$$

Оскільки коефіцієнти згладжування p_k залежать від застосовуваного методу згладжування, тому підсумується лише значення C_k , координати яких попадають у вікно згладжування і на основі методів теорії випадкових функцій визначається коефіцієнт p_k .

Якщо оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом C має мінімальну похибку серед всіх лінійних оцінок типу (7), то умова (4) замінюється умовою мінімуму дисперсії оцінки

$$D[C - \tilde{C}] = \min. \quad (8)$$

В залежності від взаємного розташування точок поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом (X, Y, Z, t) і (X_k, Y_k, Z_k, t) у виразі (7) виконується завдання оптимальної статистичної інтерполяції або екстраполяції [11; 12]. Результати вирішення завдання використовуються для прогнозування динамічних рядів, а оптимальна статистична оцінка узагальнена у такий спосіб. Знаходження оцінки середнього значення ознаки поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, $C(X, Y, Z, t)$ у деякому об'ємі V за результатами n вимірювань вмісту якісно-технологічних показників у прилеглих точках $M_1, M_2, \dots, M_n$ у припущенні, що оцінка величини

$$\bar{C} = \frac{1}{V} \iiint_V C(X, Y, Z, t) dx dy dz dt \quad (9)$$

має лінійний вигляд [вираз (7)], закладається виконання умови (8), замінюючи C на $\bar{C}$. Мінімізація дисперсії приводить до рівнянь крайгінга [13; 14]

$$\sum_{i=1}^{n-1} p_i R_{ij} = A_j, \quad j = 1, 2, \dots, n-1, \quad p_n = 1 - \sum_{j=1}^{n-1} p_j, \quad (10)$$

де $R_{ij} = K_{ij} + K_{mn} - K_{ni} - K_{nj}$; $A_j = K_{vj} - K_{vn} + K_{mn} - K_{nj}$; $K_{ij} = K(r_{ij})$; $K_{vj} = \frac{1}{V} \iiint_V K(r_j) dV$; r_{ij} – відстань між точ-

ками поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом M_i і M_j ; r_j – відстань між точкою M з поточними координатами і точкою M_j . Визначення дисперсії оптимальної оцінки отримується з формули

$$\sigma_n^2 = D[\bar{C} - \tilde{C}] = K_{VV} + K_{nn} - 2K_{Vn} - \sum_{i=1}^{n-1} p_i A_i, \quad (11)$$

де $K_{VV} = \frac{1}{V^2} \iiint_V \iiint_V K(r') dV dV'$; r' – відстань між двома точками поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом з поточними координатами, які належать об'єму V . Об'ємне завдання зводимо до точкового і групуємо об'єм V у точку M_0 , будемо мати

$$\bar{C} \rightarrow f(M_0); \quad K_{vj} \rightarrow K_{0j}; \quad K_{VV} \rightarrow K(0). \quad (12)$$

Загальний вираз (10) на підставі умов (12) використовується для прогнозування значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізородній масі. Якщо у

виразі (6) переважним компонентом є закономірна складова C_T , то побудову моделюючої поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, проводимо методом інтерполяції, виходячи з умов (1) і (2), а при наявності компонентів C_T і C_c і рівномірному опробуванні методом тренд-аналізу. Внесення у мінливість моделюючого поля вмісту якісно-технологічних показників корельованої випадкової складової C_k методом прогнозування є оптимальна статистична оцінка, при якій якісні показники вирішення завдання оцінки залежить від дослідження природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників дільниць рудного тіла і покладу залізрудного родовища і вибору апроксимуючої моделі природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом автокореляційної функції. У відповідності з загальним підходом до завдань моделювання і прогнозування вирішується кількісна оцінка просторової і тимчасової мінливості природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників. Вираз (6) і загальне рішення завдання прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин методами теорії випадкових функцій (7)–(11), використовується як характеристика мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів автокореляційну або структурну функції поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом [13; 14]. Якщо моделюєме поле ознаки є випадковим однорідним з кінцевим математичним очікуванням і дисперсією, то між автокореляційною $K(h)$ і структурною $S(h)$ функціями справедливе співвідношення

$$2K(h) = S(\infty) - S(h) \quad \text{або} \quad S(h) = 2K(0) - 2K(h), \quad (13)$$

де $K(h) = M[(C(x) - m)(C(x + h) - m)]$; $S(h) = M[(C(x) - C(x + h))^2]$.

Вибір функції при оцінці мінливості природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізрудній масі не є принциповим і при зроблених припущеннях визначається обчисленням процедур при знаходженні оцінок і підборі аналітичної апроксимуючої залежності. Оцінка структурної функції краща, тому що для неї визначаються числові параметри за результатами експериментальних даних природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Оцінка $S(h)$, якщо розвідувальна мережа регулярна і відомі значення характеристики ознаки вмісту якісно-технологічних показників $C(X_i, Y_i, Z_i, t)$ у вузлах прямокутної мережі поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом з розмірами елементарного осередку $h_x \times h_y$. Тоді оцінка $S(h)$ для чотирьох різних напрямів буде визначена за формулами

$$\begin{aligned} \text{у напрямку } (\bar{h}_x) \quad \tilde{S}(kh_x) &= \frac{1}{N_x} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(X_{i+k}, Y_i, Z_i, t)]^2; \\ \text{у напрямку } (\bar{h}_y) \quad \tilde{S}(lh_y) &= \frac{1}{N_y} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(X_i, Y_{i+l}, Z_i, t)]^2; \\ \text{у напрямку } (\bar{h}_x + \bar{h}_y) \quad \tilde{S}(mh_d) &= \frac{1}{N_{xy}} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(X_{i+m}, Y_{i+m}, Z_i, t)]^2; \\ \text{у напрямку } (\bar{h}_x - \bar{h}_y) \quad \tilde{S}(nh_\alpha) &= \frac{1}{N_{yx}} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(Y_{i=m}, Y_{i-m}, Z_i, t)]^2, \end{aligned} \quad (14)$$

де $h_\alpha = \sqrt{h_x^2 + h_y^2}$ – довжина діагоналі елементарного осередку регулярної розвідувальної мережі; N – число додатків під знаком суми у напрямку h_α .

Оцінка структурної функції (варіограми) $S(h)$ вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів побудовані для різних напрямів поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом несуть інфо-

рмацію про мінливість характеристик поля, які необхідні при вирішенні завдання про оцінку вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і її похибки у довільній точці поля або у заданому об'ємі. Розбіжності варіограм, які побудовані для різних напрямів поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом виявляється геометрична, зональна і функціональна анізотропії [15]. При наявності всіх трьох типів анізотропії апроксимація варіограм буде складною. Справа у тім, що при аналізі експериментальних варіограм враховується, що функціональна анізотропія вказує на наявність закономірної складової (тренд) у розміщенні вмісту якісно-технологічних показників і вона проявляється у різкому зростанні $S(h)$ на значних відстанях. Геометрична анізотропія проявляється у подібності варіограм для взаємно перпендикулярних напрямів, причому коефіцієнт подібності дорівнює коефіцієнту анізотропії, а наявність зональної анізотропії пов'язана з різним масштабом мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів для різних напрямів, тобто значення $S(h)$ відрізняє одна від одної на більших відстанях поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Частина, яка залишається, характеризує анізотропну складову мінливості вмісту якісно-технологічних показників. Апроксимація варіограм проводиться за допомогою однієї з моделей, які наведені у [11] і при цьому керуються особливостями тих завдань, для вирішення яких використана структурна функція $S(h)$ поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом.

Знаходження оптимальної оцінки середнього природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у блоці апроксимується $S(h)$ на великому інтервалі мінливості h і використанні експонентної моделі мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Завдання інтерполяції, які виникають при кресленні ізоліній за допомогою програм комп'ютерних технологій, полягають у тому, що треба апроксимувати $S(h)$ у околиці нуля, на відстанях, менших кванту опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і для цього підходить ступенева модель [9–11]

$$S(h) = 2\sigma_0^2 h^k \quad (0 \leq k \leq 2). \quad (15)$$

Перевагами ступеневої моделі є те, що показник у рівнянні структурної функції поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом характеризує ступінь регулярності просторової мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізородній масі. Чим ближче k до нуля, тим вище частка випадкової складової мінливості. При $k=2$ випадкова складова відсутня і при цьому у рівнянні структурної функції (15) відсутня константа «ефекту самородків». Для визначення параметрів рівняння (15) представляється оцінка варіограм $S(h)$ у логарифмічному масштабі по обох вісях і оцінка параметра k є тангенс кута нахилу графіка $S(h)$ до горизонтальної вісі. Розрахунок параметрів σ_0^2 і k для експериментальних варіограм і для регулярних мереж опробування вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів, оцінка структурних функцій при нерівномірному опробуванні має свої особливості. Для оцінки варіограми будується гістограма мінливих відстаней h між всіма можливими парами точок (M_i, M_j) з використанням середньої відстані h_{cp} [4–6], квадрати різниць $[C(M_i) - C(M_j)]^2$ для всіх пар, які попадають у один розряд, поєднуються і усереднюються природно-просторове розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів. Усереднення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів є правочинним, так як відстані між сусідніми точками розподілені рівномірно на відрізьку $[0, h_{cp}]$.

Висновки та напрям подальших досліджень. Вибір математичних методів моделювання поверхні ліній топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості

вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, які обмежують гірничо-геологічні об'єкти, визначається апіорним характером залежності між координатами характерних точок поверхні ліній топографічного порядку, що отриманні у результаті маркшейдерських вимірювань і зйомок, або у результаті виділення однорідних геологічних об'єктів за даними координат точок опробування вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі. Найпоширенішою ситуацією є відсутність випадкових компонентів, а у найгіршому – закономірна мінливість однієї з координат поверхні або ліній топографічного порядку залежно від супроводження випадковими похибками вимірювання. Моделювання зводиться до побудови інтерполяційної поверхні або ліній топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом з обмеженнями на плавність. При постановці завдань достовірні результати отримуються при використанні інтерполяційних сплайн-функцій. Інтерполяція за допомогою сплайнів відповідає меті графічного моделювання, а використання сплайн-функцій при моделюванні границь гірничо-геологічних об'єктів має переваги у порівнянні із традиційними методами інтерполяції.

Список літератури

1. Сборник руководящих материалов по охране недр (1973). – М., Недра.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ (1987). – ВНИМИ. – М., Недра. – 240 с.
3. **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. 2018. 822 p. ISBN–13 978-3-903197-91-6; ISBN–10 3-903197-91-2.
4. **Шолох М.В.** (2018). Ефективність методів прогнозування об'ємно-якісно-технологічних показників корисних копалин у надрах. / 36. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 119–125. ISSN 2306-5435.
5. **Шолох М.В.** (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізорудних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників – 2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т. К. – 2018. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
6. **Шолох М.В., Сергєєва М.П.** (2018). Моделювання характеристик об'ємно-якісно-технологічних показників потоків залізорудної маси кар'єрів і шахт. / 36. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 17–22. ISSN 2306-5435.
7. **Шолох Н.В.** (1999). Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений. / Сб. науч. трудов второго международного симпозиума / 12–17 июля 1999. / Оперативный контроль и управлением качества минерального сырья при добыче и переработке. – Ялта. – С. 151–153.
8. **Шолох Н.В.** (2002). Оптимальные алгоритмы и программы для автоматизации построения горно-геометрических графиков. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 78. – Кривой Рог. – С. 179–182.
9. **Шолох Н.В.** (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 89. – Кривой Рог. – С. 144–147.
10. **Шолох М.В.** (2015). Моделювання процесів формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині рудного потоку. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 100. – С. 111–116.
11. **Шолох М.В.** (2018). Моделі і критерії оптимізації якісно-технологічних показників видобутку магнетитових роговиків. – С. 65–78. / The 6th International conference - Science and society – (August 3, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2018. 250 p. ISBN 978-1-77192-360-6.
12. **Шолох М.В.** (2018). Моделювання прогнозної оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних 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.
13. **Sholokh M.V.** (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.
14. **Sholokh M.V.** (2018). Estimation of content of quality indexes of minerals in array of rogitinums of magnetite and in stream of iron-ore mass. 180–208. / Resources and resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroșani. Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – 363 p. 180–208. ISBN 978-973-741-592-9.
15. **Sholokh M.V., Sholokh S.M., Sergieieva M.P.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the Earth. 415–438. / Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 439 p. ISBN 978-954-353-351-0.

Рукопис подано до редакції 01.11.2019