

# МАРКШЕЙДЕРСЬКЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ ЯКІСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПРИ РОЗРОБЦІ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ

*М.В. Шолох, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», Україна*

Розглянута прогнозна оцінка середніх значень вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків і реалізація функцій маркшейдерського забезпечення робіт при управлінні вмістом якісних ознак корисних копалин у залізорудній масі. Узагальнено методи нормування балансово-промислових запасів при видобутку і управлінні якісними показниками при розробці магнетитових роговиків. Для зменшення зсув мінливості оцінок значення вмісту якісних показників корисних копалин у блоці масиву магнетитових роговиків рекомендовано методику універсального крайгінга.

**Вступ.** Прогнозна оцінка середніх значень вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів – реалізація функцій маркшейдерського забезпечення робіт при управлінні мінливістю вмістом якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси. В даний час запропоновано багато методів її вирішення, більшість з яких не є ефективними з погляду похибки оцінки, оскільки не враховують характер мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів [1]. Методи, які засновані на теорії випадкових функцій, дають задовільні результати для блоків малого розміру, що недостатньо «освітлені» розвідувальними даними, з якими доводиться зустрічатися в умовах діючих гірничовидобувних підприємств [2].

**Стан питання.** Характеристика вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів вирішена рівняннями крайгінга і оцінкою величини дисперсії, якщо модель розміщення ознаки у просторі поверхні топографічного порядку не містить закономірної складової, а автокореляційна функція задана [3,4]. Варіанти реалізації методу у зазначених умовах наступні: перший пов'язаний з точним вирішенням системи рівнянь крайгінга (дискретний крайгінг), другий – з можливими спрощеннями, виходячи з фізичного смислу рівнянь (випадковий крайгінг). Спрощення рівнянь використаємо, коли результат оцінки очевидний до проведення розрахунків і лінійні розміри блоку мають той же порядок, що і середня відстань між точками опробування вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків.

**Невирішена частина проблеми.** Для оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів блоку використано проби, які ближче всього розташовані до центра оцінки блоку, тобто вагові коефіцієнти проб, що вилученні з блоку, будуть дорівнювати нулю, що підтверджено рішенням системи рівнянь крайгінга, які враховують всі вихідні дані. Другий варіант пов'язаний з оцінкою порівняно більших блоків і у цьому випадку очікуємо, що всі проби, які перебувають у межах блоку, мають приблизно однакові ваги, а проби на периферії блоку, що увійдуть у оцінку з однаковими вагами, відмінними від ваг для проб у середині блоку.

**Метою** нашого виступу є спрощення рівнянь крайгінга і оцінки середнього значення вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків, що базуємо як на дослідженні мінливості вмісту якісних показників, так і на аналізі оцінок геометричних характеристик блоків і параметрів розвідувальних мереж. У цьому випадку для регулярних мереж опробування магнетитових роговиків балансово-промислових запасів і реалізації функцій маркшейдерського забезпечення робіт при прогнозуванні і управлінні вмістом якісних ознак корисних копалин у залізорудній масі. Розрахунки коефіцієнтів проводимо заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб [3,5,6].

**Постановка задач.** Розрахунки для моделей мінливості вмісту якісних показників описані схемами де Вейса і сферичною [5]. Приклади для експонентної схеми розглянуті у [7].

Використання комп'ютерних технологій для визначення оцінок середніх значень мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у блоках магнетитових роговиків балансово-промислових запасів випадкових відхилень від стандартних умов алгоритмічно вирішуємо рівняння [4,8], задаючи число проб, які беруть участь у оцінці. Порядок системи рівнянь крайгінга мінливості вмісту якісних показників не перевищує шести.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Припустивши, що лінійні розміри блоків перевершують середню відстань між пробами у декілька разів, а об'єми блоків набагато менші об'єму діляниць родовища магнетитових роговиків, то реалізація функції маркшейдерського забезпечення робіт при прогнозуванні і управлінні вмістом якісних показників корисних копалин у залізородній масі оцінка буде спрощена. Число проб, що попадає у блок оцінки об'єму  $v$ , дорівнює  $n$ , а число всіх проб у межах поля об'ємом  $V$  дорівнює  $N$ , то для оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища використаємо вираз:

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

де  $\bar{C}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_k$  – середня арифметична оцінка вмісту якісних показників по пробах у середині блоку об'ємом  $v$  масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища;  $\bar{C}_N = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N C_m$  – середня арифметична оцінка вмісту якісних показників по пробах усього поля об'ємом  $V$  масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища.

У зв'язку з тим, що проби у межах блоку об'ємом  $v$  і сам блок у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища розташовані випадково у полі об'ємом  $V$  (випадковий крайгінг), то вираз для  $\lambda$  і дисперсії 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  $\sigma_n^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n K(|\bar{r}_k - \bar{r}_m|)$ , а  $\sigma_v^2$  визначаємо з виразу [8].

Якщо число проб  $N$  по всьому полю об'ємом  $V$  перевершує число проб  $n$  у середині блоку об'ємом  $v$ , то для оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів використаємо 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 мінливості вмісту якісних показників корисних копалин і дисперсії крайгінга у блоці об'ємом  $v$  масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища залежать від числа проб, характеристик автокореляційної  $K(r)$  або структурної  $S(r)$  функцій [6,9,10]. При оцінці великих і малих блоків громіздкі рівняння крайгінга, які отримані, спрощуємо. Розрахунки проводимо при відсутності закономірної складової у розміщенні ознаки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин  $C(X,Y,Z,t)$  і при наявності тренда система рівнянь всі розглянуті наближення стають неправомочними, виділяємо тренд, використавши, метод найменших квадратів. Коефіцієнти рівняння тренда, обумовлені по цьому методу не зміщені, але вони не мінімізують дисперсію, якщо відхилення значень ознаки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин від тренда автокорельовані. При визначенні тренда досліджуємо відхилення на автокореляцію, а при наявності оцінки мінливості коефіцієнтів автокореляції, які обчислюємо по різницях, будуть зміщеними.

Геостатистичні розрахунки для відхилень від тренда, який обумовлений методом найменших квадратів – неефективні, при цьому враховуємо автокореляцію відхилень при

підборі рівнянь тренда. Такий підхід – універсальний крайгінг. Таким чином у такому обліку немає необхідності, а якщо число точок опробування вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища більше 100, треба видозмінити підхід до проблеми оцінки, яка приводить до рівнянь крайгінга [7].

Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок мінливості і тоді значення мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у блоці масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища представляємо у вигляді:

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

де  $m(r)$  – тренд закономірної складової мінливості;  $R(r)$  – відхилення, що представляють значення реалізації стаціонарної випадкової функції з нульовим математичним очікуванням, тобто  $M[C(r)] = m(r)$  і  $M[R(r)] = 0$

Тренд представляємо у вигляді лінійної комбінації функцій  $\varphi_k(x)$ :

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

Вибір оптимальних коефіцієнтів  $b_q$  становить універсальний крайгінг. При відомому значенні мінливості показника  $C$  у точках  $r_i$  блоку масиву магнетитових роговиків, тобто  $C_i = C(r_i)$ , число проб  $N$  перевершує число коефіцієнтів у рівнянні тренда  $q(N > q)$ . Тоді:

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

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

Оцінюючи компонент  $m(r)$  у точці  $r_0$  блоку масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища визначаємо лінійну комбінацію мінливості у вигляді:

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

Умовна сталість такої оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин є:

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

Підставивши (6) і (8) у (9), отримаємо:

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

Мінімум дисперсії оцінки  $\tilde{m}$  мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища є вимога додаткової умови:

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

Методом множників Лагранжа мінімізація дисперсії приводить до системи рівнянь універсального крайгінга мінливості вмісту якісних показників корисних копалин:

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

де  $Q_{ij}$  – елементи матриці  $Q$  з  $q$  рядками і  $N$  стовпцями, причому  $Q = \Phi^T S^{-1} \Phi$ , де  $\Phi = \|\varphi_{ij}(x_i)\|$ ;  $\Phi^T$  – матриця, транспонована стосовно матриці  $\Phi$ ;  $S^{-1}$  – матриця, зворотня матриці коваріацій відхилень у точках  $S$  опробування вмісту якісних показників корисних копалин у блоці масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища, елементи якої визначаємо як  $S_{ij} = M[R(r_i)R(r_j)]$ , де  $i, j = 1, 2, \dots, N$ .

При цьому,  $P_j$  представляє собою елементи вектора-стовпця  $P = \Phi^T S^{-1} F$ , де  $F$  – вектор-стовпець, елементи якого є сутність значення мінливості показника  $C_i$  опробування вмісту якісних ознак корисних копалин у точках  $r_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) блоку масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища, а оцінку тренда у довільній точці  $r_0$  блоку масиву магнетитових роговиків знаходимо з виразу:

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

де  $b_k$  визначаємо з рівняння (12).

Оцінку компоненту  $R(r_0)$  для знаходження мінливості показника вмісту якісних ознак корисних копалин у точці  $r_0$  блоку масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища виконуємо у такий спосіб. Привівши крайгінг у відповідність до загальної теорії і враховуючи, що  $M[R(r)] = 0$ , отримаємо вираз для оцінки мінливості показника вмісту якісних ознак корисних копалин у масиві магнетитових роговиків:

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

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  $f_i - m(r_i)$ .

Геостатистичні методи оцінки мінливих вмісту якісних показників корисних копалин у блоках масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища дискретний, випадковий і універсальний крайгінг ефективні по точності в умовах статистичної однорідності блоків, які підлягають оцінці. На «сліпих покладах» глибоких горизонтів ці умови виконуються рідко, що приводить до необхідності поділу блоків на однорідні об'єми [6,8,11]. Модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг дозволяє одержати геостатистичну оцінку мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у блоках магнетитових роговиків родовища, які складенні різнотипними корисними копалинами.

Сутність методу полягає у тому, що варіограми вмісту якісних показників для кожного типу корисних копалин будують індикаторні варіограми. Для  $n$  типів корисних копалин вводимо  $n$  індикаторних мінливих вмісту якісних показників  $I_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) будують варіограми для індикаторних мінливих вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища, а після побудови моделі мінливості проводимо звичайний крайгінг індикаторних мінливих у заданому блоці. Оцінки  $I_1', I_2', \dots, I_n'$  представляють собою відносні частки мінливих вмісту якісних показників корисних копалин кожного типу у блоці масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища. Після оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у блоках результати уточнюємо у такий спосіб: мінімізуємо

$$\sum_{i=1}^n \omega_i [I_i - I_i'] = \min \quad (15)$$

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  $\omega_i$  – вагові коефіцієнти, які задані заздалегідь, у

випадку  $\omega_i = \frac{1}{n}$ . Оцінку  $I_i$  у такій постановці знаходимо методом квадратичного програмування.

Відомі варіограми для вмістів якісних показників  $Z_i$  по кожному типу корисних копалин і середній вміст якісних показників корисних копалин у блоці масиву магнетитових роговиків знаходимо способом визначення оцінки за допомогою крайгінга мінливості  $Z_1', Z_2', \dots, Z_n'$ , а потім методом квадратичного програмування знаходимо остаточні оцінки  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ , мінливих вмісту якісних показників корисних копалин кожного типу у блоці масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища з виразу:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i (Z_i - Z_i')^2 = \min \quad (16)$$

при обмеженнях  $\sum_{i=1}^n I_i Z_i = Z$ ;  $Z_i \geq 0$ , де  $Z$  – оцінка крайгінга у блоці масиву магнетитових роговиків

балансово-промислових запасів родовища по усередненій варіограмі для всіх типів корисних копалин.

До тепер отримані дані не дозволяють віддати перевагу традиційним чи геостатистичним методам, що пов'язано, з недостатньо глибоким аналізом конкретних гірничо-геологічних

умов використання. Для обґрунтування доцільності включення у систему маркшейдерського забезпечення робіт при прогнозуванні і управлінні вмістом якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів математичним методом прогнозування мінливості вмісту якісних показників на фактичному матеріалі по родовищах Криворізького басейну з порівнянням розглянутих модифікацій крайгінга із трьома традиційними методами: середньозваженого арифметичного; зворотно пропорційно квадратам відстаней і з урахуванням анізотропії. У результаті порівняння встановлена залежність точності оцінок, які отриманні різними методами від виду моделі мінливості вмісту якісних показників корисних копалин, кількості інформації, розмірів, просторового співвідношення блоків і розвідувальної мережі. Порівняння моделей методів прогнозування мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння моделей методів прогнозування мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів

Види моделей мінливості вмісту якісних показників корисних копалин	Похибка оцінок мінливості вмісту якісних показників корисних копалин (%), що отриманні методами моделей					
	СА	СП	СПа	ДК	ВК	УК
$C_{заггелне} = C_t + C_k + C_c$	±11,1	±11,8	±11,5	±10,6	–	±9,3
$C_{мг} = C_k + C_c$	±17,1	±17,2	±17,1	±16,4	–	±16,4
$C_{домішок} = C_c$	±8,5	±8,6	±8,4	±8,5	–	–
Детерміновані:						
Статистичні Диференційна рента	$ДС_{СА}$	$ДС_{СП}$	$ДС_{СПа}$	$ДС_{ДК}$	$ДС_{ВК}$	$ДС_{УК}$
Динамічні Диференційна рента	$ДД_{СА}$	$ДД_{СП}$	$ДД_{СПа}$	$ДД_{ДК}$	$ДД_{ВК}$	$ДД_{УК}$
Стохастичні:						
Статистичні Диференційна рента	$СС_{СА}$	$СС_{СП}$	$СС_{СПа}$	$СС_{ДК}$	$СС_{ВК}$	$СС_{УК}$
Динамічні Диференційна рента	$СД_{СА}$	$СД_{СП}$	$СД_{СПа}$	$СД_{ДК}$	$СД_{ВК}$	$СД_{УК}$
$C_{мг} = C_k + C_c$	±16,6	–	–	–	±15,9	–
$C_{домішок} = C_c$	±9,2	–	–	–	±9,3	–

Примітка. Методи моделей: СА – середньозваженого арифметичного; СП – зворотно пропорційно квадрату відстаней; СПа – з урахуванням анізотропії і обліком; ДК – дискретний крайгінг; ВК – випадковий крайгінг; УК – універсальний крайгінг. Два останні рядки – оцінка мінливості вмісту якісних показників корисних копалин у блоках великого розміру масиву магнетитових роговиків балансово-промислових запасів (генеральний підрахунок запасів).

Розглянута оцінка блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами. Ефективність методів визначаємо по величині відносної похибки оцінок вмісту якісних показників корисних копалин у порівнянні їх з фактично вимірними значеннями на відпрацьованих ділянках магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища. Підсумовуючи вищесказане варто зазначити, що при наявності всіх трьох складових універсальний крайгінг, який враховує автокореляції відхилень вмісту якісних показників корисних копалин при підборі рівнянь тренда, дає високі результати для блоків малого розміру, а при відсутності тренда методи оптимальної статистичної оцінки вмісту якісних показників корисних копалин 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 корелюєма випадкова складова. Результати мінливості вмісту якісних показників корисних копалин, які отриманні всіма методами, по точності порівнюємо, якщо випадкова складова  $C_c$  превалює.

Оцінка мінливості вмісту якісних показників корисних копалин великих блоків випадковий крайгінг у порівнянні із середньозваженою арифметичною оцінкою дає кращі результати при наявності корелюємої складової  $C_k$  і за умови, що величину інтервалу кореляції порівнюємо з лінійними розмірами блоку. Відмічені порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці мінливості вмісту якісних показників у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища не суперечать теорії

оптимальної статистичної оцінки. Аналіз мінливості вмісту якісних показників і конкретних умов оцінки вмісту якісних показників у масиві магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища передує обґрунтованому вибору математичного методу прогнозування вмісту якісних показників корисних копалин.

Нормування балансово-промислових запасів при видобутку магнетитових роговиків відповідного об'єму і якості є таким рішенням, при якому за даними гірничо-геологічних, технологічних і економічних умов забезпечена ефективна (оптимальна) розробка ділянок родовища [12,13]. Питання оптимізації розглядаємо на роботі системи «кар'єр – гірничо-збагачувальна фабрика». Стосовно до матеріальних систем, якими є гірничо-збагачувальний комбінат, поняття оптимізації має подвійне значення. З технічної точки зору оптимізація це є робота системи з параметрами, при яких забезпечуємо одержання оптимального значення обраного кількісного і якісного показника – критерій оптимізації. З математичної точки зору, оптимізація це є визначення параметрів, що характеризують роботу системи, при яких цільова функція (математична модель системи прогнозування і управління якісними показниками), яка описує роботу системи за обраним критерієм оптимізації, має оптимальне значення.

Методика оптимізації показників видобутку магнетитових роговиків включає розв'язок наступних завдань: *встановити залежності між кількістю магнетитових роговиків у балансово-промислових запасах, які втрачаємо і порід засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси; вибрати критерій оптимізації; визначити нормативні показники видобутку магнетитових роговиків і оптимальні співвідношення втрат балансово-промислових запасів і засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси; розрахувати параметри для ведення гірничих робіт відповідно до оптимальних співвідношень втрат балансово-промислових запасів і засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси.*

*Видобуток магнетитових роговиків балансово-промислових запасів з ділянок родовища при відкритому способі виконуємо горизонтальними прошарками (уступами), а у межах уступу – заходками. З аналізу відпрацювання ділянок магнетитових роговиків балансово-промислових запасів родовища слід зауважити, що заходки займають різне просторове положення щодо контакту, при цьому змінюємо схему відпрацювання контакту, а отже, і закономірності мінливості кількості балансово-промислових запасів, які втрачаємо, та порід засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси; нормативи показників видобутку магнетитових роговиків балансово-промислових запасів визначаємо у випадку, якщо: відомі геологічні, гірничотехнічні і технологічні умови видобутку магнетитових роговиків балансово-промислових запасів; розвідано-балансові запаси чітко оконтурені та відомі їх геологічні і технологічні характеристики (при вилученні вмісту якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом,  $Fe_{m2}$ ); баланс залізорудної маси:*

$$D = B - \Pi + B \quad (17)$$

*і вміст якісних показників заліза, пов'язаного з магнетитом,  $Fe_{m2}$ , у них при видобутку магнетитових роговиків, а також формули, які отримані на їх основі, правомірні і визначені:*

$$D_a = B_{c_{\Pi}} - \Pi_{c_{\Pi}} + B_b \quad (18)$$

Залежності  $D=f_D(B)$ ,  $\Pi=f_{\Pi}(B)$ ,  $B=f_B(B)$ , а зворотні функції  $B=f_1(D)$ ,  $B=f_2(\Pi)$ ,  $B=f_3(B)$  визначені лише приблизно, якщо визначені прямі. Об'єм балансово-промислових запасів, які втрачаємо і породи засмічення (розубоження) при відпрацюванні обмежені поверхнями контактів і поверхнями, що утворенні у результаті ведення гірничих робіт визначені, якщо відоме просторове положення і форма поверхонь. Як показує аналіз маркшейдерсько-геологічних даних і результати геометризації рудних тіл, контакт «корисні копалини – порода» у межах уступу за точністю для нормування апроксимовані лінійною поверхнею, направляючими якої є лінії перетину робочих майданчиків уступу з поверхнею контакту. У перетині вхрест простягання контакту така поверхня є прямою лінією. Балансово-промислові запаси магнетитових роговиків перед видобутком попередньо розпушуємо буровибуховим способом. У зв'язку із цим виникає питання про

правомірність представлення контакту у вигляді лінійної поверхні і після відбійки. Відповідність прийнятої моделі прогнозування утворення втрат балансово-промислових запасів і засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси умовам ведення гірничих робіт, відбійку приконтатних зон виконуємо ад'єктивно. При відкритій розробці магнетитових роговиків розпушення масиву ведуть у стисненому середовищі, на підпірну стінку або на підібраний забій [7]. Очевидно, що при відбійці у стисненому середовищі і на підпірну стінку, якщо контакт розташований за другим рядом свердловин, усереднення вмісту якісних показників магнетитових роговиків і породи відсутнє і контакт зберігає форму зміщену у бік виробленого простору. При відбійці на підібраний забій відбувається усереднення вмісту якісних показників магнетитових роговиків і вміщуючих порід, тому у цьому випадку необхідно вести роздільну відбійку кондиційних і некондиційних балансово-промислових запасів по контуру, за яким згідно з оптимізацією встановлене їх розмежування. У цьому випадку незмінне збереження контакту після відбійки не потрібно. Дотримання відзначених умов ведення буровибухових робіт, необхідних для виконання нормативів, дозволяє приймати контакт «корисні копалини – порода» у вигляді лінійної поверхні і при розпушенні вибухом масиву магнетитових роговиків. Поверхнею, що визначає кількість балансово-промислових запасів, які втрачаємо, і порід засмічення (розубоження) є також поверхня, що розділяє магнетитові роговики, які виймаємо, на кондиційні і некондиційні, встановлення положення яких щодо контакту і є метою нормування.

Маркшейдерська, геологічна і тектонічна зйомки укосів уступів у залізорудних кар'єрах Криворізьких ГЗК показала, що має місце як плоска, так і біплощинна форма укосу уступу. Плоский укіс уступу зустрічаємо у забоях заходок і у бічних поверхнях заходок, пройдених по розпушених вибухом породах масиву магнетитових роговиків родовища. Біплощинна форма укосу уступу у поперечному перерізі у вигляді ламаної лінії, яка складається із двох відрізків. Форму укосу характеризуємо кутами нахилу  $\beta$  і  $\beta_n$  відрізків і відношенням  $\eta$ :

$$\eta = \frac{h_n}{h} \quad (19)$$

де  $h$ ,  $h_n$  – висота уступу і висота нижньої, більш пологої, частини укосу уступу, м.

Результати обробки даних зйомки укосів уступів наведені в табл. 2. Біплощинну форму укосу уступу при вийманні екскаваторами типу «пряма механічна лопата» пояснюємо наступним чином. Корисні копалини і порода після розпушення масиву магнетитових роговиків це – зв'язносипка маса. У результаті екскавації утворюється поверхня укосу. Породи на поверхні укосу перебувають у стані граничної рівноваги. Так як ківш екскаватора жорстко з'єднаний з рукояттю, то екскаватор починає черпання тільки від рівня стояння або нижче його. При підйомі ковша на висоту 3–4 м його повністю наповнюємо. Після набору з одного місця 2–4 ковшів, у результаті подрібки і динамічного впливу з боку зубів ковша верхня частина укосу зсувається. Ширина зони зсуву на верхній брівці залежить від глибини подрібки і практично дорівнює ширині зони подрібки. Тому при роботі на автотранспорт є можливість вести роздільне навантаження кондиційних і некондиційних балансово-промислових запасів, які розмежовані вертикальною поверхнею. На основі цього принципу виконуємо відпрацювання приконтатних зон поздовжніми змішаними заходками. У результаті цього знижуємо втрати балансово-промислових запасів і зменшуємо засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин у потоці залізорудної маси. Друга, більш полого, частина укосу уступу, яка утворена зсуванням розпушеного масиву з верхньої частини уступу при подрібці. Балансово-промислові запаси нижньої частини укосу представлені недоторканою екскаватором (поза контуром черпання) залізорудною масою або породою і масою, яка зсувалась з верхньої частини укосу. Склад нижньої частини укосу залежить від взаємного положення укосу і контакту «корисні копалини – порода» [13].

З аналізу схем екскаваторного видобутку магнетитових роговиків можна припустити, що апроксимація укосу однією площиною приводить до значних похибок у визначенні втрат

балансово-промислових запасів і засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин при нормуванні, плануванні і управлінні.

Таблиця 2. Результати зйомки укосів уступів у залізорудних кар'єрах Криворізьких ГЗК

Родовище магнетитових роговиків, кар'єр гірничовидобувного підприємства	Кут падіння		$\eta$	Середнє значення		Стандарт розподілення		Число вимірювань
	Висота уступу $h$ , м	рудних тіл, градус		кутів, градус	, градус	$\sigma_\beta$	$\sigma_{\beta_n}$	
				$\beta$	$\beta_n$			штук
Інгулецьке, ПрАТ «ІнГЗК»	60–80	12–15	0,3	60	30,5	5,2	4,6	157
Скелеватське, ПрАТ «ПівдГЗК»	80–90	12–15	0,3	53	33,0	4,3	3,8	156
Скелеватське, ПрАТ «НкГЗК» «АрселорМіттал Кривий Ріг»	80–90	12–15	0,3	57	31,5	5,1	4,7	154
Глеюватське, ПрАТ «ЦГЗК»	70–80	12–15	0,3	65	36,0	4,9	4,4	159
Ганнівське, ПрАТ «ПівнГЗК»	70–80	12–15	0,3	64	37,5	5,1	4,5	152
Першотравневе, ПрАТ «ПівнГЗК»	70–80	12–15	0,3	64	37,0	5,4	4,8	157

При апроксимації укосу уступу двома площинами зробимо припущення, що гірнична маса, яка зсунулась, має такий же вміст якісних показників, як і масив нижньої частини укосу. Це припущення викликає значно меншу похибку у нормативах, ніж апроксимація укосу однією площиною, так як у об'ємі зсуву є як корисні копалини, так і породи засмічення (розубоження), але дозволяє спростити розрахунки площі балансово-промислових запасів, які втрачаємо, і порід засмічення (розубоження) за рахунок виключення з розрахунків контур черпання екскаватором і якісні показники зсуву. Зазначимо, що для потужних екскаваторів типу «пряма механічна лопата» біплощинна форма укосу уступу стає переважною. Кількість і взаємозв'язок балансово-промислових запасів, які втрачаємо і порід засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин залежить від взаємного положення технологічних поверхонь, що розмежують балансово-промислові запаси на кондиційні, некондиційні і поверхні контакту, створенні при екскаваторному вийманні, логічно зв'язати схеми відпрацювання приконттактних зон з елементом екскаваторного видобутку – заходкою. Залежно від кута між простяганням контакту і напрямом просування заходки розділяємо на поздовжні, перпендикулярні і діагональні. У поздовжніх заходках напрям просування паралельний простяганням контакту, у перпендикулярних – перпендикулярно, а у діагональних – із простяганням контакту утворює кут  $\theta$ , відмінний від  $0^\circ$  і  $90^\circ$ . Напрямок падіння поверхні, яка розмежує заходки (бічної поверхні або забою заходки) розділяємо на згідні, незгідні і змішані. У згідних заходках поверхня, яка розмежує, і поверхня контакту падають у одну сторону, у незгідних – у протилежну, у змішаних заходках у межах ширини заходки спеціально формуємо вертикальну поверхню, яка розмежує [10]. При відпрацюванні приконттактних зон поздовжніми заходками із плоскими укосами утворюються «трикутники» балансово-промислових запасів, які втрачаємо і порід засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин. При цьому положення технологічної поверхні, яка розмежує, відносно контакту характеризуємо параметром, що змінюється від 0 до 1 визначаємо з виразу:

$$k = \frac{h_n}{h} = \frac{I_n}{I}, \quad (20)$$

де  $h$ ,  $h_n$  – висоти уступу і «трикутника» втрат балансово-промислових запасів («трикутника» балансово-промислових запасів), м;  $I$ ,  $I_n$  – довжини укосу уступу і її залізорудної частини, м.

**Таким чином, на підставі проведених досліджень, безрозмірний параметр характеризує**



співвідношення об'ємів і кількості балансово-промислових запасів, які втрачаємо і порід засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин, що дозволяє використати цей параметр для приведення різних схем відпрацювання контактів, спрощує методику маркшейдерського забезпечення робіт при нормуванні, розрахунок гірничотехнологічних параметрів, необхідних для ведення гірничих робіт з нормативними втратами балансово-промислових запасів магнетитових роговиків і порід засмічення (розубоження) вмісту якісних показників корисних копалин. Запропонований індикаторний крайгінг більш ефективний серед методів (у тому числі і серед розглянутих геостатистичних) при оцінці вмісту якісних показників магнетитових роговиків у блоках, які складені корисними копалинами різних типів. Незважаючи на випадкове розміщення ознак вмісту якісних показників корисних копалин обох методів по точності оцінок дають однакові результати. Наведені розрахункові формули і встановлена залежність точності оцінок, які отриманні різними методами від виду моделі мінливості вмісту якісних показників корисних копалин, кількості інформації, розмірів, просторового співвідношення блоків і мережі розвідки рекомендовані для використання на практиці гірничовидобувних підприємств.

#### Список літератури

1. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій. Підручник. Сьоме видання, перероблене та доповнене / Ю. П. Зайченко. – К. : Видавничий Дім «Слово», 2006. – 816 с.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ. – ВНИМИ. – М., Недра, 1987. – 240 с.
3. Шолох Н. В. Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений / Н. В. Шолох // Сб. научных трудов второго международного симпозиума 12–17 июля 1999 года «Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке». – Ялта, 1999. – С. 218–220.
4. Шолох М. В. Моніторинг прогнозування показників корисної копалини родовища на основі стохастичного моделювання відособлених і взаємозалежних динамічних рядів / М. В. Шолох, М. П. Сергєєва // Сб. материалов международной научно – техн. конференции 23–25 мая 2013 года. – Донецк : ДонНГУ, 2013. – Вып. 3. – С. 47–52.
5. Шолох М. В. Моделювання прогнозної оцінки мінливості вмісту якісних показників корисних копалин / М. В. Шолох // The 3rd International youth conference – Perspectives of science and education (July 6, 2018) SLOVO\WORD, New York, USA. 2018. – 524 p. 274–286.
6. Шолох Н. В. Эффективный метод подсчета объемов горных работ в цифровой модели карьера на примере Полтавского ГОКа / Н. В. Шолох, В. М. Серкин // КТУ : Вісник КТУ : – Кривий Ріг, 2007. – Вып. 17. – С. 54–58.
7. Шолох М. В. Методика визначення і нормування вмісту якісних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах / М. В. Шолох. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2016. – 160 с.
8. Шолох М. В. Моделювання процесів формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині рудного потоку / М. В. Шолох // Гірничий вісник : науково-технічний збірник / М-во освіти і науки України. – ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2015. – Вып. 100. – С. 111–115.
9. Sholokh M. V. Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 179.
10. Sholokh M. V. Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. / M. V. Sholokh // 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. 25–52.
11. Шолох М. В. Моделювання відособлених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників корисної копалини / М. В. Шолох, О. Л. Топчій, М. П. Сергєєва // Вісник КНУ : зб. наук. праць ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2013. – Вып. 35. – С. 55–60.
12. Шолох М. В. Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині / М. В. Шолох // Науково-технічний збірник ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2016. – Вып. 101. – С. 49–55.
13. Sholokh M. V. An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the earth. / M. V. Sholokh, S. M. Sholokh, M. P. Sergieieva // Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – s. 415–438.