

УДК 338.94:622

І. Є. Афанасьєв

Криворізький економічний інститут ДВНЗ «КНЕУ ім. Вадима Гетьмана»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

Дано теоретичне обґрунтування інструментарію моделювання відносних якісних показників запасів залізорудної сировини для підвищення ефективності використання основних фондів гірничорудного підприємства.

Ключові слова: основні фонди, використання основних фондів, відносні якісні показники залізної руди, ризик.

Дано теоретическое обоснование инструментария моделирования относительных качественных показателей запасов железорудного сырья для повышения эффективности использования основных фондов горнорудного предприятия.

Ключевые слова: основные фонды, использование основных фондов, относительные качественные показатели железной руды, риск.

The theoretic grounding of the relative quality indicators modeling's instruments of the iron ore reserves for the usage effectiveness rise of the mining enterprise's capital assets is presented.

Key words: capital assets, the use of fixed assets, the relative quality indicators of iron ore, risk.

Функціонування гірничорудних підприємств (ГРП) спрямовано на строге виконання заданих нормативних техніко-економічних показників (зокрема, коефіцієнтів ритмічності, пропорційності, безперервності, паралельності, прямоочності та ін.), які представляють собою регламент роботи технологічних процесів [1, с. 31]. Відхилення від встановленого регламенту, в першу чергу, відбивається на ритмічності роботи підприємства та спричиняють порушення інших основних принципів раціональної організації виробництва, що в результаті негативно позначається на ефективності використання основних фондів.

Установлено, що основним показником ефективності управління виробництвом залізорудної продукції ГРП є стабілізація якісних показників рудопотоків у межах заданої величини коливань, які характеризуються дисперсією і середнім квадратичним відхиленням [2; 3; 4, с. 24]. Певною мірою забезпечити стабілізацію якісних показників рудопотоків у межах заданої величини коливань намагаються шляхом удосконалення процесів дорозвідки запасів залізорудної сировини (ЗРС) [5, с. 129–131].

Отже, актуальним для економіки України є проблема розробки напрямків підвищення ефективності використання виробничих та економічних можливостей гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК), які на сьогодні нагально потребують дослідження альтернативних варіантів раціонального використання їх потенціалу з урахуванням економічного ризику [6]. У зв'язку з цим моделювання, аналіз, оцінка, порівняння та прогнозування є невід'ємною частиною дослі-

дження. Ці питання характерні для методів виявлення суті явищ, що відбуваються за складних економічних систем і приховані від дослідника через велику кількість взаємопереплетених і взаємозалежних чинників, а також через неповноту інформації про систему [6–8].

Актуальність окресленої проблеми обумовила **мету даного наукового дослідження**: теоретичне обґрунтування і розробка інструментарію моделювання процесів дорозвідки запасів залізорудної сировини для підвищення ефективності використання виробничих потужностей ГРП у процесі переробки ЗРС у концентрат.

Основним завданням дослідження є удосконалення методології процесів дорозвідки запасів ЗРС з урахуванням ризику засобами імітаційного експерименту, як моделі, що враховує вплив на подрібнення ЗРС здійснення вибухових робіт у кар'єрі та змішування рудопотоків, які надходять на сортові акумулюючі склади ГЗК, що призначені для остаточної компенсації дисперсії видобутих обсягів ЗРС.

Наведемо процедуру алгоритму імітаційного моделювання якісних показників залізної руди, скоригованих відносно коефіцієнта використання потужностей [9].

1. Уведення: інформація про вміст заліза (α_M) у вихідній руді частини покладу корисної копалини, що залишається недоторканою при розробці родовища до проведення вибухових робіт (по цілику), систематизована за блоками (ділянками) кар'єру.

2. Формування ключових відносних якісних показників залізної руди (α_M/r) з урахуванням порушення основних принципів раціональної організації виробництва (ритмічності, пропорційності, безперервності, паралельності, прямоочності), що обумовлює певну стабілізацію якісних характеристик рудопотоку [9].

3. На основі емпіричних статистичних даних, будується інтервальний варіаційний ряд. При побудові інтервального варіаційного ряду визначається величина інтервалу, встановлюється повна шкала інтервалів, відповідно з якою групуються результати спостережень.

Для визначення оптимального інтервалу h , тобто такого, при якому побудований інтервальний ряд не був би занадто громіздкий і в той же час дозволив би виявити характерні риси досліджуваного процесу, доцільно використати формулу Стерджеса

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,322 \lg n} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,322 \frac{\ln n}{2,30259}}, \quad (1)$$

де x_{\max} і x_{\min} – відповідно максимальна і мінімальна варіанти випадкової величини X ; n – загальна кількість спостережень.

Якщо h – дробове число, то за величину інтервалу слід брати або найближче ціле, або найближчий нескладний дріб.

За початок першого інтервалу рекомендується приймати величину

$$a_1 = x_{\min} - h/2; \quad (2)$$

початок другого інтервалу співпадає з кінцем першого і дорівнює:

$$a_2 = a_1 + h \quad (3)$$

і т. д.

Побудова інтервалів продовжується до тих пір, поки початок наступного по порядку інтервалу не буде більше x_{\max} .

4. Перевірка гіпотези про узгодженість з отриманими емпіричними статистичними даними теоретичного нормального закону з параметрами $N(\bar{x}; \sigma^2; \sigma)$,

де \bar{x} – середнє значення випадкової величини; σ^2 – дисперсія випадкової величини; σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини.

В якості міри розбіжності береться значення критерію Пірсона χ^2 .

Схема використання критерію χ^2 зводиться до наступного:

4.1. Визначається міра розбіжності емпіричних і теоретичних частот χ^2 .

4.2. Для обраного рівня значущості α за таблицею χ^2 -розподілу знаходять критичне значення $\chi^2_{\alpha;k}$ при числі ступенів свободи $k = m - r - 1$, де m – число інтервалів; r – число параметрів теоретичного розподілу, обчислених за експериментальними даними.

4.3. Якщо фактичне значення χ^2 більше критичного, тобто $\chi^2 > \chi^2_{\alpha;k}$, то нульова гіпотеза (H_0) відхиляється, якщо $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha;k}$, гіпотеза H_0 не суперечить емпіричним статистичним даним. Тобто підтверджується гіпотеза про вибраний теоретичний нормальний закон розподілу з параметрами $N(\bar{x}; \sigma^2; \sigma)$, що узгоджується з емпіричними даними.

Зауваження. Як уже відмічено, статистика $\chi^2 = \sum_{i=1}^m (n_i - np_i)^2 / np_i$ має χ^2

розподілення лише при $n \rightarrow \infty$ (рекомендується приймати $n \geq 100$), тому необхідно, щоб у кожному інтервалі була достатня кількість спостережень ($n \geq 5$). Якщо в якому-небудь інтервалі кількість спостережень $n_i < 5$, має сенс поєднати сусідні інтервали, щоб в об'єднаних інтервалах n_i було не менше 5.

З урахуванням зазначеного зауваження, на нашу думку, за початок інтервального варіаційного ряду можна рекомендувати мінімальне значення вибірки $a_1 = x_{\min}$.

Дослідження фактичного значення χ^2 , отриманого для значень вибірки вмісту заліза магнітного (α_m , %) за геолого-технологічними даними розвідувальних і розвідувально-експлуатаційних свердловин Інгулецького родовища в кар'єрному блоці №12 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Визначення статистики χ^2 , отриманого для значень вибірки вмісту заліза магнітного (α_m , %)

Інтервал α_m	Імовірності p_i	Емпіричні частоти n_i	Теоретичні частоти np_i	$(n_i - np_i)^2$	$(n_i - np_i)^2 / np_i$
4,02–8,02	0,017	8	4,861	9,8555	2,028
8,02–12,02	0,044	17	12,272	22,3535	1,822
12,02–16,02	0,089	27	24,711	5,2377	0,212
16,02–20,02	0,142	37	39,689	7,2278	0,182
20,02–24,02	0,182	41	50,844	96,9010	1,906
24,02–28,02	0,186	31	51,955	439,1276	8,4520
28,02–32,02	0,152	55	42,349	160,0514	3,779
32,02–36,02	0,099	51	27,534	550,6719	20,000
36,02–40,02	0,051	12	14,278	5,1905	0,364
Σ	0,962	279	268,493	–	38,745

Фактично спостерігаємо значення статистики значень вибірки вмісту заліза магнітного в блоці кар'єру №12 $\chi^2 = 38,745$ (див. табл. 1).

У нашому випадку число інтервалів $m = 9$. Для нормального закону розподілу при $r = 2$, число степенів свободи $k = m - r - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$. Відповідне критичне значення статистики χ^2 (табличне значення критерію Пірсона), при рівні

значущості, що зазвичай приймається рівним $\alpha = 0,10$ (ймовірність похибки), дорівнює 10,6.

Так як $38,745 > 10,6$, то гіпотеза про вибраний теоретичний нормальний закон з параметрами $N(24,4; 8,3; 2,9)$ не узгоджується з експериментальними даними.

Отже, використання даних щодо якості залізної руди в блоці № 12 при моделюванні техніко-економічних показників процесів дорозвідки запасів залізної рудної сировини з урахуванням ризику на відміну від існуючих моделей, заснованих на характеристиках нормального закону розподілу (далі – Модель 1), потребує використання підходів, що ґрунтуються на методиках дослідження експериментальних даних за довільним законом розподілу (далі – Модель 2). Останнє дозволяє налаштувати дробильно-збагачувальне обладнання ГРП на відповідно визначені середні якісні показники руд, що забезпечує його роботу в стабільному режимі, знижує собівартість переробки руди, втрати корисного компонента (Fe) і підвищує якість концентрату [4, с. 26-27].

Залежність втрат вилучення металу в концентрат від середнього квадратичного відхилення вмісту заліза у руді (рис. 1, [4, с. 26]) дає можливість отримати модель прогнозування резерву зменшення витрат від реалізації інструментарію імітаційного моделювання оцінювання числових характеристик ключових геолого-технологічних параметрів процесів дорозвідки запасів ЗРС, що базується на використанні системи коефіцієнтів відносної оцінки якості залізної руди α_M/r , де за базу порівняння приймаються коефіцієнти використання потужностей кар'єру ГЗК

$$\Delta z = f^{(\Delta \zeta)} [\sigma_1(\alpha_M) - \sigma_2(\alpha_M, r)] \cdot z_{(\mp\%)}(\zeta_{(\pm 1,0)}) \cdot \frac{z_{mt}}{100}, \quad (4)$$

де Δz – прогноз резерву зменшення витрат на одиницю продукції від реалізації інструментарію імітаційного моделювання оцінювання числових характеристик ключових геолого-технологічних параметрів процесів дорозвідки запасів ЗРС, грн.; $f^{(\Delta \zeta)} [\sigma_1(\alpha_M) - \sigma_2(\alpha_M, r)]$ – функція зміни втрат вилучення металу в концентрат від середнього квадратичного відхилення вмісту заліза в руді визначеного за «Моделлю 1» і «Моделлю 2» відповідно; ζ – вилучення металу в концентрат, %; $z_{(\mp\%)}(\zeta_{(\pm 1,0)})$ – процент зміни витрат на матеріально-технічне забезпечення при зміні вилучення металу в концентрат на один процент, %; z_{mt} – матеріально-технічні витрати виробництва тонни товарного концентрату, грн.

У нашому випадку, подамо (наближено) функцію розподілу випадкової величини X , яка задана на відрізку $[q_0, q_l]$, інтервально-постійною функцією щільності розподілу $f(x)$. Це означає, що відрізок розподіляється на l часткових відрізків так, щоб імовірність розподілу на кожному з них була (наближено) однаковою [8, с. 94–95].

Доцільно обрати величини $q_k, k = 0, 1, \dots, K$ так, щоб імовірності (p_k) потрапляння випадкової величини до будь-якого часткового відрізка були однаковими, тобто

$$\int_{q_{k-1}}^{q_k} f(x) dx = \frac{1}{K}, k = 1, \dots, K. \quad (5)$$

З умови, що $f(x) = \text{const} = c_k$ на кожному частковому відрізку, випливає, що випадкова величина X може бути визначена за формулою:

$$x_k = q_{k-1} + \xi(q_k - q_{k-1}), \quad (6)$$

де ξ – реалізація випадкової величини, рівномірно розподіленої на відрізку $(0; 1)$; q_{k-1} – ліва межа часткового відрізка; q_k – права межа часткового відрізка.

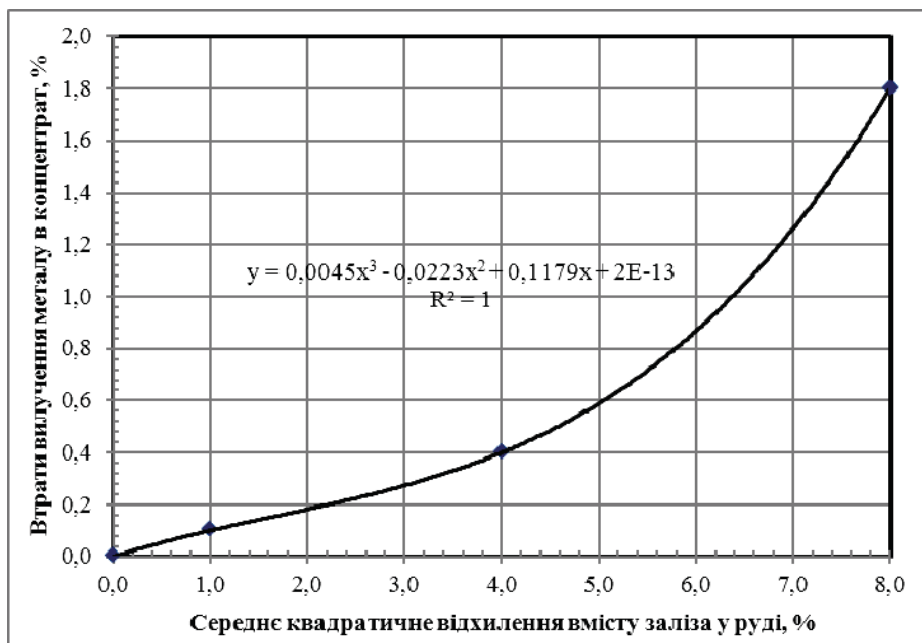


Рис. 1. Залежність втрат вилучення металу в концентрат від середнього квадратичного відхилення вмісту заліза в руді

Потрапляння у будь-який частковий інтервал можна розглядати як подію, що входить до складу повної групи несумісних подій. Тому процедура моделювання загального випадку полягає в наступному:

а) за допомогою генератора випадкових чисел, що виробляє величину ξ , моделюється дискретна випадкова величина – номер інтервалу k ;

б) повторно розігрується випадкова величина ξ і визначається значення випадкової величини X за формулою (6).

7. Здійснюється імітаційне моделювання числових характеристик (математичне сподівання, середнє квадратичне відхилення) відносних якісних показників залізної руди, скоригованих відносно коефіцієнта використання потужностей [9].

При цьому ключовим показником оцінки коливання якості руд, у нашому випадку, є середнє квадратичне відхилення [2; 9]

$$\sigma(\alpha_M, r) = \frac{\sqrt{1-p}}{N} \sum_{j=1}^N |(\alpha_M/r)_j - M(\alpha_M, r)|, \quad (7)$$

де $M(\alpha_M, r)$, $\sigma(\alpha_M, r)$ – математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення відносного якісного показника залізної руди; p – імовірність прогнозу відносного якісного показника залізної руди; j – порядковий номер реалізації імітаційного експерименту, $j = 1 \div N$.

Аналіз якості прогнозів за результатами моделювання техніко-економічних показників процесів дорозвідки запасів залізородної сировини з урахуванням ризику, отриманих за «Моделлю 1» і «Моделлю 2» здійснюється на основі показників, що дозволяють кількісно визначити величину похибки прогнозу в одиницях виміру прогнозованого об'єкта або у відсотках.

Аналіз якості прогнозів здійснено за наступними показниками [10, с. 198–202].

Абсолютна похибка прогнозу

$$\Delta_{np} = \sigma_t - \sigma_{ii}^*, \quad (8)$$

де σ_t – фактичне значення середнього квадратичного відхилення якісних показників залізної руди ретроспективного періоду, отримане в результаті експрес-аналізу проб, відібраних від конкретних об'ємів руди в контрольні зміни за кожну годину; σ_{ii}^* – відповідне прогнозне значення середнього квадратичного відхилення якісних показників залізної руди i -го варіанту моделювання ($i = 1; 2$).

Середнє абсолютне значення похибки

$$\bar{\Delta}_{np} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |\sigma_t - \sigma_{ii}^*|. \quad (9)$$

Недоліком наведених показників є те, що значення цих характеристик суттєво залежить від масштабу виміру рівнів даних експерименту.

Тому абсолютну похибку прогнозу Δ_{np} важливо визначати у відсотках відносно фактичних значень показника

$$\varepsilon_{np} = \frac{\sigma_t - \sigma_{ii}^*}{\sigma_t} 100, \quad (10)$$

а середня відносна похибка розраховується за формулою

$$\bar{\varepsilon}_{np} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|\sigma_t - \sigma_{ii}^*|}{\sigma_t} \cdot 100. \quad (11)$$

В якості порівняльних показників точності прогнозів обрано коефіцієнти невідповідності.

Коефіцієнт невідповідності KH

$$KH = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (\sigma_t - \sigma_{ii}^*)^2}{\sum_{t=1}^T \sigma_t^2}}. \quad (12)$$

У випадку досконалого прогнозу $KH = 0$ і $KH = 1$, коли прогноз має таку ж похибку, що й «найвна» екстраполяції незмінності. KH не має верхньої межі.

Модифікований коефіцієнт невідповідності KH_1 розраховується як відношення середньої квадратичної похибки до тієї ж похибки, що мала б місце, якщо в якості прогнозу прийняти середнє значення змінної за весь період

$$KH_1 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (\sigma_t - \sigma_{ii}^*)^2}{\sum_{t=1}^T (\bar{\sigma} - \sigma_t)^2}}, \quad (13)$$

де

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sigma_t. \quad (14)$$

Якщо $KH_1 > 1$, то прогноз на рівні середнього значення дав би кращий результат за наявний прогноз.

Оцінка результатів моделювання середнього квадратичного відхилення якісних показників залізної руди та їх порівняння з фактичними значеннями ретроспективного періоду наведена у табл. 2.

Аналіз якості прогнозів (табл. 2) показує, що запропонований методичний підхід застосування інструментарію імітаційного моделювання середнього квадратичного відхилення, як ключового показника оцінки коливання якості руд дозволяє підвищити точність моделювання процесу дорозвідки запасів ЗРС, що надходять на сортові акумулюючі склади ГЗК.

Аналіз якості прогнозів числових характеристик відносних якісних показників залізної руди

Назва показника	Модель 1	Модель 2
1. Середнє абсолютне значення похибки	0,416	0,082
2. Середня відносна похибка	13,126	2,602
3. Коефіцієнт невідповідності KH	0,145	0,030
4. Коефіцієнт невідповідності KH_1	0,728	0,153

Висновки. Інформація про техніко-економічні показники екскаваторних блоків, отримана по цілику, після проведення вибухових робіт перетерплює значні зміни. Тому дорозвідку зазначених показників доцільно проводити за допомогою імітаційного експерименту, як моделі, що враховує вплив на подрібнення ЗРС здійснення вибухових робіт у кар'єрі та змішування рудопотоків, які надходять на сортові акумулюючі склади ГЗК.

Розроблені методологія та інструментарій імітаційного моделювання відносних якісних показників залізної руди у процесах дорозвідки запасів ЗРС дають змогу прогнозувати можливість зменшення витрат подрібнення і збагачення руди та раціонально управляти процесом використання виробничих потужностей ГРП з урахуванням ризику, що, відповідно, забезпечує підвищення рентабельності виробництва залізорудної продукції.

Бібліографічні посилання

1. Ситуационное регламентирование геотехнологий с разделенными рудопотоками : монография / С. Жуков, Н. Горлов, Ш. Фарси и др. – Кривой Рог, 2004. – 210 с.
2. **Азарян В. А.** Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы / В. А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. трудов. – Кривой Рог, 2011. – С. 60–63.
3. Качество минерального сырья / А. А. Азарян, В. А. Колосов, Л. А. Ломовцев и др. – Кривой Рог, 2001. – 203 с.
4. **Бастан П. П.** Смешивание и сортировка руд / П. П. Бастан, Н. К. Костина. – М., 1990. – 176 с.
5. **Сазонова Ю. В.** Забезпечення вірогідності і точності визначення показників якості залізистих кварцитів за даними експлуатаційної розвідки / Ю. В. Сазонова // Науковий збірник Криворізького економ. ін-ту КНЕУ. – Кривий Ріг, 2006. – № 3 (11). – С. 129–131.
6. **Афанасьев Є. В.** Економіко-математичне моделювання ризику великих промислових підприємств з монопродуктовим виробництвом : монографія. – 2-ге вид., доп. і перероб. / Є. В. Афанасьев. – Д., 2005. – 230 с.
7. **Глухов В. В.** Математические методы и модели для менеджмента / В. В. Глухов, М. Д. Мечников, С. Б. Коробко. – СПб., 2000. – 480 с.
8. **Вітлінський В. В.** Моделювання економіки: [навч. посіб.] / В. В. Вітлінський. – К., 2003. – 408 с.
9. **Афанасьев І. Є.** Моделювання виробничо-економічного ризику на основі системи коефіцієнтів відносної оцінки якості залізної руди / І. Є. Афанасьев // Держава та регіони : науково-виробничий журнал. – Запоріжжя, 2011. – № 2. – С. 91–96.
10. Статистическое моделирование и прогнозирование / Гамбаров Г. М., Журавель Н. М., Королев Ю. Г. и др.; под ред. А. Г. Ганберга. – М., 1990. – 383 с.

Надійшла до редколегії 01.02.2012