

МАТЕМАТИЧНА ПОСТАНОВКА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ

MATHEMATICAL RESOLUTION OF IMPROVING THE PROCESS OF MANAGEMENT OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF IRON-BASED RAW MATERIALS RESOURCES

У статті розглянуто основні ключові проблемні аспекти тенденції динаміки розвитку гірничих робіт у процесі розроблення залізородних родовищ залізородної галузі України. Наведено формалізовану постановку завдань підвищення результативності процесів уточнення експлуатаційних параметрів ресурсів залізородної сировини гірничозбагачувальних підприємств. Виділено й класифіковано найбільш суттєві характеристики неоднорідності елементів і зв'язків для системи об'єктно-орієнтованого розподілу обсягів ресурсів у процесі їх перероблення на товарну продукцію. Показано, що ймовірнісний характер геологічної інформації, який має вагомий вплив на прогнозування результатів виробничо-економічної діяльності гірничозбагачувальних підприємств, суттєво посилює можливість зростання ризику прийняття управлінських рішень. Обґрунтовано доцільність використання теорії граничних теорем імовірностей під час вирішення питання щодо математичної постановки удосконалення процесу управління ефективністю використання ресурсів залізородної сировини. Запропоновано економіко-математичну модель статистичних випробувань у процесі управління ефективністю використання ресурсів залізородної сировини в умовах гірничозбагачувальних підприємств.

Ключові слова: ефективність, управління, залізородна сировина, гірничозбагачувальне підприємство, невизначеність, економіко-математична модель, ризик.

В статье рассмотрены основные ключевые проблемные аспекты тенденции дина-

мики развития горных работ в процессе разработки железорудных месторождений железорудной отрасли Украины. Представлена формализованная постановка задач повышения результативности процессов уточнения эксплуатационных параметров ресурсов железорудного сырья горно-обогатительных предприятий. Выделены и классифицированы наиболее существенные характеристики неоднородности элементов и связей для системы объектно-ориентированного распределения объемов ресурсов в процессе их переработки в товарную продукцию. Показано, что вероятностный характер геологической информации, который имеет значительное влияние на прогнозирование результатов производственно-экономической деятельности горно-обогатительных предприятий, существенно усиливает возможности роста риска принятия управленческих решений. Обоснована целесообразность использования теории предельных теорем вероятностей при решении вопроса о математической постановке совершенствования процесса управления эффективностью использования ресурсов железорудного сырья. Предложена экономико-математическая модель статистических испытаний в процессе управления эффективностью использования ресурсов железорудного сырья в условиях горно-обогатительных предприятий.

Ключевые слова: эффективность, управление, железорудное сырье, горно-обогатительное предприятие, неопределенность, экономико-математическая модель, риск.

УДК 622.271.001.14

Афанасьев С.В.

д.е.н., професор кафедри менеджменту і адміністрування

Криворізький національний університет

Афанасьев И.С.

к.е.н., старший викладач кафедри

менеджменту і адміністрування

Криворізький національний університет

Афанасьев М.Г.

к.е.н., старший викладач кафедри

вищої математики

Криворізький національний університет

The article deals with the main key problem aspects of the dynamics of mining development in the development of iron ore deposits of the iron ore industry in Ukraine. The formal setting of the tasks of increasing the efficiency of the processes of refining the operational parameters of the resources of iron ore raw materials of ore mining and processing enterprises is presented. The most significant features of the heterogeneity of elements and connections for the system of object-oriented allocation of volumes of resources in the process of their processing into commodity products are distinguished and classified. It is shown that the probabilistic nature of geological information, which has a significant impact on forecasting the results of production and economic activity of ore mining enterprises, significantly increases the possibility of increasing the risk of making managerial decisions. The mentioned causes the urgency of issues of improvement: the organizational structure of management of mining enterprises in the development of iron ore deposits, organizational and economic approaches to managing the competitiveness of iron ore products; evaluation of the effectiveness of innovative strategies in the mining industry, etc. The expediency of using the theory of boundary probability theorems in solving the problem of mathematical statement of improving the process of managing the efficiency of the use of iron ore materials resources in the conditions of ore mining and processing enterprises is substantiated. The economic-mathematical model of statistical tests in the process of managing the efficiency of the use of iron ore materials resources in the conditions of ore mining and processing enterprises is proposed. The above, makes it necessary to use the available empirical data directly and the probability distribution theorems. Undoubtedly, one of the decisive roles is played by the methodology and the corresponding tool of economic and mathematical modeling of the investigated processes. At the same time, it is important to determine the conditions of feasibility of options for the use of methodological approaches to the statistical modeling of random economic and key relative qualitative indicators of iron ore resources of the mining enterprise and their numerical characteristics on the basis of the revealed laws of normal or arbitrary distribution of random variables.

Key words: efficiency, management, iron ore raw materials, ore mining and processing enterprise, uncertainty, economic-mathematical model, risk.

Постановка проблеми. Галузі промисловості національного господарства завжди були й залишаються провідними в умовах сучасних трансформаційних процесів економіки України. При цьому необхідно зазначити, що посилення глобалізації та підвищення залежності економічного зростання від діяльності транснаціональних корпорацій впли-

вають на рівень забезпечення стабільного економічного стратегічного розвитку галузей економіки, які й без того тісно пов'язані у своїй господарській діяльності. При цьому залізородна галузь України є потужною мінерально-сировинною базою чорної металургії, що забезпечує її підготовленою залізородною сировиною для виробництва чавуну, залі-

зородним концентратом і подрібненою рудою для металургійних заводів, кусковою залізною рудою [1, с. 148–168; 2, с. 403–404]. Водночас нині переважна кількість родовищ багатих залізних руд України має більш ніж віковий період експлуатації, а тривалість розробки родовищ залізистих кварцитів становить близько сорока років. За цей час була відпрацьована найбагатша частина рудних покладів із найсприятливішими геологічними умовами. У поточний час через відносно низьку якість залізної руди, що видобувається в Україні, фізичну і моральну зношеність устаткування, відсутність необхідних капіталовкладень товарна залізородна продукція не відповідає вимогам світового ринку. Це зумовлює низьку ефективність залізородних підприємств нашої держави та, відповідно, їх неконкурентоспроможність як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми ефективності організації процесів виробничо-господарської діяльності залізородних підприємств та їх моделюванню присвячені чисельні дослідження багатьох вітчизняних і зарубіжних учених-економістів. Зокрема, велика увага

приділяється питанням удосконалення організаційної структури управління гірничодобувними підприємствами в умовах розробки залізородних родовищ, організаційно-економічним підходам до управління конкурентоспроможністю залізородної продукції, оцінюванню ефективності інноваційних стратегій у гірничодобувній промисловості та ін. [3, с. 243–255; 4, с. 96–101 5, с. 160–168], де, безумовно, одну з вирішальних ролей відіграє методологія та відповідний інструментарій економіко-математичного моделювання досліджуваних процесів [2, с. 403–413].

Постановка завдання. Метою дослідження є формування опису математичної постановки статистичних випробувань у процесі управління ефективністю використання ресурсів залізородної сировини в умовах гірничозбагачувальних підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз досягнення теорії прогнозування динаміки розвитку гірничих робіт у процесі розробки залізородних родовищ у формалізованій постановці завдань підвищення результативності процесів уточнення експлуатаційних параметрів ресурсів залізородної сировини (ЗРС) гірничозбагачуваль-

Таблиця 1

Основні характеристики неоднорідності елементів і зв'язків, властивих для СООР обсягів ресурсів ЗРС як об'єкта статистичних випробувань

№ з/п	Характеристика	Зміст
1	Мінливість	Умови або стан, у якому знаходиться СООР обсягів ресурсів ЗРС натеper, є узагальненим результатом виробничо-економічної діяльності підприємства, стану його оточення та є основою для визначення його майбутнього розвитку. При цьому жодна реальна виробнича операція в ланці «акумуляуючий склад – збагачувальна фабрика» не залишається статичною в процесі її виконання.
2	Наявність зовнішнього економічного середовища	СООР обсягів ресурсів ЗРС залежить від стану зовнішнього економічного середовища і є в дійсності підсистемою деякої більш загальної системи – техніко-економічної системи (ТЕС) ГРП. Навколишнє середовище являє собою комплекс об'єктів, які, хоча і не є частиною СООР обсягів ресурсів ЗРС, однак за деяких умов можуть викликати зміни в її стані. Таким чином, зовнішнє економічне середовище повинно бути представлено сукупністю всіх можливих впливів на процес прогнозування виходу товарного концентрату з руд замовленої якості.
3	Протиінтуїтивна поведінка	Поверхове ознайомлення зі складними системами може інколи привести до висновку про необхідність того або іншого коригуючого впливу, який на ділі часто виявляється неефективним або навіть приводить до зворотних результатів. Причина – подія і наслідок – зміна стану системи часто не мають тісного зв'язку в часі і просторі, ознаки тих або інших ситуацій у СООР обсягів ресурсів ЗРС можуть виявитися із запізненням на два-три тижні – місяць до початку дій, що викликали причину їх появи. Тоді певні рішення можуть привести в дійсності до загострення проблеми, а не до її вирішення.
4	Тенденція до погіршення характеристик	Складні ТЕС ГРП зазвичай виявляють тенденцію до погіршення з часом своїх характеристик. Поклади ресурсів ЗРС вичерпуються, і це стає причиною зниження ефективності ГРП, що в силу протиінтуїтивного характеру поведінки СООР обсягів ресурсів ЗРС може привести до негативних змін проектних рішень.
5	Взаємозалежність	Жодні дії СООР обсягів ресурсів ЗРС, як і в будь-якій складній системі, неможливо повністю ізолювати. Кожна подія підпадає впливу попередніх подій і впливає на наступні. Крім того, різні види дій у реальних умовах відбуваються в паралельних режимах і в результаті впливають одна на одну.
6	Організація	Реально СООР обсягів ресурсів ЗРС, як і всі складні системи, складається з елементів або компонентів, що характеризуються високим ступенем організації. Частина складаються в ієрархії підсистем, котрі взаємодіють між собою для виконання основного призначення – забезпечення максимально можливого виходу товарного концентрату з руд замовленої якості.

ного підприємства (ГРП) дав змогу виділити й класифікувати найбільш суттєві характеристики неоднорідності елементів і зв'язків для системи об'єктно-орієнтованого розподілу (СООР) обсягів ресурсів ЗРС у контексті цього наукового дослідження (табл. 1).

Виходячи з наведеної класифікації [6, с. 103], формування опису процесу статистичних випробувань складається з двох частин: статичного і статистичного подання. Ймовірнісний характер геологічної інформації, що слугує вихідною інформацією для прогнозування економічних результатів діяльності ГРП, як правило, не враховується під час геолого-економічної оцінки родовищ. Останнє не виправдано посилює можливість зростання ризику в економічному обґрунтуванні рішень на всіх рівнях управління підприємством.

Зменшення впливу фактору невизначеності результатів геолого-економічної оцінки родовищ на ефективність ГРП можна досягти удосконаленням оцінювання ризику прогнозу (планування) виходу (виробництва) концентрату, яке повинно враховуватися в процесі оперативного управління операційно-орієнтованим розподілом обсягів ресурсів залізорудної сировини в підсистемі ГРП «кар'єр – збагачувальна фабрика». Зазначене зумовлює необхідність використовувати наявні емпіричні дані безпосередньо та теоретико-імовірнісні розподіли. При цьому важливе значення має визначення умов доцільності варіантів використання методичних підходів щодо статистичного моделювання випадкових економічних і ключових відносних якісних показників ресурсів ЗРС ГРП та їхніх числових характеристик на підставі виявлених законів нормального або ж довільного розподілу випадкових величин.

Виходячи з класифікації найбільш суттєвих характеристик неоднорідності елементів і зв'язків для СООР обсягів ресурсів ЗРС (табл. 1), можна дійти висновку щодо доцільності проведення статистичних випробувань в оцінюванні випадкових економічних показників результатів виробничо-господарської діяльності ГРП і ключових відносних якісних показників ресурсів ЗРС, а також їх числових характеристик із прийнятою ймовірністю прогнозу. Таку можливість із достатньою адекватністю надає теорія граничних теорем імовірностей, де для доведення використовується нерівність Чебишева, яку й доцільно, на нашу думку, брати під час прогнозування економічних результатів розробки залізорудних родовищ (вихід залізорудного концентрату з руди, %; випуск кінцевої товарної продукції – товарного концентрату, т; вартість товарного концентрату, грн.; питомі витрати на 1 т товарного концентрату, грн.; індекс оцінювання зростання продуктивності дробильно-збагачувального обладнання (ДЗО), т/грн., грн./грн.; прибуток, грн. та ін.).

Приналежність граничних теорем імовірностей до закону великих чисел є запорукою отримання адекватних прогнозів рівнів ризику щодо оцінки ефективності економічних результатів діяльності ГРП.

Аналіз теорії і практики управління гірничими роботами показує [7, с. 92–93], що наявна теорія оперативного управління далеко не завжди має адекватні економіко-математичні моделі для вирішення реальних виробничо-економічних ситуацій на відкритих розробках залізорудних родовищ з урахуванням ризику [8, с. 37–41; 9, с. 334–342]. Крім того, проблема загострюється певними історично успадкованими внутрішніми протиріччями і проблемами, що, зокрема, проявляються у такому: нині система безперервного оперативного планування й управління виробництвом для забезпечення ритмічної роботи певних одиниць обладнання формується на основі застосування циклічно-поточної технології – такою є технологічна лінія; удосконалення і подальший розвиток теорії оперативного управління гірничими роботами відбувається в основному в межах календарного планування, де ключовим моментом планування є процес формування «шихти» одного рудопотоку. Водночас у кар'єрах одночасно формується декілька рудопотоків із певними об'ємно-якісними характеристиками.

Водночас це розкриває можливості в більш широкому аспекті вирішувати питання щодо оцінювання виходу концентрату – з руди з урахуванням виробничо-економічного ризику для будь-якої із сукупності блоків кар'єру, які можна задіяти під час формування рудопотоків і визначитися з альтернативними варіантами скорочення витрат на виробництво необхідних обсягів товарного концентрату, мінімізувати його собівартість і досягти максимальної можливих рівнів продуктивності обладнання в циклі подрібнення та збагачення руди відповідно індивідуальних режимів технологічних ліній з обмеженими виробничими потужностями.

Отже, ефективність відкритої розробки родовищ корисних копалин значною мірою залежить від дієвості управління гірничими роботами на внутрішньомісячних інтервалах. Основною проблемою при цьому є забезпечення своєчасного складання раціонального регламенту виробничих ситуацій як запоруки ефективної роботи підсистеми «кар'єр – збагачувальна фабрика».

Таким чином, прийняття рішень із цієї проблеми на практиці здійснюється за допомогою теорії оперативного управління та, як уже було зазначено, багато в чому залежить від адекватності прогнозування виходу концентрату – з руди для будь-якої із можливих комбінацій блоків кар'єру, з яких формуються рудопотоки у межах виробничого ланцюга ГРП «акумуляуючий склад – збагачувальна фабрика» та інших економічних показників резуль-

татів виробничо-господарської діяльності ГРП з урахуванням ризику, зокрема, вартості товарного концентрату, питомих витрат на 1 т товарного концентрату, індексу оцінювання зростання продуктивності ДЗО, прибутку та ін.

Тому для удосконалення оперативного управління з урахуванням ризику в межах СООР обсягів ресурсів ЗРС під час роботи кар'єру необхідно розвивати на підґрунті теорії, в якій підтримується ідея про формування у кар'єрі декількох рудопотоків із внутрішнім усередненням руд для забезпечення безперервного надходження сировини із заданими характеристиками для її переробки за індивідуальними режимами на дробильні та збагачувальні фабрики в товарний концентрат або для роздільного складування на відвальних складах.

Отже, оцінювання виробничо-економічного ризику в межах СООР обсягів ресурсів ЗРС під час формування рудопотоків у межах виробничого ланцюга ГРП «акумуляційний склад – збагачувальна фабрика» повинно здійснюватися відносно її ключового економічного показника – виходу залізородного концентрату у з руди, що є основним результативним показником виробничо-господарської діяльності підприємства (характеризує результативність ГРП відносно ресурсних витрат – економічність). При цьому числові характеристики результативного показника виробничо-господарської діяльності ГРП, які є базисом в оцінюванні виробничо-економічного ризику, розраховуються за даними сформованого масиву значень виходу концентрату у з руди, зумовлених якісними характеристиками ЗРС у блоках кар'єру.

Для вирішення задачі про використання ресурсів ЗРС для виробництва залізородного концентрату в її математичній постановці задаються такі вихідні дані: u – кількість блоків, $k = 1 \div u$; δ – порядковий номер значення виходу концентрату (y) замовленої якості (β_j , $j = 1 \div n$) з руди якістю (α_δ), отриманого в результаті дослідження сукупності δ -х інтервалів свердловин блоків, $\delta = 1 \div m_k$, з яких формуються певні комбінації рудопотоків $C_u^d = \frac{u!}{(u-d)!d!}$; d – кількість блоків, задіяних для формування певного рудопотоку; $Q = (q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_n)$ – план випуску товарного концентрату; $W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m)$ – обсяги ресурсів i -го виду ЗРС; $S = (s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_n)$ – вектор собівартості одиниці j -го виду товарного концентрату; $A = (1/\gamma_{ij})_{mn}$ – матриця витрат випуску товарного концентрату.

Отже, для знаходження оптимальних значень собівартості виробництва концентрату необхідно розв'язати задачу лінійного програмування, що дасть можливість підвищити ефективність оперативного управління розподілом обсягів ресурсів ЗРС у межах оптимальної області маневрування їх взаємозаміною за умови забезпеченості міні-

мально допустимих рівнів обсягів ресурсів ЗРС з урахуванням ризику, не більшим ніж наперед задане значення ρ .

Таким чином, методичний підхід до використання ресурсів ЗРС зводиться до такої задачі стохастичного програмування [10, с. 174–175]:

$$F(Q, S) = \sum_{j=1}^n s_j q_j \rightarrow \min,$$

$$P \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{1}{\gamma_{ij}} q_j \geq w_{i_{\min}} \right\} \geq 1 - \rho, \quad i = \overline{1, m}; \quad q_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Припустимо, що мінімально допустимі сумарні потреби в рівнях обсягів ресурсів ЗРС на складах-акумуляторах ГРП є випадковими величинами $w_{i_{\min}}$, які розподілені в інтервалах $[w_i^{(H)}, w_i^{(E)}]$ і мають рівномірний розподіл, можна перейти до детермінованих обмежень:

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{\gamma_{ij}} q_j \geq w_{i_{\min}} = w_i^*, \quad i = \overline{1, m}; \quad q_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де $[w_i^{(H)}, w_i^{(E)}]$ – відповідно значення нижньої та верхньої межі; $w_{i_{\min}}$ – значення випадкової величини w_i^* , що потрапляє в область допустимого маневрування та задовольняє умові $P\{w_i^* \leq w_{i_{\min}}\} \geq 1 - \rho$.

Рішенням цієї детермінованої задачі лінійного програмування є оптимальні значення обсягів виробництва товарного концентрату: q_1, q_2, \dots, q_n .

При цьому слід зазначити, що задача стохастичного програмування щодо формування та операційно-орієнтованого розподілу обсягів ресурсів i -го виду ЗРС у межах виробничого ланцюга ГРП «акумуляційний склад – збагачувальна фабрика» в процесі поточного контролю і регулювання випуску концентрату повинна потребувати постійного уточнення витрат $1/\gamma_{ij}$ у частках одиниці ресурсу ЗРС певної якості α_i , необхідних для виробництва 1 т товарного концентрату якості β_j .

Висновки з проведеного дослідження.

Удосконалення теорії оперативного управління ефективністю операційно-орієнтованого розподілу обсягів ресурсів ЗРС на підґрунті оцінювання виробничо-економічного ризику, що дає змогу моделювати випадкові техніко-економічні показники з необхідною надійністю (ймовірністю), базується на таких основних умовах функціонування системи «кар'єр – збагачувальна фабрика»: оцінювання виробничо-економічного ризику повинно враховувати безперервний вплив геологічних особливостей руд у рудопотоці на технологічні та економічні показники збагачення; під час оцінювання виробничо-економічного ризику вважається, що забезпечується безперервне дотримання технології проведення гірничих робіт у кар'єрі; під час оцінювання виробничо-економічного ризику вважається, що забезпечується безперервність підтримки обладнання у працездатному стані (дія умови проявляється під час виникнення й ліквідації аварій).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Стратегічні пріоритети ефективного економічного розвитку залізорудної галузі України / Є.В. Афанасьєв, О.С. Щекович, І.Є. Афанасьєв, М.Г. Афанасьєва, В.О. Ільченко: монографія / за заг. ред. Афанасьєва Є.В. Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2016. 380 с.
2. Афанасьєв Є.В., Афанасьєва М.Г. Соціально-економічний та технічний розвиток підприємств: проблеми, рішення, оцінка ефективності: монографія / за заг. ред. Л.М. Савчук. Дніпропетровськ: Пороги, 2016. 553 с. / Математичне моделювання в контексті державної підтримки стратегії економічного розвитку залізорудних підприємств України. С. 403–413.
3. Стратегічні аспекти вдосконалення організаційної структури управління в умовах гірничодобувних підприємств / Л.М. Варава, А.А. Варава, А.Р. Арутюнян. Маркетинг і менеджмент інновацій. 2016. № 4. С. 243–255.
4. Організаційно-економічні підходи до управління конкурентоспроможністю промислового підприємства / Л.М. Варава, А.Р. Арутюнян, А.А. Варава. *Економічний вісник Національного гірничого університету*. 2015. № 3 (51). С. 96–101.
5. Капітула С.В. Сучасні проблеми фінансового забезпечення кадрового потенціалу підприємств ГМК України. *Сучасні підходи до управління підприємством*: зб. наук. пр. 2018. № 3. С. 160–168.
6. Плотников О.В., Афанасьєв І.Є. Ігровий підхід до забезпечення вірогідності й точності визначення показників якості залізистих кварцитів за даними експлуатаційної розвідки. *Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ*: Науковий збірник. Кривий Ріг, 2009. № 2 (18) С. 102–109.
7. Афанасьєв І.Є. Моделювання виробничо-економічного ризику на основі системи коефіцієнтів відносно оцінки якості залізної руди. *Держава та регіони*: Науково-виробничий журнал. Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2011. № 2. С. 91–96.
8. Афанасьєв Є.В., Афанасьєв І.Є., Меленцова К.О. Удосконалення механізму управління економічною ефективністю результатів операційної діяльності залізорудного підприємства. *Причорноморські економічні студії*. 2018. Вип. 31. С. 37–41.
9. Нусінов В.Я., Афанасьєв І.Є. Удосконалення методичних підходів до визначення показників економічної ефективності функціонування гірничозбагачувальних підприємств. *Економічний аналіз*: зб. наук. пр. Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2013. Т. 13. С. 334–342.
10. Афанасьєв І.Є. Повышение эффективности управления операционно-ориентированным распределением ресурсов железорудного сырья горнорудного предприятия. *Економіка промисловості*: Науково-практичний журнал. Донецьк, 2012. № 3–4 (59–60). С. 170–176.