

# ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ



УДК 338.45:[622: 65.011.12.003.1]

Прокопенко В.І.

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ У ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Розглядаються економічні шляхи управління втратами рудної сировини на гірничо-збагачувальних комбінатах Криворіжжя. Визначається економічний ефект підвищення якості руди, яка надходить на збагачення.

The rational ways of managing the losses of ore raw materials at mining and dressing enterprises of Kryvyi Rig are investigated. The economic benefit of improving the quality of ore to be concentrated is considered.

Існує багато технологічних способів стабілізації рудопотоку за рівномірністю обсягів відвантаження і вмістом металу. Необхідний рівень стабілізації досягається шляхом організації процесів видобутку і переробки руди в раціональному режимі. Визначимо економічний ефект, що може бути отриманий у результаті стабілізації рудопотоку за рівномірністю і якістю. Цей ефект формується за рахунок організаційних рішень за наступними напрямками: 1) зниження коливань обсягів руди, що надходять на збагачувальну фабрику; 2) підвищення вмісту металу у вихідній руді за рахунок скорочення обсягів збідніння; 3) зниження коливань якості руди, яка вимірюється вмістом металу.

Якщо потужність рудопотоку змінюється в часі ( $\epsilon$  коливання продуктивності дробильної фабрики (ДФ) від  $Q_{d.f.min}$  до  $Q_{d.f.max}$ ), то збагачувальна фабрика (ЗФ) приймає тільки той рудопотік, потужність якого або не перевищує середнього рівня  $Q_{c.z}$  продуктивності або припустимого рівня продуктивності технологічних ліній ЗФ. Хоча в середньому на ДФ надходить рудопотік потужністю  $Q_{d.f.}$ , але він не може бути перероблений у повному обсязі, оскільки фабрика допускає лише ті коливання продуктивності, для яких  $Q_{d.f.t} \leq Q_{z.f.max}$ . Продуктивність ЗФ знижується на величину

$$Q_{c.d} - Q_{c.z} = (Q_{d.f.max} - Q_{z.f.max}) / 2.$$

Внаслідок зазначеного зниження продуктивності підвищиться собівартість процесів дроблення і збагачення за рахунок підвищення питомих умовно-постійних витрат на величину

$$C_Q = C_K(1/Q_{c.z} - 1/Q_{c.d}), \text{ грн. / т,}$$

де  $C_K$  – сумарні умовно-постійні витрати дробильно-збагачувального комплексу, грн. / г.

Економічний ефект за рахунок усунення коливань продуктивності в  $t$ -у годину роботи ЗФ

$$C_Q = C_K(1 - Q_{c.z}/Q_{c.d}), \text{ грн./г.} \quad (1)$$

Як випливає з виразу (1), зниження собівартості процесів дроблення і збагачення за рахунок усунення коливань обсягів руди, що надходить на ЗФ, обернено пропорційно відношенню між собою середніх значень продуктивності дробильної і збагачувальної фабрик.

Економія протягом місяця за умовно-постійними витратами

$$E_Q = C_Q T_c N_p n_c, \text{ грн.}, \quad (2)$$

де  $T_c$  – тривалість робочої зміни, г;  $N_p$  – число робочих днів на місяць;

$n_c$  – число робочих змін на добу.

Внаслідок недотримання раціональної технології виїмки рудних заходок, збідніння руди, а також втрат якості на усереднювальних складах знижується якість руди, що надходить на ЗФ. Для виробництва концентрату в обсязі  $Q_k$  необхідно добувати руди

$$Q_p = Q_k / (\alpha E_k / \beta),$$

де  $\alpha$  – середній вміст корисного компонента у вихідній руді;

$E_k$  – витяг корисного компонента з руди;

$\beta$  – вміст корисного компонента у концентраті.

Однакову кількість концентрату можна виробити з різного обсягу руди в залежності від її якості. Якщо вміст заліза у руді змінюється від  $\alpha_{min}$  до  $\alpha_{max}$ , то необхідний обсяг руди для виробництва  $Q_k$  концентрату змінюється від  $Q_{p,max}$  до  $Q_{p,min}$ , причому останні є функціями витягу металу з руди  $E_k(\alpha_{min})$  і  $E_k(\alpha_{max})$  відповідно при його мінімальному і максимальному вмісті у вихідній руді.

Різниця  $Q_{p,max} - Q_{p,min}$  – це додатковий обсяг руди, який необхідно добути і дробити у зв'язку зі зниженим вмістом заліза в руді. Витрати на видобуток і дроблення руди будуть дорівнювати сумі  $Z_p + Z_d$ . Економічний ефект за рахунок скорочення обсягу руди, що добувається, якщо досягається її більш висока якість, складає

$$E = (Q_{p,max} - Q_{p,min}) (Z_p + Z_d), \text{ грн./міс}, \quad (3)$$

де  $Z_p, Z_d$  – витрати відповідно на видобуток руди, включаючи погашення розкриття та її дроблення, грн./т.

Крім того знижуються витрати, безпосередньо пов'язані з процесом збагачення: чим вищий вміст магнетитового заліза в руді, тим менше питомі витрати на виробництво концентрату. При мінімальному вмісті  $\alpha_{m,min}$  витрати на концентрат складуть найбільшу величину  $C_{k,max}$ , при якості руди  $\alpha_{m,max}$  – найменшу величину  $C_{k,min}$ , оскільки собівартість концентрату є функція  $C_k = f(\alpha_m)$ .

Статистичним шляхом між собівартістю руди  $C_p$  і вмістом загального  $\alpha_o$  і магнетитового заліза  $\alpha_m$  у вихідній руді для Центрального ГЗК отримана така залежність

$$C_p = 0,0848 \alpha_o - 0,776 \alpha_m + 21,89, \text{ грн./т},$$

де  $\alpha_o, \alpha_m$  - у %.

Так само визначено вплив якості вихідної руди на собівартість концентрату  $C_k$ . Цей вплив описується рівнянням регресії

$$C_k = 223,23 - 1,248 \alpha_o - 5,944 \alpha_m, \text{ грн./т},$$

де  $\alpha_o, \alpha_m$  - у %.

При підвищенні вмісту магнетитового заліза в руді утвориться економія експлуатаційних витрат

$$E_z = [C_k(\alpha_{m.min}) - C_k(\alpha_{m.max})] Q_{z.f}, \text{ грн./міс.}, \quad (4)$$

де  $C_k(\alpha_{m.min})$ ,  $C_k(\alpha_{m.max})$  – собівартість виробництва концентрату з руди відповідно зниженої і підвищеної якості за витратами на процес збагачення, грн./т;

$Q_{z.f}$  – продуктивність збагачувальної фабрики з випуску концентрату, т/міс.

Навіть при стабільних обсягах дробленої руди, що відвантажується на збагачувальну фабрику, спостерігаються коливання її якості, які характеризуються вмістом заліза. Внаслідок коливань якості руди на ЗФ знижується вихід концентрату, тобто підвищуються витрати руди. Для виробництва того самого обсягу концентрату з підвищенням коливань якості необхідно добувати і переробляти більший обсяг руди. Тому витрати на добувні роботи зростають.

Якщо коливання якості, що вимірюються середньоквадратичним відхиленням, знижуються з  $\delta_{max}$  до  $\delta_{min}$ , то відповідно до цього зниження коливань знаходять підвищення коефіцієнта витягу металу в концентрат і скорочення обсягу, що добувається з руди, яка переробляється. Кореляційні залежності функції  $E_k = f(\delta)$  наведені в монографії [1]. За М.Г. Новожиловим [2]

$$E_k = -139,43 + 13,06 \alpha_m - 2,026 \delta_{\alpha\beta} - 0,196 \alpha_m^2 + 0,70 \delta \alpha_m^2, \quad \% , \quad (5)$$

де  $\delta_{\alpha\beta}$  – середньоквадратичне відхилення внутрішнього вмісту магнетитового заліза в руді, %.

Допустимо, що при коливанні якості  $\delta_{max}$  витяг металу складає  $E_k(\delta_{max})$ , при коливанні  $\delta_{min}$  – витяг  $E_k(\delta_{min})$ . У залежності від витягу витрати руди відповідно будуть рівні  $Q_{\delta_{max}}$  і  $Q_{\delta_{min}}$ .

Економія за рахунок зниження коливань якості руди за витратами на її видобуток і дроблення

$$E = (Q_{\delta_{max}} - Q_{\delta_{min}}) (3_p + 3_d), \text{ грн./міс.}$$

Також можна визначити економічний ефект за рахунок зниження собівартості концентрату при підвищенні витягу металу, обумовленого зниженням коливань якості руди, що надходить на збагачення. Якщо коливання знижується з  $\delta_{max}$  до  $\delta_{min}$ , то витяг металу підвищується з  $E_k(\delta_{max})$  до  $E_k(\delta_{min})$ , що веде за собою зниження собівартості концентрату від  $C_k(E_{k,max})$  до  $C_k(E_{k,min})$  (рис. 1).

Для сформованої на ЦЗК практики між собівартістю концентрату і витягом заліза спостерігається досить тісний взаємозв'язок. На сучасному етапі характерним у виробничо-господарській діяльності комбінатів є постійне підвищення цін на електроенергію, газ, паливо, запасні частини, матеріали, а також зниження продуктивності технологічного устаткування внаслідок його великого зносу і погіршення умов експлуатації. Усе це призводить до постійного підвищення собівартості продукції в часі.

При розрахунку економії за рахунок зниження коливань якості руди можна використовувати два підходи:

- 1) економію  $E_f$  визначають шляхом підсумовування значень економії експлуатаційних витрат, встановлених окремо для процесів видобутку, дроблення і збагачення;
- 2) економію  $E_c$  встановлюють у цілому для всього гірничо-збагачувального процесу, виходячи із собівартості концентрату.

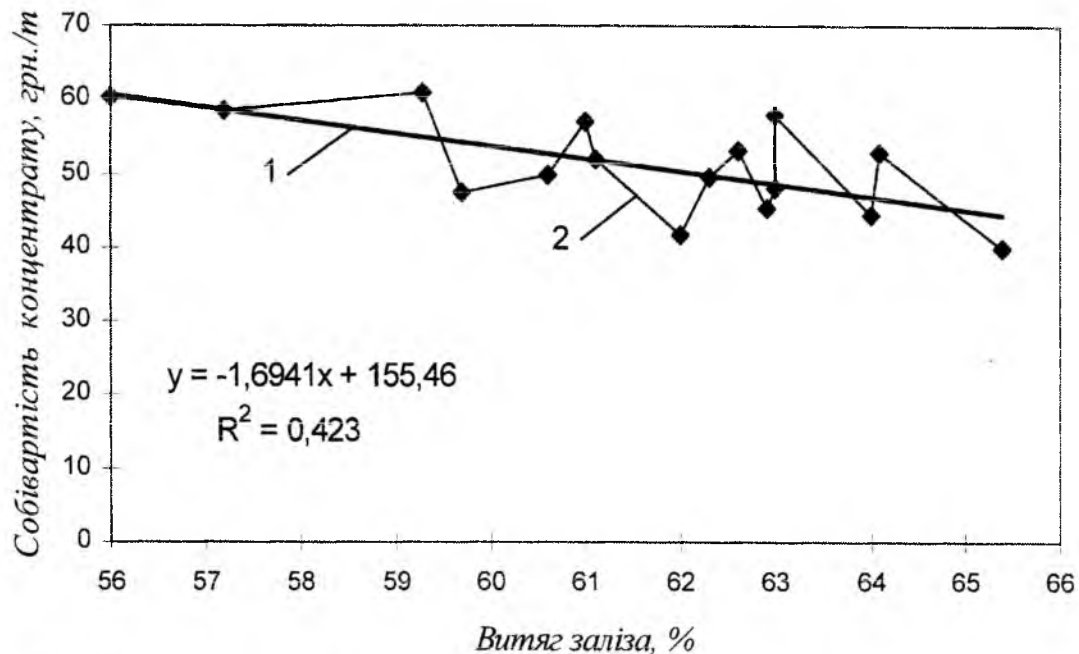


Рис. 1. Графік залежності собівартості концентрату від витягу заліза: 1,2 – відповідно теоретична й емпірична лінії регресії

Для кожного підходу необхідно мати статистичну залежність між витягом металу в концентрат і собівартістю концентрату відповідно по витратах тільки на процес збагачення й у цілому для всіх процесів. При другому підході

$$E_c = [C_k(\delta_{max}) - C_k(\delta_{min})] Q_{c.з}, \text{ грн./міс.},$$

де  $C_k(\delta_{max})$ ,  $C_k(\delta_{min})$  – собівартість концентрату при витягу металу, що відповідає найбільшому та найменшому коливанню якості вихідної руди, грн./т.

На підставі вищевикладеного, загальний економічний ефект від стабілізації обсягів і якості руди, що надходить на ЗФ, дорівнює сумі

$$E_m = E_Q + E_a + E_o + E_\delta + E_\phi, \text{ грн./міс.}, \quad (6)$$

Розрахований за виразом (6) ефект повинний бути зменшений на величину фонду додаткового преміювання працівників за стабілізацію якості рудопотоку. Скоригований економічний ефект буде дорівнювати

$$E_{m.з} = E_m(1 - K_{a.n}), \text{ грн./міс.},$$

де  $K_{a.n}$  – частка економічного ефекту, що виділяється на стимулювання праці для підвищення якісних характеристик рудної сировини, що надходить на збагачення, питома вага.

Наведемо деякі пояснення до розрахунку суми (6).

Економічний ефект варто розраховувати на місяць. На цей час планують виробничі й економічні показники, у тому числі фонд оплати праці. Якщо за місяць буде отримана економія експлуатаційних витрат, то частина її може бути виплачена у вигляді додаткової премії.

Стабілізація якості рудної сировини повинна здійснюватися усередині зміни, оскільки параметри процесу збагачення налаштовуються на внутрішніми якість сировини. Вираз (6) дозволяє установити, яку частину в економічному ефекті формує стабілізація

якості руди за тим чи іншим напрямком і в яких процесах варто стабілізувати якість руди для досягнення більшої економії. Виділити частку технологічного процесу в загальній економії буде досить складно. Наприклад, стабілізація обсягів руди і її якостей, що досягаються в період видобутку, визначають собівартість наступних процесів дроблення руди та її збагачення. Тому правомірним вважаємо такий варіант стимулювання робітників з підвищення якості рудопотоку, коли додатковий преміальний фонд устанавлюється для всіх процесів видобутку і переробки у вигляді визначеної частини загальної економії за економічними показниками кінцевої продукції, а розподіл цього фонду за процесами здійснюється відповідно до суми тарифних ставок робочих, які виконують і організують ці процеси.

Виходячи з аналітичних виразів для розрахунку величин  $E_Q$ ,  $E_a$ ,  $E_o$ ,  $E_\delta$ , що складають економічний ефект  $E_m$ , можна зробити висновок про те, що продуктивність технологічних цехів з видобутку та переробки руди необхідно приймати такими, величину яких можна підтримувати стабільно без коливань. Умовно-постійні витрати повинні бути визначені відповідно до прийнятої продуктивності.

Виконаємо кількісну оцінку економічної ефективності підвищення якості рудної сировини, а також стабілізації якісних показників рудопотоку, що надходить на збагачувальну фабрику. Насамперед, оцінимо ефективність зниження коливань обсягів збагачуваної руди за формулою (2). Для розрахунку економії  $E_Q$  прийнято: виробництво концентрату 300 тис. т/міс., продуктивність  $Q_{дф}$  стосовно продуктивності  $Q_{сз}$  має коливання у більшу сторону на 0,05...0,25, собівартість концентрату 60 грн./т, режим роботи  $T_c N n_c = 7 \times 22 \times 3$ . Частка умовно-постійних витрат на продукцію гірничо-збагачувальних комбінатів за дослідженнями [3] складає 0,15...0,25 загальних витрат. З розрахунків випливає, що внаслідок збільшення вмісту загального заліза в руді з 30,8% ( $\alpha_m = 20,7\%$ ) до 34,1% ( $\alpha_m = 23,7\%$ ) витяг металу в концентрат  $E_k$  підвищується з 61,9% до 65,4%. При вмісті в концентраті 66,4% заліза одержуємо:  $Q_{p,max} = 1045$ ,  $Q_{p,min} = 893$  тис. т/міс. За дослідженнями [4]  $3p = 4,31$  грн./т,  $3_\delta = 0,94$  грн. З використанням формули (3) розраховуємо економічний ефект  $E_a$ . Він дорівнює 796 тис. грн./міс. (рис. 2).

Скорочення витрат, пов'язаних безпосередньо з процесом збагачення, встановлено за формулою (4). Середні витрати на збагачення складають 13,85 грн./т [4]. Після підстановки у формулу вихідних даних одержуємо:

$$E_o = (15,15 - 12,55) 300 = 780 \text{ тис. грн./міс.}$$

Для розрахунку економічного ефекту  $E_\delta$  від зниження коливань якості руди на стадіях видобутку і дроблення прийняті вихідні дані:  $\alpha_m = 22\%$ , середньоквадратичне відхилення  $\delta_{ав}$  знижується з 4,5 до 0,5%,  $\beta = 66,4\%$ ,  $Q_k = 300$  тис. т/міс. За формулою (5) знаходимо:  $E_k(\delta_{max}) = 50,06\%$ ,  $E_k(\delta_{min}) = 52,19\%$ .

Тоді  $Q_{\delta max} = 1170$  тис. т/міс.,  $Q_{\delta min} = 1122$  тис. т/міс.,  $E_\delta = 252$  тис. грн./міс.

У процесі збагачення якість вихідної руди коливається в невеликому діапазоні – на різних ГЗК середньоквадратичні внутрішні коливання вмісту магнетитового заліза складають 0,5...1,5%. Зниження коливань призводить до збільшення коефіцієнта витягу металу в концентрат. На ІГЗК зниження коливань від 1,3% до 0,5% підвищує витяг на 0,8%, на ПівнГЗК при зниженні внутрішніх коливань якості з 0,9% до 0,5% витяг збільшується на 1% [2]. При підвищенні витягу зменшується втрата рудної сировини, і як наслідок, витрати на виробництво концентрату. Ці витрати обернено пропорційні виходу концентрату з руди  $\gamma$ . За М.Г. Новожиловим [2]

$$\gamma = -60,04 + 6,16\alpha_m - 1,39\delta_{ав} - 0,09\alpha_m^2 + 0,50\delta_{ав}, \% . \quad (7)$$

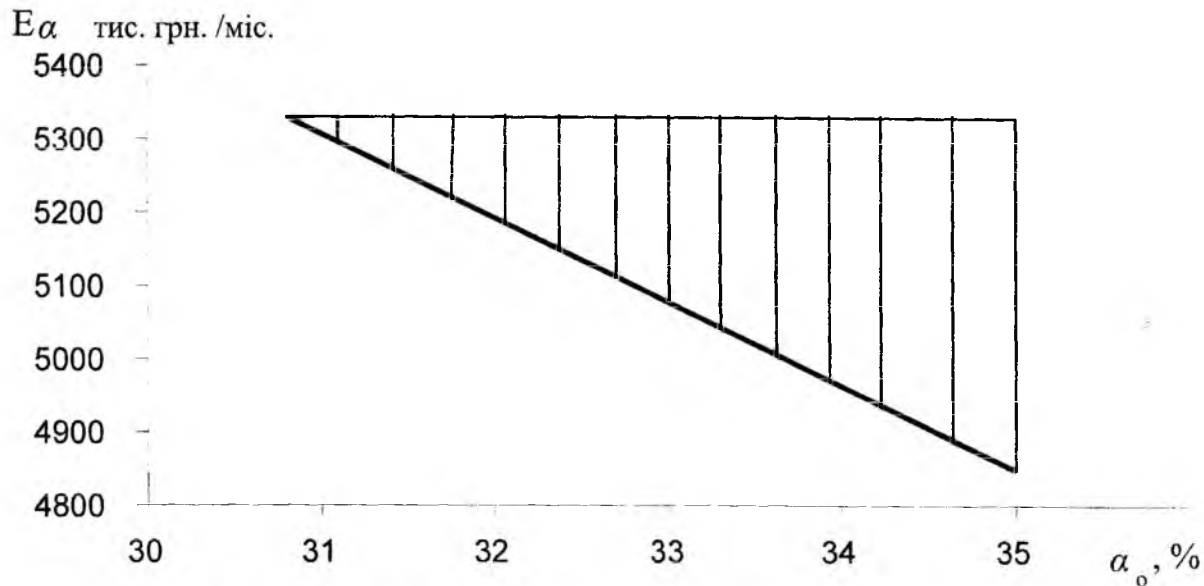


Рис. 2. Графік зміни експлуатаційних витрат на видобуток і дроблення руди в залежності від вмісту в ній загального заліза (заштрихована – економія від підвищення вмісту)

На підставі залежності (7) при якості руди  $\alpha_m = 30\%$  і зниженні внутрішніх коливань  $\delta_{af}$  з 1,3% до 0,5% вихід збільшується з 42,7% до 43,24%. Витрати безпосередньо на процес збагачення складають 13,85 грн./т. Для виробництва концентрату в обсязі 300 тис. т/міс. витрати за рахунок зниження коливань якості руди зменшуються на 51,9 тис. грн./міс.

Сумарний економічний ефект, що може бути отриманий у результаті удосконалення організації технологічних процесів для підвищення якості рудної сировини на збагачувальній фабриці, дорівнює 2479,9 тис. грн./міс. Частину цієї економії варто направити у фонд оплати праці на преміювання працівників, що організують і виконують технологічні процеси з видобутку і переробки руди.

Підвищення і стабілізація вмісту магнетиту у вихідній руді, стабілізація обсягів її відвантаження на збагачення дозволяють знизити собівартість концентрату на 15...20%. В умовах ЦГЗК для продуктивності збагачувальної фабрики 300 тис. т концентрату на місяць сумарний економічний ефект від удосконалення організації технологічних процесів з метою підвищення якості рудної сировини складає 2479,9 тис. грн./міс., причому 60...70% цієї суми пов'язано з підвищенням вмісту магнетитового заліза в процесі добувних робіт.

### Література

1. Бастан П.П., Волошин П.П. Усреднение руд на горно-обогатительных предприятиях. – М.: Недра, 1981. – 280 с.
2. Новожилов М.Г., Ройзен Я.Ш., Эрперт А.М. Качество рудного сырья черной металлургии. – М.: Недра, 1977. – 415 с.
3. Сборник нормативов долей условно-постоянных расходов в денежных затратах горнорудных предприятий / Криворожский науч.-исслед. горноруд. ин-т. – Кривой Рог: НИГРИ, 1979. – 22 с.
4. Курашов С.В. Совершенствование организации технологических процессов как фактор улучшения экономических показателей горно-обогатительного производства: Дис. ... канд. техн. наук: 08.06.01. – Днепропетровск, 1999. – 178 с.

Рекомендовано до публікації  
д.е.н., проф. Сазонцем І.Л. 09.01.03

Надійшла до редакції  
16.12.02