

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ БОРТОВОГО ВМІСТУ ДЛЯ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОГО СКЛАДУ НЕКОНДИЦІЙНОЇ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

*Д.А. Журкін, В.В. Загубинога, В.В. Панченко, ДВНЗ «НГУ», Україна
Д.В. Вінівітін, ВАТ «Полтавський ГЗК», Україна*

Реалізовано новий підхід та відповідну методику з визначення бортового вмісту залізної руди для складів некондиційних руд. За результатами розрахунків згідно створеній методиці встановлена закономірність - при збільшенні середньої якості руди, що надходить на збагачення, бортовий вміст заліза в руді зменшується. На основі встановленої закономірності була обґрунтована принципова можливість залучення до збагачення некондиційної руди, і, тим самим, розширити сировинну базу гірничо-збагачувального комбінату за рахунок більш повного використання надр.

Вступ. Актуальність раціонального використання мінеральної сировини є безперечною і посилюється невідновлюваним характером запасів корисних копалин.

У зв'язку з цим нагальною потребою стає техніко-економічна оцінка доцільності залучення до видобутку та переробки в близькому майбутньому залізних руд, які на даний час віднесені до некондиційних. Така перспектива обумовлюється також змінними ринковими цінами на концентрат, що робить сам поділ руд на кондиційні і некондиційні теж змінним.

Аналіз існуючого положення, формулювання задачі. Слід відзначити, що цьому напряму присвячена значна частина науково-практичних розробок, як з методології визначення, так і з управління кондиціями. Зокрема, в [1] наведено досить детальний аналіз методологій техніко-економічного обґрунтування кондицій на залізну руду, в [2], [5] обґрунтований методологічний підхід до реалізації раціональних стратегій освоєння родовищ з урахуванням керованої зміни кондицій, а в [3] розроблена методика визначення взаємозалежності можливого прибутку гірничо-збагачувального комбінату за реалізований концентрат від бортового вмісту заліза.

У практичному аспекті в якості досягнення слід відзначити перехід до окремого складування некондиційних руд на відвалах, у відпрацьованому просторі кар'єрів або в межах земельного відводу на деяких комбінатах.

Подальша практична реалізація ідей змінних кондицій, залучення до переробки руд, визначених раніше як некондиційні, стратегічного планування гірничих робіт з урахуванням керованої зміни кондицій, не дивлячись на численні наукові публікації, поки що стримується недостатнім методичним забезпеченням практичного застосування.

У зв'язку з цим, задачею даної роботи є розробка однієї із складових такого методичного забезпечення - техніко-економічного обґрунтування бортового вмісту для перевантажувального складу некондиційної залізної руди. На відміну від відомих робіт, зокрема, [5], в ній зроблена спроба врахувати змінний характер витрат на збагачення руди в залежності від її середньої якості при виробництві концентрату необхідної якості.

Виклад матеріалу досліджень і результатів.

Основні вихідні положення. Техніко-економічне обґрунтування бортового вмісту для перевантажувального складу некондиційної залізної руди виконувалось в рамках традиційної методології [1], як найбільш простої. Відповідно, вихідне балансове рівняння відображало рівність сумарних питомих витрат на видобуток та переробку руди і питомої виручки від реалізації концентрату:

$$Z_{\text{доб.}}^P + Z_{\text{пер.}}^P = D^K, \quad (1)$$

де $Z_{\text{доб.}}^P$ - собівартість видобування руди, грн/т;

$Z_{пер}^P$ - собівартість переробки руди в продукцію (в нашому випадку – в концентрат)

грн/т;

D^K - виручка від продажу концентрату, отриманого з 1 т руди, грн/т.

Таким чином, була прийнята теза, що видобуток та переробка руди з якістю, рівною бортовому вмісту, забезпечує тільки нульовий прибуток.

Виходячи з зарубіжного досвіду [6], в роботі використовувалось розширене тлумачення бортового вмісту заліза в руді, як порогового значення, що задає призначення (місце доставки) окремих видів гірничої маси:

1) діюче виробництво концентрату (місце доставки – ДЗФ); бортовий вміст – нижній поріг кондиційного значення вмісту заліза в руді;

2) виробництво концентрату, що можливе (місце доставки – підшихтовочний склад некондиційної руди → ДЗФ); бортовий вміст - нижній поріг значення вмісту заліза в некондиційній руді, яку при деяких технологічних схемах видобутку і транспортування переробляти можливо;

3) майбутнє виробництво концентрату (місце доставки – акумулюючі склади некондиційної руди); бортовий вміст – нижній поріг майбутнього кондиційного значення вмісту заліза в теперішній некондиційній руді;

4) зберігання відходів відкритої розробки родовища (відвали некондиційної руди з неперспективним низьким вмістом заліза та розкритих порід); бортовий вміст не встановлюється, оскільки переробка не планується і в майбутньому.

Відповідно сформульованій меті в роботі розглядалась техніко-економічна оцінка першого і другого варіанту призначення залізної руди, що видобувається в кар'єрі, їх порівняльний аналіз та обґрунтування можливості другого варіанту.

Техніко-економічна оцінка бортового вмісту кондиційної руди (перший варіант призначення руди). Для виконання розрахунків було деталізовано кожен складову формули (1) для наступної технологічної схеми транспортування руди: доставка автотранспортом з кар'єру на перевантажувальний склад на денній поверхні, і екскаваторне перевантаження в залізничний транспорт та доставка на ДЗФ.

Собівартість видобування руди була представлена на основі відомого підходу:

$$\begin{aligned}
 Z_{доб.}^P = & \underbrace{\left(C_{в.-н.}^P + C_{тр.}^P \times l_{тр.}^P + C_{ск.}^P \right)}_{\text{кар'єр - склад}}^{<1>} + \underbrace{\left(C_{в.-н.}^{P2} + C_{тр.}^{P2} \times l_{тр.}^{P2} \right)}_{\text{склад - ДЗФ}}^{<2>} + \\
 & + \underbrace{\left(C_{в.-н.}^6 \times k_m \right)}_{\text{розкрив. породи - вийм.}}^{<3>} + \underbrace{\left(C_{відв.}^6 \times k_m \right)}_{\text{розкрив. породи - відвалоутв.}} + \\
 & + \underbrace{\left(0,8 \left(C_{тр.}^{6.a} \times l_{тр.}^{6.o.a} \right) + 0,2 \left(C_{тр.}^{6.a} \times l_{тр.}^{6.n.a} + C_{тр.}^{6.3} \times l_{тр.}^{6.o.3} \right) \right)}_{\text{розкрив. породи - транспортування}}^{<3>} k_m, \quad (2)
 \end{aligned}$$

де $C_{в.-н.}^P$ - собівартість екскавації руди в кар'єрі, грн/т;

$C_{тр.}^P$ - собівартість транспортування руди з кар'єру до складу, грн/т*км;

$l_{тр}^P$ - середня відстань транспортування з кар'єру до складу, км;

$C_{ск}^P$ - собівартість складування руди, грн/т;

$C_{в.-н.}^{P2}$ - собівартість екскавації руди на складі, грн/т;

$C_{тр.}^{P2}$ - собівартість транспортування руди зі складу на дробильно-збагачувальну фабрику, грн/т*км;

$l_{тр.}^{P2}$ - середня відстань транспортування зі складу на дробильно-збагачувальну фабрику, км.

$C_{в.-н.}^в$ - собівартість екскавації розкривних порід в кар'єрі, грн/т;

k_m - поточний (річний) коефіцієнт розкривних порід, долі од.;

$C_{тр.}^{в.а}$ - собівартість транспортування розкривних порід автотранспортом, грн/т*км;

$l_{тр.}^{в.о.а}$ - середня відстань транспортування розкривних порід автотранспортом на відвал, км;

$l_{тр.}^{в.п.а}$ - середня відстань транспортування розкривних порід автотранспортом на перевантажувальний пункт, км;

$C_{тр.}^{в.з}$ - собівартість транспортування розкривних порід залізничним транспортом від перевантажувального пункту на відвал, грн/т*км;

$l_{тр.}^{в.о.з}$ - середня відстань транспортування розкривних порід залізничним транспортом від перевантажувального пункту на відвал, км;

$C_{відв.}^в$ - собівартість відвалоутворення, грн/т;

Витрати на переробку руди визначались за виразом, що, **на відміну від відомого підходу**, враховує змінний характер витрат на збагачення в залежності від параметрів режиму збагачення:

$$z_{пер.}^P = \overbrace{C_{др.}^P + C_{зб.}^P(\alpha)}^{<4>}, \quad (3)$$

перероб. руди

де $C_{др.}^P$ - собівартість дроблення руди грн/т;

$C_{зб.}^P(\alpha)$ - собівартість збагачення руди, як функція її якості, грн./т;

α - середня якість руди, що збагачується (вміст $Fe_{магн}$), %;

ε - вилучення металу в концентрат при збагаченні руди, долі. од.;

β_K - якість концентрату (вміст $Fe_{магн}$), %.

Відповідно, питомий дохід від реалізації концентрату визначався за формулою:

$$D^k = \frac{Q^k \times C(\beta_k)}{Q^p} = \gamma(\alpha, \varepsilon, \beta_k) \times C(\beta_k), \quad (4)$$

де Q^k - маса концентрату, що виробляється з видобутої руди, т;

Q^p - маса руди, що видобувається, т;

$C(\beta_k)$ - ціна концентрату, грн./т;

$\gamma(\alpha, \varepsilon, \beta_k)$ - вихід концентрату, долі од.; аргументи в дужках підкреслюють залежність від них виходу концентрату.

Підставивши вирази (2) – (4) у вихідне рівняння (1), отримали:

$$(<1> + <2> + <3> + <4>) = \gamma(\alpha, \varepsilon, \beta_k) \times C(\beta_k), \quad (5)$$

де $<...>$ - позначення складових виразів (2) – (3).

На основі підстановки відомої взаємозалежності параметрів процесу збагачення залізних руд $\gamma = \frac{\alpha \times \varepsilon}{\beta_k}$ у (5) отримано формулу **мінімальної можливої** якості кондиційної руди

(бортового вмісту), що подається з кар'єру через перевантажувальний пункт на збагачення:

$$\alpha_{\text{борт}}^k = \frac{(<1> + <2> + <3> + <4>) \times \beta_k}{\varepsilon \times C(\beta_k)}. \quad (6)$$

Техніко-економічна оцінка бортового вмісту некондиційної руди (другий варіант призначення руди). При економічній оцінці доцільності залучення до збагачення руди, що в даний час віднесена до некондиційної, за вихідне теж було прийняте балансове рівняння (1).

В якості ключового враховувався той факт, що в даний час некондиційна руда має статус розкривної породи і доставляється на відвали для валового відвалоутворення. При цьому витрати на екскавацію некондиційної руди, її транспортування на відвали та відвалоутворення відносяться відповідним чином на собівартість руди. Таким чином, доставка некондиційної руди замість відвалу на перевантажувальний склад, не матиме витрат на екскавацію, транспортування та складування.

В результаті складові $<1>$ і $<3>$ у виразі (5) будуть відсутні і **мінімальна можлива** якість некондиційної руди (бортовий вміст), що подається з кар'єру через перевантажувальний пункт на збагачення, буде визначатись виразом:

$$\alpha_{\text{борт}}^{\text{нк}} = \frac{(<2'> + <4'>) \times \beta_k}{\varepsilon \times C(\beta_k)}, \quad (7)$$

тобто

$$\left(\underbrace{\left(\frac{C_{\text{в.-н.}}^{\text{нк}}}{\text{склад-ДЗФ}} + \frac{C_{\text{тр.}}^{\text{нк}} \times l_{\text{тр.}}^{\text{нк}}}{\text{склад-ДЗФ}} \right)}_{\text{склад-ДЗФ}} + \underbrace{\left(\frac{C_{\text{др.}}^{\text{нк}}}{\text{перероб.руди}} + \frac{C_{\text{зб.}}^{\text{нк}}(\alpha)}{\text{перероб.руди}} \right)}_{\text{перероб.руди}} \right) = \gamma(\alpha, \varepsilon, \beta_k) \times C(\beta_k), \quad (8)$$

де $C_{\text{в.-н.}}^{\text{нк}}$ - собівартість екскавації некондиційної руди при відвантаженні її зі складу на ДЗФ, грн/т;

$C_{тр.}^{НК}$ - собівартість транспортування некондиційної руди зі складу на ДЗФ, грн/т*км;

$l_{тр.}^{НК}$ - середня відстань транспортування некондиційної руди зі складу на дробильно-збагачувальну фабрику, км;

$C_{др.}^{НК}$ - собівартість дроблення некондиційної руди, грн/т;

$C_{зб.}^{НК}(\alpha)$ - собівартість збагачення некондиційної руди, руди грн/т.

Порівняльний аналіз техніко-економічної оцінки бортового вмісту кондиційної і некондиційної руди. Для порівняльного аналізу за формулами (1)-(8) були виконані розрахунки бортового вмісту кондиційної і некондиційної руди при різних значеннях середнього вмісту $Fe_{магн.}$

Попередньо була встановлена регресійна залежність собівартості збагачення кондиційної і некондиційної руди від середнього вмісту $Fe_{магн.}$, графік якої представлений на рис. 1. Перша точка $(C_{зб.}^P(16,0); 16,0)$ була встановлена шляхом розрахунку на основі перетворення формули (6). Друга точка $(C_{зб.}^P(27,0); 27,0)$ була взята зі статистичної звітності підприємства. Третя точка $(C_{зб.}^P(60,0); 60,0)$ визначена розрахунково-експертним шляхом.

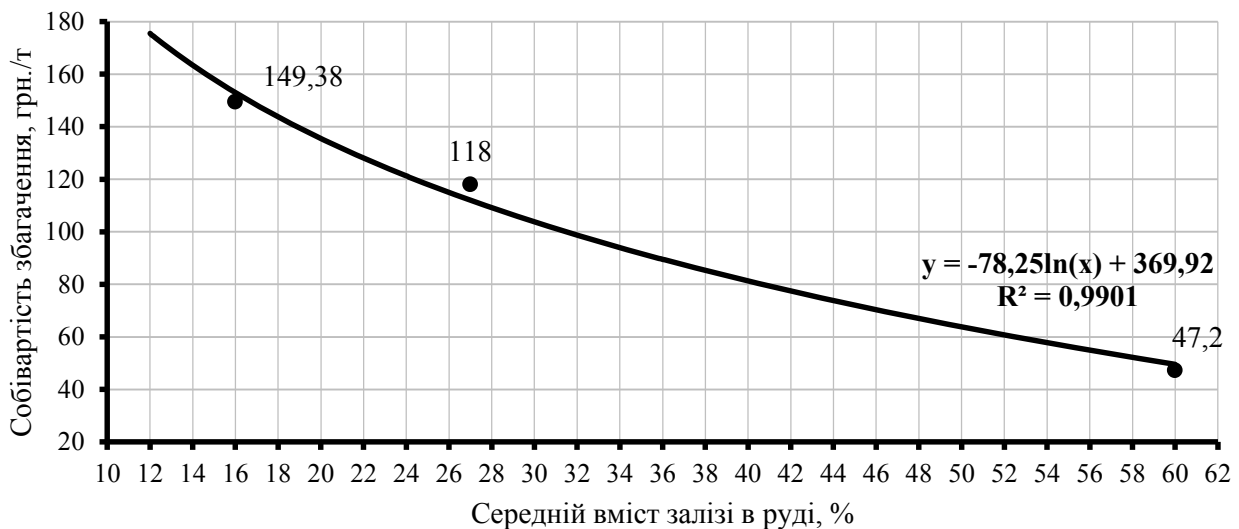


Рис. 1. Графік залежності собівартості збагачення залізної руди від значення її середньої якості

Як видно з графіку, зменшення середнього вмісту $Fe_{магн.}$ в руді збільшує собівартість її збагачення, що в цілому відповідає такій техніко-економічній залежності.

Графіки бортового вмісту кондиційної і некондиційної руди, що надходить на збагачення, при різних значеннях середнього вмісту $Fe_{магн.}$ показані на рис. 2. Основна закономірність - при збільшенні середньої якості руди, що надходить на збагачення, бортовий вміст заліза в руді зменшується. Ця тенденція відповідає практичній реалізації технологічних процесів: підвищення якості руди, що надходить на збагачення, супроводжується зниженням собівартості її збагачення, що, в свою чергу, підвищує прибуток. Відповідно, мінімальний (бортовий) вміст, що "компенсує" ріст прибутку до нуля, зменшується.

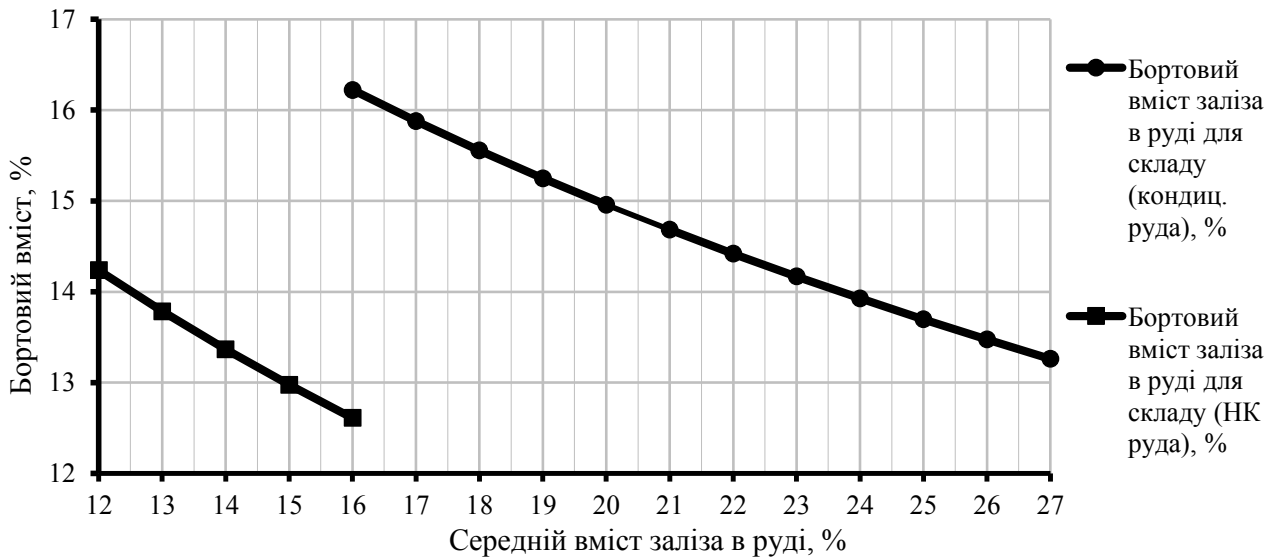


Рис. 2. Графік залежності бортового вмісту руди від її середньої якості для варіантів залучення некондиційних руд та без їх залучення

Це означає, що можна зменшити бортовий вміст і піти на додаткові витрати зі збагачення руди за рахунок економії від використання некондиційної руди.

Як видно з графіків, відмічена закономірність має місце, як для кондиційної руди (вміст $Fe_{\text{магн}}$ більше 16,00 %), так і для некондиційної (вміст $Fe_{\text{магн}}$ менше 16,00 %). Причому діапазон можливої якості некондиційної руди обмежений її бортовим вмістом 13,5 % $Fe_{\text{магн}}$: витрати на видобуток та переробку некондиційної руди нижчої якості будуть більшими за дохід від реалізації отриманого концентрату.

Висновки. Таким чином, була обґрунтована принципова можливість залучення до збагачення некондиційної руди, і, тим самим, розширити сировинну базу гірничо-збагачувального комбінату за рахунок більш повного використання надр.

Список літератури

1. Панченко В.В., Горпинич О.В., Стражко Є.О. Аналіз методологій техніко-економічного обґрунтування кондицій на залізну руду // Матеріали міжнародної конференції “ФОРУМ ГІРНИКІВ - 2009”. Відкриті гірничі роботи. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2009. – С. 47-53.
2. Стражко Е.А., Панченко В.В. Изменение кондиций на минеральное сырье как методологический подход к реализации рациональной стратегии освоения месторождения // Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник, 2010. - №93. – С.279 – 282.
3. Стражко Е.А., Панченко В.В. Определение взаимозависимости возможной прибыли горно-обогатительного комбината за реализованный концентрат от бортового содержания железа в руде // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників - 2010 – Дніпропетровськ: НГУ, 2010 – С. 264-270.
4. Гуменик И.Л., Панченко В.В., Стражко Е.А. Управление кондициями на руду на стадии эксплуатации карьера // Proceedings of the XIth National Conference With International Participation Of The Open And Underwater Mining Of Minerals. June 19-23, 2011. Varna, Bulgaria. Scientific And Technical Union Of Mining, Geology And Metallurgy, 2011. – PP. 89 – 96.
5. Трубецкой К.Н., Терпегосов З.А., Шитарев В.Г. Параметры кондиций на минеральное сырье техногенных месторождений и их технико-экономическое обоснование // Горный журнал. – 1994. - № 3. – С. 44-48.
6. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ. – СПб, Недра. – 2004. – 334 с.