

УДК 622.013:330.15

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНДИЦІЇ НА ЯКІСТЬ РУДНОЇ СИРОВИНИ  
ЗА УМОВИ ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНОГО РІВНЯ ВИЛУЧЕННЯ ЇЇ  
ЗАПАСІВ У РОДОВИЩІ****Прокопенко В.І., д.т.н.****Ерперт О.М., к.т.н.****Тимошенко О.О.***Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»*

Обґрунтовано, що існуюча практика визначення кондиційного вмісту заліза в руді без урахування характеру розподілу цього вмісту зумовлює значні втрати рудної сировини в надрах. У результаті аналізу статистичних вибірок вмісту загального заліза в рудних вибоях кар'єру встановлено, що вибірки розподіляються за законом, який не суперечить нормальному. Такий підхід дозволяє розрахувати середній вміст заліза у збагачуваному рудопотоці залежно від кондиції на якість сирої руди, а значить, і від її втрат, та планувати можливий рівень рентабельності залізорудного концентрату. Виконані аналітичні дослідження та розрахунки витрат на видобування і збагачення рудної сировини залежно від її якості, а також прибутку криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів від реалізації продукції, визначений вплив рівня втрат руди на рівень рентабельності концентрату при різних моделях розподілу якості руди в екскаваторних вибоях кар'єру.

**Ключові слова:** гірниче підприємство, рудна сировина, кондиція на якість сировини, втрати запасів сирої руди, витрати на видобування і збагачення, рентабельність концентрату.

UDC 622.013:330.15

**THE JUSTIFICATION OF CONDITIONS ON QUALITY OF IRON ORE  
IN TERMS OF ECONOMICALLY APPROPRIATE LEVEL OF ITS  
RESERVES EXTRACTION IN DEPOSITS****Prokopenko V.I., Dr.of Techn.Sc.****Erpert O.M., PhD****Tymoshenko O.O.***SHEI «National Mining University»*

It is proved that the existing practice of determination the conditioned iron content in the ore without taking into account the character of distribution of this content causes a significant loss of ore in the bowels. As follows from the analysis of statistical samples of total iron ore in ore quarry faces it is found that samples are distributed under the law, which is not contrary to the normal. This approach allows you to calculate the average iron content in enriched ore-flow, depending on conditions of the quality of raw ore, and hence of its losses, and plan the possible level of profitability of iron ore

concentrate. Analytical studies and calculation of expenses for mining and ore processing, depending on its quality and, also, calculation of profit on sales of Kryvyi Rih mining processing plant are carried out, the impact of losses on the profitability of ore concentrate at different models of ore quality distribution in excavation quarry faces is determined.

**Keywords:** mining enterprises, ore raw materials, condition on the quality of raw materials, loss of crude ore reserves, the cost of extraction and ore processing, profitability of concentrate.

**Актуальність проблеми.** У межах України розвідано близько 8 тисяч родовищ майже 90 видів корисних копалин, які розробляють відкритим способом більше ніж у 1500 кар'єрах. Недосконалість технології видобування та перероблення призводить до значних (від 25 до 80%) втрат мінеральної сировини, що залишається в надрах її розвіданих запасів. Відходи виробництва загальною масою біля 17 млрд. т займають понад 50 тис. га земель. Все це призводить до ускладнення екологічної ситуації, оскільки відходи не встигають асимілюватися природнім шляхом [1, с. 6].

Гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК) часто не вилучають значні обсяги бідної руди, допускаючи втрати її запасів у надрах. Це призводить до наступних наслідків. Знижуються обсяги збагачуваної рудної сировини та виробленого концентрату, оскільки підвищення середнього вмісту заліза в руді не компенсує втрат його обсягу (збільшення втрати запасів руди на 10...15% підвищує вміст заліза в руді на 1...2%, що знижує витрату руди на виготовлення концентрату на 6...8%). Зменшуються експлуатаційні запаси руди в проектному контурі кар'єру, унаслідок чого підвищуються коефіцієнт розкриття й витрати на розкривні роботи. Передчасне відпрацювання запасів, як правило, викликає необхідність розробки нових родовищ, кар'єрних полів, ділянок з менш сприятливими природними умовами і гіршою якістю сировини. Природно, що основним доказом прийняття (неприйняття) такого підходу є еколого-економічне обґрунтування припустимої якості рудної сировини за певним критерієм оцінки.

**Аналіз останніх наукових досліджень.** Визначення нормативних значень показників вилучення руди з надр є одним з найважливіших та найбільш складних завдань, які виникають в процесі відкритої розробки родовища [2]. Ці нормативи являють собою гранично допустимі величини втрат і засмічення, які одночасно забезпечують необхідну технічну та економічну ефективність розробки.

Втрати рудної сировини залежно від фактору, що їх зумовлює, систематизовані та визначені у статті [3], що уможливорює контроль фактичних величин втрат руди та її якості. У роботі [4] пропонується залучення в експлуатацію некондиційних та забалансових запасів руд, що з економічної точки зору в багатьох випадках вигідніше, ніж розвідка та освоєння нового родовища. При цьому власне належність запасів корисних копалин до категорії балансових є гарантією рентабельності їх освоєння – на рівні, що перевищує ставку рефінансування Національного банку [5, с.53]. Для однокомпонентних руд мінімальний промисловий вміст визначається економічним шляхом за умови рівності витрат і вилученої цінності компонента [6]. Згідно з роботою [7], на сьогоднішній день рівень експлуатації наявних запасів багатих залізних руд складає понад 90%, в той час як некондиційних – менше 30%. Необхідно використовувати ресурси надр з позицій не тільки економічної ефективності, але й продовження термінів експлуатації родовищ шляхом розширення сировинної бази та інтенсифікації виробництва [8].

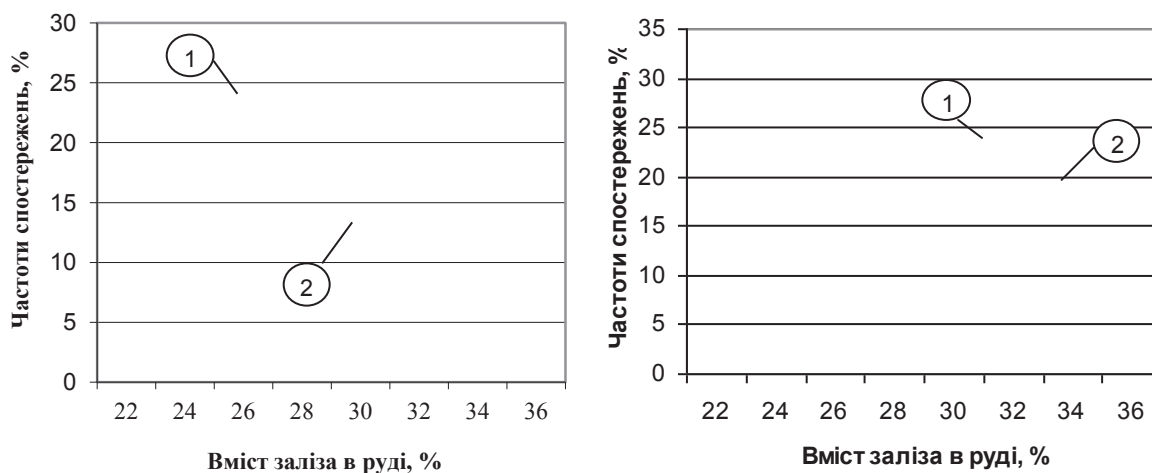
Виходячи з вище наведеного, слід зазначити, що встановлення кондиційного вмісту заліза в руді, що використовується нині, базується на середньому вмісті заліза в рудопотоці, а останній, за сучасних вимог, потребує економічно обґрунтованої оцінки прийнятого рівня втрат рудної сировини.

Тому **метою роботи** є теоретичне обґрунтування середнього вмісту заліза у збагачуваному рудопотоці виходячи з характеру розподілу вмісту заліза в рудній сировині, що надходить з екскаваторних вибоїв кар'єру, та наукова розробка методичних засад визначення економічно доцільної кондиції на якість рудної сировини, а значить, рівня втрат запасів родовища в надрах.

**Викладення основного матеріалу дослідження** Одним із критеріїв, що визначають рівень кондиційності рудної сировини, є бортовий вміст заліза. Його середній вміст  $Fe_{p,k}$  нижче бортового вважається непромисловим, і запаси з таким вмістом відносять до забалансових. Бортовий вміст, з одного боку, визначає максимальне технічно й економічно ефективно вилучення рудної сировини з надр, з іншого, - діє як фактор економічного впливу на витрати для видобування і збагачення руди. Сукупність цих двох функцій визначає нижню межу кондиції рудної сировини по даному родовищу.

Вибіркове відпрацювання багатих ділянок родовища, яке часто застосовують гірничі підприємства, полягає в тому, що першочерговому відпрацюванню піддаються, з відхиленням від проектних графіків ведення гірничих робіт, запаси з найбільшим вмістом корисного компонента та найменшим поточним коефіцієнтом розкриття. Наслідки цих відхилень від проекту проявляються пізніше, коли доводиться відпрацьовувати тільки несприятливі ділянки родовища, і підприємство переходить в розряд малорентабельних або збиткових. Трапляється, що в таких ситуаціях частину запасів залишають невідпрацьованими.

Як показують дослідження [9], якість рудної сировини за вмістом заліза по всіх екскаваторних вибоях у кар'єрі Інгулецького ГЗК частіше розподіляється за нормальним законом. Авторами [10] встановлені рівняння регресії, що відображають характер зміни ймовірності вмісту заліза, який обумовлює випуклий або увігнутий графік виходу концентрату з руди. За даними [9, с. 44], досліджено три моделі розподілу вмісту заліза загального в рудних вибоях кар'єру, що формують рудопотік на збагачувальну фабрику. Обсяги вибірок становили, відповідно моделям,  $n_1 = 94$ ;  $n_2 = 91$ ;  $n_3 = 94$ . Полігони розподілу частот представлені на рис. 1.



**Рис. 1.** Полігони теоретичного (1) й емпіричного (2) розподілів вмісту заліза в рудній сировині з лівостороннім (а) і правостороннім (б) усіканням

Джерело: авторська розробка

Враховуючи асиметрію полігонів, для обчислення середнього значення вмісту  $Fe_{p.c}$  обчислимо моду  $M_0$ , яка при нормальному розподілі повинна збігатися з математичним очікуванням. За відповідними статистичними формулами обчислені середні квадратичні відхилення  $S_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) вмісту заліза в руді для кожної моделі, а також

стандартизовані значення верхньої  $Fe_g$  й нижньої  $Fe_n$  границь розподілу. Аналіз цих значень показує, що модель 1 відповідає розподілу з усіканням ліворуч, модель 2 – з усіканням праворуч, а в моделі 3 є несуттєве, майже симетричне усікання.

Кондиційний вміст заліза в руді  $Fe_{p.k.}$  на графіку функції розподілу  $f(Fe_p)$  визначає щільність ймовірності вмісту  $Fe_p$ , який буде менше кондиційного вмісту  $Fe_{p.k.}$ . Ця щільність є відносним показником втрат рудної сировини  $P_{p.k.}$  (дорівнює площі в інтервалі від  $Fe_{p.min}$  до  $Fe_{p.k.}$ ).

Чим вище кондиція на якість руди, яка розглядається як сировина для виробництва концентрату, тим вище середній вміст заліза в рудопотоці і в той же час вище втрати руди у надрах (руда з вмістом  $Fe_p < Fe_{p.k.}$  розробляється як розкривна порода).

Графік розподілу якості рудної сировини необхідний для усереднення і стабілізації вмісту заліза в рудопотоці, що спрямовується на збагачення. При незмінних параметрах емпіричної функції розподілу  $f(Fe_p)$  середнє значення  $Fe_{p.c}$  визначається кондиційним вмістом заліза в сирій руді  $Fe_{p.k.}$ . У більшості наукових і проектних робіт величина  $Fe_{p.k.}$  обґрунтовується виходячи з еколого-економічних критеріїв ефективності, серед яких основними є обсяги втрат і збіднення рудної сировини, собівартість її видобування. У той же час не враховується те, що кондиційне значення впливає на середній вміст заліза в збагачуваному рудопотоці, а значить, і на обсяг виробленого концентрату, і на собівартість його виробництва (через витрати руди на концентрат).

Загальноприйнята методологія щодо встановлення кондиційного вмісту заліза в руді базується на ціні залізородної сировини (концентрату) та ступеня вилучення заліза з руди, який обумовлений витратами руди на виготовлення концентрату й витратами на процеси видобування і збагачення рудної сировини. Зазначені величини орієнтуються на середній вміст заліза в рудопотоці. Оскільки вміст заліза по вибоях в кар'єрі має ймовірнісний характер, то його розподіл може бути описаний рівнянням регресії. Середня якість рудопотоку завдяки цьому рівнянню може бути встановлена, але для цього повинна бути відома величина кондиційної якості  $Fe_{p.k.}$ .

Теоретично обґрунтуємо середній вміст заліза, виходячи з характеру його розподілу в рудній сировині, що надходить з екскаваторних вибоїв кар'єру. Для врахування усікань, що мають зазначені вище моделі 1-3, обчислюємо коригувальний співмножник  $K_i$ . Результати розрахунків коригувальних співмножників наведені в табл. 1.

За теоретичними частотами розподілу одержуємо накопичені теоретичні частоти  $M_{ti}$  й порівнюємо їх з вибірковими накопиченими частотами  $M_i$ . За результатами порівняння кумулятивних графіків встановлена повна відповідність моделей розподілу. Перевіримо узгодження теоретичної нормальної й емпіричної функцій розподілу за критерієм Колмогорова. Як витікає з табл. 1, за цим критерієм всі розподіли узгоджуються з нормальним законом.

*Таблиця 1 - Показники перевірки статистичних вибірок вмісту заліза в рудній сировині на нормальність розподілу*

Модель розподілу	Співмножники корегування щільності розподілу згідно з його усіканням			Перевірка узгодження за критерієм Колмогорова		
	$b_i$	$a_i$	$K_i$	$\max( abs(M_i - M_{ti}))$	$\lambda$	$P_{\text{согл}}$
1	0,998	0,064	0,934	10,24	1,07	0,26
2	0,924	0,001	0,923	4,56	0,47	0,97
3	0,996	0,001	0,995	6,5	0,67	0,75

*Джерело: авторська розробка*

Використовуючи теоретичні частоти розподілу, установимо залежність середнього вмісту заліза в рудопотоці від значення кондиційної руди  $Fe_{p.k.}$ . Припустимо, що вміст  $Fe_p$  в різних вибоях кар'єру описується певним законом розподілу  $p = f(Fe_p)$ . У такому разі середнє значення вибірки спостережень в діапазоні від  $Fe_{p.n}$  до  $Fe_{p.в}$  дорівнюватиме:

$$\bar{Fe}(Fe_{p.k.}) = \frac{\int_{Fe_{p.k.}}^{Fe_{p.в}} Fe \cdot f(Fe) dFe}{\int_{Fe_{p.k.}}^{Fe_{p.в}} f(fe) dFe} \quad (1)$$

Графіки залежності середнього вмісту заліза в рудопотоці від кондиційного рівня рудної сировини, для моделей розподілу, що розглядаються, наведені на рис. 2. Ці графіки наочно показують втрати запасів рудної сировини залежно від мінімально припустимого вмісту

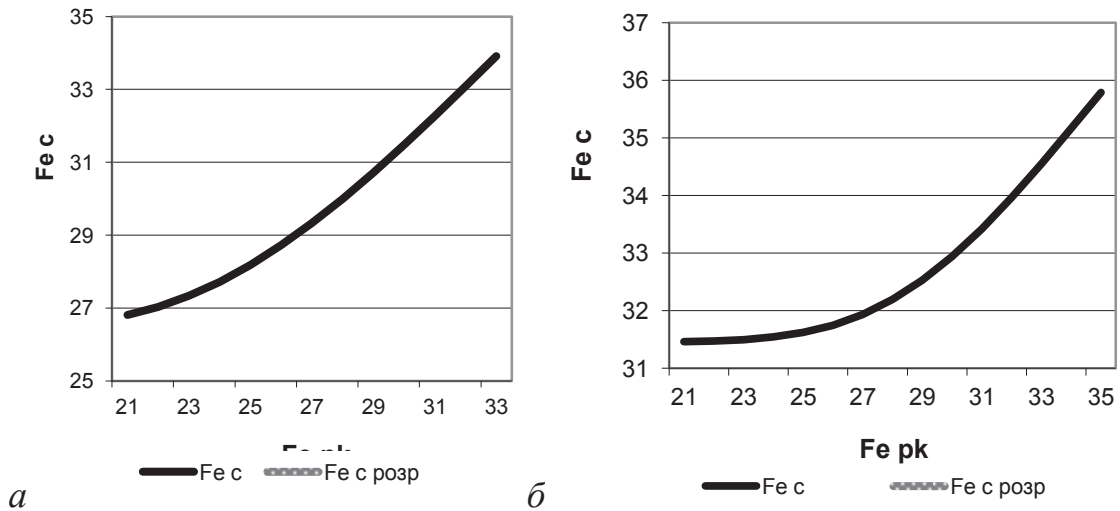


заліза  $Fe_{p.к.}$  у збагачуваній руді. Стосовно статистичних вибірок вмісту заліза в рудній сировині в вибоях кар'єру Інгулецького ГЗК [9] встановлені наступні рівняння регресії:

$$Fe_{c.розр.1} = 33,92 - 0,946 \cdot Fe_{p.к.} + 0,029 \cdot Fe_{p.к.}^2 \quad (2)$$

$$Fe_{c.розр.2} = 46,724 - 1,341 \cdot Fe_{p.к.} + 0,0294 \cdot Fe_{p.к.}^2 \quad (3)$$

$$Fe_{c.розр.3} = 46,3 - 1,536 \cdot Fe_{p.к.} + 0,035 \cdot Fe_{p.к.}^2 \quad (4)$$



**Рис. 2.** До визначення середнього вмісту заліза в збагачуваному рудопотоці залежно від параметрів функції розподілу якості рудної сировини в кар'єрі з лівостороннім (а) і правостороннім (б) усіканням.

Джерело: авторська розробка

Авторам представляється можливим таке рішення поставленого завдання. Спочатку, виходячи з закону розподілу  $p = f(Fe_p)$ , для різних значень рівня витрат руди, а значить, і середньої якості рудопотоку й витрат руди на виготовлення концентрату, розглядається значення його рентабельності  $PK$ . Потім будують графік функції  $PK = f(P_{p.к.})$  і, нарешті, по цьому графіку приймають рішення про раціональний рівень витрат, який забезпечує необхідний або доцільний рівень рентабельності (з урахуванням інших умов і можливих обмежень). У загальному вигляді, на основі зазначених вище положень, рентабельність концентрату визначається формулою:

$$PK = \frac{BP_{к}(P_{p.к.}) - B_{к}(P_{p.к.})}{B_{к}(P_{p.к.})}, \text{ частка од., де } BP_{к} = \frac{C_{к}O_{p}(1 - P_{p.к.})}{\gamma_{к.к.}}, \text{ грн.; } \quad (5)$$

$$B_{к} = C_{о}O_{p}(1 - P_{p.к.}) - C_{n}O_{p}(K_{p} - P_{p.к.}(K_{p} - \frac{1}{\gamma_n})) - \frac{C_{з}O_{p}(1 - P_{p.к.})}{\gamma_{к.к.}}, \text{ грн.,} \quad (6)$$

де  $BP_{\kappa}(P_{p.\kappa.})$  - виторг комбінату від реалізації концентрату, виробленого із залізної руди в обсязі  $O_p$  при рівні її втрат  $P_{p.\kappa.}$ , грн;

$B_{\kappa}(P_{p.\kappa.})$  - витрати на процеси видобування та збагачення рудної сировини при прийнятій кондиції  $Fe_{p.\kappa.}$ , яка обумовлює значення втрат руди  $P_{p.\kappa.}$  та її витрати  $\gamma_{\kappa}$  на виробництво концентрату, грн.;

$P_{p.\kappa.}$  - частина запасів руди із вмістом заліза  $Fe_p$  нижче кондиційного вмісту  $Fe_{p.\kappa.}$ , які не використовують для виготовлення концентрату, частка од.;

$\gamma_{\kappa.\kappa}$  - витрата рудної сировини на виготовлення концентрату залежно від середньої якості рудопотоку при кондиції  $Fe_{p.\kappa.}$  на якість руди, т/т ;

$C_{\kappa}$  - відпускна ціна залізородного концентрату, грн./т;

$C_o, C_n$  – собівартість розробки, відповідно, 1 т сирої руди та 1 м<sup>3</sup> розкривної породи, грн.;

$C_z$  – собівартість 1 т концентрату за витратами на збагачення рудної сировини, грн.;

$K_p$  – коефіцієнт розкриття залізородного родовища, м<sup>3</sup>/т;

$\gamma_n$  - щільність некондиційної залізної руди, т/м<sup>3</sup>.

У виразі (5) показаний обсяг виторгу комбінату від реалізації концентрату, з цього обсягу згідно з виразом (6) віднімаються послідовно витрати на безпосередньо видобування сирої руди, розроблення та відвалоутворення розкривних порід, у тому числі, некондиційної руди, збагачення рудної сировини. Для більш точного урахування витрат в калькуляцію собівартості концентрату слід включати платежі за розміщення на поверхні розкривних порід і хвостів збагачення, а також витрати на благоустрій відвалів і хвостосховища.

Згідно з визначеннями (5), на рівень якості залізної руди, яку доцільно видобувати й переробляти на металургійну продукцію, сильно впливає її ціна, а вона залежить від її попиту та пропозиції на світовому ринку. Рівень цін в \$76...80 за 1 т концентрату близький до рівноважного значення, яке відповідає нинішньому стану металургійної галузі у світі. Ціна близька до собівартості виробництва концентрату в Україні, яка оцінюється на рівні \$30...35 за 1 т [11]. Виходячи з врахованих у формулах (5) - (6) факторів, які впливають на цю



собівартість, має місце задача оптимізації рівня втрат рудної сировини (тобто, рівня її якості, нижче якого руда вважається некондиційною та складається у відвалі). Критерієм оптимальності прийнятий максимум прибутку комбінату, який може бути отриманий завдяки видобутку й переробці певного обсягу залізної руди. Нижче розглянутий вплив зазначених положень на прикладі Полтавського ГЗК. Проаналізовано видобування і збагачення руди в обсязі  $O_p = 1$  млн. т із вмістом заліза в руді по екскаваторних вибоях - 20...36%.

Узагальнюючи аналіз результатів розрахунків, встановлено наступне:

1) при підвищенні кондиції на якість залізної руди зменшується обсяг руди, яка збагачується, що веде до зменшення витрат на розміщення відходів збагачення, і в той же час збільшується обсяг некондиційної руди, яка видаляється з кар'єру разом з розкривними породами, що збільшує витрати на її розміщення на поверхні;

2) при підвищенні кондиції на якість рудної сировини обсяг концентрату знижується: витрати руди на випуск концентрату за рахунок вищої якості збагачуваного рудопотоку знижуються меншою мірою, ніж обсяг некондиційної руди;

3) низька якість руди ( $Fe_{p.k.} \geq 20\%$ ), при якій вона включається в рудопоток, забезпечує найбільший обсяг рудної сировини і концентрату, що виготовляється з нього (0,318 млн. т), а в результаті реалізації цієї продукції - найбільший грошовий потік (153,95 млн. грн.). Значить, зниження кондиції на якість рудної сировини є вигідним, оскільки при цьому збільшується обсяг сировини для виготовлення концентрату, а витрати, пов'язані з його виробництвом, зростають (через менший вихід концентрату з руди) меншою мірою, ніж обсяг сировини;

4) при встановленні мінімально допустимої якості залізної руди слід враховувати, що, з одного боку, ця якість визначає середній вміст заліза в рудопотоці і цим самим - обсяг концентрату й витрати на його випуск, а з іншого, - саме ці показники (обсяг концентрату і витрати на його виробництво) зумовлюють допустиму кондицію на якість рудної сировини;

5) витрати, пов'язані з вийманням із кар'єру некондиційної руди, як розкривної породи, при підвищенні гранично припустимого рівня її якості, незалежно від графіку збагачення руди та розподілу її якості, зростають значно більшою мірою, ніж знижуються витрати на

облаштування відходів збагачення. Звідси також витікає доцільність використання рудної сировини якнайнижчої за технологією виробництва якості.

При використанні рудної сировини, якість якої є випадковою величиною, підвищення кондиції на вміст заліза в руді призводить до зниження прибутку комбінату від реалізації концентрату, причому це зниження суттєво залежить як від графіку збагачення рудної сировини (увігнутий чи випуклий [10]), так і від рівня якості некондиційної руди, а значить, від втрат руди в надрах  $P_{p.k}$  (при підвищенні втрат до 6% прибуток знижується від 541,42...589,6 млн. грн. до 516,78... 554,4 млн. грн., тобто на 4,1...5,6%). Певні значення втрат руди  $P_{p.k}$  обумовлюють витрати на процеси видобування ( $C_o$ ), розкриття ( $C_n$ ) та збагачення ( $C_z$ ) рудної сировини, а їх сума відображає витрати на виробництво концентрату  $B_k(P_{p.k.})$  при прийнятій кондиції  $Fe_{p.k.}$ , що обумовлює витрати  $\gamma_k$  рудної сировини та виручку від реалізації виробленого концентрату ( $BP$ ).

З використанням наведених вище результатів дослідження виконаний розрахунок витрат на виробництво концентрату, прибуток від його реалізації та рентабельність цієї продукції (табл. 3).

*Таблиця 3 - Оцінка ефективності зниження втрат рудної сировини (при випуклому графіку збагачення)*

Втрати, частка од.	Прибуток, млн. грн.		Витрати, млн. грн.		Рентабельність, частка од.	
	модель 1	модель 2	модель 1	модель 2	модель 1	модель 2
0	79,2		411,62		4,23	
0,01		153,56		438,9		7,7
0,02		151,58		435,16		7,66
0,03	84,7		403,7		4,62	
0,04		148,06		428,56		7,6
0,07		141,68		417,56		7,47
0,08	86,68		389,84		4,9	
0,11		132,22		400,62		7,26
0,15	85,14		369,16		5,08	
0,17		118,36		376,64		6,92
0,24	80,08		341,66		5,16	

*Джерело: авторська розробка*

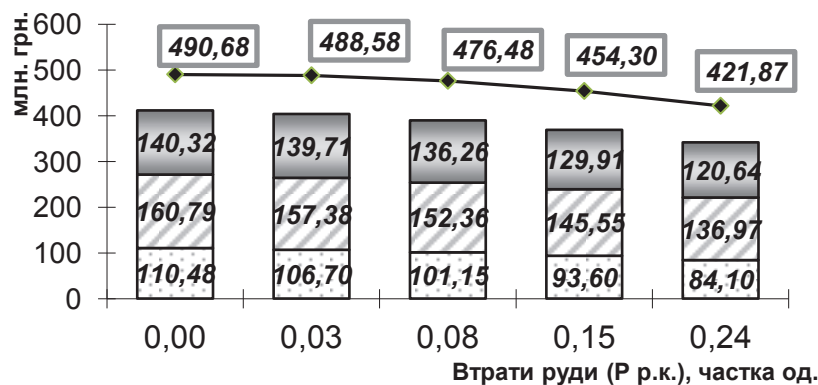
При використанні рудної сировини, якість якої розподіляється за нормальним законом (з лівостороннім усіканням – модель 1 або правостороннім - модель 2) підвищення рівня некондиційного вмісту заліза в руді призводить у разі моделі розподілу якості руди з правостороннім усіканням як при випуклому графіку збагачення руди,

так і при вигнутому до зниження прибутку, а при моделі з лівостороннім усіканням – до підвищення. Рівень якості некондиційної руди, а значить, і втрат руди в надрах  $P_{p.k.}$ , що розробляється як розкривна порода здійснює значний вплив на обсяг прибутку (при підвищенні втрат до 8% прибуток знижується з 153,56 до 132,22 млн. грн., тобто на 14,06%).

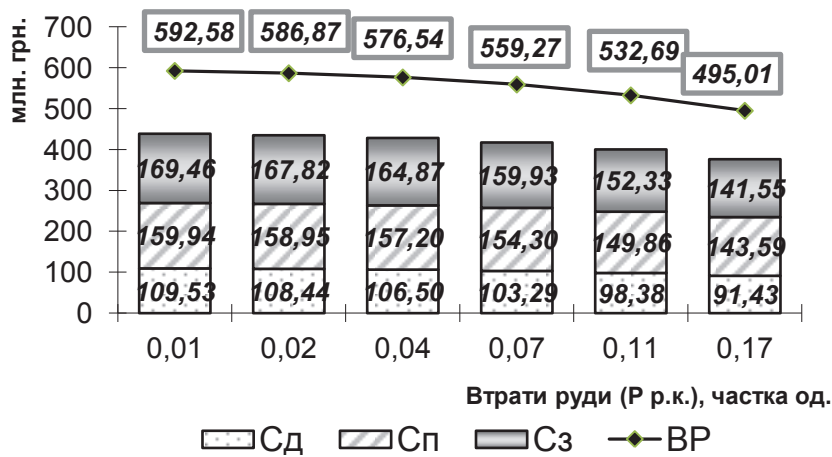
Найбільший обсяг виручки від реалізації концентрату серед варіантів його виробництва за різними моделями розподілу якості рудної сировини та графіками її збагачення при підвищенні рівня втрат запасів сировини майже до 20% забезпечує випуклий графік збагачення руди, якість якої в екскаваторних вибоях розподіляється за моделлю з правостороннім усіканням. Цей висновок витікає з графіків, поданих на рис. 3 і 4.

Розглянемо, яким чином змінюється рентабельність концентрату залежно від мінімально припустимого вмісту заліза у рудній сировині, яка транспортується на збагачувальну фабрику. Кондиція на залізорудну сировину має забезпечувати заданий рівень рентабельності.

За розрахунками авторів, її рівень 30...35% (рис. 4) може бути досягнутий при правосторонній асиметрії моделі розподілу якості руди в кар'єрі, коли більш ймовірними є обсяги руди вищої якості (обсяги руди із вмістом  $Fe_p < 26\%$  складають біля 10%, а при лівосторонній – 40%). При зниженні кондиційного вмісту заліза рівень рентабельності не повинен знижуватися, хоча такий захід також може бути доцільним, якщо буде збільшуватися загальний обсяг прибутку, адже обсяг реалізації при цьому зростає. Припустимий вміст має підвищуватися в тому разі, якщо це призведе до підвищення середнього вмісту  $Fe_{p.c}$  і зниження витрат  $\gamma_k$  в більшій мірі, ніж будуть знижені запаси рудної сировини. Завдяки вищому вмісту  $Fe_{p.c}$  може бути вироблений більший обсяг концентрату порівняно з його обсягом виробництва із запасів руди, що будуть втрачені через підвищення кондиції на її якість.



а



б

Рис. 3. Графіки, що демонструють зміну складових витрат на виробництво залізородного концентрату та виручки від його реалізації: а і б відповідно до 1-ї та 2-ї моделей розподілу якості рудної сировини при випуклому графіку збагачення  
Джерело: авторська розробка

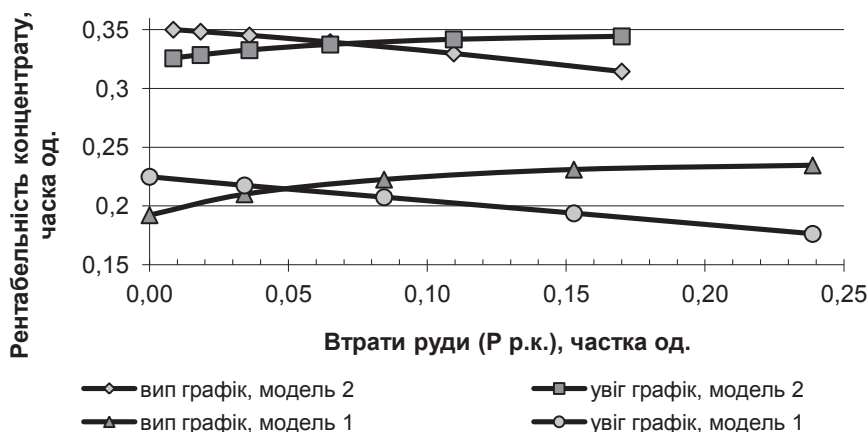


Рис. 4. Графіки залежності рентабельності концентрату від кондиційного вмісту заліза в сирій руді, яка відвантажується з екскаваторних вибоїв  
Джерело: авторська розробка

**Висновки.** 1. Методичний підхід до встановлення кондиційного вмісту заліза в руді (рівня якості руди), що використовується нині, базується на середньому вмісті заліза в рудних вибоях кар'єру, а останній не може бути визначений без оцінки рівня втрат руди в надрах. Запропоновано встановлювати цей вміст заліза виходячи із статистичної моделі його розподілу як випадкової величини.

2. Встановлено стосовно криворізьких кар'єрів, що вміст загального заліза в рудній сировині розподіляється за законом, який не суперечить нормальному. Кумулятивний графік розподілу дозволяє визначити середній вміст заліза залежно від рівня втрат руди в надрах. Визначені рівняння регресії, що відображають характер зміни ймовірності вмісту заліза в рудних вибоях для різних за асиметрією моделей його розподілу.

3. Розроблений методичний підхід до планування раціонального рівня втрат рудної сировини в надрах, виходячи з необхідного або доцільного рівня рентабельності залізорудної продукції (концентрату). Витрати руди на виготовлення концентрату визначені залежно від якості рудопотоку, а якість рудопотоку – залежно від втрат руди. Враховані платежі за розміщення на поверхні розкривних порід і хвостів збагачення.

4. За результатами розрахунків стосовно досвіду роботи Полтавського ГЗК, зниження кондиції на якість рудної сировини є вигідним, оскільки при цьому збільшується обсяг сировини для виготовлення концентрату, а витрати, пов'язані з його виробництвом, зростають (через менший вихід концентрату з руди) меншою мірою, ніж обсяг сировини.

5. Рівень якості некондиційної руди, а значить, і втрат руди в надрах, що розробляється як розкривна порода, сильно впливає на обсяг прибутку (при підвищенні втрат до 8% прибуток знижується з 153,56 до 132,22 млн. грн., тобто на 14,0 6%).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Романенко В.Н. Створення ландшафтного заказника місцевого значення «Грушівка» на порушених землях Марганецького гірничо-збагачувального комбінату / В.Н. Романенко // Екологія і природокористування – 2013. – Випуск 16. – с. 122–126.
2. Попов С.О. Методические основы нормирования показателей извлечения железных руд по критериям технико-экономической эффективности эксплуатации недр / Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – №10. – С. 22-25.
3. Колосов В.О. Методи обліку фактичних величин показників витягання руди / В.О. Колосов // Вісник Криворізького національного університету – 2013. – Випуск 34. – с. 12–15.
4. Олейник Т.А. Повышение качества бедных кусковых руд шахтной добычи Кривбасса методом отсадки / Т.А. Олейник, Л.В. Скляр // Збагачення корисних копалин – 2013 – Вип. 53(94). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2013-53-94/08.pdf>. – Назва з екрану.
5. Сучасні напрями економічного забезпечення раціонального природокористування в Україні / [за наук. ред. М.А. Хвесика, С.О. Лизуна]. – К.: ДУ ІЕПСР НАН України, 2013. – 64 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ecos.kiev.ua/share/upload/reports/Sychasni\\_napryamky\\_pryrodokorystuvannya\\_new.pdf](http://ecos.kiev.ua/share/upload/reports/Sychasni_napryamky_pryrodokorystuvannya_new.pdf) – Назва з екрану.

6. Попов С.О. Економічне обґрунтування кондицій та контуру запасів залізних руд при їх підземному видобутку / С.О. Попов, І.І. Максимова // Вісник Криворізького національного університету – 2012. – Випуск 32. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://knu.edu.ua/files/32\\_2012/66.pdf](http://knu.edu.ua/files/32_2012/66.pdf).
7. Попов С. О. Економічні аспекти визначення ефективності розробки забалансових запасів залізних руд / С.О. Попов, І.І. Максимова // Бізнес Інформ. – 2012. – №5. – С. 113–115.
8. Афанасьев Є. В. Моделирование диверсифицированного развития сырьевой базы горночуродных предприятий / Є. В. Афанасьев // Наука, теория та практика: материалы I Міжнар. наук.-практ. конф., 21 – 31 серп. 2006 р. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2006. – С. 43 – 51.
9. Прокопенко В.И. Экономическая оценка потерь рудного сырья. / В.И. Прокопенко, А.А. Кривошеева – Днепропетровск: Наука и образование, 2001. – 210 с.
10. Прокопенко В.І. Еколого-економічне обґрунтування ступеню усереднення якості рудної сировини в кар'єрі / В.І. Прокопенко, О.М. Ерперт, О.О. Тимошенко // «Металлургическая и горнорудная промышленность» – Дніпропетровськ, 2015.– С.105–110.
11. Китай лишает Украину половины денег за руду – 06.11.2014 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://business.vesti-ukr.com/76505-kitaj-lishaet-ukrainu-poloviny-deneg-za-rudu>. – Назва з екрану.