

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 658.562.64:622.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/11>

*Азарян В.А.*

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДОПОТОКІВ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

*Ефективне управління якістю рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів є актуальною науково-практичною проблемою, від вирішення якої залежить конкурентоздатність галузі та наповнювання державного бюджету.*

*Сировинна якість продукції гірничо-збагачувальних комбінатів є головним чинником, що впливає на структуру витрат і формування відпускної ціни, та безпосередньо залежить від характеристик загального рудного вантажопотоку, що надходить на збагачення.*

*У статті проаналізовано наявні критерії, що використовуються для оцінки контролю й ефективності управління якістю рудних вантажопотоків різного ступеня інтеграції, і на його основі способом аналітичних перетворень обґрунтовано новий комплексний критерій оцінки ефективності технології управління якістю загальних інтегрованих рудопотоків ГЗК  $F_1$ .*

*Запропонований критерій пов'язує якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід із неї концентрату та собівартість переробки і може бути використаний для комплексної оцінки результатів роботи технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, а також для обґрунтування зниження витрат комбінату шляхом формування фінального рудного вантажопотоку, що фактично є вхідною рудою рудозбагачувального комплексу, з відповідними значеннями вмісту корисного компонента.*

*Зроблено висновок, що одним із дієвих способів збільшення прибутку залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів є формування фінального рудопотоку ГЗК з такими значеннями вмісту корисного компонента, які мінімізують показник комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків.*

**Ключові слова:** *рудний вантажопотік, гірничо-збагачувальний комбінат, рудозбагачувальна фабрика, управління якістю рудопотоку, вміст корисного компонента.*

**Постановка проблеми.** Ефективне управління якістю рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів (далі – ГЗК) є досить актуальною науково-практичною проблемою, від вирішення якої залежить конкурентоздатність галузі та наповнювання державного бюджету.

Сировинна якість продукції гірничо-збагачувальних комбінатів є головним чинником, що впливає на структуру витрат і формування відпускної ціни, та безпосередньо залежить від характеристик загального рудного вантажопотоку, що надходить на збагачення [1].

Відомо, що забезпечення оптимальних режимів роботи рудозбагачувальних фабрик (далі – РЗФ) досягається тільки за жорстко обумовлених значень вмісту корисного компонента (далі – в.к.к.) у вхідній руді, яка, по суті, є фінальним інтегрованим рудопотоком ГЗК, що дає змогу виробляти концентрат належної якості, мінімізувати втрати корисного компонента та отримати значний енергозберігаючий ефект. Отже, забезпечення відповідного рівня сировинної якості фінального інтегрованого рудного вантажопотоку ГЗК впливає на основні техніко-економічні показники комбінату [2].

Вирішення проблеми ефективного управління сировинною якістю рудних вантажопотоків для забезпечення формування загального рудопотоку ГЗК, що надходить на збагачення, із заданим в.к.к., вимагає не тільки виконання комплексу заходів з урахуванням динаміки коливань, обумовленої просторовою нерівномірністю розподілу в.к.к. по кар'єрному полю, різними показниками збагачуваності руд, неритмічністю роботи устаткування, аварійними збоями, амплітудно-частотною пульсацією

Вирішення проблеми ефективного управління сировинною якістю рудних вантажопотоків для забезпечення формування загального рудопотоку ГЗК, що надходить на збагачення, із заданим в.к.к., вимагає не тільки виконання комплексу заходів з урахуванням динаміки коливань, обумовленої просторовою нерівномірністю розподілу в.к.к. по кар'єрному полю, різними показниками збагачуваності руд, неритмічністю роботи устаткування, аварійними збоями, амплітудно-частотною пульсацією

трактів ЦПТ, але й вимагає розроблення та теоретичного обґрунтування комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків в умовах залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Методи оцінки ефективності управління якістю рудопотоків повинні насамперед відображати можливість досягнення кінцевої мети, тобто формування рудного вантажопотоку із заданими якісними характеристиками.

В Інституті гірничої справи імені Д.А. Кунаєва (Казахстан) разом зі співробітниками АТ «Костанайські мінерали» було розроблено методіку оперативного моніторингу та управління рудопотоком і реалізовано її в межах автоматизованої інформаційної системи «Рудопотік». Для оцінки точності оперативного контролю й ефективності управління якістю рудопотоків було запропоновано використовувати такі коефіцієнти:

- ефективності організації рудопотоку (КЕОР);
- ефективності планування рудопотоку (КЕПР);
- ефективності рудопідготовки (КЕР);
- відповідності рудопотоку (КВР) [3].

Згідно із запропонованою методикою коефіцієнт ефективності організації рудопотоку розраховується за формулою:

$$k_{op.} = \alpha^{\phi}_{в.к.к.} / \alpha^n_{в.к.к.}, \quad (1)$$

де  $\alpha^{\phi}_{в.к.к.}$  – фактичний вміст корисного компонента рудопотоку;

$\alpha^n_{в.к.к.}$  – плановий вміст корисного компонента в рудопотоку.

Відношення фактичного показника в.к.к. до планового значення рудопотоку демонструє, наскільки ефективно виконано його формування. При тому слід зазначити, що чим ближчим буде значення цього коефіцієнта до одиниці, тим ефективнішим вважається формування рудопотоку, і тим більшою є відповідність фактичних показників в.к.к. до розрахункових значень.

Під час формування рудного вантажопотоку за допомогою усереднювального рудного складу для оцінки ефективності процесу запропоновано використовувати коефіцієнт ефективності планування рудопотоку, який обчислюється за формулою:

$$k_{e.n.p.} = \alpha^{\phi}_c / \alpha^n_c, \quad (2)$$

де  $\alpha^{\phi}_c$  – фактичний вміст корисного компонента в руді на складі;

$\alpha^n_c$  – плановий вміст корисного компонента в руді на складі.

Математична суть цього коефіцієнта, як і попереднього, полягає в прямуванні його значення до одиниці за ефективного виконання планування рудопотоку.

Для оцінки ефективності технологічного процесу, пов'язаного з рудопідготовкою, запропоновано застосування коефіцієнта ефективності рудопідготовки, розрахунок якого проводиться за формулою:

$$k_{ep} = \alpha^{\phi}_{зф.} / \alpha^n_{зф.}, \quad (3)$$

де  $\alpha^{\phi}_{зф.}$  – фактичний вміст корисного компонента у руді на вході РЗФ;

$\alpha^n_{зф.}$  – плановий вміст корисного компонента у руді входу на збагачувальній фабриці.

Коефіцієнт відповідності рудопотоку порівнює фактичні значення в.к.к. рудопотоку кар'єру з плановими показниками сировинної якості руди на вході рудозбагачувальної фабрики і розраховується за формулою:

$$k_{e.p.} = \alpha^{\phi}_{в.к.к.} / \alpha^n_{pзф.}, \quad (4)$$

де  $\alpha^{\phi}_{в.к.к.}$  – фактичний вміст корисного компонента в рудопотоці;

$\alpha^n_{pзф.}$  – плановий вміст корисного компонента на збагачувальній фабриці [3].

Для оцінки ефективності управління якістю в умовах гірничовидобувних підприємств також використовувалася методика професора В.Ф. Бизова, яка ґрунтується на зворотній пропорційності між результатами управління якістю та збитками комбінату від нестабільності в.к.к. у збагачувальному комплексі: за критерієм  $F$  ефективність організації управління якістю є максимальною за мінімізації збитку підприємства від коливань якості корисної копалини [4].

Критерій  $F$  безпосередньо залежить від величини кількісних та якісних втрат руди під час видобутку, при цьому враховується різниця між розрахунковим і фактичним показниками виходу концентрату:

$$F = (C_1 + C_2 + C_3) \times Q_n + (\gamma_p - \gamma_{факт}) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min, \quad (5)$$

де  $C_1, C_2, C_3$  – приведені собівартості видобутку, транспортування та переробки на 1 т руди, грн/т;

$Q_n$  – втрати руди внаслідок коливань якості, т;

$\gamma_p, \gamma_{факт}$  – розрахунковий і фактичний показники виходу концентрату;

$Q_p$  – фактичний обсяг руди, що надходить на РЗФ, т;

$C_4$  – собівартість збагачення, грн/т.

При цьому різниця між значеннями  $\gamma_p$  та  $\gamma_{факт}$  зумовлюється саме амплітудою коливань сировинної якості рудопотоку.

Аналіз вищенаведених коефіцієнтів дає змогу зробити висновок, що деякі з них надають оцінку лише окремому етапу формування локальних рудних вантажопотоків, не оцінюючи ефективність формування інтегрованого загального рудопотоку ГЗК з урахуванням технологічних та економічних факторів.

Тому, задля забезпечення достовірної оцінки ефективності управління якістю фінального рудного вантажопотоку, який фактично є вхідною рудою рудозбагачувального комплексу, було обґрунтовано необхідність створення комплексного критерію оцінки ефективності управління інтегрованим загальним рудопотоком, який отримав назву « $F_1$ ».

**Постановка завдання.** Метою статті є обґрунтувати способом аналітичних перетворень новий комплексний критерій оцінки ефективності технології управління якістю загальних інтегрованих рудопотоків ГЗК  $F_1$ , який зможе пов'язати якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід із неї концентрату та собівартість переробки.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відомою є формула, що пов'язує вихід концентрату з якісними характеристиками рудного вантажопотоку: вихід концентрату рудозбагачувального комплексу є прямо пропорційним в.к.к. в руді на вході РЗФ:

$$\gamma = \varepsilon \times \frac{\alpha}{\beta}, \quad (6)$$

де  $\varepsilon$  – витяг, частки од.;

$\alpha$  – вміст корисного компонента в руді на вході РЗФ;

$\beta$  – вміст корисного компонента в концентраті.

Показник в.к.к. в руді на вході РЗФ  $\alpha$  є непостійним, він коливається і є об'єктом контролю та подальшого впливу під час формування інтегрованих загальних рудопотоків ГЗК, які фактично є вхідною рудою рудозбагачувального комплексу.

Чим ефективнішим є управління якістю рудопотоків, тим меншою буде величина амплітуди коливань  $\alpha$  у вхідній руді та, відповідно, – різниця між  $\gamma_p$  та  $\gamma_{факт}$  [5]. Зменшення розбіжності між  $\gamma_p$  та  $\gamma_{факт}$ , у свою чергу, приведе до мінімізації собівартості шляхом оптимізації режимів збагачення.

Відомо, що якісні показники рудопотоку кар'єра впливають на процес збагачення, загальні показники витрат якого описує права частина формули (5), яку можна розглянути окремо:

$$(\gamma_p - \gamma_{ф}) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min. \quad (7)$$

З формули (7), якщо прийняти за умовно-постійні величини витяг  $\varepsilon$  і значення вмісту корисного компонента в концентраті  $\beta$  і позначити відповідно  $\alpha_{факт}$  – фактичний вміст корисного компонента в рудопотоці та  $\alpha_{план}$  – плановий вміст корисного компонента в рудопотоці на РЗФ, то тоді (7) набуде такого вигляду:

$$\left(\varepsilon \frac{\alpha_{факт.}}{\beta} - \varepsilon \frac{\alpha_{план.}}{\beta}\right) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (8)$$

або

$$(\alpha_{факт.} - \alpha_{план.}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (9)$$

При цьому з формули (9) очевидно, що чим меншою буде різниця між фактичним показником вмісту корисного компонента фінального рудопотоку і запланованим значенням у вхідній руді збагачувальної фабрики, тим ближчим до мінімального значення буде показник витрат на збагачення.

Розглянемо праву частину формули (5) та введемо позначення комплексного критерію оцінки ефективності управління фінальним рудопотоком комбінату з урахуванням вимог збагачувального комплексу –  $F_1$

$$F_1 = (\gamma_p - \gamma_{факт}) \times Q_p \times C_4 \quad (10)$$

Із виразів (8) та (9) випливає, що

$$F_1 = (\alpha_{факт.} - \alpha_{план.}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \quad (11)$$

З урахуванням (3) та (6) формула (11) набуде такого вигляду:

$$F_1 = \alpha_{план.} \frac{\varepsilon}{\beta} (1 - k_{ep}) \times Q_p \times C_4, \quad (12)$$

або

$$F_1 = |1 - k_{ep}| \times \gamma_p \times Q_p \times C_4 \quad (13)$$

З формул (12) та (13) очевидно, що чим меншою буде різниця між фактичним показником

вмісту корисного компонента у фінальному рудопотоці та запланованим значенням у вхідній руді збагачувальної фабрики, тим ближчим до мінімального значення буде показник витрат на збагачення.

Комплексний критерій оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єра  $F_i$  пов'язує воедино показники якісних характеристик сформованого фінального рудопотоку, фактичного обсягу руди, що спрямовується на переробку, виходу концентрату та собівартості збагачення.

Надалі критерій може використовуватися для комплексної оцінки результатів роботи технології управління якістю залізвмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК і задля обґрунтування можливих шляхів зниження витрат комбінату з урахуванням того, що прибуток ГЗК визначається за відомою формулою:

$$\Pi = \sum(Q \times C \times \gamma) - \sum(Z_d + Z_n), \quad (14)$$

де  $Q$  – обсяги видобутку руди за обліковий період;

$C$  – відпускна ціна за 1 т концентрату, ця величина коливається в часі;

$\gamma$  – вихід концентрату;

$Q \gamma = Q_{\text{конц.}}$  – обсяг концентрату за обліковий період;

$Z_d$  – загальні витрати на видобуток корисних копалин;

$Z_n$  – витрати на переробку (збагачення) корисних копалин.

З формули (14) очевидно, що зростання прибутку ГЗК можна забезпечити саме шляхом зниження загальних витрат на збагачення. Тому формування фінального рудопотоку гірничо-збагачувального комбінату із заданим діапазонним значенням в.к.к., яке мінімізує показник комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків, є одним із дієвих способів зниження собівартості та, відповідно, підвищення прибутку залізородних ГЗК.

**Висновки.** 1. Під час досліджень було обґрунтовано комплексний критерій оцінки ефективності управління якістю рудопотоків в умовах залізородних ГЗК  $F_i$ , який пов'язує якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід із неї концентрату та собівартість переробки.

2. Одним із дієвих способів зниження витрат на збагачення та відповідного збільшення прибутку залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів є формування фінального рудопотоку ГЗК із заданим діапазонним значенням в.к.к., яке мінімізує показник комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків.

#### Список літератури:

1. Азарян А.А., Азарян В.А., Вилкул Ю.Г., Колосов В.А. Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2012. № 5. С 1–4.
2. Жуков С.А., Азарян В.А. Системные принципы и оценочный критерий генерализации управления качеством рудопотоков. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2017. № 52. С. 41–46.
3. Галиев С.Ж., Бояндинова А.А., Адилханова Ж.А., Жусупов К.К., Пуненков С.Е. Методика оперативного мониторинга и управления рудопотоком. *Научный журнал КазНТУ «Вестник»*. Наука о земле, 2009. С. 64–70.
4. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров : учеб. для вузов по спец. «Открытые горные работы». Москва, 1991. 239 с.
5. Бастан П.П. Смешивание и сортировка руд. Москва, 1990. 168 с.

#### Azarian V.A. RATIONALIZING THE COMPLEX CRITERION OF THE QUALITY MANAGEMENT EFFICIENCY ASSESSMENT IN THE CONDITIONS OF AN ORE MINING AND PROCESSING PLANTS

*The effective management of the iron ore quality at the mining enrichment plants is a pressing scientific and practical challenge. A comprehensive solution to this challenge is imperative for the competitiveness of the industry and steady contribution to the state budget.*

*Raw material's quality of the mining and processing enterprises products is a major factor influencing cost structure and formation selling price, and directly depends on the characteristics of the total ore cargo destined for enrichment.*

*The article analyzes the existing criteria used to evaluate the control and efficiency of quality management of ore cargo flows of various degrees of integration. A new comprehensive criterion for evaluating the efficiency*

*of quality management of common integrated  $F_1$  ore flows has been determined on the basis of this analysis.*

*The suggested criterion relates the qualitative characteristics of the formed ore stream, the actual volume of ore that is sent for enrichment, the output of the concentrate and the cost of processing. It can be used for a comprehensive evaluation of the results of the quality management technology for iron-containing raw materials for mining, as well as for the cost reduction at ore-mining plants by means of forming one final ore cargo, the latter being the input at the ore-mining complex, with the corresponding values and the grade of ore.*

*It is concluded that one of the most efficient ways of increasing the profits of iron ore mining and processing plants is the formation of the final flow with such a grade of ore that would minimize the complex criterion indicator used for evaluating the ore flow quality management efficiency.*

**Key words:** *ore freight flow, mining and concentrating plant, ore dressing plant, management of the quality of ore flow, grade of ore.*