

2. **Козорез Б.И., Ковальський Л.Н.** Архитектура учебных зданий. Київ: Будівельник, 1980. 141 с.
3. **Кравцов В.Л., Максимюк Т.М.** Экологическая среда для высшей школы. // Проектирование объектов высшей школы. /Тезисы докладов всесоюзной научной конференции. - Львов: ЛПИ, 1974. - С. 18-20.
4. **Ковальський Л. М.** Архітектура вищих навчальних закладів. Університети 3-го тисячоліття / Л. М. Ковальський, Г. Л. Ковальська ; під заг. ред. Л. М. Ковальського. – К.: Основа, 2011. – 253 с.
5. **Солобай П.А.** Основы и принципы реконструкции архитектурной среды вузов [Текст]//Вісник ХДАДМ. – 2008. –Вип. №1. С. 114-121.
6. **Шимко В.Т.** Архитектурно-дизайнерское проектирование городской среды. – М. : Архитектура-С., 2006. – 276-288 с.;
7. **Горбачев В. Н.** Архитектурно-художественные компоненты озеленения городов: Учеб. пособие для худож.-пром. вузов и archit. фак. – М.: Высш. шк.,1983 – 207 с.
8. **Шолух Н.В.** Проектирование для нужд маломобильных групп населения в фокусе внимания академической науки: опыт Донбасской национальной академии строительства и архитектуры[Текст]/ Н. В. Шолух, А. В. Анисимов, А. Е. Надьярная, А. В. Бородина//Современное промышленное и гражданское строительство. – 2016. –Том 12, Номер 1. –С. 13–22.
9. **Шевченко Л.С., Різник В.О.** Формування архітектурно-ландшафтного середовища вищих навчальних закладів //Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Випуск 43.Частина 2.-2016.- Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2016 - С. 364-368.
10. Новый образ образования [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://comfortbud.ua/ru/ua-novij-obraz-osviti/> (Дата звернення: 20.09.2019)

Рукопис подано до редакції 17.10.2019

УДК 622.72:622.341

В.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ФІНАЛЬНОГО ІНТЕГРОВАНОГО РУДОПОТОКУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗБАГАЧЕННЯ

**Метою** роботи є дослідження впливу коливань сировинної якості фінального інтегрованого рудопотоку на показник ефективності збагачення. Відомо, що якість кінцевої продукції комбінату безпосередньо залежить від характеристик руди, яка надходить на рудозбагачувальних фабрику (РЗФ) у вигляді інтегрованого фінального рудопотоку, тому що оптимальні режими збагачення можливо забезпечити лише при строго визначених показниках вмісту корисного компонента (в.к.к.) у цьому потоці. Залізородна сировина має неоднорідний розподіл в.к.к. в межах родовища, видобувне та транспортне обладнання працює неритмічно, внаслідок чого рудні вантажопотоки різного ступеню інтеграції мають значні амплітудно-частотні коливання як за якісними, так й за кількісними показниками. Нестабільність в.к.к. у фінальному рудному вантажопотоці, що спрямовується на збагачення, призводить до зниження виходу концентрату, збільшення втрат у хвостах, підвищення витрат, зниження прибутку підприємства та падіння його конкурентоздатності.

**Методи досліджень.** В роботі було застосовано основні методи гірничої справи та математичне моделювання з подальшим графоаналітичним аналізом отриманих залежностей.

**Наукова новизна** полягає у встановленні залежностей між показником діапазонних значень в.к.к. інтегрованого фінального рудопотоку гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) та ефективністю збагачення, яка визначається ступінню повноти витягу корисного компоненту у концентрат, та аналітично має вигляд відношення різниці кінцевих значень збагачувального процесу до в.к.к. вхідної руди.

**Практичне значення** полягає у отриманні інформації щодо показників кінцевих значень збагачувального процесу в залежності від діапазону коливань в.к.к. у фінальному інтегрованому рудопотоці ГЗК. Наявність цієї інформації дозволить здійснювати планування, контроль та управління якістю гірничих робіт комбінату з урахуванням, насамперед, основних вимог збагачувального комплексу, що забезпечить оптимізацію процесу переробки, дозволить отримати концентрат відповідної якості та у заданому обсязі.

**Висновки.** Внаслідок проведених досліджень встановлено зворотньо-пропорційну залежність значень середньоквадратичного відхилення (СКВ) в.к.к. в сформованому фінальному рудопотоці ГЗК та показників ефективності збагачення. Встановлено, що при збільшенні амплітуди коливань в.к.к. фінального рудопотоку за менш якісній руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

**Ключові слова:** рудний вантажопотік, оптимізація процесу збагачення, діапазон коливань вмісту корисного компоненту, ефективність збагачення, середньоквадратичне відхилення.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-59-63

**Проблема та її зв'язок з практичними завданнями.** Держкомітет по запасах України оцінив загальні обсяги залізистих кварцитів станом на 2005 р. у 11711,9 млн. т [1]. Ці запаси можуть забезпечити функціонування гірничовидобувної та переробної промисловості України ще декілька десятиліть. Але, при наявності значних запасів залізородної сировини, є певні проблеми, які значно ускладнюють розвиток цієї галузі виробництва.

Однією з ключових проблем сучасної залізородної промисловості України є низька її конкурентоспроможність, що є наслідком у тому числі значних коливань вмісту корисного компоненту у кінцевих (фінальних) інтегрованих рудопотоках гірничо-збагачувальних комбінатів, які фактично є вхідною сировиною РЗФ. Тому, умовах жорсткої конкуренції світових виробників залізородної сировини, погіршення гірничо-технологічних умов розробки родовищ, зниження якості сировинної бази України та підвищення собівартості виробництва, питання формування фінальних інтегрованих рудних вантажопотоків ГЗК з відповідною якістю набуло максимального значення [2].

Стабілізація якісних показників фінальних рудопотоків є актуальною науково-практичною проблемою, тому що стала якість вхідної сировини забезпечує відповідний рівень якості продукції РЗФ. Оптимізація процесу збагачення, яка заснована на стабільності в.к.к. у вхідній руді, буде відображена у відповідних показниках виходу концентрату з руди  $\gamma$ , вилучення корисного компонента в концентрат  $\epsilon$  та рівня якості в концентраті  $\beta$  [3].

**Аналіз досліджень і публікацій.** На необхідності стабілізації якості залізородної сировини раніше наголошували такі відомі вчені, як Бизов В.Ф., Жуков С.О., Ломоносов Г.Г., Четверик М.С. та ін. Відомо, що рудозбагачувальні фабрики є високоінерційними виробничими системами, налаштованими на певний показник якості у заданому діапазоні коливань. Надмірні коливання вмісту корисного компоненту у рудопотоці на вході РЗФ, що виходять за межі заданого розрахункового діапазону, призводять до зниження виходу концентрату, збільшення втрат у хвостах, підвищення собівартості переробки [4]. Саме тому нестабільність якісних характеристик залізовмісної сировини викликає такі негативні наслідки, як зниження прибутків гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) та падіння їх конкурентоздатності [5,6].

Режими збагачення, за яких відбувається оптимальний вихід концентрату з заданими якісними показниками, можуть бути отримані при певних показниках в.к.к. у вхідній руді РЗФ. Робота в таких режимах збагачення дозволяє не тільки отримувати концентрат з найбільш прийнятними значеннями за якістю, але й заощадити електроенергію, воду, футерування та кулі млинів, що також позитивно позначиться на загальних техніко-економічних показниках виробництва [7].

Вимога до стабільності якісних показників обумовлюється, перш за все, тим, що робота РЗФ є найбільш ефективною при таких постійних показниках в.к.к., що відповідають плановим значенням, а оптимальні показники режиму збагачення за величиною вилучення та втрат у хвостах залежать не тільки від якості рудної сировини, а й від її стабільності в потоці [8].

**Постановка завдання.** З метою визначення впливу діапазонних коливань в.к.к. фінального інтегрованого рудопотоку на ефективність процесу збагачення та оцінки прогнозних показників збагачення у відповідності до різних значень сировинної якості вхідної руди збагачувального комплексу, провести дослідження з використанням наявної статистичної бази даних, з подальшою побудовою відповідних залежностей та графоаналітичним аналізом отриманих даних.

**Викладення матеріала і результатів.** Сучасне гірничовидобувне підприємство являє собою складну систему з розвинутою ієрархічною структурою, основною метою функціонування якої є видобуток руди. Виходячи з цієї мети, формуються вимоги до якості сировини, що видобувається. Розподіл в.к.к. в забоях кар'єру часто носить хаотичний характер [9]. Разом з тим, фінальний рудний вантажопотік повинен мати визначену величину в.к.к., який не виходить за межі заданого діапазонного значення в будь-який момент часу, що продиктовано вимогами комплексу переробки [10].

Математична модель формування фінального, або загального рудопотоку, може бути представлена у вигляді вимог, що реалізуються системою управління якістю гірничого підприємства. Загальний обсяг рудопотоку математично визначається можливостями РЗФ, він є заданою величиною

$$\sum_{k=1}^N m_k = m_0 \quad (1)$$

де  $m_0$  – заданий на вході РЗФ для переробки обсяг руди, т;  $m_k$  – кількість руди, що доставляється транспортом з  $k$ -го забою, т.

У свою чергу, згідно з технологічними вимогами, в.к.к. в руді після усереднення має відповідати заданій величині, тобто має місце рівність за якістю, що пов'язує ці характеристики у рудних забоях та в рудопотоці

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_0 \cdot c_0 \quad (2)$$

де  $c_0$  – заданий вміст в рудопотоці після формування шляхом усереднення,  $c_k$  вміст корисного компонента в руді, що доставляється з  $k$ -го забою.

Апріорною вимогою є обмеження обсягів руди, що доставляються із забоїв у вигляді окремих локальних рудопотоків

$$0 \leq m_k \leq \bar{m}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (3)$$

де  $m_k$  – максимально можливий обсяг руди, що доставляється з  $k$ -го забою, т.

Формули (1)-(3) представляють математичну модель, що є основою формування рудного вантажопотоку гірничовидобувного підприємства.

Можливо інше формулювання цієї моделі, в якій умова (2) замінюється обмеженнями за амплітудою коливань в.к.к. у руді після усереднення, тобто після формування рудопотоку

$$c_{\min} \cdot m_0 \leq \sum_{k=1}^N c_k m_k \leq c_{\max} \cdot m_0 \quad (4)$$

де  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – найменша і найбільша допустимі показники вмісту корисного компоненту рудного вантажопотоку, тобто діапазонні обмеження за вимогами РЗФ [11].

Дослідження впливу якісних показників фінального інтегрованого рудопотоку ГЗК на показник ефективності збагачення виконувалися у наступному порядку.

Відомо, що ефективність збагачення – це ступінь повноти витягу корисного компоненту у концентрат, яка аналітично визначається за формулою (5) та представлена як відношення різниці кінцевих значень збагачувального процесу (в.к.к. в концентраті та в хвостах, помножених на вихід концентрату) до в.к.к. вхідної руди РЗФ [12]

$$E = \frac{\gamma(\beta_{\text{конц.}} - \beta_{\text{хв.}})}{\alpha(100 - \alpha)} \times 100\% \quad (5)$$

Також відомо, що вхідна руда збагачення – це фактично фінальний інтегрований рудопотік гірничо-збагачувального комбінату, що формується з рудопотоків кар'єрів, усереднювальних складів та інших, як власних, так і зовнішніх джерел сировини [13].

Фінальний рудопотік, як і будь-який інший потік руди, має амплітудні та часові коливання сировинної якості, які безпосередньо впливають на показники збагачення [14]. Тому було досліджено та визначено взаємозв'язок між показником ефективності збагачення та величиною середньоквадратичного відхилення в.к.к. в фінальному рудопотоці залізородного ГЗК.

Математичну модель було представлено в табличному вигляді (табл. 1), який відображає прогнозні значення показника ефективності збагачення.

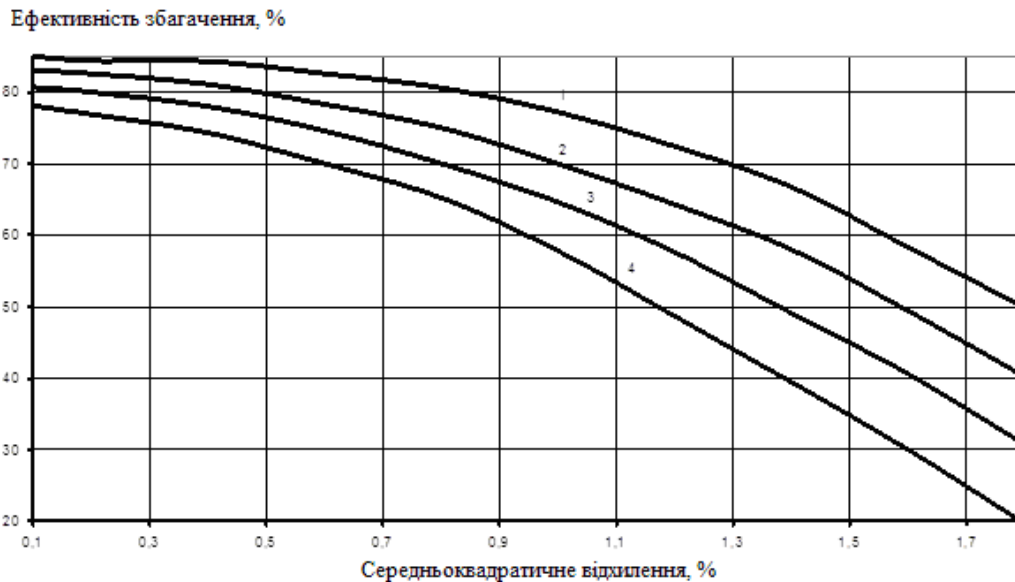
Таблиця 1

Прогнозні значення показника ефективності збагачення в залежності від величини СКВ в.к.к. в фінальному рудопотоці ГЗК за різних значень якості ( $Fe_{\text{магн.}}$ )

СКВ, %	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$\alpha=27\%$	85	84,4	84,3	82,6	80,6	77,2	72,4	66,7	58,3	49,8
$\alpha=25\%$	83	82,6	81,1	78,3	75,0	70	64,3	58	49,4	40,2
$\alpha=23\%$	80,7	80,0	78	74,6	70,0	64,6	57,6	49,1	40,6	30,7
$\alpha=21\%$	78,1	76,9	74,3	70,0	65,2	57,8	48,7	39,4	30,0	19,6

Ефективність збагачення було розраховано за формулою (5) для різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку: при середньому показнику в.к.к. 27 %, 25 %, 23 % та 21 % ( $Fe_{\text{магн}}$ ).

Побудовані на основі отриманих за розрахунком даних графіки залежності ефективності збагачення від величини середньоквадратичного відхилення в.к.к. фінального рудопотоку ГЗК наведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Залежність ефективності збагачення від значення середньоквадратичного відхилення в.к.к. фінального рудопотоку: 1 – при  $\alpha$  27 % рівняння кривої:  $y = -3,0949x^3 - 6,2439x^2 + 1,7777x + 84,651$ ; 2 – при  $\alpha$  25 % рівняння кривої:  $y = -1,0301x^3 - 10,676x^2 - 1,3848x + 83,3$ ; 3 – при  $\alpha$  23 % рівняння кривої:  $y = 1,229x^3 - 17,678x^2 - 0,0128x + 80,782$ ; 4 – при  $\alpha$  21 % рівняння кривої:  $y = 4,4222x^3 - 27,329x^2 + 2,5103x + 77,734$

Відомо, що середньоквадратичне відхилення у відповідності до правила «три сигма» характеризує величину максимальної амплітуди коливань в.к.к. в рудопотоці, що також обумовлено коефіцієнтом «мінімак».

Графоаналітичне дослідження отриманих залежностей дозволяє зробити висновок, що, чим більшим є значення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в сформованому фінальному рудопотоці ГЗК – тим нижчим є показник ефективності збагачення.

При цьому амплітуда коливань в 1 % викликає незначне зниження ефективності, в межах 3–5 %; амплітуда коливань у 2 % знижує ефективність від 5 до 10 %, а амплітуда коливань 3 % знижує ефективність збагачення вже на 15–25 %.

При величині середньоквадратичного відхилення фінального інтегрованого рудопотоку 1,8 %, що відповідає амплітуді коливань вмісту корисного компонента в рудопотоці в 5,4 %, спостерігається падіння ефективності збагачення від 35 % при середньому значенні якості 27 % до 55 % при середньому значенні якості 21 %.

Таким чином, зі збільшенням амплітуди коливань в.к.к. фінального рудопотоку та при менш якій руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

**Висновки.** Внаслідок проведених досліджень встановлено:

1. Чим більшим є значення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в сформованому фінальному рудопотоці ГЗК – тим нижчим є показник ефективності збагачення.

2. Зі збільшенням амплітуди коливань вмісту корисного компоненту фінального рудопотоку при менш якій руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

## Список літератури

1. **Азарян А.А.** Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины / **А.А. Азарян, Ю.Г. Вилкул, В.А. Азарян, В.А. Колосов** // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск. – 2012. – №5. – С. 1–4.14.
2. **Жуков С.О.** Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / **С.О. Жуков, В.А. Азарян**, // *Вісник ЖДТУ : наук. журнал*. – Житомир. – 2018. – Вип. 1 (81). – С. 240–245.
3. **Азарян В.А.** Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины / **В.А. Азарян** // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (6; 2010; Варна, Болгария): 6 Международная конференция (4-10 июня 2010 г.): материалы : в 2-х т. / М-во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2010. – С. 52-56.
4. **Азарян В.А.** PProceedings of the III International Scientific and Practical Conference "The goals of the World Science 2017" (January 31, 2017, Dubai, UAE). № 2(18), Vol.1, February 2017 – С. 20–24.
5. **Жуков С.О.** Исследование влияния периода опробования забоев железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / **С.А. Жуков, В.А. Азарян, В.А. Стриха**// *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. – Рівне : НУВГП, 2017. – Вип. 3(79). – С. 42-52.
6. **Галиев С.Ж.** Методика оперативного мониторинга и управления рудопотоком. / **С.Ж. Галиев, А.А. Бояндинова, Ж.А. Адилханова, К.К. Жусупов, С.Е. Пуненков**. // *Научный журнал КазНТУ "Вестник". Наука о земле*, – Алматы, 2009. С. 64-70.
7. **Ломоносов Г.Г.** Формирование качества руды при открытой добыче / **Г.Г. Ломоносов** - М.: Недра, 1975 – 224 с.5.
8. **Бызов В.Ф.** Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / **В.Ф. Бызов, Ю.Г. Вилкул И.И. Максимов** // *Металлургическая и горная промышленность*, 1982. – №2. – С. 64-65.
9. **Бызов В.Ф.** Управление качеством продукции карьеров : учеб. для вузов по спец. "Открытые горные работы" / **В. Ф. Бызов**. – М. : Недра, 1991. – 239 с.
10. **Азарян В.А.** Обоснование периода опробования забоев карьера / **В.А. Азарян, С.А. Жуков** // *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. – Дніпро. – 2017. – №51. – С. 8–18.
11. **Азарян В.А.** Модель стабилизации колебаний содержания полезного компонента в рудопотоке карьера / **В.А. Азарян** // *Европейская наука и технологии (European Science and Technology)*. Мюнхен, Германия, – 3-4 октября 2013 г.: Материалы 5 Международной научно-практической конференции. Мюнхен. – С. 331 – 336.
12. **Білецький В.С.** Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина III. Заключні процеси / **В.С. Білецький, Т.А. Олійник, В.О. Смирнов, Л.В. Скляр** // *Навчальний посібник*. — Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д. О., 2019. — 211 с. — ISBN 978-617-7553-80-8
13. **Азарян В.А.** Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / **В.А. Азарян, С.О. Жуков** // *Вісник ЖДТУ : наук. журнал*. – Житомир. – 2018. – Вип. 1 (81). – С. 240–245.
14. **Азарян В.А.** Комплексная система контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров / **В.А. Азарян** // *Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами : Материалы международного симпозиума*. КТУ 18-23 июня 2012 г. г. Паргенит. – Кривой Рог С.112

Рукопис подано до редакції 31.10.2019