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. Архитектура 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 иarchit. 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. Бородин//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. Залізрудна 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 залізорудної сировини, є певні проблеми, які значно ускладнюють розвиток цієї галузі виробництва.

Однією з ключових проблем сучасної залізорудної 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 залізорудної 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 γ , вилучення корисного компонента в концентрат ϵ та рівня якості в концентраті β [3].

Аналіз досліджень і публікацій. На необхідності стабілізації якості залізорудної 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 конкурентноздатності [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 розвиненою 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 $\bar{m}_k$ – 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 залізорудного 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 ($\text{Fe}_{\text{магн.}}$)

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 α 27 % рівняння кривої: $y = -3,0949x^3 - 6,2439x^2 + 1,7777x + 84,651$; 2 – при α 25 % рівняння кривої: $y = -1,0301x^3 - 10,676x^2 - 1,3848x + 83,3$; 3 – при α 23 % рівняння кривої: $y = 1,229x^3 - 17,678x^2 - 0,0128x + 80,782$; 4 – при α 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 «мінімакс».

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 якісній 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 якісній 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, ГИПОП-ром [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. Партенит. – Кривой Рог С.112

Рукопис подано до редакції 31.10.2019