

УДК 622.012:658.5:622.68

Жуков С.О.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Азарян В.А.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДОПОТОКІВ ЗАЛІЗОРУДНИХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

У статті проаналізовано технологічні та фінансові втрати залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів від коливань якості фінальних рудних вантажопотоків, які є вхідною сировиною рудозбагачувальних фабрик. Авторами запропоновано концепцію генералізації, суть якої полягає в об'єднанні всіх засобів контролю, сортування і шихтовки руд в єдину, технологічно домінуючу в масштабі не тільки окремого кар'єра, але і всього гірничо-збагачувального комбінату, комп'ютеризовану систему, підпорядковану загальній цільовій алгоритмізації. Обґрунтована концепція генералізації технології управління якістю інтегрованих рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів. Набула подальшого розвитку теорія управління якістю в умовах відкритих гірничих робіт. Також у статті розглянуто проблему зупинення виробничих потужностей збагачувального комплексу через зниження видобутку залізорудними кар'єрами, розроблено критерій та алгоритм оцінки доцільності виведення з експлуатації всієї рудозбагачувальної фабрики або її частини (секції) та перенаправлення фінального рудопотоку на інший гірничо-збагачувальний комбінат.

Ключові слова: гірничо-збагачувальний комбінат, рудозбагачувальна фабрика, кар'єр, управління якістю рудопотоку, вміст корисного компоненту.

Постановка проблеми. Проблема управління якістю рудопотоків актуалізувалася наприкінці ХХ ст., коли вміст корисного компонента в руді почав стійко знижуватися після відпрацювання найбільш багатих ділянок залізорудних родовищ.

Показники якості продукції гірничо-збагачувального комбінату (далі – ГЗК) зумовлюють її відпускну ціну і впливають на техніко-економічні результати роботи підприємства. У свою чергу, якість кінцевої продукції всього комбінату безпосередньо залежить від характеристик вхідної руди, що надходить на рудозбагачувальну фабрику (далі – РЗФ). Таким чином, формування фінального рудопотоку має вплив на технологічні і фінансові показники ГЗК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічна ефективність стабілізації якісних показників залізорудної сировини доведена дослідженнями багатьох відомих вчених, а також багаторічним практичним досвідом роботи ГЗК [1–3].

Постановка завдання. Рішення цієї проблеми вимагає виконання комплексу заходів з управління якістю руди у процесі видобутку та переробки. Управління якістю неможливе без

оперативного контролю на всіх етапах і у всіх технологічних процесах гірничого виробництва. До завдань оперативного контролю належить не тільки вибір засобів і систем контролю якості, а й, не менш важливо, визначення оптимального періоду опробування забоїв [4].

Необхідність суворої і стійкої відповідності сформованого рудопотоку заданим якісним показникам зумовлена тим, що оптимальні режими збагачення можуть бути забезпечені тільки за умови жорстко обмежених відхилень вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці, а не в кожному окремо, що є характерним для сучасних ГЗК, які розробляють в одному (ПрАТ «ІнГЗК», ПАТ «Південний ГЗК», ПАТ «ПГЗК») або декількох кар'єрах поклади різнорідних руд (Гірничий департамент ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПрАТ «ЦГЗК», ПрАТ «Північний ГЗК»).

Встановлено, що, внаслідок амплітудних і тимчасових коливань сировинної якості рудо потоків, ГЗК Кривбасу щорічно втрачають близько 990 тис. тонн концентрату. Фінансові втрати від цього складають 64,4 млн дол. США в цінах квітня 2016 р., або 1,650 млн грн.

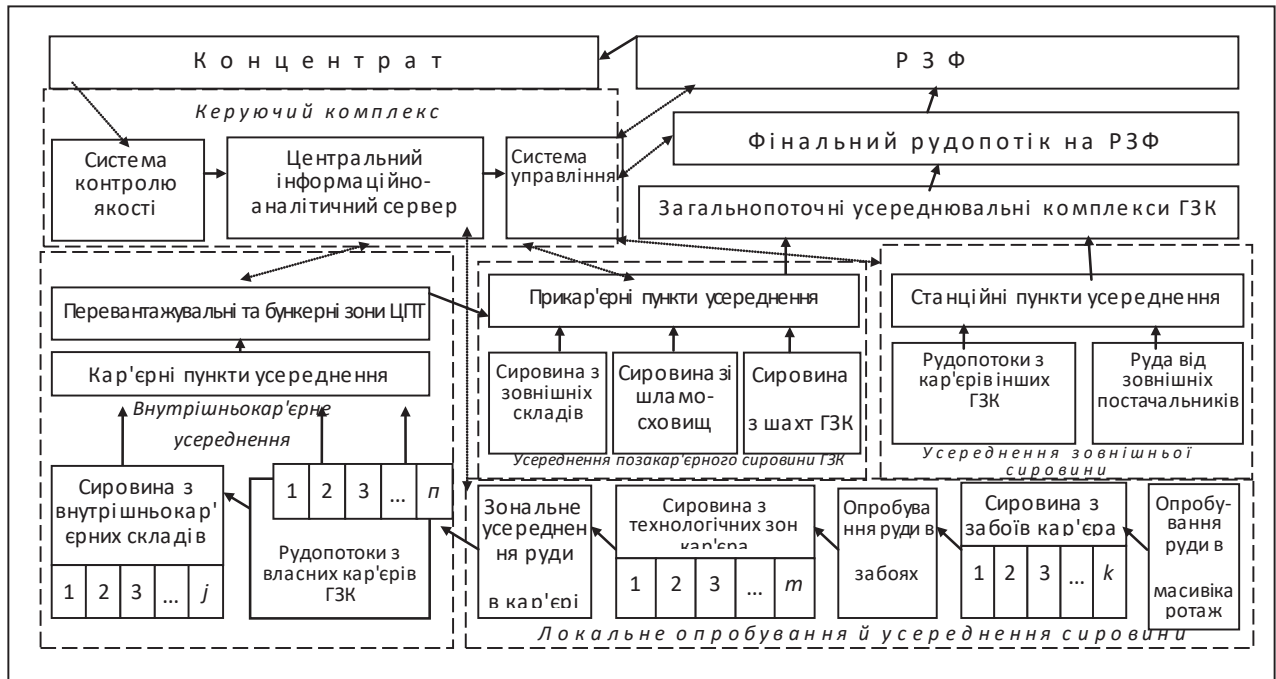


Рис. 1. Концептуальна схема генералізації в масштабах ГЗК технології управління інтегрованими рудними вантажопотоками

У зв'язку з цим забезпечення зумовленого рівня якості і стабілізація амплітуди його коливань у фінальному рудопотоці за важливістю, складністю і масштабами є актуальною науковою проблемою, яка вимагає створення відповідної науково-методичної бази та подальшого розвитку теорії управління якістю в умовах відкритих гірничих робіт.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ідея, покладена в основу представлених досліджень, полягає в генералізації управління якістю фінального рудопотоку шляхом об'єднання всіх засобів контролю, сортування і шихтовки руд в єдину, технологічно домінуючу в масштабі не тільки окремого кар'єра, але і всього ГЗК, комп'ютеризовану систему, підпорядковану загальній цільовій алгоритмізації.

Реалізація цієї ідеї вимагає розробки і теоретичного обґрунтування відповідної технології управління якістю фінального рудопотоку: від геологічного картування і технологічного зонування рудних покладів до керуючих сигналів зворотного зв'язку аналізаторів вихідного потоку збагачувальної фабрики, що включає в себе всю організаційно-керуючу систему ГЗК з відповідними технічними й інформаційними засобами.

У ході виконаних досліджень було розроблено і теоретично обґрунтовано локальні і загальнокар'єрні технології управління якістю

рудних вантажопотоків, включаючи нові технічні засоби, які було опубліковано раніше [5–8].

Запропонована нова концепція генералізації управління інтегрованими рудними вантажопотоками має ешелоновану по вертикалі ієрархію та згруповану за просторово-технологічними зонами і вимогами якості сировини багаторівневу структуру, схематично представлену на рис. 1.

Геологічне картування передбачає оконтурювання в масивах кар'єрного поля руд із близьким вмістом корисного компонента, а технологічне районування – виділення ділянок, придатних для розробки за однаковою технологією, оскільки не завжди сортності за вмістом заліза і за збагачуваністю руд збігаються.

Тому для вирішення таких завдань раніше було розроблено метод геологічної додаткової розвідки – радіометричного каротажу вибухових свердловин [9], а також технологія структурно-кваліметричного зонування районів кар'єру, об'єднаних за технологічними ознаками. Всі дані, що отримують після додаткової розвідки, вносять до центрального сервера системи управління якістю фінальних рудопотоків залізородних ГЗК, які разом з інформацією про сировинну якість з інших етапів виробництва створюють загальну базу даних.

Аналіз проектів подальшого розвитку залізородних ГЗК України свідчить, що більшість із них

пропрацюють із проектною продуктивністю ще 15–20 років, після чого вона почне планомірно знижуватися в міру доопрацювання продуктивних покладів руд або граничних за проектною глибиною горизонтів кар'єрів. Неминуче виникає проблема відповідного зниження завантаження збагачувальних фабрик пропорційно падінню видобутку руд.

Техніко-економічні розрахунки свідчать, що послідовне виведення збагачувальних секцій РЗФ ГЗК є неминучою реальністю. І тут виникає надзвичайно серйозна, майже не досліджена нині проблема, суть якої полягає в тому, що збагачувальний процес, хоч і реалізується сукупністю збагачувальних секцій, які з погляду управління є дискретними технологічними одиницями, відбувається у РЗФ – системі, яка є єдиним середовищем, що включає в себе не тільки підсистеми – збагачувальні секції, але й загальносистемні складові частини (будівлі та споруди, спільні дробильно-сортувальні й інші технологічні комплекси, єдині транспортні та складські системи, енергетичні й інженерні мережі, загальні основні фонди та ресурси, наскрізну інфраструктуру, систему забезпечення, управління, логістики тощо). Тому РЗФ є утворенням суцільно інтегрованим, надзвичайно складним функціонально та громіздким структурно, а головне – цілеспрямовано розрахованим виключно на повний масштаб об'єкта, як проектно, так і програмно. Саме тому РЗФ як система не тільки не має адаптаційної гнучкості щодо масштабної варіабельності активної чисельності її дискретних одиниць – збагачувальних секцій, а навпаки – вона проектно і програмно максимально захищена від будь-яких відхилень від проектних показників, внаслідок чого, скорочуючи кількість працюючих секцій, ГЗК не має можливості пропорційно скорочувати витрати на утримання РЗФ, а тому несе їх у повному масштабі.

Зважаючи на зазначене, було досліджено почергове закриття збагачувальних фабрик на ГЗК, продуктивність яких знижується в групі комбінатів до критичного значення, що визначається розробленим критерієм, суть якого полягає в співвідношенні витрат на утримання власної РЗФ ГЗК і прибутку від реалізації збагаченої продукції. Після зниження рентабельності збагачення руд до мінімального рівня (з урахуванням необхідності витрат на повномасштабне утримання РЗФ) закриття РЗФ стає неминучим, і критерій оцінки ефективності функціонування ГЗК зводиться до співставлення витрат на видобуток товарної руди і прибутку від її реалізації як уже кінцевої продукції.

Виділяються два етапи виведення РЗФ:

- робота фабрики з продуктивністю, що знижується, і почерговим виведенням і реалізацією тієї частини обладнання, яке перестає завантажуватися внаслідок цього зниження;
- демонтаж і реалізація устаткування, конструкцій і матеріалів після повної зупинки фабрики.

Спрощено критерій має вигляд:

$$\sum Z_{зф} \langle (V_k C_k - V_p C_p) \rangle \quad (1),$$

де $Z_{зф}$ – витрати на утримання збагачувальної фабрики;

V_p – обсяги руди, які переробляє ЗФ;

V_k – обсяги одержуваного концентрату;

C_k – ціна концентрату;

C_p – ціна руди.

Для усього процесу (руда → концентрат → агломерат → окотиші) цей критерій набуде вигляду:

$$\sum Z_i \langle \sum (V_i C_i) - V_p C_p \rangle \quad (2),$$

де Z_i – витрати на утримання i -х переробних потужностей;

V_i – обсяг i -ї залізорудної продукції;

C_i – ціна залізорудної продукції i -го виду.

Витрати на утримання збагачувальної фабрики можна виразити як

$$Z_{зф} = V_k C \quad (3)$$

Відомо, що $V_k = V_p \gamma$, тоді витрати на утримання РЗФ мають вигляд:

$$Z_{зф} = V_p \gamma C \quad (4),$$

де C – собівартість збагачення;

γ – показник виходу концентрату на РЗФ.

Виходячи з виразу (1), співвідношення можна записати як:

$$V_p \gamma C \leq (V_p \gamma C_k - V_p C_p) \quad (5)$$

Після скорочення та перетворення вираз (5) набуває вигляду:

$$C \leq (C_k - \frac{C_p}{\gamma}) \quad (6)$$

Якщо прийняти значення собівартості переробки мінеральної сировини як мінімально допустиме (граничне) для нормального функціонування РЗФ, то на основі даних, розрахованих за виразом (6), можна побудувати графіки (рис. 2), які дозволяють визначити область значень собівартості за змінних значень цін на концентрат та руду за різних показників виходу концентрату.

На графіках пунктиром позначено мінімальну ціну на концентрат, за якої, з урахуванням ціни на руду та собівартості, треба прийняти рішення про виведення з експлуатації всієї РЗФ або її частини

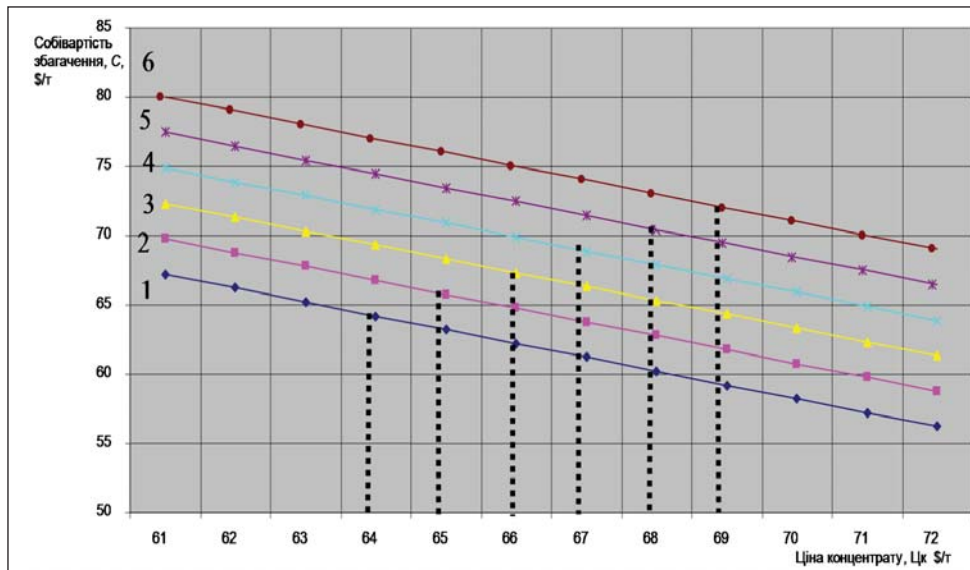


Рис. 2. Залежність мінімальної собівартості РЗФ від рівня цін на концентрат за різних значень ціни на руду за виходу концентрату $\gamma=39\%$.
Ціна руди: 1 – 50 \$/т; 2 – 51 \$/т; 3 – 52 \$/т; 4 – 53 \$/т; 5 – 54 \$/т; 6 – 55 \$/т

(секції) та перенаправлення фінального рудопотоку на інший ГЗК. Слід враховувати собівартість транспортування руди на РЗФ іншого ГЗК, тому що ціна руди на вході РЗФ буде збільшена на величину цих витрат:

$$C_{p2} = C_{p1} + C_{tr} \quad (7)$$

де C_{p2} – ціна руди на РЗФ другого ГЗК;

C_{p1} – ціна руди на РЗФ ГЗК, де вона була видобута;

C_{tr} – собівартість транспортування руди з першого на другий ГЗК.

Підвищення ціни руди на РЗФ іншого ГЗК впливатиме на собівартість збагачення, але за рахунок збільшення обсягів руди на вході збагачувального виробництва зростання собівартості не буде пропорційним.

Для визначення необхідності виводу з експлуатації РЗФ і перенаправлення рудопотоку вхідної руди на інший ГЗК було розроблено алгоритм (рис. 3), побудований за допомогою цільової функції $C=f(X_p, Y_p, Z_p, K_j) \Rightarrow \min$. Алгоритм допомагає прийняти рішення, виходячи з того, чи є збагачувальне виробництво рентабельним за діючих цін на руду та концентрат.

Відомо, що ціни на руду та концентрат не є постійними, коливання ціни на концентрат мають дуже широкий діапазон: за десятиріччя він становив від 120 \$/т в 2007 р. до 65 \$/т в 2017 р., а песимістичний прогноз на 2018 р. цін на залізну руду виглядає як можливе падіння її нижче рівня 60 \$/т. Тому наявність алгоритму визначення необхід-

ності виводу з експлуатації РЗФ на тому ГЗК, де собівартість переробки є вищою за ціну реалізації концентрату, є досить актуальним.

Протягом двох особливих періодів на собівартість збагаченої продукції (в перший період) впливатиме – опосередковано – прибуток від продажу збагачувальних секцій (підперіоди), що послідовно зупиняються, а на собівартість товарної руди як кінцевої продукції після повного припинення збагачення (другий період) – надходження від реалізації основних фондів та інших активів РЗФ у цілому.

Безумовно, розпродаж демонтованих, а також цілісних основних фондів, виведених з експлуатації, відображається на фінансових показниках ГЗК у цілому, тому умовно можна співвіднести такий грошовий рух із собівартістю продукції в ці періоди – виключно для оціночної мотивації управлінських рішень.

1 період:

$$C_{z.n.n.i} = \{B_{z.n.n.j} - [\sum (H_i - D_i) + \sum \Delta_i P_i]\} / V_{z.n.n.j} \quad (8)$$

де $C_{z.n.n.j}$ – собівартість збагаченої продукції в j -й підперіод;

$B_{z.n.n.j}$ – сумарна вартість збагаченої продукції, виробленої в j -й підперіод;

H_i – надходження від продажу i -х виведених з експлуатації активів у j -й підперіод;

D_i – вартість демонтажу та реалізації i -х ресурсів у j -й підперіод;

$\Delta_i P_i$ – побіжні заощадження від скорочення споживання i -х ресурсів у j -й підперіод (прямі – враховуються у вартості збагачення руди);

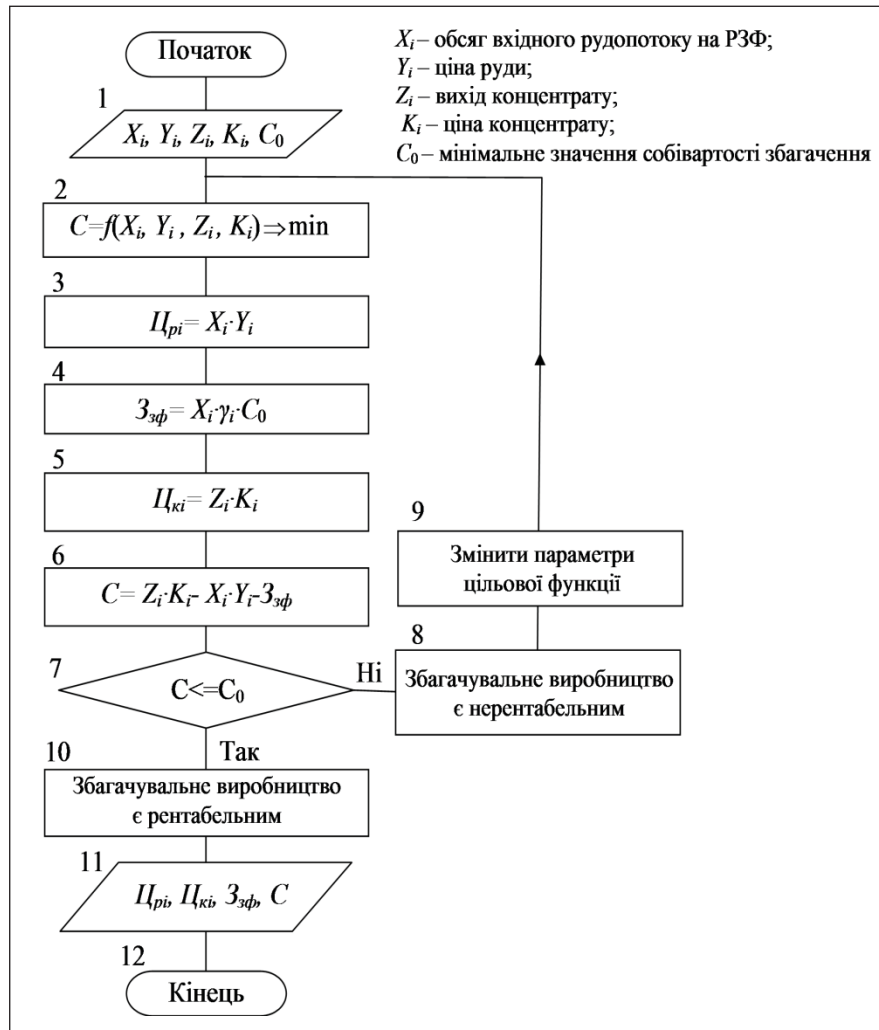


Рис. 3. Алгоритм для визначення доцільності експлуатації РЗФ або перенаправлення фінального рудопотоку на інший ГЗК

$V_{з.н.Пj}$ – обсяги збагаченої продукції, виробленої в j -й підперіод.

2 період:

$$C_{m,p,2} = \{B_{m,p,2} - [\sum(H_i - D_i) + \sum \Delta_i P_i] + \sum \Delta_{URZ\Phi}\} / V_{m,p,2} \quad (9),$$

де $C_{m,p,2}$ – собівартість товарної руди в i -й період;

H_i – надходження від продажу i -х виведених з експлуатації активів у i -й підперіод;

D_i – вартість демонтажу та реалізації i -х ресурсів у i -й підперіод;

$\Delta_i P_i$ – побіжні заощадження від скорочення споживання i -х ресурсів у j -й підперіод (прямі – враховуються у вартості збагачення руди);

$\Delta_{URZ\Phi}$ – решткові витрати на утримання РЗФ

$V_{m,p,2}$ – обсяги товарної руди в i -й період.

Такий підхід дозволяє оперативно оцінити, наскільки «пом'якшується» кожен із перехідних періодів компенсаторним впливом зі скороченням обсягів збагачення руд матеріальних надходжень,

що дає змогу визначати і планувати узагальнені параметри досліджуваних систем і час, необхідний на підготовку та своєчасне превентивне впровадження заходів щодо технологічної реорганізації РЗФ і перенаправлення рудних вантажопотоків ГЗК.

Для ГЗК Кривбасу, за наявності щільного територіального розташування, фактором управління якістю рудопотоків стає можливість, у разі визначення доцільності, включення до фінального рудопотоку комбінату також і сировини з інших комбінатів басейну.

Висновки.

1. Набула подальшого розвитку теорія управління якістю рудопотоків залізорудних ГЗК за рахунок створення концепції генералізації технології в масштабах ГЗК.

2. Для визначення необхідності виводу з експлуатації РЗФ та перенаправлення фінального рудопотоку на інший ГЗК було розроблено критерій та алгоритм.

Список літератури:

1. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров: учебник. Москва, 1991. 239 с.
2. Бастан П.П. Смешивание и сортировка руд. Москва, 1990. 168 с.
3. 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.
4. Азарян В.А., Жуков С.А. Обоснование периода опробования забоев карьера. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2017. № 51. С. 8–18.
5. Азарян В.А. Система контроля и управления качеством в рудопотоках железорудных карьеров. *Вісник Криворізького національного університету*. 2016. Вип. 41. С. 170–174.
6. Азарян В.А., Жуков С.А. Ресурсные перспективы ГОКов Кривбасса и концепция технологии управления интегрированным грузопотоком, генерализованной в масштабах комбината. *Качество минерального сырья*. 2017. С. 564–571.
7. Азарян В.А. Комплексная система контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров. *Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами. Материалы международного симпозиума (пгт Партеинт 18–23 июня 2012 г.)*. Кривой Рог, 2012. С. 145–152.
8. Азарян В.А. Разработка функциональной и структурной схемы управления качеством рудопотоков карьера. *The goals of the World Science 2017. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Dubai, UAE January 31, 2017.)*. № 2 (18). Dubai, 2017. P. 20–24.
9. Азарян А.А., Азарян В.А., Черкасов О.В. Исследование основных и дополнительных факторов, влияющих на точность каротажа взрывных скважин. *Отчет по хозяйственной теме 0115U003054 № 2-35-15*. Кривой Рог, 2015. 33 с.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДОПОТОКОВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

В статье проанализированы технологические и финансовые потери железорудных горно-обогажительных комбинатов от колебаний качества финальных рудных грузопотоков, которые являются входным сырьем рудообогатительных фабрик. Авторами предложена концепция генерализации, суть которой заключается в объединении всех средств контроля, сортировки и шихтовки руд в единую, технологически доминирующую в масштабе не только отдельного карьера, но и всего горно-обогажительного комбината, компьютеризированную систему, подчиненную общей целевой алгоритмизации. Обоснована концепция генерализации технологии управления качеством интегрированных рудопотоков железорудных горно-обогажительных комбинатов. Получила дальнейшее развитие теория управления качеством в условиях открытых горных работ. Также в статье рассмотрена проблема остановки производственных мощностей обогатительного комплекса по мере снижения добычи железорудного карьера, разработан критерий и алгоритм оценки целесообразности вывода из эксплуатации всей рудообогатительной фабрики или ее части (секции) и перенаправления финального рудопотока на другой горно-обогажительный комбинат.

Ключевые слова: горно-обогажительный комбинат, рудообогатительная фабрика, карьер, управление качеством рудопотока, содержание полезного компонента.

DEVELOPMENT OF THEORY OF MANAGING THE QUALITY OF OUTPUTS OF IRON ORE PROCESSING PLANTS

The article analyzes the technological and financial losses of ore-mining and processing plants caused by fluctuations of the quality of the final ore cargo flows, which are the input raw materials of the ore-enriching factories. The authors proposed a concept of a computer system subordinated to general target algorithmization that is based on a principle of generalization, essentially combining all means of control, sorting and blending of ores into a single, technologically dominant scheme that will be universally applicable for any quarry, and not in just one particular case. Substantiation of the concept of generalization of the technology of quality management of integrated ore deposits of iron mining and processing plants has further developed the theory of quality management in open mining operations. Also, the article deals with the problem of halting the production capacities of the enrichment complex as iron ore yields are declining. It has an aim to develop a criterion and algorithm for assessing the expediency of decommissioning the entire ore enriching and processing plant or its part (section) and redirecting the final ore flow to another processing plant.

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