

С.О. Жуков, д.т.н., проф.

В.А. Азарян, к.т.н., доц.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізрудних кар'єрів

Визначено умови та значення управління якістю руди в кар'єрі, наведено результати аналізу стану та чинників, що впливають на коливання якості залізрудної сировини в кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу з урахуванням ритмічності роботи кар'єрного устаткування і транспорту, а також сформульовано проблему створення генералізованої загальнокар'єрної системи управління якістю рудопотоків і напрямки її вирішення шляхом інтеграції всіх елементів системи та оптимізації режимів парних операційних перевантажувальних вузлів в ланцюзі стабілізації якості при формуванні рудопотоку.

На залізрудних кар'єрах з технологією ЦПТ розвантаження гірничої маси в приймальний отвір рудоспуску здійснюється автосамоскидами в почерговому режимі, коли дискретні обсяги рудної маси змішуються і формують потік. При цьому руда із забоїв з мінімальним і максимальним вмістом корисного компонента має найбільший вплив на амплітудні коливання якості рудопотоку.

Одним зі способів згладжування коливань якості залізрудної сировини є застосування методу парного розвантаження, метою якого є стабілізація показників якості рудопотоків кар'єру за рахунок парної взаємодії транспортних засобів, що доставляють руду із забоїв з максимальним і мінімальним вмістом корисного компонента.

**Ключові слова:** кар'єр; руда; якість; рудопотік; розвантаження; вміст корисного компоненту.

**Проблема та її зв'язок з практичними завданнями.** Необхідність суворої і стійкої відповідності якості сформованого рудопотоку заданим показникам обумовлена тому, що оптимальні режими збагачення можуть бути забезпечені тільки при жорстко обмежених відхиленнях вмісту корисного компонента саме у загальнокар'єрному потоці, а не по кожному рудопотоку окремо, що є характерним для сучасних залізрудних гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК).

При розгляді формування загальнокар'єрного вантажопотоку як результату роботи інтегрованої системи, сукупність окремих технологічних завдань переростає в узагальнену проблему, вирішення якої дозволить максимально ефективно стабілізувати якість руди, що надходить з кар'єру на збагачення.

**Аналіз досліджень.** Відомі різні системи, які мають елементи управління якістю рудних вантажопотоків кар'єрів: автоматизовані системи управління гірничотранспортним комплексом (АСУ ГТК) «Кар'єр» компанії «ВІСТ Групп» [1, с. 132], системи диспетчеризації автотранспорту и контролю рудопотоку "Інтегра"- "Невод" [2], корпоративна АСУ ГТК «Джетигара», система гірничотранспортної диспетчеризації «АВТО» (Казахстан) [3, с. 64]; системи «Карат» та «Карат-М», системи «Кварцит» (ПрАТ «ІнГЗК»), «Комплекс-АТ» та «Гермес» (ПрАТ «ПівнГЗК») та ін. [4]. Система компанії «Quebec Cartier Mining» (Канада) має центральний обчислювальний центр, що управляє не тільки самоскидами, а ще 90 групами обладнання фабрики, дробарним відділенням та процесами збагачення залізної руди. Однією з сучасних розробок у гірничотранспортній диспетчеризації є комп'ютерна система RAN фірми «Pincot, Allen and Holt Inc.» (США). Також в США розроблені системи автоматичного керування автосамоскидом (САКА) компанії «Unit Rig Equipment», та система Dispatch компанії «Modular Mining Systems», що використовується на 105 кар'єрах и 25 шахтах. Ця компанія є головною, її доля на ринку систем диспетчеризації складає майже 90 %. Починаючи з 1983 р., виробляє свою АСУ ГТК канадська компанія «Wenco International Mining Systems» [5]. Програмне забезпечення (ПЗ) додатків серверів за допомогою спеціально розроблених технологій UMP.NET обробляє вхідну інформацію, а на серверах баз даних ORACLE зберігається вся інформація про роботу обладнання. ПЗ робочих міст розроблено на платформі ПП XRTL Explorer, воно взаємодіє з базою даних через сервер додатків та системи зв'язку транспорту з диспетчерським центром (транкінгова система «TETRA») [5]. Висока точність планування гірничих робіт досягається також завдяки застосуванню програмного комплексу імітаційного моделювання роботи гірничотранспортної системи кар'єрів «Sebadan» (ПМК «Sebadan»).

Однак розглянуті системи або адаптовано до функцій тільки диспетчеризації, або до управління якістю продукції в окремому рудному вантажопотоці, не забезпечуючи управління якістю загальнокар'єрного рудопотоку.

**Постановка завдання.** В реальних умовах гірничого виробництва амплітуда коливань якості в рудопотоці кар'єру доволі часто буває доволі високою, що відображено на рисунку 1.

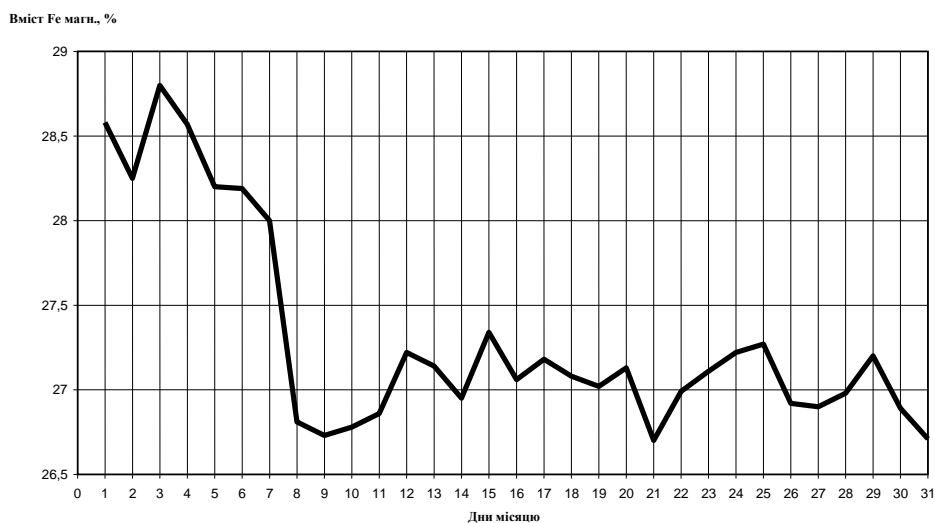


Рис. 1. Коливання вмісту заліза магнітного рудопотоку кар'єру № 3 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за січень 2012 р.

В даному випадку руда, що надходить на збагачення з кар'єру № 3 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», має показник середньоквадратичного відхилення  $\sigma = 0,59$  за дисперсії  $D=0,35$ . Причому це навіть не внутрішньозмінні коливання, а – середньодобові. Якщо ж розглянути фактичну величину коливань якості впродовж однієї години, то вона більше ніж в два рази перевищить наведені вище значення середньоквадратичного відхилення і дисперсії.

Таким чином, необхідність перегляду наукових засад обґрунтування технології управління якістю рудопотоків відкритих розробок залізородних родовищ при веденні відкритих гірничих робіт зумовлена об'єктивними факторами, так як у кар'єрах необхідний вміст корисного компонента забезпечується, як правило, лише в середньому значенні в деякому часовому інтервалі (доба, місяць). Усередині ж цього інтервалу вміст корисного компонента коливається, постійно виходячи за межі допустимого діапазону.

Тому основним завданням управління якістю рудопотоків є забезпечення планового якості руди, що надходить з кар'єру, і мінімізація амплітудних коливань вмісту корисного компонента в потоці в межах заданого діапазону. Автори пропонують вирішувати цю проблему шляхом створення генералізованої технології управління якістю рудопотоків кар'єру для забезпечення сталої планової якості руди, що надходить з кар'єру на збагачення та мінімізуючи амплітудні та часові коливання вмісту корисного компонента в потоці в гарантованих межах заданого інтервалу, створюючи інтеграцією усіх елементів системи та застосовуючи в тому числі парні розвантажувальні операції.

Застосування такої технології дозволить максимально оперативно реагувати на зміни стану видобувних заборів, комплексно коректуючи роботу виймально-навантажувального обладнання в них, та транспорту – в усіх ланках загальнокар'єрного рудопотоку з метою забезпечення виконання планового завдання з якості.

**Викладення основного матеріалу.** Необхідність стабілізації якісних показників загальнокар'єрного рудопотоку є важливим виробничим завданням, яке обумовлено вимогами технології збагачення [6, с. 64]. Існують різні способи планування видобувних робіт на кар'єрах шляхом розподілу обсягів руди між екскаваторними блоками. Але, як би адекватно не здійснювалося таке планування, наявність правильно розрахованого змінно-добового завдання не в змозі забезпечити його повного виконання.

Гірниче виробництво характеризується нестабільною у часі роботою виймально-навантажувального та транспортного обладнання через нерівномірний розподіл корисного компонента в рудному масиві, який до того ж має певну динаміку зміни по мірі відпрацювання екскаваторних блоків.

Не менш значимими є коливання якості руди і в потоці ЦПТ – на конвеєрних трактах, де, крім того, істотним додатковим чинником виступає ще й пульсація продуктивності трактів у часі (рис. 2, 3). Наприклад, західний тракт ЦПТ ПрАТ «ІнГЗК» працює в середньому на 67 %, а східний тракт – на 83 % від максимальної потужності через нерівномірне завантаження [7, с. 20].

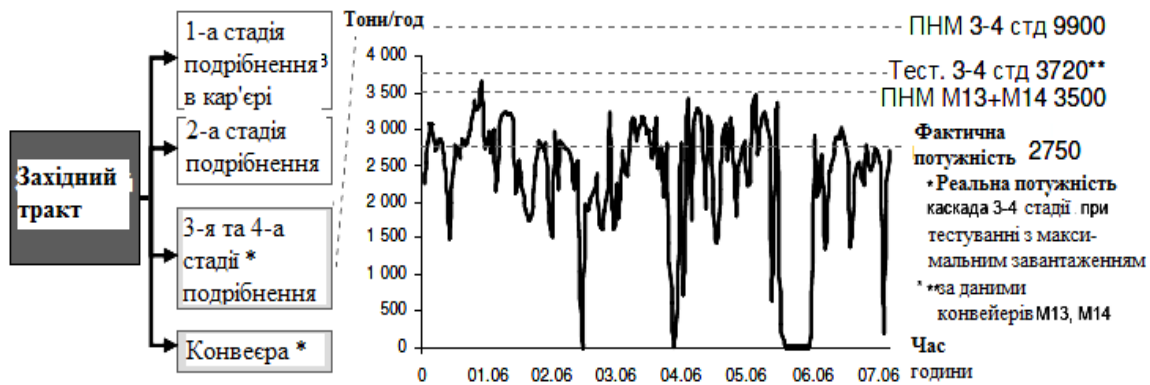


Рис. 2. Тижнева погодинна продуктивність західного тракту ЦПТ ПрАТ «ІнГЗК»

Як видно, за західним трактом:

- 1-а та 2-а стадії подрібнення і наступні конвеєри працюють в одному нерівномірному режимі;
- 3-я та 4-а стадії подрібнення завантажені в середньому на 63 %, але є піки, за яких завантаження доходять до 97 %;
- конвеєри М13 і М14 завантажені в середньому на 67 % своєї потужності, але є піки, за яких вони перевантажені понад потужності до 104 %.



Рис. 3. Тижнева погодинна продуктивність східного тракту ЦПТ ПрАТ «Інгулецький ГЗК»

Відповідно за східним трактом:

- обладнання східного тракту – послідовне і працює в одному режимі, який відстежується по дробарці ККД №5 – 180 м;
- середня продуктивність 1-ї стадії подрібнення становить 2 155 т/год, або 45 %;
- конвеєр 7П1 завантажений в середньому на 83 % своєї потужності, але є піки, за яких він перевантажений понад потужності, до 136 %.

Технологія управління якістю рудопотоків виконує функцію впливу на виймально-навантажувальне і транспортне обладнання з урахуванням неодноразового початку роботи забоїв, планових і позапланових простоїв техніки, змін відстаней транспортування до перевантажувальних пунктів ЦПТ, зміни вмісту корисного компонента в забоях, а також дозволяє відстежувати справжні показники якості в рудопотоці та порівнювати їх з плановими показниками. При відхиленні показників за межі заданого діапазону центральний сервер буде здійснювати перерахунок розподілу навантаження на забої, забезпечуючи тим самим стабільність якості рудопотоків.

На поточних (конвеєрних) ділянках рудопотоку виходячи з результатів виконаного аналізу ефективно можуть застосовуватися вузли перевантаження з одного тракту на інший: на прикладі ПрАТ «ІнГЗК» зі східного тракту на західний.

При цьому на циклічній ділянці рудопотоку одним з способів згладжування коливань якості залізородної сировини є застосування методу парного розвантаження автосамоскидів, метою якого є стабілізація показників якості рудних вантажопотоків залізородних кар'єрів за рахунок розвантаження транспортних засобів, що доставляють руду з забоїв з максимальним та мінімальним вмістом корисного компоненту.

На даний час на залізородних кар'єрах з технологією ЦПТ розвантаження гірничої маси в приймальний отвір здійснюється автосамоскидами в почерговому режимі, тобто кожен автосамоскид здійснює розвантаження окремо. Дискретні обсяги рудної маси, потрапляючи в рудоспуск, змішуються в

ньому в процесі переміщення зверху вниз. При цьому руда із забоїв з мінімальним і максимальним вмістом корисного компонента має найбільший вплив на коливання якості рудопотоку кар'єру.

Завдання організації парного розвантаження може вирішуватися наступним чином. Розглянемо приклад кар'єру з певною кількістю забоїв. Розподіл вмісту корисного компонента в гірничій масі по забоям є нерівномірним, він змінюється від мінімального ( $q_{min}$ ) до максимального ( $q_{max}$ ) значень. Для того, щоб стабілізувати якість залізородної сировини щодо корисного компонента на вході рудо-збагачувальної фабрики (РЗФ), ми повинні об'єднати кілька потоків руди, що виходять з окремих екскаваторних забоїв. При цьому поєднання потоків з найменшим і найбільшим вмістом корисного компонента дозволить виключити екстремальні викиди за величиною вмісту корисного компонента.

Об'єднання одиничних потоків з мінімальним і максимальним вмістом корисного компонента в руді з метою стабілізації якісних показників відбувається за умови парного розвантаження автосамоскидів в приймальну воронку ЦПТ.

Для оцінювання усереднення якості розглянемо значення середньоквадратичних відхилень окремих одиничних потоків руди [6, с. 65].

Величина коливань якості  $i$ -го одиничного рудопотоку на різних частотах визначається його спектральною щільністю та характеризується середньоквадратичним відхиленням:

$$\sigma_i = \sqrt{\int_{q_{min_i}}^{q_{max_i}} S_i(q) dq}; \quad (1)$$

де  $q_{min}$  та  $q_{max}$  – нижня і верхня межі діапазону частот коливань  $i$ -го одиничного рудопотоку;

$S_i(q)$  – спектральна щільність коливань  $i$ -го рудопотоку.

При формуванні об'єданого рудопотоку кожен одиничний потік вносить в нього свій частотний спектр коливань. Величина спектральної щільності коливань в об'єданому рудопотоці за відсутності фазових перетворень визначається за формулою:

$$S_o(q) = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i}{Q_o} S_i(q) \quad (2)$$

де  $Q_i$  – продуктивності  $i$ -го рудопотоку;

$Q_o$  – продуктивності об'єданого рудопотоку.

Застосовуючи перетворення, яке виражається формулою (1), до рівності (2), отримуємо величину середньоквадратичного відхилення об'єданого потоку:

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_o} \sigma_1^2 + \frac{Q_2}{Q_o} \sigma_2^2}, \% \quad (3)$$

Рівняння (3) дозволяє оцінити ефективність усереднення при об'єднанні рудопотоків. Відзначимо, що в будь-якому випадку  $Q_o$  не може бути меншим, ніж мінімальне, і більшим за максимальне значення серед середньоквадратичних відхилень коливань якості одиничних потоків руди. Якщо одиничні рудопотоки характеризуються однаковою величиною середньоквадратичного відхилення коливань якості, як впливає з рівності (3), то їх об'єднання не має усереднювального ефекту за відсутності фазових перетворень.

В іншому випадку завжди спостерігається стабілізація коливань, ефект якої залежить від питомих продуктивностей окремих забоїв. Таким чином, при об'єднанні потоків руди з різних екскаваторних забоїв, відбувається усереднення їх якості, оцінку якого можна враховувати за допомогою формул (2) і (3) та використовувати її при проектуванні усереднювальних комплексів і систем.

Незважаючи на всі переваги цього методу, він накладає ряд обмежень на транспортні засоби – автосамоскиди. Це перш за все пов'язано з необхідністю синхронізувати рух автосамоскидів, які беруть участь у парному розвантаженні, для забезпечення їх одночасного прибуття до приймального отвору рудоспуску ЦПТ.

Як правило, різні маршрути руху відрізняються за протяжністю, ухилом, який доводиться здолати, й іншими факторами, а середня швидкість руху на них також, найімовірніше, може бути різною.

Синхронізацію руху автосамоскидів можна виконати або шляхом зміни швидкості їх руху, або затримкою одного з транспортних засобів перед навантаженням або розвантаженням, що призведе до загального зниження ефективності використання автотранспортних засобів кар'єру, і, як наслідок, зменшення загального обсягу перевезеної гірничої маси [8, с. 278].

Розглянемо математичне розв'язання задачі парного розвантаження для кар'єру з певною кількістю забоїв. Нехай у кар'єрі є забої  $Z_1$  та  $Z_2$ , які характеризуються мінімальним і максимальним значеннями вмісту корисного компонента в гірничій масі. Визначено парк автосамоскидів, який бере участь в обслуговуванні цих забоїв і парному розвантаженні у прийомну воронку ЦПТ.

Відстань від місця навантаження до приймального отвору рудоспуску ЦПТ дорівнює  $S_1$  та  $S_2$  відповідно, при цьому  $S_1 > S_2$ .

Швидкість руху автосамоскиду для забою  $Z_1$  у завантаженому стані дорівнює,  $V_{zp.1}$  у порожньому стані –  $V_{n.1}$ . Швидкість руху автосамоскиду для забою  $Z_2$  у завантаженому стані дорівнює  $V_{zp.2}$ , у порожньому стані –  $V_{n.2}$ . Тривалість зміни дорівнює  $T_{зм.}$ .

Ефективність використання автосамоскиду можна визначити за кількістю ходок за зміну:

$$n = \frac{T_{зм.}}{T_{p.}}; \quad (4)$$

де  $T_{p.}$  – час руху автосамоскиду протягом одного рейсу, що розраховується за формулою:

$$T_{p.} = T_{нозр.} + T_{zp.} + T_{p.} + T_{n.} + T_{ман.}; \quad (5)$$

де  $T_{нозр.}$  – час навантаження;

$T_{zp.}$  – час руху у завантаженому стані;

$T_{p.}$  – час розвантаження;

$T_{n.}$  – час руху у порожньому стані;

$T_{ман.}$  – час маневрів.

$$T_{zp.} = \frac{S}{V_{zp.}}; \quad (6)$$

$$T_{n.} = \frac{S}{V_{n.}}; \quad (7)$$

$$T_{ман.} = 0,5(T_{zp.} + T_{нозр.}); \quad (8)$$

$$T_{нозр.} = T_{ц.ек.} \times n_{к.}; \quad (9)$$

де  $T_{ц.ек.}$  – час одного екскаваторного циклу;

$n_{к.}$  – кількість ковшів, що завантажуються в автосамоскид.

Метою синхронізації руху автосамоскидів є одночасне їх прибуття до приймальної воронки ЦПТ, тому необхідна швидкість руху є величиною розрахунковою.

Нехай дано, що  $S_1 > S_2$ . У цьому випадку для синхронізації прибуття до приймальної воронки ЦПТ необхідно знизити швидкість руху автосамоскидів на ділянці  $Z_2$  – приймальна воронка ЦПТ –  $Z_2$ . Дані швидкості будуть визначатися формулами:

$$V_{n.2} = \frac{S_2}{S_1} \times V_{n.1}; \quad (10)$$

$$V_{zp.2} = \frac{S_2}{S_1} \times V_{zp.1}; \quad (11)$$

Беручи до уваги той факт, що кількість ходок автосамоскиду – прямо пропорційна швидкості руху, розрахуємо кількість ходок до і після застосування методу парного розвантаження для забою  $Z_2$ .

До застосування методу парного розвантаження кількість рейсів протягом зміни становила:

$$n = T_{см.} / (T_{нозр.} + S_2 / V_{zp.2} + S_2 / V_{n.2} + T_{p.} + T_{ман.}); \quad (12)$$

Зважаючи на вирази (10) і (11), кількість рейсів протягом зміни після застосування методу парної розвантаження дорівнює:

$$n = T_{см.} / (T_{нозр.} + S_2 / S_1 \times V_{zp.2} + S_2 / S_1 \times V_{n.2} + T_{p.} + T_{ман.}). \quad (13)$$

**Висновки.** Проаналізувавши вирази (12) і (13), можна зробити висновок, що після застосування методу парного розвантаження буде спостерігатися зниження ефективності використання автосамоскидів, що виразиться в зменшенні кількості рейсів, виконаних одним автосамосвалом протягом зміни, і його продуктивності.

Лише в окремому випадку (за однакових умов і рівної дальності транспортування) застосування даного методу дасть позитивний ефект без зниження продуктивності автосамоскидів.

У всіх інших випадках парне розвантаження дозволить стабілізувати якісні характеристики рудопотоку, що формується, за рахунок змішування в приймальній отворі рудоспуску рудної маси з мінімальним і максимальним вмістами корисного компонента.

Надалі пріоритет якості під час виконання відкритих гірничих робіт зумовлює можливість застосування парного розвантаження автосамоскидів для об'єднання потоків руди із заборів з мінімальними і максимальними значеннями вмістів корисного компонента з метою стабілізації якісних показників в рудопотоках кар'єрів навіть при ймовірному зниженні обсягів транспортування гірничої маси, а на ділянці поточного переміщення руди конвеєрами ЦПТ – керувати якістю бінарного рудопотоку шляхом перекидання обсягів руди з одного тракта на інший.

#### Список використаної літератури:

1. *Владимиров Д.Я.* Система диспетчеризации «КАРЬЕР»: от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере / *Д.Я. Владимиров, А.Ф. Клебанов, А.И. Перепелицын* // Горная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 132–135.

2. «Автоматизированные системы управления автотранспортом и процессом рудопотока» // Сайт «ИНТЕГРА» ООО «Интегра Групп». – 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.integra-gr.ru/page/avtomatizirovannye-sistemy-upravleniya.html>.
3. 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». Серия : Наука о земле. – Алматы, 2009. – С. 64–70.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.yellowpages.com/lakewood-co/mip/pincock-allen-and-holt-463411136>.
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.wencomine.com/>.
6. 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.
7. Жуков С.А. От процессов транспорта и контроля качества руды – к проблеме генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера / С.А. Жуков, В.А. Азарян // *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. – Дніпро. – 2017. – № 50. – С. 17–26.
8. Могилевский П.Д. Обоснование условий применения попарной разгрузки автосамосвалов с целью стабилизации показателей качества в рудопотоках карьеров / П.Д. Могилевский, В.И. Бурка, В.А. Азарян // *Качество минерального сырья : сб-к науч. тр.* – Кривой Рог. – 2008. – С. 276–281.
9. Азарян В.А. Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы / В.А. Азарян // *Качество минерального сырья : сб-к науч. тр.* – 2011. – С. 60–63.
10. Азарян А.А. Состояние проблемы контроля качества при добыче и переработке железорудного сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, Г.Н. Лисовой // *Горный вестник*. – Кривой Рог. – 2012. – № 95 (1). – С. 132–136.

#### References:

1. Vladimirov, D.Ja., Klebanov, A.F. and Perepelicyan, A.I. (2004), «Sistema dispatcherizacii «KAR"ER»: ot monitoringa bol'shegruznyh avtosamosvalov k upravleniju gorno-transportnym kompleksom i optimizacii gornyh rabot v kar'ere», *Gornaja promyshlennost'*, No. 4, pp. 132–135.
2. Sajt «INTEGRA» ООО «Интегра Групп» (2006), «Автоматизированные системы управления автотранспортом и процессом рудопотока», available at: <http://www.integra-gr.ru/page/avtomatizirovannye-sistemy-upravleniya.html>
3. Galiev, S.Zh., Bojandinova, A.A., Adilhanova, Zh.A., Zhusupov, K.K. and Punenkov, S.E. (2009), «Metodika operativnogo monitoringa i upravlenija rudopotokom», *Nauchnyj zhurnal KazNTU «Vestnik»*, Serija *Nauka o zemle*, Almaty, pp. 64–70.
4. Shhshhshh.yelloshhpages.com, available at: <http://shhshhshh.yelloshhpages.com/lakeshood-co/mip/pincock-allen-and-holt-463411136>
5. Wencomine.com, available at: <http://www.wencomine.com/>
6. Byzov, V.F., Vilkul, Ju.G. and Maksimov, I.I. (1982), «Ob usrednenii kachestva rud pri ob#edinenii gruzopotokov», *Metallurgicheskaja i gornaja promyshlennost'*, No. 2, pp. 64–65.
7. Zhukov, S.A. and Azarjan, V.A. (2017), «Ot processov transporta i kontrolja kachestva rudy – k probleme generalizovanoj sistemy upravlenija kachestvom rudopotokov kar'era», *Zbirnik naukovih prac' Nacional'nogo girnichogo universitetu*, Dnipro, No. 50, pp. 17–26.
8. Mogilevskij, P.D., Burka, V.I. and Azarjan, V.A. (2008), «Obosnovanie uslovij primenenija poparnoj razgruzki avtosamosvalov s cel'ju stabilizacii pokazatelej kachestva v rudopotokah kar'erov», *Kachestvo mineral'nogo syr'ja*, sb-k науч. tr., Krivoj Rog, pp. 276–281.
9. Azarjan, V.A. (2011), «Razrabotka funkcional'noj shemy upravlenija kachestvom v rudopotokah kar'erov s cel'ju povyshenija jeffektivnosti raboty», *Kachestvo mineral'nogo syr'ja*, sb-k науч. tr., pp. 60–63.
10. Azarjan, A.A., Azarjan, V.A. and Lisovoj, G.N. (2012), «Sostojanie problemy kontrolja kachestva pri dobyche i pererabotke zhelezorudnogo syr'ja», *Gornij vestnik*, No. 95 (1), Krivoj Rog, pp. 132–136.

**Жуков** Сергій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри відкритих гірничих робіт ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Наукові інтереси:

- гірництво;
- відкрита розробка родовищ.

Тел.: (0564) 90–09–67; (097) 642–16–34.

E-mail: joukov07@rambler.ru.

**Азарян** Володимир Альбертович – кандидат технічних наук, доцент кафедри відкритих гірничих робіт ДВНЗ «Криворізький національний університет».

Наукові інтереси:

- гірництво;
- відкрита розробка родовищ.

Тел.: (0564) 90–09–67; (067) 906–61–48.

E-mail: astp165@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 05.03.2018.