

УДК 65.011.56: 622.7.05

В.В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

**СИСТЕМА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО КЕРУВАННЯ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИМ КОМБІНАТОМ ЯК ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ**

Важливість формування енергоефективного та ресурсозберігаючого керування на гірничих підприємствах обумовлює необхідність розв'язання завдання удосконалення методів організаційно-технічного керування з комплексним урахуванням технологічних та еколого-економічних показників. Гірничо-збагачувальний комбінат представлено як організаційно-технічну систему, до складу якої входить центр керування, який шляхом різних видів стимулювання здійснює загальне керування та координацію діяльності технологічних підрозділів – агентів, які безпосередньо керують технологічними процесами перероблення сировини. Розглянуто модель технологічного процесу збагачення руди, представленої технологічними різновидами, як об'єкту автоматизованого керування. Раціональну поведінку рудозбагачувальної фабрики визначено як таку, що полягає у мінімізації власних енергетичних витрат і максимізації ефективності використання технологічного обладнання. До множини критеріїв центру керування гірничо-збагачувальним віднесено еколого-економічні та технологічні критерії. Визначено тривірнову структуру системи, що представляє взаємодію центру керування, рудозбагачувальної фабрики як агента та технологічного процесу збагачення залізорудної сировини.

**Проблема та її зв'язок за науковими і практичними завданнями.** В умовах зростання обсягів виробництва гірничих підприємств посилюється вплив техногенних процесів на навколишнє середовище, що призводить до зростання ризику вичерпання невідновлюваних і відновлюваних ресурсів. У зв'язку з цим, необхідно зосередити увагу на питаннях формування ресурсозберігаючого керування структурами гірничих підприємств, що у свою чергу вимагає аналізу і дослідження організаційно-виробничих відносин з урахуванням показників споживання природних ресурсів.

Важливим аспектом ефективного керування великими промисловими підприємствами, до яких відносяться гірничо-збагачувальні комбінати, є забезпечення оптимальних показників не тільки підприємства у цілому, а й його основних і допоміжних структурних підрозділів: рудника, дробильної фабрики, збагачувальної фабрики, транспортного відділення тощо. Одержання розв'язку даного завдання потребує представлення об'єкта керування як організаційно-технічної системи. При формуванні керування системами такого виду необхідно враховувати не тільки показники основних і допоміжних технологічних процесів, а й процеси організаційної взаємодії підрозділів гірничого підприємства.

При формуванні автоматизованого керування збагаченням залізної руди необхідно, також, враховувати наявність у технологічних потоках декількох технологічних різновидів руди, кожен з яких має відмінні фізико-механічні та хіміко-мінералогічні характеристики. Зокрема, протягом робочої зміни розмах вмісту корисного компонента у вхідній руді може сягати 7-9 абс. %; водночас, допустиме значення відхилення не перевищує від 0,5-0,7 абс. % у порції 2000 т [1]. Через ускладненість забезпечення достатньої компенсації коливань характеристик руди у вхідному потоці шляхом коректування налаштувань режимних параметрів технологічного збагачувального обладнання, доцільно розглянути завдання оптимізації процесу керування бункерним живленням секцій рудозбагачувальної фабрики з урахуванням характеристик завантаженої руди.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Формування автоматизованого керування технологічними процесами підготовки та збагачення руд в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів на основі класичних та інтелектуальних підходів теорії автоматичного керування достатньо повно розроблено, зокрема, у роботах [2-4]. Аналіз даних робіт, дозволяє зробити висновок, що для підвищення ефективності керування технологічним комплексом гірничо-збагачувального комбінату необхідно враховувати співвідношення технологічних різновидів руди, що перероблюється, а також наявність власної системи переваг у підрозділів гірничого підприємства. Формалізацію механізмів керування організаційною складовою виробничих процесів з урахуванням активної складової людського фактора доцільно здійснювати на основі методів теорії активних систем [5-7]. У загальному вигляді задача керування організаційно-технічними системами передбачає розгляд процесу керування з позицій керуючої сторони – центру керування, який формує керуючі впливи до підлеглих структур – агентів. Отже, необхідно формалізувати систему

критеріїв центру і розглянути модель прийняття ним рішень щодо вибору керуючих впливів для забезпечення необхідної поведінки агентів, кожен з яких має власну систему критеріїв. Завдання керування організаційно-технічною системою полягає у пошуку центром допустимого керування агентами, що має максимальну ефективність. При цьому вважають дійсною гіпотезу доброзичливості, згідно з якою агент з множини раціональних дій вибирає саме ту дію, яка є найбільш сприятливою для центру керування [6].

Питання ресурсозберігаючого керування займають чільне місце у сучасних дослідженнях щодо автоматизованого керування процесами гірничорудного виробництва [1-4]. Більшість існуючих автоматизованих систем керування технологічними процесами у критеріях керування прямо чи опосередковано враховують показник ресурсозбереження і, зокрема, енергоефективності.

Критерій ефективності використання ресурсів як відношення інтегрованих показників ефекту від керування до ресурсомісткості керування процесів виробництва запропоновано у праці [8]. В загальному випадку для неперервних систем даний критерій має вигляд

$$J = \int_{t_l}^{t_l+\Delta t} \left[ \int_0^v f_{pe}(\tau) d\tau + \int_0^v f_{re}(\tau) d\tau \right] dv \Big/ \left[ \int_0^v |f_{re}(\tau)| d\tau - \int_0^v |f_{pe}(\tau)| d\tau \right] dv, \quad (1)$$

де  $f_{pe}(\tau)$  - потік ресурсовіддачі технологічних операцій;  $f_{re}(\tau)$  - потік ресурсоспоживання технологічних операцій;  $t_l$  - час логічного завершення операції;  $\tau, v$  - змінні інтегрування;  $\Delta t$  - інтервал дискретизації.

Для оцінювання еколого-економічної діяльності підприємства запропоновано співставити величину його шкідливого впливу та прибуток від виробництва залізозмісної продукції [9]

$$\Theta(\bar{\Omega}, t) / P(\bar{\Omega}, t) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $\Theta(\bar{\Omega}, t)$  - пилогазовиділення гірничого підприємства на інтервалі  $t, \tau$ ;  $P(\bar{\Omega}, t)$  - прибуток від реалізації продукції на інтервалі  $t$ , грн. У загальному випадку прибуток гірничозбагачувального комбінату від виробництва продукції визначається формулою [9]

$$P(\bar{\Omega}, t) = \sum_{i=1}^{N_{\Omega}} \Omega_i(t) \cdot C_{\Omega_i}(t) - \sum_{i=1}^{N_{\Omega}} \Omega_i(t) \cdot E_{\Omega_i}(t), \quad (3)$$

де  $\Omega_i(t)$  - кількість виробленої продукції  $i$ -го найменування на інтервалі  $t, \tau$ ;  $C_{\Omega_i}(t)$  - оптова ціна  $i$ -го найменування продукції на інтервалі  $t$ , грн;  $E_{\Omega_i}(t)$  - питомі експлуатаційні витрати на  $i$ -те найменування, грн/т;  $N_{\Omega}$  - кількість найменувань продукції.

У роботі [10] запропоновано як критерій ефективного використання ресурсів, зокрема енергетичних, використовувати співвідношенням технологічних різновидів руди у сировині, що надходить на переробку. При цьому, також, зазначається необхідність забезпечення необхідних згідно з договірними зобов'язаннями підприємства обсягів виробництва концентрату заданої якості за максимального коефіцієнта використання технологічного збагачувального обладнання

$$\left\{ \left| \bar{\xi} - \bar{\xi}^* \right| \rightarrow \min; \quad \Omega_l \leq \Omega \leq \Omega_h; \quad \beta_l \leq \beta \leq \beta_h; \quad Q/E \rightarrow \max \right\}, \quad (4)$$

де  $\bar{\xi} = \{\xi_i \mid i = 1, \dots, N_r\}$  - питома вага для кожного технологічного різновиду в руді;  $\Omega, \Omega_l, \Omega_h$  - відповідно поточна, гранично найменша і найбільша вага виробленого концентрату;  $\beta, \beta_l, \beta_h$  - відповідно поточна, гранично найменша і найбільша частка заліза в концентраті;  $E$  - обсяг руди, що здатне переробити збагачувальне відділення;  $Q$  - загальний обсяг перероблення руди усіх технологічних різновидів

Ефективність використання сировинних та енергетичних ресурсів значною мірою визначається характеристиками руди, що надходить на переробку. Зокрема, коефіцієнт кореляції між витратами електроенергії на перероблення залізної руди і вмістом корисного компонента у ній перевищує 0,71. Крім того, на показники технологічних процесів збагачення чинять значний вплив й інші характеристики технологічних різновидів залізорудної сировини: характер вкраплення корисного компонента, міцність, мінералогічний склад. Слід відзначити, що на вітчизняних гірничозбагачувальних комбінатах здійснюється переробка у середньому 5-8 технологічних різновидів руди [3,4,10,12]. Проте, застосовувана система ведення гірничих робіт не дозволяє достатньо тривалий час видобувати руду певного технологічного різновиду. Тому, якісний склад сировини, котра надходить на збагачення характеризується нестабільністю, що призво-

дить до необхідності частого переналаштування параметрів технологічного режиму і, як наслідок, до зниження ресурсоефективності процесів перероблення руди.

**Постановка завдання.** Необхідність формування енергоефективного та ресурсозберігаючого керування на гірничих підприємствах обумовлює необхідність розв'язання завдання удосконалення методів організаційно-технічного керування з комплексним урахуванням технологічних та еколого-економічних показників.

**Викладення матеріалу і результати дослідження.** Гірничо-збагачувальний комбінат (ГЗК) як організаційно-технічна система складається з адміністративного центру, що здійснює загальне керування та координацію діяльності технологічних підрозділів комбінату – агентів, які здійснюють безпосереднє керування технологічними процесами перероблення залізорудної сировини. Завданням центру керування є аналіз даних про ефективність роботи підрозділів і вироблення оптимального плану щодо обсягів видобутку й перероблення технологічних різновидів руди. У рамках організаційно-технічної системи центр на основі власної системи критеріїв формує керування агентом користуючись інституційними, мотиваційними та інформаційними впливами [6]. Вважатимемо, що модель діяльності агента і керованого ним технологічного процесу відома всім учасникам організаційно-технічної системи і не змінюється на інтервалі керування.

Технологічний процес збагачення руди, представленої технологічними різновидами, як об'єкт автоматизованого керування має такий вигляд [10]

$$\{\Omega, \beta\} = f\left(\bar{\psi}, \bar{\alpha}, \bar{\eta}, \bar{\gamma}, \bar{G}^{(0)}, \Omega^{(0)}, \beta^{(0)}\right), \quad (5)$$

де  $\Omega$  - маса виробленого концентрату;  $\beta$  - частка корисного компонента у концентраті;  $\bar{\psi} = \{\psi_i | i = 1 \dots N_r\}$  - маса переробленої руди кожного технологічного різновиду;  $N_r$  - кількість технологічних різновидів;  $\bar{\alpha} = \{\alpha_i | i = 1 \dots N_r\}$  - частка корисного компонента у кожному технологічному різновиді руди;  $\bar{\eta} = \{\eta_i | i = 1 \dots N_r\}$  - витяг заліза із кожного технологічного різновиду руди;  $\bar{\gamma} = \{\gamma_i | i = 1 \dots N_r\}$  - вихід концентрату з кожного технологічного різновиду;  $\bar{G}^{(0)} = \{G_i^{(0)} | i = 1, \dots, N_r\}$  - запас руди у приймальних бункерах технологічних ліній збагачення за її технологічними різновидами;  $\Omega^{(0)}$  - маса залишку концентрату на початок поточного періоду керування;  $\beta^{(0)}$  - частка корисного компонента в залишку концентрату. Враховуючи, що процеси керування в умовах збагачувальної технології характеризуються періодичністю, формування агентом (рудозбагачувальною фабрикою) керуючих впливів до технологічного процесу збагачення протягом певного періоду доцільно розділити на певну кількість інтервалів  $t = 0, \dots, T$ .

Рудозбагачувальна фабрика (РЗФ) як агент організаційно-технічної системи виконує завдання центра керування з переробки технологічних різновидів залізорудної сировини для виробництва концентрату. Раціональна поведінка РЗФ у даному випадку полягає у мінімізації власних енергетичних витрат і максимізації ефективності використання технологічного обладнання з урахуванням всієї наявної інформації про стан технологічного процесу та завдання центра керування. У загальному випадку, враховуючи необхідність перероблення декількох технологічних різновидів руди, критерій ефективності використання енергетичних ресурсів матиме вигляд

$$J_E(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \dots T} \left\{ \sum_{j=1}^{N_r} \left[ \frac{\Omega(\bar{\psi}, t)_j}{\gamma_j} \cdot w_j \cdot C_E \right] \right\} \rightarrow \min \quad (6)$$

де  $w_j$  - питомі витрати електроенергії на переробку однієї тони руди  $j$ -го технологічного різновиду;  $C_E$  - ціна 1 кВт·год. електроенергії. Ефективність використання технологічного збагачувального обладнання оцінюється, як показано у праці [11], показником, що передбачає якомога повніше використання його проектної продуктивності

$$J_Q(\bar{\psi}) = \min_{t=1 \dots T} \left\{ \sum_{i=1}^{N_r} \frac{\psi_i(t)}{Q} \right\} \rightarrow \max, \quad (7)$$

де  $Q$  - максимальний обсяг переробки руди збагачувальним відділенням на інтервалі керування.

Завданням центру керування даної організаційно-технічної системи є розрахунок необхідних обсягів перероблення  $\bar{\psi} = \{\psi_i | i = 1 \dots N_r\}$  кожного з  $N_r$  технологічних різновидів руди. З вказаних обсягів технологічних різновидів сировини необхідно виробити визначений договірними зобов'язаннями ГЗК обсяг концентрату  $\Omega(\bar{\psi}) = \Omega^* \in [\Omega^{(l)}, \Omega^{(h)}]$ , що має задану якість. Разом з тим необхідно мінімізувати обсяг шкідливих викидів у навколишнє середовище та залишок концентрату на складі, а також максимізувати прибуток підприємства.

Прибуток від реалізації продукції гірничо-збагачувального комбінату на інтервалі  $t$ , визначається на основі залежності, запропонованої у праці [9], модифікованої шляхом додавання показника обсягу перероблення технологічних різновидів руди

$$H_P(\bar{\psi}) = \min_{t=1 \sim T} \left\{ \sum_{i=1}^{N_\Omega} \Omega_i(\bar{\psi}, t) \cdot C_{\Omega_i}(t) - \left[ \sum_{i=1}^{N_\Omega} \Omega_i(\bar{\psi}, t) \cdot E_{\Omega_i}(t) + \sum_{i=1}^{N_\Omega} \Delta \Omega_i(\bar{\psi}, t) \cdot K_{\Omega_i}(t) \cdot E_n \right] \right\} \rightarrow \max \quad (8)$$

де  $\Omega_i$  - кількість виробленої продукції  $i$ -го найменування, т;  $C_{\Omega_i}$  - оптова ціна  $i$ -го найменування продукції, грн;  $E_{\Omega_i}$  - питомі експлуатаційні витрати на  $i$ -те найменування, грн/т;  $\Delta \Omega_i$  - прирощення продуктивності за  $i$ -м найменуванням, т;  $K_{\Omega_i}$  - питомі капітальні витрати на розширення продуктивної потужності за  $i$ -м найменуванням, грн/т;  $E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних інвестицій. Обсяг шкідливих викидів ГЗК у навколишнє середовище визначається інтегрованим показником неорганізованого і організованого пилогазовиділення [9], який з урахуванням обсягу перероблення технологічних різновидів руди матиме вигляд

$$H_\Theta(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \sim T} \left\{ \Theta'(\bar{\Omega}, \bar{\psi}, t) + \sum_{j=1}^{N_\Theta} \Theta_j''(\bar{\Omega}, \bar{\psi}, t) \right\} \rightarrow \min, \quad (9)$$

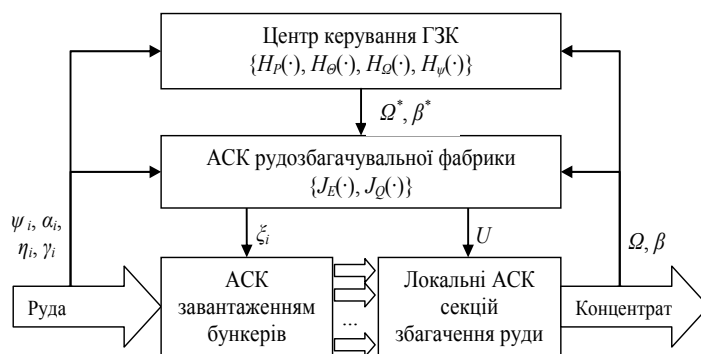
де  $\Theta'$  - показник організованого пиловиділення, т;  $\Theta_j''$  -  $j$ -й показник неорганізованого пиловиділення, т. Для забезпечення виконання вимог щодо енергоефективності процесів керування збагаченням залізородної сировини [10], а також особливостей технологічного процесу збагачення, викладених, зокрема, у праці [11], необхідно також враховувати такі показники: обсяг залишків концентрату на складі, коефіцієнт використання технологічного обладнання, вміст кожного різновиду руди у вхідному потоці. Критерій мінімізації обсягу залишків концентрату на складі на кожному інтервалі керування має такий вигляд

$$H_\Omega(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \sim T} \left\{ 1 - \frac{(\Omega_h - \Omega(t))}{\Omega_h - \Omega_l} \right\} \rightarrow \min, \quad (10)$$

де  $\Omega(t)$  - залишок концентрату на інтервал  $t$ ;  $[\Omega_l, \Omega_h]$  - допустимий інтервал обсягу залишків концентрату. Критерій стабільності вмісту технологічних різновидів руди у вхідному потоці

$$H_\psi(\bar{\psi}) = \max_{t=1 \sim T} \left\{ \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} \left( \frac{|\psi_i(t) - \psi_i^{(c)}|}{\psi_i^{(c)}} \right) \right\} \rightarrow \min, \quad (11)$$

де  $\psi_i^{(c)}$  - середнє значення обсягу  $i$ -го технологічного різновиду у вхідному потоці протягом поточного періоду керування. При розв'язанні задачі оптимізації необхідно також враховувати обмеженість обсягів сирової руди за технологічними різновидами і продуктивності збагачувального відділення за рудою, а також дотримуватись заданих границь вмісту корисного компонента і обсягу виробленого концентрату.



**Рис. 1.** Система організаційно-технічного керування збагаченням залізної руди

Схема організаційно-технічного керування збагаченням залізної руди має три рівні: центр керування ГЗК, РЗФ (агент) та технологічний процес збагачення руди (рис. 1).

Центр керування повинен вибрати систему стимулювання для того, щоб спонукати агента (РЗФ), який має власні критерії оцінювання

ефективності плану, виконати оптимальний для центру план виробництва ( $\Omega^*$ ,  $\beta^*$ ).

**Висновки і напрямки подальших досліджень.** Отже, при автоматизації процесів керування гірничо-збагачувальним комбінатом як організаційно-технічною системою необхідно враховувати багатоцільовий характер системи пріоритетів центру керування і рудозбагачувальної фабрики як агента даної системи. Подальші дослідження доцільно проводити у напрямку пошуку методу розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації та формування критеріїв ефективності інших технологічних підрозділів гірничого підприємства як агентів організаційно-технічної системи.

#### Список літератури

1. Пивень В. А. Исследование влияния колеблемости качественных параметров рудопотоков карьера на эффективность обогащения железных руд / В. А. Пивень, А. В. Романенко, В. В. Шепель, И. К. Младецкий, В. В. Панченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №2. – С. 67-71.
2. Мorkун В. С. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов и адаптивное управление процессами измельчения-классификации руд на его базе: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Мorkун Владимир Станиславович. – Кривой Рог, 1998. – 309 с.
3. Поркуян О. В. Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна / О. В. Поркуян: Автореф. дис докт. техн. наук. – Кривий Ріг, 2009. – 36 с.
4. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.07 / Купін Андрій Іванович. – Кривий Ріг, 2009. – 463 с.
5. Бурков В. Н. Основы математической теории активных систем / В. Н. Бурков. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
6. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
7. Новиков Д. А. Курс теории активных систем / Д. А. Новиков, С. Н. Петраков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.
8. Луценко И. А. Оптимальное управление технологическими процессами многопродуктовой переработки сырья по критерию эффективности использования ресурсов: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.07 / Луценко Игорь Анатольевич. – Кривой Рог, 2007. – 491 с.
9. Вилкул Ю. Г. Определение параметров горных предприятий на основе их эколого-экономических показателей: дис. ... докт. техн. наук : 05.15.03, 05.26.01 / Вилкул Юрий Григорьевич. – Кривой Рог, 1994. – 417 с.
10. Тронь В. В. Енергоефективне автоматизоване керування процесом збагачення руди з термографічним розпізнаванням її технологічних різновидів : дис. ... кандидата техн. наук : 05.13.07 / Тронь Віталій Валерійович. – Кривий Ріг, 2013. – 226 с.
11. Xiaoling Huang. Production Process Management System for Production Indices Optimization of Mineral Processing / Xiaoling Huang, Yangang Chu, Yi Hu, Tianyou Chai // *IFAC – Research Center of Automation, Northeastern University, Shenyang, P.R.China 110004*. – 2005.
12. Morkun V. Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams / V. Morkun, V. Tron // *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, No6, pp. 4-7: [http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI\\_2014\\_6/1-MorkunTron.pdf](http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/1-MorkunTron.pdf)

Рукопис подано до редакції 22.03.15

УДК 331.436

Н.Ю. ШВАГЕР\*, д-р техн. наук проф., Т.А. КОМІСАРЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
М.О. ТЕУС, студент, Криворізький національний університет

### НАНОМАТЕРІАЛИ: НОВИЙ ВИКЛИК ДЛЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

За останній час широкого розвитку набуло застосування нанотехнологій у виробництві широкого кола виробів та матеріалів, що підвищує їх якість, довговічність та інші споживні властивості, але розвиток виробництва продукції з використанням наноматеріалів створює нову загрозу для працівників задіяних у нових галузях виробництва. Таким чином, необхідність визначати імовірні ризики, що можуть бути викликаними впливом на працюючих наноматеріалів є актуальною та важливою науково-технічною задачею. Аналіз впливу наночастинок на працюючих дозволить запропонувати запобіжні заходи та профілактику ймовірних захворювань. Небезпека для здоров'я людей від наночастинок в забрудненому повітрі полягає в тому, що існує можливість виникнення респіраторних і серцево-судинних захворювань. Тому при використанні наночастинок передбачати заходи, що зменшують експозицію наночастинок працівників виробництв, такі як випуск продукції, що містить наночастинок, в формах, які не виділяють пил (пасти, гранули замість аерозолів і порошків) і в герметизованих упаковках та використовувати зволоження сировини і продукції, особливо при наявності джерел пиловиділення, а також автоматизувати і механізувати технологію виробництва, транспортування та фасування сировини, напівфабрикатів та продукції, що містить наноматеріали, з метою виключення безпосереднього контакту працівників із шкідливими та небезпечними виробничими чинниками.