

УДК 681.5.015:622.7-52

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.Б. ХОЦКІНА, канд. техн. наук, доц.  
КЕІ ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## АДАПТИВНА СИСТЕМА ОЦІНКИ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПЕРШОЇ СТАДІЇ ЗБАГАЧЕННЯ РУДИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ПЕТРІ

Шляхом побудови моделей причинно-наслідкових зв'язків на основі автоматних мереж Петрі розроблено алгоритми оптимізації першої стадії збагачення в періоди переробки важкозбагачуваних різновидів руд із заданими значеннями виходу готового класу -0,056 мм.

**Вступ.** Теорія і практика проектування адаптивних систем керування групою технологічних секцій, що працюють на відділення флотації або фабрику огрудкування, не може бути вирішеною без розв'язання проблеми оцінки характеристик вихідної сирової руди, що надходить на збагачення і подрібнення у першій стадії подрібнення кульовими млинами [1]. Дослідження, проведені авторами наукових праць [2,3], довели, що характеристики руди, яка надходить на подрібнення, залежать від хімічних і текстурно-структурних характеристик руди, змінюються в часі випадково; змінними також є міцність руди та її щільність та мінеральний склад (магнетит, мартит, гематит, гідроокисли заліза, сидерит, сульфід, кварц, силікати тощо). Основним способом рудопідготовки на магнітозбагачувальних фабриках, що працюють на відділення флотації або огрудкування, є подрібнення і класифікація задля керування гранулометричним складом руди, що надходить на магнітне збагачення. Враховуючи високі вимоги фабрики огрудкування щодо характеристик магнітного концентрату, потрібно вже на першій стадії подрібнення-класифікації-збагачення знайти такі методи керування процесами рудопідготовки, з метою підвищення контрастності властивостей мінералів, що мають (або не мають) у складі вкрапленості заліза, які б давали можливість отримати оптимальний фракціональний склад сировини, що надходить на першу стадію магнітної сепарації.

**Постановка завдання.** Із позиції ефективності першої стадії подрібнення руди в кульових млинах їх продуктивність залежить від крупності різних розмірів шматків руди та їх типів, фракційного складу руди, що надходить на збагачення в магнітних сепараторах. Якщо сировина недоподрібнена, то вихід і вміст заліза у магнітному концентраті буде меншим, ніж при гарному розкритті мінеральної сировини. І навпаки, якщо сировина надподрібнена, то збільшується вміст заліза у хвостах, а вихід концентрату теж зменшується. Отже, досягти оптимальних характеристик концентрату магнітного збагачення можливо лише в тому випадку, якщо оператор буде чітко знати моменти надходження (зміни) в часі руди з різними текстурними характеристиками. Як довели дослідження авторів [1, 4], унікальним математичним апаратом оцінки моменту зміни типу руди, що надходить на подрібнення, є марковані мережі Петрі, які дозволяють у динамічному режимі надавати інформацію оператору про зміни виробничої ситуації щодо подрібнення руди, оцінки робастного режиму керування й переходу до адаптивного керування.

**Метою статті** є розроблення способів причинно-наслідкової залежності режимів роботи першої стадії збагачення від текстурних характеристик руди.

Для виконання поставленої мети потрібно обґрунтувати можливість побудови автоматизованих систем керування технологічним процесом АСКТП збагачення руди на базі нечіткої логіки та обґрунтувати реалізацію керування збагачувальним процесом в розрізі розробки системи автоматизованого керування (САК) першою стадією збагачення на базі мереж Петрі.

**Викладення основного матеріалу.** Робота першої стадії збагачення руди на збагачувальних комбінатах корпоративних підприємств ПАТ «ЦГЗК», ПАТ «Півн. ГЗК» характеризується наступними параметрами:  $Q_n$  - продуктивністю технологічної лінії сирової руди і залежить від типу руди, її гранулометричного складу та знаходиться в межах:  $Q_{n_{\min}} \rightarrow Q_{n_{\text{ном}}} \rightarrow Q_{n_{\max}}$ . Тоді у випадку зміни типу руди потрібно знайти  $Q_{n_{\text{ном}}} \pm \Delta Q_{n_i}$  яке задовольняло б геометрії внутрішньомлинного заповнення кульового млина та заданого значення класу -0,056мм на зливні класифікатора.

Почнемо дослідження з події: потрібно сформулювати сигнал зміни типу руди, що надходить на

збагачення, із врахуванням основних умов - збільшити на крок  $\Delta Q_{n_1}$  навантаження першої стадії збагачення або зменшити навантаження на крок  $\Delta Q_{n_2}$ . Для моделювання оцінки моменту зміни типу руди потрібно представити послідовність переключень САК завантаження першої стадії збагачення рудою у вигляді мережі Петрі  $N_1$  з кінцевою множиною досягнення нескінченим деревом (рис. 1). Умовами для мережі  $N_1$  є:

$P_1$  - сформований сигнал на збільшення  $Q_1$ ;  $P_2$  - робастна система керування (РСК) підготовлена до формування сигналу керування на збільшення  $Q_1$ ;  $P_3$  - робастна система керування (РСК) підготовлена сформувати сигнал на зменшення  $Q_2$ ;  $P_4$  - сформований сигнал РСК на перехід до  $Q_1$ . Подіями для мережі  $N_1$  постають:

$t_1$  - формується сигнал зміни  $Q_1$  РСК;  $t_2$  - формується сигнал зміни  $Q_2$  РСК.

Залежно від виконання умов  $P_1, P_4$  мережі  $N_1$ , а також наявності сигналу з датчика скрапу, який свідчить про перевантаження кульового млина, змінюється структура управління стадіями збагачення - подрібнення - класифікації. При цьому модель повинна мати підграф, який виконує блокування завантаження руди кульового млина і виконання умов  $P_1, P_4$ .

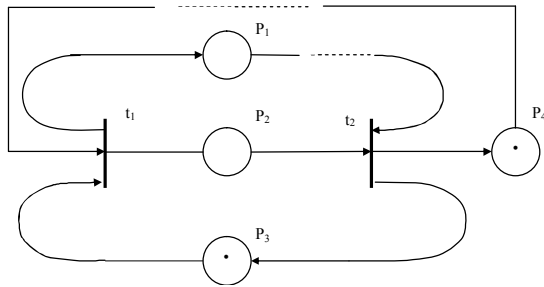


Рис. 1. Підграф блокування завантаження руди кульового млина

Розглянемо наступні умови: обране навантаження на кульовий млин у момент зміни типу руди призводить до його перевантаження - аварійний режим роботи  $P_5$  і оптимальний режим завантаження  $P_6$ . Цим умовам відповідають події  $t_3$  і  $t_4$ . Сукупність таких подій та умов утворюють логіку роботи робастної системи керування

завантаженням рудою млина першої стадії, коли події є входами, а умови - виходами. Таку формалізовану модель завантаження і оцінки перевантаження млина дуже просто реалізувати на базі логіки АБО [5].

Зазначену модель, що імітує наявність перевантаження млина, наведено на рис. 2 у вигляді маркованої мережі  $N_2$ , де  $P_5$  і  $P_6$  є забороняючими входами переходів. Такий підхід створює такі умови: за умови зміни типу руди відповідний перехід не буде запущеним, якщо маркування позиції, що постає його забороняючим входом, не є нульовим.

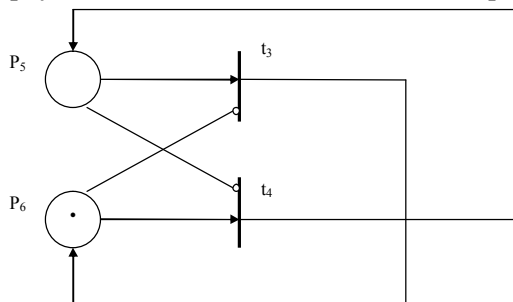


Рис. 2. Модель перевантаження кульового млина

Із аналізу графів мережі  $N_1$  і  $N_2$  видно, що розмітка позицій у процесі їх сумісного функціонування задається наступними умовами [9]

$$\begin{aligned}
 A_1) & (M(P_1)=1) \wedge (M(P_4)=0) \wedge (M(P_5)=0) \wedge (M(P_6)=1); \\
 A_2) & (M(P_1)=1) \wedge (M(P_4)=0) \wedge (M(P_5)=1) \wedge (M(P_6)=0); \\
 A_3) & (M(P_1)=0) \wedge (M(P_4)=1) \wedge (M(P_5)=1) \wedge (M(P_6)=0); \\
 A_4) & (M(P_1)=0) \wedge (M(P_4)=1) \wedge (M(P_5)=0) \wedge (M(P_6)=1).
 \end{aligned}$$

Відтак виконання умови  $A_1$  відповідає сформованому сигналу моделі в момент зміни типу руди і вибору робастною системою керування оптимального завантаження кульового млина. Процес зміни завантаження кульового млина першої стадії подамо як логічний ланцюг умов і подій, що утворюють ще один фрагмент мережі  $N_3$ , який наведено на рис. 3а, де умовами для мережі  $N_3$  є:

$P_7$  - горизонтальний конвеєр «працює»;  $P_8$  - час завантаження руди в кульовий млин (положення шибера)  $t = \gamma T$ , де  $\gamma$  - відносний час включення шибера;  $T$  - період, а подіями для мережі  $N_3$  будуть:  $t_5$  - наявність руди на горизонтальному конвеєрі;  $t_6$  - реалізований режим заборони «збільшення» навантаження млина на  $\Delta Q_k = 8$  т/год.

Виконання умови  $A_2$  відповідає сформованому сигналу на збільшення завантаження млина (за відсутності умов зміни типу руди), тобто за такого маркування позицій  $P_1, P_4, P_5, P_6$  режим перевантаження млина не може виникнути. Тому в графі мережі  $N_3$  перехід  $t_3$  повинен блокуватись сигналом неживою дугою задля запобігання проходження маркера по мережі  $N_3$ .

Для того, щоб у даних умовах максимально реалізувати можливості робастної системи ке-

рування - завантаження млина, необхідно розглянути режими роботи запропонованої моделі перевантаження. У цьому випадку розглянемо два важливих моменти:

сигнал на виході виникає тоді, коли змінюється тип руди;

сигнал на виході не виникає - тип руди, що надходить до млина відповідає технологічній карті та є можливість збільшити завантаження на  $\Delta Q_K$ .

Отже, при виконанні умов  $A_2$  можливі ще дві послідовності спрацювання переходів і виконання умов. Відповідні граfi мереж  $N_4, N_5$  для цих варіантів функціонування системи завантаження наведені на рис. 3б, 3в, де умовами є:

$P_9$  - руда в кульовий млин надходить;  $P_{10}$  - режим завантаження відповідає новому типу руди  $t=T$ , а подіями можуть бути:  $t_7$  - реалізований оптимальний режим завантаження млина;  $t_8$  - сигнал перевантаження млина відповідає аномальному режиму.

Розглянемо умови  $A_3$  і  $A_4$ , які об'єднує те, що після виконання умов  $P_4(P_4=1)$  незалежно від умов  $P_5$  і  $P_6$  виникає режим зменшення навантаження на  $2\Delta Q_K$ . У цьому випадку

$$(M(P_1) = 0) \wedge (M(P_4) = 1) \Rightarrow (M(P_5) = 1 \wedge (M(P_6) = 0)) \wedge (M(P_5) = 0) \wedge (M(P_6) = 1)) : \exists ! N.$$

Виконанню умов  $A_3$  і  $A_4$  відповідає граф, який наведено на рис. 3г, де подія моделює зменшення завантаження млина на  $2\Delta Q_K$ .

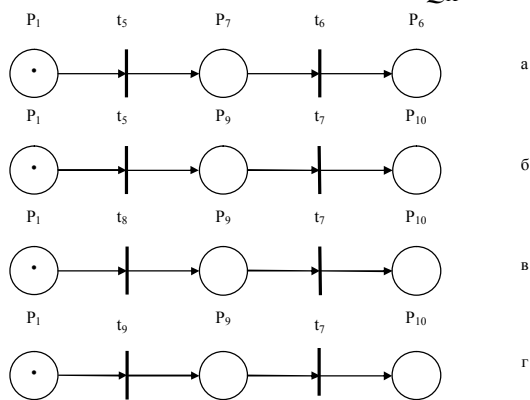


Рис. 3. Логічний ланцюг режимів роботи першої стадії подрібнення-класифікації

Для тристадійного збагачення руди, кожна послідовна стадія повинна бути узгоджена з наступною щодо продуктивності роботи класифікаційних агрегатів (гідроциклонів), млинів та сепараторів. З урахуванням можливостей координації стадій мережі Петрі повинні чітко оцінювати аварійні ситуації першої стадії та прогнозувати режим роботи другої стадії збагачення. Виконавши координацію роботи другої стадії, переходять до виконання координаційних робіт третьої стадії збагачення.

На рис. 4 наведено схему-модель першої стадії переробки руди в концентрат, в якій 1,2-6 - технологічні апарати (1 - кульовий млин, 2 - класифікатор, 3 - зумпф, 4-6 - магнітні сепаратори), де вихідними показниками є: продуктивність стадії, масова частка заліза у промпродукті, магнітне залізо у хвостах.

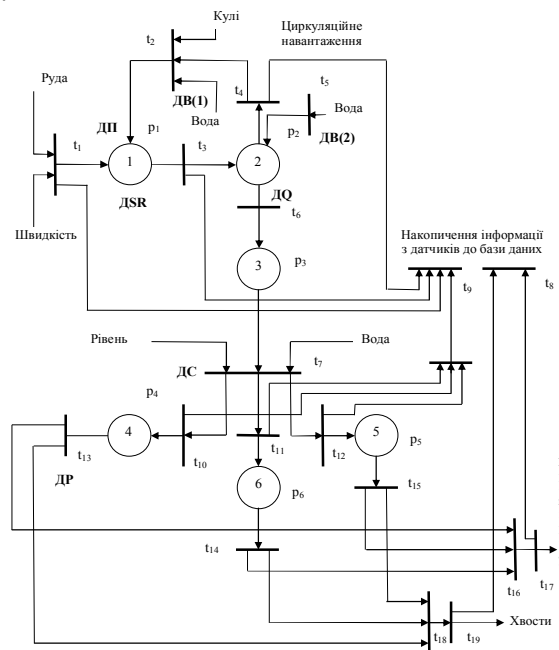


Рис. 4. Схема-модель першої стадії переробки руди в концентрат

З огляду мереж Петрі  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6$  характеризують умови роботи технологічних апаратів

збагачення руди. Наприклад, умови для роботи кульового млина ( $p_1$ ) - це характеристика його продуктивності в діапазоні 180-250 т/год, яка вимірюється відповідним датчиком.

Переходами в даній моделі зображені події  $t_1-t_{19}$ . Так,  $t_1$  - це подія надходження руди до кульового млина з відповідними текстурними характеристиками. На відповідному переході мережі Петрі встановлюються датчики: ДSR - щільномір для вимірювання вмісту твердого в розгрузці млина, ДQ - щільномір для вимірювання вмісту твердого у промпродукті зливу класифікатора; ДП - датчик ваги для вимірювання продуктивності млина; ДВ(1), ДВ(2) - датчики витрат води, відповідно, для завантаження млина та класифікатора; ДР - гранулометр для вимірювання масової частки класу у зливі класифікатора; ДС - датчик скрапу.

За нормальної роботи системи за допомогою мережі Петрі інформація з датчиків записується до бази даних, яка є базисом для побудови кореляційно-регресійних моделей, з яких оператор прийматиме рішення щодо параметрів завантаження кульового млина та відповідних завдань САК першої стадії збагачення.

**Висновки.** Вибір раціональних режимів роботи кульового млина - класифікатора магнітного сепаратора виконано шляхом оцінки в часі різновидів руд, що надходять до кульового млина. Продуктивність кульових млинів, щільність зливів і значення масової частки готового класу -0,056мм на зливі класифікатора, а також установа причинно-наслідкової залежності режимів роботи кульових млинів від властивостей руд, які визначаються правилами продукцій вхідних і вихідних матриць мереж Петрі дозволяє підвищити точність оцінки збурень за властивостями руди та зменшити їх вплив, використовуючи системи керування першою стадією збагачення як передумови стабілізації режимів роботи процесів огрудкування.

У результаті проведених досліджень відбулося зменшення дисперсії коливань масової частки заліза в концентраті магнітного збагачення, вмісту магнітного заліза у хвостах збагачувальної фабрики, питомих витрат води, а також збільшення продуктивності кульових млинів першої стадії збагачення та виходу концентрату.

#### Список літератури

1. **Хорольський В. П.** Управление процессами обогащения руд на основе сетевых моделей Петри / **В. П. Хорольський, В. Б. Хоцкіна, Е. К. Бабец** // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 8. – С. 83 – 87.
2. **Кочура Е. В.** Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энергосбережения : Дис. докт. техн. наук / **Е. В. Кочура**. – Днепропетровск, 1996. – 331 с.
3. **Купін А. І.** Інтегрована система управління процесами першої стадії збагачення залізної руди з мінімальними втратами у хвостах : автореф. дис. на здоб. наук. ст. канд. техн. наук / **А. І. Купін**. – Кривий Ріг, 2001. – 19 с.
4. **Хоцкіна В. Б.** Автоматизація процесів керування технологічним комплексом збагачення залізних руд з використанням моделей мереж Петрі : Автореф. дис. канд. техн. наук / **В. Б. Хоцкіна**. – Кривий Ріг, 2012. – 19 с.

Рукопис подано до редакції 11.04.12

УДК 622.684

М.І. СОКУР, д-р техн. наук, проф.,

Кременчуцький національний університет ім. Мих. Остроградського

В.Д. КАССОВ, д-р техн. наук, проф., Донбаська машинобудівна академія

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ КАР'ЄРА ШЛЯХОМ ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПЛОЩАДОК

У роботі представлено методику оптимізації продуктивності екскаваторно-автомобільних комплексів кар'єрів за рахунок узгодження їх робочих параметрів з параметрами робочих площадок та конкретних гірничотехнічних умов розробки.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Однією з головних особливостей розвитку сучасних відкритих гірничих розробок є обмеженість робочого простору на глибоких кар'єрах, що обумовлює з одного боку, використання автомобільного транспорту, як найбільш маневреного і гнучкого, з іншого - зниження ефективності його роботи, оскільки значно зростає собівартість транспортування гірничої маси кар'єрними самоскидами при збільшенні глибини і ухилів трас.

На багатьох сучасних кар'єрах використовуються всі види транспорту, як окремо, так і в комбінації. Однак не завжди присутня узгодженість транспортної схеми з масштабами ведення