

1. **А.В. Иванов** - Смоленский «Электрические машины» М.: «Энергия», 1980. [1]
2. **М.П. Костенко**, Л.М. Пиотровский «Электрические машины» М.: «Энергия», 1980. [2]
3. **А.И. Вольдек** «Электрические машины» М.: «Энергия» 1974 [3]
4. **Электротехника**. Сборник научно-методических статей. Выпуск 3. М.: «Высшая школа», 1976. [4]
5. **Воротеляк Е.А., Коломіц Г. В.** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Електричні машини» для студентів з напрямів підготовки «Електромеханіка», КТУ, 2009. [5]

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 681.5.015: 622.7–52

В. Б. ХОЦКІНА, канд. техн. наук, доц.

КЕІ ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЕЙ МЕРЕЖ ПЕТРІ**

Розроблена адаптивна система управління комплексом збагачення залізних руд, в якій моделі мереж Петрі використані для оцінки зміни типів руди, що надходять на збагачення та розроблене програмне забезпечення оптимізації завантаження кульових млинів першої стадії збагачення.

В останні роки вивчення технологічної лінії викликано необхідністю: скоординувати роботу збагачувальних машин, і насамперед, найбільш енергомістких – кульових млинів з урахуванням властивостей руд, що надходять на збагачення. Відсутність дорогих засобів контролю на збагачувальних фабриках зумовлює необхідність використовувати майстерність та досвід персоналу в зв'язку з вимогами споживачів збільшити вміст масової частки заліза в концентраті до 66,5-67,8 %. З метою підвищення ефективності автоматизації складних технологічних процесів та методів збагачення на підприємствах (ВАТ «Північний ГЗК», ВАТ «Інгулецький ГЗК», ВАТ «Південний ГЗК», ВАТ «Центральний ГЗК») виникла необхідність проведення нових досліджень впливу типів руди на вихідні показники роботи збагачувальних фабрик.

У зв'язку з погіршенням якості руди задля досягнення необхідних показників виникає потреба побудови сучасних автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП) збагачення руд. Цьому сприяють теоретичні роботи вітчизняних вчених [1], [2], в яких розроблені методи математичного опису процесів збагачення та керування за допомогою адаптивних систем управління.

У наукових працях більшості вітчизняних вчених показано, що найбільш важливу роль у технологічній лінії збагачення руд відіграють процеси здрібнення і класифікації. Результати ґрунтовних досліджень у галузі автоматизації та оптимізації процесів збагачення залізних руд, що опубліковані в роботах вітчизняних вчених за останні десять років [3,4,5] свідчать про актуальність питань розробки автоматизації виробничих комплексів, адаптивних систем управління технологічних процесів збагачення руд з випадковими в часі текстурними характеристиками. Доведено, що операції здрібнення, класифікації і попередньої сепарації відіграють головну роль в одержанні концентрату заданої споживачами якості.

Постановка завдання. Аналіз сучасних підходів до автоматизації збагачувальних фабрик вимагає розробки ряду нових теоретичних і практичних рішень при проектуванні автоматизованих систем керування технологічними процесами, що працюють у діалоговому режимі та мають змогу приймати ефективні рішення в умовах переробки важкозбагачуваних руд.

Метою статті є розроблення програмного забезпечення оптимізації завантаження кульових млинів першої стадії збагачення, що підвищує оперативність виявлення у часі моменту зміни властивостей руди та дозволяє переналаштувати системи автоматичного керування технологічними комплексами магнітного збагачення залізних руд.

Викладення основного матеріалу. Високі вимоги споживачів до якості концентратів (дисперсії масової частки заліза) спонукають до впровадження сучасних програмних продуктів, які враховують нечіткий характер моделей управління та зменшують невизначеність щодо прийняття рішень. До таких моделей віднесені мережі Петрі [6], головна мета яких в роботі – це виявлення моменту часу зміни текстурних властивостей руди. Крім того вони використовуються для створення правил продукції, які на основі причинно-наслідкових зв'язків формують набір простих рекомендацій для ефективної роботи системи. Дані рекомендації подано у вигляді матриць із коефіцієнтами - 1, 0, 1. Коефіцієнт - 1 свідчить про зменшення показника на певний крок, 1 - про збільшення, 0 - показник залишається на попередньому рівні.

Оператор комплексу подрібнення за допомогою мереж Петрі виявляє проблемну ситуацію та отримує рекомендації у вигляді «правил-продукції» (матриця з коефіцієнтами -1, 0, 1).

На рис. 1. представлено мережу Петрі правил продукції, у вигляді матриці-подій. Операції у системі представлено подіями:  $t_1$  - руда надходить на подрібнення;  $t_2$  - здійснюється процес класифікації;  $t_3$  - промпродукт повертається на першу стадію подрібнення, а умови системи представлено позиціями:  $P_1$  - перша стадія подрібнення;  $P_2$  - промпродукт після класифікації;  $P_3$  - злив;  $P_4$  - хвости.

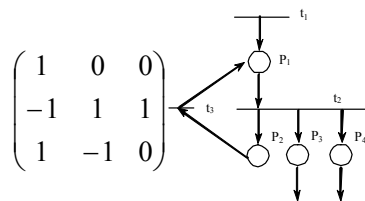


Рис. 1. Приклад використання правил продукції

При нормальній роботі мережі Петрі системи першої стадії збагачення, інформація, що отримується з датчиків записується до бази даних за такими показниками: масова частка класу у промпродуктах класифікації, % (ДР - гранулометр для вимірювання масової частки класу у зливів класифікатора); продуктивність млина, т/год. (ДП - датчик ваги для вимірювання продуктивності млина); вміст твердого в розгрузці млина, г/літр (ДСР – щільномір для вимірювання вмісту твердого в розгрузці млина); вміст твердого в промпродукті зливу класифікатора, г/літр (ДQ – щільномір для вимірювання вмісту твердого в промпродукті зливу класифікатора); кількість подаваної води в завантаження млина, м<sup>3</sup>/год. (ДВ(1) - датчик витрат води для завантаження млина); витрати води в завантаження класифікатора, м<sup>3</sup>/год. (ДВ(2) - датчик витрат води для завантаження класифікатора); чинник вмісту важкозбагачуваних руд, %.

Ця інформація є базисом для побудови кореляційно-регресійних моделей, за якими оператором буде прийматись більш виважене рішення щодо зміни вхідних параметрів моделі.

Розміщення датчиків, якими вимірюються граничні межі факторів наочно проілюстровано на рис. 2 (ДП, ДSR, ПТ, ДQ, ДВ(1), ДВ(2), ДР, ДС). Якщо певний показник виходить за допустимі межі - спрацьовує відповідний датчик.

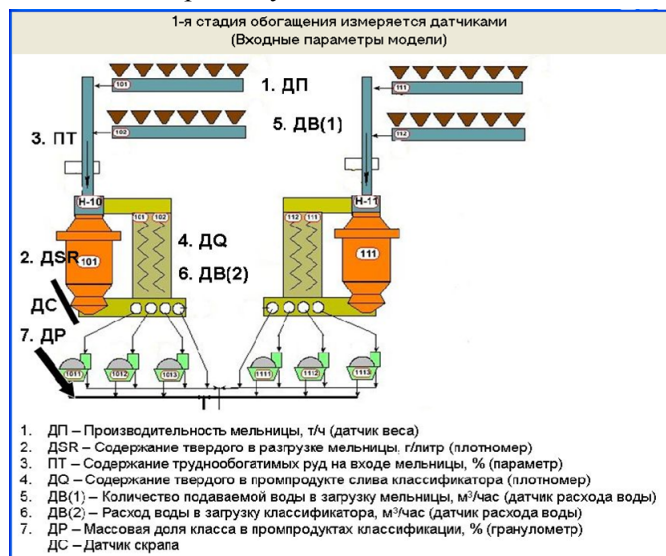


Рис. 2 Схема першої стадії збагачення, що вимірюється датчиками

В процесі дослідження інформаційного поля технологічного процесу збагачення [7], складено список вхідних і вихідних показників для кожного каналу керування. Для цього розроблено алгоритм та побудовані моделі багатфакторної регресії робастного налагодження системи керування завантаження кульового млина першої стадії та алгоритм корекції продуктивності млина по сирій руді за допомогою мережі Петрі [8]. Дослідження системи виконано для умов збагачувальної фабрики ПАТ «Центральний ГЗК».

Спочатку, використовуючи статистичні дані, одержані в умовах збагачувальної фабрики ПАТ «Центральний ГЗК», досліджено значущість кожного вхідного випадкового параметра [8].

Після досліджень інформаційного поля відбувається перехід до формалізації та переробки інформації в підсистемах АСКТП збагачувальних фабрик в умовах нечіткої інформації про процес збагачення.

У процесі розпізнавання проблемної ситуації за допомогою мереж Петрі, починає свою роботу розроблене програмне забезпечення «Моделювання першої стадії збагачення руди», яке відіграє роль «помічника диспетчера».

Вхідною інформацією для даної програми є база даних, в якій накопичується інформація з датчиків про роботу системи першої стадії збагачення.

Після спрацювання відповідного датчика виникає проблемна ситуація, на яку відразу реагує мережа Петрі, що характеризує різні варіанти розвитку процесу збагачення та видає матрицю, кожен коефіцієнт якої відповідає -1, 0 або 1. Дані коефіцієнти характеризують відповідно:

зменшення (коефіцієнт -1), збільшення (коефіцієнт 1) або залишення у поточному стані (коефіцієнт 0) відповідного показника [8].

Після цього відбувається корегування вхідної інформації. Отже, мережа Петрі реагує відразу на проблемну ситуацію та змінює вхідні дані моделі.

У випадку виникнення проблемної ситуації мережа Петрі має декілька варіантів розвитку процесу. Кожен із цих варіантів підставляється у якості вхідних даних та розраховується по моделі багатофакторної регресії. При цьому аналізується кореляція як окремо взятого фактору (аналіз вхідних факторів від фактору часу), так і кореляція розрахованого показника моделі.

Саме вибір максимального коефіцієнта кореляції (в діапазоні від 0,9 до 1) дозволяє говорити про вибір оптимального варіанту розвитку процесу збагачення при моделюванні мережею Петрі.

Після вибору оптимального варіанту у даній програмі будуються дві багатофакторні моделі з урахуванням їх модифікацій:

Залежність масової частки класу у промпродуктах класифікації, %  $Y$  від вхідних факторів (Продуктивність млина, т/год  $x_1$ , вміст твердого в розгрузці млина, г/л  $x_2$ , вміст твердого у промпродукті зливу класифікатора, г/л  $x_3$ , кількість поданої води в завантаження млина, м<sup>3</sup>/год  $x_4$ , витрати води в завантаження класифікатора, м<sup>3</sup>/год  $x_5$ ).

Залежність продуктивності млина, т/год  $Y$  від вхідних факторів (Вміст твердого в розгрузці млина, г/л ( $x_1$ , вміст твердого в промпродукті зливу класифікатора, г/л  $x_2$ , кількість поданої води в завантаження млина, м<sup>3</sup>/год  $x_3$ , витрати води в завантаження класифікатора, м<sup>3</sup>/год  $x_4$ , масова частка класу у промпродуктах класифікації, %  $x_5$ ).

Щодо модифікації даних моделей передбачено заміну одного вхідного параметру (параметру  $x_2$  першої моделі або параметру  $x_1$  другої моделі) на показник вмісту важкозбагачуваних руд у %.

Розроблене програмне забезпечення є гнучким та дозволяє отримати моделі продуктивності та масової частки класу від будь-якої кількості факторів. При збільшенні вхідної кількості факторів для побудови моделі, збільшувався коефіцієнт кореляції. Це дає можливість зробити висновок про те, що саме всі вхідні фактори впливають на результат та адекватність моделі є максимальною при включенні всіх п'ятьох факторів.

Оператором обчислюється (прогнозується) розрахований показник моделі – масова частка класу, або продуктивність млина від заданих ним вхідних параметрів. Якщо розрахований показник не належить відповідному діапазону, на екран виводиться повідомлення про корекцію вхідних параметрів для подальшого ведення технологічного процесу. Отримані результати дозволяють оператору визначити режим роботи технологічної лінії, який буде найбільш оптимальним відносно до типу руди, що переробляється.

Практичне використання розроблених моделей на основі мереж Петрі та оптимізації за допомогою алгоритмів керування з нечіткою логікою дозволяє покращити функціонування об'єктів збагачувальної фабрики. Про це свідчать результати досліджень диспетчерського керування технологічними секціями, які працюють на фабрику огрудкування. Дослідження системи керування першої стадії технологічної секції ПАТ «Центральний ГЗК» проведено протягом 52 год за таким планом:

підготовка системи до роботи: в цей період інженер формує правила продукції та створює відповідну базу даних;

період оцінки проблемних ситуацій: диспетчер працює з локальними системами нижнього рівня керування, система виконує розпізнавання проблемних ситуацій  $\{S_n\}$ , зміни типів руд в часі;

підготовка системи до роботи: диспетчер завантажує програмне забезпечення.

Система обирає тип керування та відпрацьовує уставки локальних систем завантаження кульових млинів першої стадії збагачення, а саме:

включення системи керування;

перехід на робастне керування;

перехід на адаптивне керування.

У результаті проведених досліджень відбулося зменшення дисперсії коливань масової частки заліза в концентраті магнітного збагачення, вмісту магнітного заліза в хвостах збагачувальної фаб-

рики, питомих витрат води, а також збільшення продуктивності кульових млинів першої стадії збагачення та виходу концентрату.

Дослідження розробленої системи керування першою стадією збагачення руди в умовах ПАТ «Центральний ГЗК» показали такі результати: зменшується: дисперсія коливань масової частки заліза в концентраті магнітного збагачення (на 18%); вміст магнітного заліза в хвостах збагачувальної фабрики (на 5%); питомі витрати води (на 6%); збільшується: продуктивність кульових млинів першої стадії збагачення (на 3%); вихід концентрату (на 4,5%). При цьому погодинна продуктивність технологічної секції збільшилась на 3%, а витрати електроенергії на виробництво однієї тони концентрату зменшилися на 10% в порівнянні з диспетчерським керуванням.

**Висновки.** Отже, розв'язано актуальну наукову задачу зі встановлення причинно-наслідкової залежності технологічних змінних комплексів збагачення від фізико-механічних властивостей руд, що визначається правилами продукції вхідних і вихідних матриць мереж Петрі, а елементи матриці зміни логіко-функціональних блоків мереж Петрі визначають характер та напрямок зміни керуючих впливів на технологічний процес збагачення руд, що підвищує якість керування та якість залізородного концентрату.

### Список літератури

1. **Марюта А.Н.** Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: учебник для вузов. / **А.Н. Марюта, Ю.Г. Качан, В.А. Бунько.** – М. : Недра, 1983. – 277с.
2. **Козин В.З.** Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов / **В.З. Козин, О.Н. Тихонов.** – М. : Недра. – 1990. – 343 с.
3. **Моркун В.С.** Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами / **В.С. Моркун, А.А. Цокуренко, И.А. Луценко.** – Кривой Рог : Минерал, 2005. – 261 с.
4. **Хорольський В.П.** Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу. Монографія / Під редакцією В.П. Хорольського, Дніпропетровськ : Січ, 2008.-448 С.
5. **Купін А.І.** Обґрунтування використання технологій штучного інтелекту для управління технологічним процесом збагачення магнетитових кварцитів / **А.І. Купін** // Вісник Криворізького технічного університету. – 2003. – №1. – С. 51 – 55.
6. **Питерсон Дж.** Теория сетей Петри и моделирование систем / **Дж. Питерсон.** – М. : Мир, 1984. – 160 с.
7. **Хорольський В. П.** Дослідження інформативності параметрів збагачення руди при побудові інтелектуальних систем управління / **Є. К. Бабець, В. П. Хорольський, В. Б. Хоцкіна** // Вісник Криворізького технічного університету : збірник наукових праць. – Кривий Ріг. – 2006. – № 13. – С. 55 – 59.
8. **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 21.02.13

УДК 624.137

Р. О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., О. Б. НАСТИЧ, канд. техн. наук,  
В. В. ХВОРОСТ, асистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### РОЗРАХУНОК ПІДПІРНИХ СТІН КУТНИКОВОГО ТИПУ З ПОРОЖНИНАМИ В СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Наведено основні принципи розрахунку підпірних стін спеціального типу та їх конструктивні особливості.

За експертними оцінками 90 % площі території України характеризується складними інженерно-геологічними умовами, погіршених впливом природних та техногенних факторів [0,0,0].

Для промислових міст техногенне навантаження на геологічну середу на декілька порядків вище інших міст. Зустрічаються незручні сполучення підроблювальних територій з просідними ґрунтами, підтримання забудованих житлових масивів, промислових територій. Тому на стадії проектування, детального проектування, детального планування з метою комплексного захисту населених пунктів, промислових об'єктів інженерних комунікацій з визначеним рівнем безпеки і захисту необхідно використовувати інженерні споруди спеціального призначення.

На підроблюваних територіях і просідних ґрунтах при складних деформаціях основи не завжди можливо використати відомі технічні рішення так як вони непридатні до цих умов роботи. Існуючі конструкції підпірних стін не розраховані на додаткові зусилля від горизонтального зсуву чи вертикального переміщення ґрунту, що викликає концентрацію в нижній частині