

типів оголень (компенсаційних просторів), власне самі розрахунки можуть бути виконані дуже швидко за допомогою спеціально розробленої комп'ютерної програми, що дозволяє оперативно здійснювати попередній аналіз основних показників відбійки масиву та якості його подрібнення (питомі витрати ВР, вихід руди з 1 м свердловини, діаметр середнього куска обваленої руди, вихід негабариту), а узгодження у деяких випадках отриманих даних із стійкістю самих оголень та масиву, що підлягає обваленню, дасть можливість уникнути отримання некоректних результатів.

Список літератури

1. Баранов А.О. Расчет параметров технологических процесов подземной добычи руд. – М.: Недра, 1985. – 224 с.
2. Справочник по горно рудному делу/ Под. ред. В.А. Гребенюка, Я.С. Пыжьянова, И.Е. Ерофеева. – М.: Недра, 1983. – 816 с.
3. Маргинев В.К., Федько М.Б. Розрахунки основних виробничих операцій, процесів та систем розробки рудних родовищ.- Кривий ріг: Видавн. центр КТУ, 2010. – 274 с.
4. Капленко Ю.П. Методические указания по расчету параметров буровзрывных работ.-Кривой Рог: КГРИ, 1982.-42с.
5. Ступник Н.И. Влияние напряженно-деформированного состояния мас сива горнах пород на технологію отбойки урановых руд / Ступник Н.И., Калининченко В.А., Федько М.Б., Мирченко Е.Г. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2013. – № 2. – С. 11-16.
6. Stupnik N.I. The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine “Gigant-Gliboka” of central iron ore enrichment works (CGOK) / Stupnik N.I., Kalinichenko V.O., Kalinichenko O.V., Muzika I.O., Fedko M.B., Pismennyi S.V. // Metallurgical and mining industry, №.7. – 2015. – pp. 83-88.
7. Stupnik N.I. Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme / Stupnik N.I., Kolosov V.A., Kalinichenko V.O., Pismennyi S.V., Fedko M.B. // Metallurgical and mining industry, №.2. – 2014. – pp. 89-93.
8. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. Інструкція по застосуванню / Є.К. Бабець та ін.- Кривий Ріг: Ротапринт ДП «НДГРІ», 2010. – 122с.
9. Ступник Н.И. Перспективы использования бестротиловых взрывчатых веществ на рудниках с подземной добычей полезных ископаемых / Ступник Н.И., Калининченко В.А., Федько М.Б., Мирченко Е.Г. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2013. – № 1. – С. 44-49.
10. Колосов В.А. Экономические аспекты перехода на бестротиловые взрывчатые вещества при подземной добыче руд в Криворожском бассейне / Колосов В.А., Калининченко В.А., Федько М.Б., Письменный С.В. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2014. – № 4. – С. 112-119.

Рукопис подано до редакції 07.02.17

УДК 622.7: 658.562

О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.А. ТИМОШЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

НЕЧІТКА ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ЗБАГАЧЕННЯМ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Мета. Метою даної роботи є обґрунтування використання методів планування експерименту та регресійного аналізу і мультиагентного керування для моделювання процесів збагачення залізної руди. Складність, нестаціонарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між механізмами обумовлюють застосування вищевказаних методів автоматизованого керування технологічними процесами.

Методи дослідження. Проведено аналіз сучасних методів та засобів моделювання процесів роботи технологічних механізмів. Окрему увагу приділено розподіленім системам керування та доцільності їх використання у складному технологічному процесі для моделювання зв'язків між механізмами. З метою моделювання роботи окремих механізмів проаналізовано сучасні напрямки автоматизованого керування, їх переваги та недоліки стосовно застосування до вирішуваної проблеми.

Наукова новизна. Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є обґрунтування вибору методів мультиагентного керування та регресійного аналізу у порівнянні з класичним розподіленім керуванням та іншими сучасними методами інтелектуального керування.

Практична значимість. Обґрунтовано застосування мультиагентного керування, для моделювання інформаційних зв'язків між технологічними механізмами. Проаналізовано сучасні засоби інтелектуального керування стосовно

вно моделювання окремих механізмів – засоби нечіткої логіки, штучного інтелекту, оптимального та адаптивного керування, генетичні алгоритми, гібридні моделі та методи планування експерименту.

Результати. На основі проведеного аналізу було визначено, що класичні методи розподіленого керування не доцільно застосовувати до збагачувальних процесів. Мультиагентне керування дає змогу керувати процесами більш гнучко та досягнути автономності керування кожним механізмом окремо. Для моделювання безпосередньо кожного технологічного механізму окремо доцільно застосовувати методи планування експерименту та регресійного аналізу.

Ключові слова. Збагачення, залізна руда, автоматизація, мультиагентне керування, системний підхід, розділення, регресійний аналіз.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. З урахуванням напрямків розвитку сучасного світового ринку основною ціллю виробництва є зниження собівартості продукту. Ця ціль досягається за допомогою комплексної оптимізації виробничих процесів на основі введення сучасних технологій. Саме підвищення якості автоматизації промислових технологічних процесів є основним шляхом у вирішенні питання енергоефективності виробництва.

Збагачувальний комплекс містить у собі різні технологічні механізми, що здійснюють різні операції та відрізняються за конструкцією, і тому вимагають застосування різних підходів при побудові систем керування. Крім того, вони перебувають у взаємозв'язку і безпосередньо впливають на роботу один одного; вимагають застосування багатьох вимірювальних приладів, що фіксують величини різної фізичної природи. Це приводить до збільшення необхідних розрахункових потужностей [1-4].

Аналіз досліджень та публікацій. Використання сучасних засобів інтелектуальних систем, таких як засоби нечіткої логіки, засоби штучного інтелекту, методи оптимального та адаптивного керування є одним з найперспективніших напрямів у розвитку автоматизації виробництва. На основі вказаних засобів будуються потужні регулятори. Вони відрізняються своєю швидкістю, стійкістю до збурюючих впливів та здатністю продуктивно працювати в умовах неповної інформації.

Наприклад, у роботі [5] було запропоновано метод нормування електроспоживання рудозбагачувальної фабрики загалом на основі інтелектуальних засобів керування. Систему ефективного нейронечіткого прогнозу електроспоживання було використано для досягнення поставленої мети. За результатами промислових випробувань дана система, побудована з використанням сучасних засобів керування, дозволила знизити електроспоживання структурними підрозділами гірничозбагачувального комбінату на 2%.

Традиційні засоби автоматики у поєднанні з методами нечіткої логіки, які дозволяють оперувати не з обмеженими числовими значеннями, а з лінгвістичними змінними, доцільно застосувати для керування трьохстадійним комплексом збагачення.

Це дозволяє розглядати весь комплекс як більш адекватну, наближену до реальних умов, систему і здійснювати керування у реальному часі на основі деякої експертної бази знань [6-9].

Діагностування технологічних механізмів дозволить своєчасно попереджати аварійні ситуації та точніше запланувати планові перевірки. Це дасть змогу значно подовжити життєвий цикл обладнання та скоротити затрати на його ремонт та обслуговування у майбутньому.

Проте, процеси, що проходять на збагачувальній фабриці, відбуваються у закритих конструкціях.

Пульпа проходить від механізму до механізму у пульпопроводі (за винятком жолобів спіральних класифікаторів) і не дає змоги наочно контролювати процеси всередині механізмів, вимірювати дані про стан цих механізмів та сировини, оброблюваної всередині них.

Саме тому безконтактні вимірювальні прилади широко застосовуються на гірничозбагачувальному виробництві.

Їх можна встановлювати ззовні механізмів та пульпопроводів – радіометричні, ультразвукові, термографічні прилади, тощо.

Проте, радіометричні датчики, не зважаючи на високу точність, вимагають особливого обслуговування та наявності відповідної служби на виробництві.

Термографічні засоби вимірювання не дають достатньої точності [10-13].

У табл. 1 показано ступінь впливу якісних властивостей руди на ефективність її обробки (ступінь впливу вимірюється від 1 до 4, як від незначного впливу, до дуже значного) [14].

Ступінь впливу якісних властивостей руди на ефективність процесів її обробки

Показник	Подрібнення	Магнітна сепарація
Міцність руди	1	-
Текстурна характеристика	2	3
Вміст магнітного продукту	-	1
Гранулометричний склад руди та промпродуктів	3	2
Густина руди	-	4

Учені зазвичай розглядають механізми окремо - окремо млини, поділяючі апарати та магнітні сепаратори з різних точок зору. Вони розробляють нові методи вимірювання та контролю параметрів оброблюваної руди, здійснюють діагностику стану технологічних механізмів для подовження їх життєвого циклу, докладно заглиблюються у фізичну природу процесів обробки руди та пропонують навіть нові конструкції гірничозбагачувального обладнання або надбудови до нього. Запропоновані вирішення окремих проблем, без сумнівів, дозволяють досягти значного корисного ефекту. Проте роботу механізмів у взаємозв'язку та можливі наслідки не досить розглянуто науковцями. До того ж введення в експлуатацію більшості розробок є або занадто складним, або занадто коштовним.

Постановка задачі. Метою дослідження обрано розробку мультиагентної системи автоматизованого керування фабрикою збагачення залізної руди з застосуванням сучасних засобів керування. Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі: проаналізувати сучасні методи керування збагачувальними механізмами окремо та гірничозбагачувальною секцією загалом; вдосконалити метод моделювання технологічного процесу на кожній стадії подрібнення та збагачення і зв'язків між ними для застосування у системі керування

Викладення матеріалу та результати. Загальний опис мультиагентної системи MAC може бути показаний у формі алгебраїчної системи

$$MAC = (A, E, R, ORG), \quad (1)$$

де A - набір агентів, тобто набір утворюючих; E - набір MAC, тобто комунікаційне середовище в якому MAC взаємодіє з іншими MAC; R - набір взаємодій між агентами, тобто масив конфігурацій; ORG - представлення поточної MAC у вигляді зображення.

У цій моделі, i -й агент (утворююча) з точки зору організації її інтерфейсу з іншими елементами системи може бути записаний трійкою

$$A_i = (E_i, R_i, ORG_i), \quad (2)$$

де E_i - MAC комунікаційного середовища, в якому агенти взаємодіють ($E_i \in E$); R_i - підмножина зв'язків агенту з іншими агентами ($R_i \in R$); ORG_i - представлення поточної MAC у вигляді зображення.

Зв'язок між технологічними механізмами збагачувальної фабрики має велике значення так як дозволяє розглядати увесь процес збагачення у сукупності та контролювати його згідно загальної картини.

Згідно запропонованої схеми (рис. 1) у секції збагачувальної фабрики здійснюються чотири операції - подрібнення, класифікація, знешламлення та мокра магнітна сепарація залізної руди.

Відповідно, присутні такі технологічні механізми, як млини, магнітні сепаратори, дешламатори та класифікуючі механізми. Для першої стадії це спіральний класифікатор, для наступних - гідроциклони. Також показано параметри продуктів збагачувальних операцій, необхідні для моніторингу процесу та розрахунків керуючих впливів, а саме витрати пульпи та її густина. Параметри розраховувалися з урахуванням наявності у секції рециклів та зумпфів між деякими механізмами. Також вимірюється кількість заліза у кінцевому продукті, яка у даному випадку становить 64,23 %.

Детально розглянемо різницю між класичними розрахунками параметрів роботи механізму та його роботою у агентному вигляді.

Живлення гідроциклону надходить з зумпфа, до якого пульпа у промислових умовах надходить одразу з декількох механізмів і змішується.

При цьому відбуваються коливання величин параметрів пульпи - таких як її густина, кількість твердого, тощо.

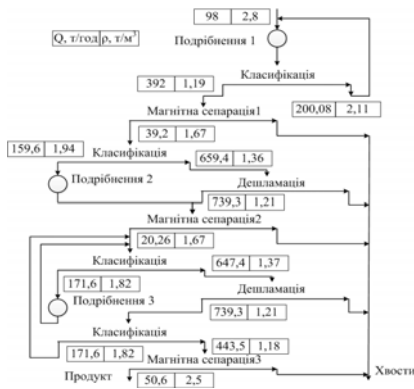


Рис. 1. Технологічна схема процесу трьохстадійного збагачення залізної руди

Наприклад, щоб розрахувати середній вміст твердої фази у суміші пульп, що надходить до зумпфа при відомих їх витратах (вимірних витратомірами), вмісту твердої та вмісту заліза у твердої фазі необхідно провести відповідні розрахунки

$$\delta_o = 1/(a - b\alpha); \quad a = 1 - \frac{\delta_o^* \alpha_o^*}{\delta_m \alpha_m} / \alpha_o^* \left(1 - \frac{\alpha_o^*}{\alpha_m}\right); \quad b = -\left(a - \frac{1}{\delta_m}\right) / \alpha_m, \quad (3)$$

де $\alpha, \alpha_m, \alpha_o^*$ - вміст заліза у збагачуваній пульпі, у вихідній руді та уточнений розрахунковий вміст заліза у збагачуваній пульпі; δ_m, δ_o^* - густина магнетиту та густина вихідної руди.

$$T_o = \frac{\sum \frac{\hat{c}_i \delta_i T_i}{T_i + (1 - T_i) \delta_i}}{\sum \frac{\hat{c}_i \delta_i}{T_i + (1 - T_i) \delta_i}}$$

На рис. 2 показано керування першою стадією збагачення, зображеною на рис. 1.

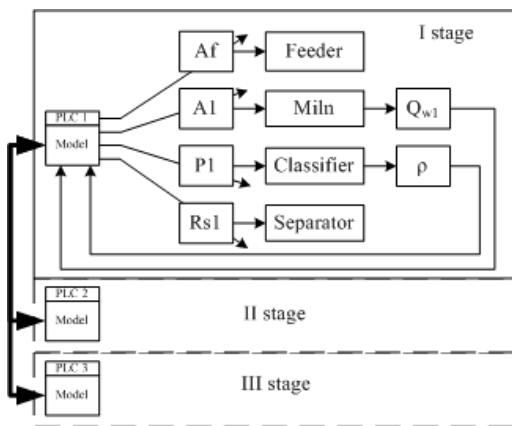


Рис. 2. Керування агентами першої стадії збагачення

PLC (Programmable logical controller) приймає сигнали від датчиків густини ρ та продуктивності Q_{w1} і на основі отриманих даних нечітка мережа, завантажена в PLC, тренує регулятори, які керують приводами живильника (Af), класифікатора (P1), мокрого магнітного сепаратора (Rs1) і подачею води в млин (A1). Оскільки суттю агентів є їх автономність з підтриманням зв'язку, необхідно здійснювати обмін даними між ними.

У межах однієї стадії цей обмін може бути здійснений за допомогою програмного забезпечення в PLC. Для обміну інформацією між стадіями дані передаються за допомогою PLC кожної стадії.

Проте, прямої залежності між вхідними і вихідними параметрами продукту майже ніколи не буває, особливо з урахуванням нестаціонарності та динамічності технологічних процесів на збагачувальній фабриці. У цьому випадку слід застосовувати кореляційні залежності. Зокрема, методи планування експерименту (багатофакторний аналіз) показують досить точні результати [15]. Метод Бокса-Вілсона, метод стохастичної рівноваги, метод симплекс-планування, метод планів Шеффа являються найвідомішими методами планування експерименту. Вибір методу цілком залежить від умов поставленої задачі.

Метод Бокса-Вілсона отримав найбільше розповсюдження. Метод полягає у проведенні невеликих серій дослідів і визначенні на основі отриманих результатів найкоротшого шляху руху до області екстремуму. Досліднику доводиться мати справу з великим числом параметрів при дослідженні складних багатофакторних процесів, хоча більшість з них в подальшому виявляються незначними. У той же час не має можливості здійснити кваліфікований відбір найбільш істотних параметрів, так як даний вибір заснований виключно на інтуїції. Метод стохастичного планування дозволяє виявляти та виключати з розрахунків параметри, які незначно впливають на кінцевий результат. Під час проведення досліджень зміна значень неконтрольованих змінних, наприклад, якості вихідної сировини, характеристик обладнання зміщує положення оптимуму. В цьому випадку доцільно використовувати таку стратегію пошуку оптимуму, яка дозволяла б весь час пристосовуватися до мінливих умов (адаптуватися). Симплексне планування експерименту дозволяє враховувати дані зміни. Метод планів Шеффа доцільно застосовувати для вирішення задачі усереднення руд.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проведений аналіз дає змогу стверджувати, що застосування мультиагентного керування значно підвищить точність керування тех-

нологічними механізмами гірничозбагачувального комплексу та загалом зробить керування більш адаптованим до реальних умов та вимог, що ставляться до якості та кількості концентрату. Застосування ж сучасних засобів керування, таких як засоби нечіткої логіки, штучного інтелекту, в цілому дозволить покращити якість та точність керування.

Вдосконалення методу моделювання технологічного процесу на кожній стадії подрібнення та збагачення і зв'язків між ними за рахунок використання регресійного аналізу та методів планування експерименту дасть дозволить підвищити точність керування в умовах нестационарності процесів збагачувальної фабрики.

Напрямок подальших досліджень є детальніше дослідження зв'язків між технологічними механізмами різних стадій збагачення і їх впливу на параметри кінцевого продукту.

Список літератури

1. **Morkun V.** Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savitskiy, M. Tymoshenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №8. – P. 22–25.
2. **Ragot J.** Transient study of a closed grinding circuit / [Ragot J., Roesch M., Degoul P., Berube Y.] — 2-nd IFAC Symp. "Automat. Mining, Miner. and Metal. Proc." – Pretoria. – 1977. – P. 129-142.
3. **Schubert. H.** Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. – Leipzig, 1967, Bd. 11, p. 472.
4. **Sbarbaro D.** Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p.
5. **Щокін В. П.** Метод нейронечіткого формування електроспоживання збагачувальними фабриками / В. П. Щокін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. - №60. – С. 47-52.
6. **Gurocak H.B.** Fuzzy rule base optimization of a compliant wrist sensor for robotics // J. Robotic Systems. 1996. № 13. P. 475-487.
7. **Wang L.-X.** Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems // IEEE Trans. Fuzzy Systems 1993. № 1 (2). P 146–155.
8. **Spoooner J.T., Passino K.M.** Stable adaptive control using fuzzy systems and neural networks // IEEE Trans. Fuzzy Systems. 1996. № 4 (3). P. 339–359.
9. **Shchokin V.** The example of application of the developed method of Neuro-Fuzzy rationing of power consumption at JSC "YuGOK" mining enrichment plants / V. Shchokin, O. Shchokina, S. Berezhniy // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №2. – P. 19–26.
10. **Morkun V.** Distributed closed-loop control formation for technological line of iron ore raw materials beneficiation / V. Morkun, N. Morkun, V. Tron // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №7. – P. 16–19.
11. **Kondratets V.** Adaptive control of ore pulp thinning in ball mills with the increase of their productivity / V. Kondratets // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 12–15.
12. **Porkuian O.** Adaptive control of ore pulp thinning in ball mills with the increase of their productivity / O. Porkuian // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 29–31.
13. **Дик И. Г.** Управление характеристиками гидроциклона дополнительным иньектированием воды / И. Г. Дик, А. В. Крохина, Л. Л. Миньков // Теоретические основы химической технологии. – 2012. – том 46. – №3. – С. 342-352.
14. **Бастан П. П.** Теория и практика усреднения руд / П. П. Бастан, Е. И. Азбель, Е. И. Ключкин. – М. : Недра, 1979. – 255 с.
15. **Хан Г. А.** Автоматизация обогатительных фабрик / Г. А. Хан, В. П. Каргушин, Л. В. Сорокер, Д. А. Скрипчак. – М. : Недра, 1974. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 07.02.17

УДК 622.7: [621.745.58+624.131.22]

Л.В. СКЛЯР, канд. техн. наук, доц., Д.С. ПРОКОПЧУК, студент
Криворожский национальный университет

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ШЛАКОВ И ШЛАМОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Авторами приведены результаты исследований по изучению текстуры, структуры, минерального составов отходов сжигания топлив двух видов жидкого (Киевская ТЭЦ) и твердого (Зеленодольская ГРЭС). Проведены эксперименты по механическому разделению в центробежном, магнитном и электрическом полях, отработаны методы гидрометаллургического извлечения ванадия и алюминия из ванадий и алюмоосодержащих продуктов механического обогащения/

В условиях Украины в отвалах теплоэлектростанций накопились миллиарды тонн золошлаковых отходов, которые содержат ряд ценных компонентов. Кроме того, отвалы ежегодно пополняются золошлаком свежего поступления в количестве 10 млн. т. Привлечение к переработке отходов теплоэлектростанций с получением редких металлов дает возможность уменьшить закупку дорогого сырья по импорту; утилизировать отходы с получением ценных металлов и улучшить экологическую обстановку в Украине.