

13. Разработка и внедрение нестехиометрического сжигания топлива на газомазутных котлах / П. В. Росляков [и др.] // Электрические станции. – 1999. – № 8.
14. **Єфіменко І.І.** Автоматизація процесів горіння палива в котлах, як високоефективний спосіб зниження теплового й хімічного забруднення атмосфери // Вісник КТУ: зб.наук.пр. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2011.- Вип.28.- С.32-35
15. **Замицький О.В., Єфіменко І.І.** Модернізація системи автоматичного керування режимами роботи котла // Вісник КТУ: зб.наук.пр. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2012.- Вип.30.- С.168-171
16. **Єфіменко І.І., Замицький О.В.** Аналіз існуючих режимів спалювання природного газу // Вісник КТУ: зб.наук.пр. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, Вип.30.- 2012
17. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов / **А.С.Клюев, А.Т.Лебедев, С.И.Новиков.** – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
18. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. Часть 1 / **В.А.Дубровский, Е.И.Забокрицкий, В.Г.Трегуб, Б.А.Холодовский.** – Киев: Наукова думка, 1981. – 463 с.
19. **Крячко А.П., Просветов И.И.** Автоматический газоаналитический контроль содержания кислорода в газовых средах на предприятиях черной металлургии // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2001,-№6. – С. 116 – 118.
20. **Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э, Басовский Б.И.** Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы.-М.: Недра, 1984. - 285 с.
21. А.С. СССР 1500925 Способ определения концентрации кислорода в газовой смеси /**Голинько В.И., Дудник М.Н.**-Опубл. в Б.И. 1989, №30.
22. Система контроля за выбросами с дымовыми газами на Казанской ТЭЦ-1 / **Щелоков Ю.В., Шкедов В.М., Миникаев Е.Ф.** и др. // Энергетик, 1998, -№ 3. – С. 12 – 16.
23. **Орлова И.А.,** Мотро М.Я., Зуев А.В. Опыт эксплуатации системы контроля выбросов в атмосферу на Казанской ТЭЦ-1// Энергетик, 2000, №2. – С. 8 – 11.

Рукопис подано до редакції 13.02.14

УДК 681.5.015: 622.7–52

В.Б. ХОЦКІНА, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

КОМПЛЕКСНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ З СИНХРОНІЗАЦІЄЮ ПОТОКІВ ДАНИХ

Розроблено методику синхронізації даних, що надходять у підсистему інформаційного забезпечення інтелектуальної системи управління виробничим процесом збагачувальної фабрики з введенням параметрів технологічних вимог до кінцевого продукту.

У процесі модернізації українських гірничо-збагачувальних комбінатів на стратегічному періоді до 2030 року, по-перше, технічні рішення повинні віддзеркалювати сучасний рівень збагачувальної техніки і технологій [1], а по друге, - системи автоматизованого управління виробництвом концентрату в умовах зміни портфеля замовлень металургійних заводів повинні проектуватися на базі інтелектуальних комп'ютерних систем нового покоління [2], побудованих на принципах самоорганізації [3], характерних для поведінки живих систем [4].

Справа в тому, що процеси виробництва конкурентоспроможного залізородного концентрату з масовою часткою заліза як до 68,3%, так і більше 68,3% на підприємствах Групи «Метінвест» протікають в умовах збурених впливів сирової руди, що надходить на збагачувальну фабрику. Така ситуація призводить до погіршення якості концентрату через часові зміни рівня флуктацій таких параметрів, як: крупність, типи руди, вміст окислів заліза та SiO₂, фізико-механічні властивості, стан механічного обладнання, систем контролю, професіоналізм персоналу та ефективність роботи автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП) збагачувальних фабрик [5].

З метою стабілізації якісних показників концентрату, який надходить на фабрики огрудкування (ПАТ «ЦГЗК», ПАТ «Півн ГЗК») або на виробництво агломерату (ВАТ «Півд ГЗК»), а також збільшення продуктивності збагачувального виробництва концентрату сучасні АСУТП повинні чітко корегувати хід процесу трьохстадійного збагачення руди в залежності від стану процесу і зовнішніх збурених впливів [6]. Відомо, що процес збагачення характеризується множиною таких вимірюваних параметрів: продуктивність технологічних ліній, вміст магнітного заліза в сирій руді, її крупність, щільність пульпи, гранулометричний склад подрібненого в млинах продукту – вміст готового класу -0,056мм, що надходить на сепарацію, витрати електроенергії, води тощо. Десятки параметрів характеризують процеси збагачення другої та тре-

твої стадій подрібнення і класифікації, роботу кульових млинів, гідроциклонів, сепараторів та дешламаторів. У процесі оперативного управління технологічними секціями збагачувальної фабрики оператор-диспетчер використовує інформацію, що надходить від хімічної та рудозбагачувальної лабораторій про хімічний склад концентрату (із запізненням 1–1,5 години), текстурні характеристики сирової руди, вологість концентрату, портфельні завдання фабрики огрудкування, інших споживачів продукції [7], [8] корпоративних підприємств Групи «Метінвест».

Отже, у процесі проектування сучасних інтелектуальних систем управління збагачувальною фабрикою (ІСУЗФ) виникає ряд проблем, пов'язаних із синхронізацією даних, одержаних в різні часові інтервали, ефективністю алгоритмів і моделей діагностики, врахуванням «якості» даних, часу запізнення, побудови діалогових систем, в яких інтегруються функції автоматичних систем і людини-оператора у взаємодії.

Постановка завдання. Серед науковців, що внесли суттєвий вклад у розв'язання проблеми розробки адаптивних та інтелектуальних систем управління, діагностики та оптимізації складними технологічними процесами, слід відмітити праці російських вчених К.О. Пупкова, М.Д. Егупова, О.І. Баркіна [9], В.І. Городецького [10], [11], українських вчених М.З. Згуровського [12], І.Б. Сироджі [13], В.П. Хорольського [14], Є.В. Кочури [15], В.С. Моркуна [16], А.І. Купіна [17], В.І. Корнієнка [18], В.П. Щокіна [19].

Водночас у процесі розробки інтелектуальних (експертних) систем управління складними технологічними процесами збагачення руд і їх корекції за допомогою швидкодіючих моделей мереж Петрі [20] виникає ряд нових малодосліджених аспектів при побудові алгоритмів управління технологічною секцією та трьома її стадіями збагачення для персоналу з різним рівнем кваліфікації. Серед них - підтримка і використання знань людини-оператора в процесі донавчання моделей управління, рішення задач оцінки діагностики стану технологічних апаратів, оптимізація стадій технологічних секцій, а також паралельне узгоджене управління секціями в реальному масштабі часу на основі імітаційних моделей причинно-наслідкових зв'язків відхилень основних характеристик процесу від заданого. Проблемними залишаються питання синхронізації потоків даних в інтелектуальних системах управління збагачувальними фабриками.

Метою статті є подальший розвиток теорії автоматизованого інтелектуального управління складними технологічними процесами збагачення магнетитових кварцитів, в яких виконується синхронізація даних, що надходять із різних джерел утворення інформації.

Викладення основного матеріалу. Під інтелектуальною системою управління складним технологічним процесом збагачення магнетитових кварцитів розумітимемо об'єднану інформаційним процесом сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, працюючих у взаємозв'язку з людиною-оператором, яка може на основі бази даних, бази знань і правил-продукції синтезувати оптимальне управління технологічних секцій, їх діагностику та оптимізацію виробництва концентрату заданої якості.

В технологічному аспекті обчислювальні частини інтелектуальних систем повинні вміти гнучко обробляти інформацію про хід технологічного процесу збагачення руди, характеристик розкриття магнетитового зерна класу $-0,056\text{мм}$, вихідних характеристик промпродукту, концентрату та втрат магнетиту в хвостах, як за допомогою датчиків так і інформації одержаної оператором від технологічного персоналу і хімлабораторій. Виникає проблема синхронізації даних, одержаних із різних джерел інформації. Розроблена Городецьким В.І. теорія самоорганізації і багатоагентних систем дозволяє значно збільшити ефективність технології обробки інформації шляхом малозв'язаних обчислювачів-агентів, що дозволяють вирішувати задачі, які не під силу жодному окремому обчислювачу [10], [11]. Основні теоретичні положення наукових праць В.І. Городецького використані С.В. Ендіяровим, С.С. Головіним [21] в управлінні процесами виробництва залізорудного агломерату для синхронізації потоків даних в інтелектуальних багатоагентних системах. На їх думку, багатоагентська система управління будується як множина автономних агентів, взаємодіючих на мові високого рівня, які можуть розуміти і оцінювати виробничу ситуацію, приймати рішення в реальному часі і донавчатись на основі зворотних зв'язків і нової інформації про технологічний процес. Такі багатоагентні системи можуть вирішувати погано структуровані задачі високої складності - управління якістю концентрату в умовах обмеженої інформації за рахунок інтуїтивно побудованої бази даних і бази знань персоналу збагачувальних фабрик.

Під агентом розуміють автономну комп'ютерну програму, яка знаходиться в певному середовищі, яка виконує функції інтеграції багатофакторної, складної з перехресними зв'язками інформа-

ції, в якій є невизначеність і одержання в потрібний час необхідного оператору рішення. Кожний агент має деяке число станів $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$. Цим станам відповідають n -видів технологічних (виробничих) ситуацій поведінки (стану) технологічного процесу збагачення. Поведінку агента представимо у вигляді дискретної математичної моделі виду

$$S = \{\bar{B}, \bar{X}, \bar{Y}, \delta, \lambda, b_1\} \quad (1)$$

де $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ - множина станів (алфавіт станів); $\bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k\}$ - множина вхідних сигналів (вхідний алфавіт); $\bar{Y} = \{\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_p\}$ - множина вихідних сигналів (вихідний алфавіт); δ - функція переходів, яка реалізує відображення множини виду

$K_\delta \subseteq B \times XBA$, ($b_s = \delta(b_m, x_f), b_m \in B$); λ - функція переходів, яка реалізує відображення множини виду: $K_\lambda \subseteq B \times X$ на Y , ($Y_q = \delta(b_m, x_f), b_m \in B$); $b_1 \in B$ - початковий стан, в якому знаходиться агент. При цьому, якщо агент знаходиться в стані $b_i, i = 1, \dots, m$ на його входи надходять сигнали $\bar{X}_k, k = 1, \dots, f$, то агент переходить в стан $b_j, j = 1, \dots, m$ та видає сигнал виду: $b_l, l = 1, \dots, q$.

Програмний агент може мати, наприклад, декілька входів, що являє паралельну поведінку оброблення вхідних повідомлень про виконання виробничого процесу збагачення руд. У конкретний момент часу t агент знаходиться в одному зі станів $b(t) \in B$. При $t=0$ агент завжди знаходиться в стані $B(0) = b_1$.

Якщо агент знаходиться в момент t в стані $b(t)$, то він може сприймати на вході сигнал $\bar{X}(t) = \bar{X}$ і видавати на виході сигнал $Y(t) \in \lambda[b(t), x(t)], b(t) \in B, x(t) \in X, y(t) \in \bar{Y}$, переходячи в новий стан $b(t+1) = \delta[b(t), x(t)], b(t) \in B, x(t) \in X$.

Отже, агент реалізує відображення множини слів вхідного алфавіту $x(t) \in X$ у множину слів вихідного алфавіту $y(t) \in Y$, а тому він може бути описаним без використання поняття «стан» як функції, яка віддзеркалює множину слів вхідного алфавіту у множину слів вихідного, $Y = f(B, X)$.

В інтелектуальній системі управління технологічною секцією (групою технологічних секцій) збагачувальної фабрики ПАТ «ЦГЗК» [22] в інформаційній підсистемі агент I_δ , що займається синхронізацією інформації, може бути описаний так

$$I_\delta = \{B, X, Y, \delta, \lambda, b_0\}, \quad (2)$$

де $B = \{b_0, b_1, b_2\}$, де b_0 - очікування запиту; b_1 - очікування даних; b_2 - очікування синхронізації даних; $X = (x_0)$; x_0 - запит на синхронізацію даних для агента I_δ ; $Y = \{y_0, y_1, y_2\}$, де y_0 - синхронізовані змінні; y_1 - помилка синхронізації даних; y_2 - помилка обробки запиту.

Для умов інтелектуальної системи управління процесом збагачення пісків (ПАТ «ЦГЗК»), коли частина інформації надходить до оператора у вигляді сигналів із різними запізненнями команд від технологічного персоналу і топ-менеджерів щодо термінів виконання замовлення характеристик концентрату, що надходить на фабрику огрудкування, подібну ситуацію стану об'єкта будемо описувати множиною атрибутів (синхронізованих параметрів).

Множину, що є атрибутом значень будемо називати її доменом. Тоді всі екземпляри об'єкту матимуть типовий опис виду: $O \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$, де n - число атрибутів об'єкту O ; D_i - домен атрибуту $i, i=1, \dots, n$. Об'єкт можна подати у вигляді таблиці, рядками якої є множина упорядкованих кортежів $(d_1(x), d_2(x), \dots, d_n(x))$, таких, що

$$d_1(x) \in D_1, d_2(x) \in D_2, \dots, d_n(x) \in D_n, \quad (3)$$

де x - номер кортежу.

Нехай на вхід агента надходить множина, яка має вигляд

$$\xi = \{\xi_1^M\}, \xi_1^M \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_M \subseteq O \quad (4)$$

Для рішення задачі синхронізації уявимо вхідну множину ξ наступним чином

$$\xi = \{\xi_0^i, \xi_1^j, \dots, \xi_p^x\}, \xi_j^m \subseteq \xi_j^M \quad (5)$$

де ξ_j^m - множина, елементи якої представляють собою кортежі виду $(d_1(x), d_2(x), \dots, d_m(x))$.

Припускаємо, що підмножина елементів $d^* = \{d_0, d_b, \dots, d_k\}$ множини ξ_j^m є унікальним ідентифікатором кортежу, який не залежить від порядкового номера кортежу x , і може бути використана для синхронізації вхідного-вихідного набору даних. Тоді задачу синхронізації даних, що надходять до системи інтелектуального управління процесом збагачення зведено до пошуку таких множин $\xi_j^m \in \xi$, які складаються із «синхронізованих» кортежів $(d_1(x), d_2(x), \dots, d_m(x))$, що мінімізують функцію

$$F(\xi_j^m \in \xi) = \sum_{x=li=1}^M \sum_{i=1}^m |d_i(x) - d_{i+1}(x)| = \sum_{x=li=1}^M \sum_{i=1}^m y_i \quad (6)$$

Для будь-якої множини $T_j^m \in \xi$, яка має стільки ж «синхронізованих» кортежів, що і множина $\xi_j^m \in \xi$, виконується умова

$$F(\xi_j^m \in \xi) \leq F(T_j^m \in \xi) \quad (7)$$

Рішення задачі синхронізації в нашому випадку зведено до мінімізації функції $F \xi_j^m \in \xi$ для елементів $\xi_j^l \in \xi$. Результатом рішення є набір синхронізованих даних ξ^* розмірністю $m \times T$

$$\xi^* = \{\Omega_l^T\}, \quad \Omega_l \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_M \subseteq O, \quad |\xi_l^T| = m \quad (8)$$

Одержані рішення ξ^* передаються агентом синхронізації S_ξ відповідним агентам до підсистеми інформації ІСУ ЗФ, які реалізують алгоритми завантаження кульового млина другої стадії збагачення, моделі діагностики роботи гідроциклонів $\varnothing 710$ мм другої і третьої стадій збагачення, магнітних сепараторів п'ятої стадії збагачення та дешламаторів.

З використанням багатоагентної самоорганізуючої системи будується система прогнозування загального заліза в концентраті технологічних секцій № 11-14, які працюють з фабрикою огрудкування на годину вперед

$$Fe_{заг}^{прогн} = \sum_{k=1}^n \varpi_i(t_{k-1}) S_i(t_{k-1}), \quad (9)$$

де $Fe_{заг}^{прогн}$ - прогнозне значення загального заліза в концентраті; $S_i(t)$ - зміна параметра загального заліза на вході декламатора; i - індекс агента i -го датчика контролю рівня магнітного заліза в декламаторі; $\omega_i(t_{k-1})$ - ваговий коефіцієнт з яким величина $S_i(t_{k-1})$ в момент t_{k-1} враховуватиметься в функції прогнозу, яка обчислюється агентом A_j^x , що знаходиться в хімлабораторії.

Прогноз параметра $Fe_{заг}^{прогн}$ обчислюється як зважена сума грубих вимірів сенсорів на момент t_{k-1} , при чому в сумі враховуються лише ті із них, які мають позитивну вагу.

Самоорганізація на рівні агентів-датчиків полягає в уточненні ваги $\omega_i(t_k)$, причому необхідність уточнення детектується за допомогою агента A_j .

Отже, використаний апарат багатоагентних систем дозволяє в межах єдиної системи синхронізації даних, які одержані з різних джерел, враховувати дискретизацію даних, при цьому враховуються особливості технологій збагачення руд, які надходять із різних кар'єрів і ш. Орджонікідзе і внутрішнього портфеля замовлення фабрики огрудкування до концентрату з масовою часткою заліза не менше 68,3 % і вологою не більше 10 %.

Висновки. Розв'язана актуальна задача синхронізації даних різної природи, що надходять до підсистеми інформації інтелектуальної системи управління збагачувальною фабрикою ПАТ «ЦГЗК», технологічні секції якої виконують внутрішнє замовлення на високоякісний концентрат, що надходить на огрудкування з параметрами не менше 68,3 % масової частки заліза і вологи не більше 10%.

Список літератури

1. Баранов В. Ф. Современные тенденции в технологии переработки магнетитовых железных руд. Основные направления / В. Ф. Баранов, Н. А. Патковская, Т. И. Тасина // Обогащение руд, 2013. – № 3. – С. 10 – 16.

2. **Хорольський В. П.** Інтелектуальна система керування технологічним комплексом збагачення залізних руд / **В. П. Хорольський, В. Б. Хоцкіна, Т. В. Хорольська** // Гірничі електромеханіка і автоматика: Наук. – техн. зб. – 2013. – Вип. 91 – С. 71–78.
3. **Николис Г.** Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / **Николис Г., Пригожин И.** – М. : Мир, 1979, 512 с.
4. **Афанасьев В. Г.** Мир живого : системность, эволюция и управление. – М. : Политиздат, 1986 – 320 с.
5. **Хоцкіна В. Б.** Автоматизація процесів керування технологічним комплексом збагачення залізних руд з використанням моделей мереж Петрі / **Хоцкіна В. Б.** // Вісник Криворізького національного університету. – 2013. – № 34 – С. 15–18.
6. **Бабець Є. К.** Дослідження інформативності параметрів збагачення руди при побудові інтелектуальних систем управління / **Є. К. Бабець, В. П. Хорольський, В. Б. Хоцкіна** // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг. – 2006. – № 13. – С. 55–59
7. **Хоцкіна В. Б.** Автоматизація процесів керування технологічним комплексом збагачення залізних руд з використанням моделей мереж Петрі : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / **Хоцкіна В. Б.**. – Кривий Ріг, 2012. – 19 с.
8. **Хоцкіна В. Б.** Управление процессами обогащения руд на основе сетевых моделей Петри / **В. Б. Хоцкіна, В. П. Хорольський, Е. К. Бабець** // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 8. – С. 83 – 87.
9. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5-ти т. – [2-е изд. перераб. и доп.] – Т. 5 Методы современной теории автоматического управления ; под ред. **К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова.** – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана Н. Э., 2004. – 784 с.
10. **Городецкий В. И.** Самоорганизация и многоагентные системы. / Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. – № 2 – С. 92–120.
11. **Городецкий В. И.** Самоорганизация и многоагентные системы // Приложение и технология разработки // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – № 3 – С. 102–123.
12. **Згуровский М. З.** Интегрированные системы оптимального управления и проектирования : [учеб. пос.]. – К. : Вища школа. 1990. – 351 с.
13. **Сироджа И. Б.** Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / Сироджа И. Б. – К. : Наук. думка, 2002. – 418 с.
14. **Хорольський В. П.** Інтелектуальна система управління обогатительної фабрики окислених руд / **Хорольський В. П.** // Горний журнал. – 1992. – № 10 – С. 37–41.
15. **Кочура Е. В.** Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энергосбережения : дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук / **Кочура Е. В.** – Днепропетровск. – 1996. – 331 с.
16. **Моркун В. С.** Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами / **В. С. Моркун, А. А. Цокуренько, И. А. Луценко.** – Кривой Рог : Минерал, 2005. – 261 с.
17. **Купін А. І.** Обґрунтування використання технологій штучного інтелекту для управління технологічним процесом збагачення магнетитових кварцитів / **Купін А. І.** // Вісник Криворізького технічного університету. – 2003. - Вип. 1 – С. 51–55.
18. **Корнієнко В. І.** Ієрархічне адаптивне керування процесами рудо підготовки за синергетичним принципом з інтелектуальним прогнозуванням / **Корнієнко В. І.** // Науковий вісник національного гірничого університету. – 2009 – № 11 – С. 61–66.
19. **Щокін В. П.** Інтелектуальні системи керування : аналітичний синтез та методи досліджень / **Щокін В. П.** – Кривий Ріг : ФОП Чернявський, 2010. – 264 с.
20. **Хорольський В. П.** Адаптивна система оцінки режимів роботи першої стадії збагачення руди на основі мережних моделей Петрі / **Хорольський В. П., Хоцкіна В. Б.** // Вісник Криворізького національного університету, 2012 – Вип. 33. – С. 142–145.
21. **Ендияров С. В.** Синхронизация потоков данных в интеллектуальных многоагентных системах управления в черной металлургии / **Ендияров С. В., Головырин С. С.** // Сталь 2013 – № 9 – С. 93–95.
22. **Хоцкіна В. Б.** Інформаційна система інтелектуального керування групою технологічних секцій рудозбагачувальної фабрики / **Хоцкіна В. Б.** // Вісник Криворізького національного університету, 2013 – № 35. – С. 190–197.

Рукопис подано до редакції 29.11.13