

облегчит планирование ремонтных работ по замене аварийных участков трубопроводов. Данные табл. 1 показывают, что все способы по ремонту теплотрасс актуальны [4]. Однако первоочередными необходимыми работами эксперты считают пункты: П1, П2, П4, П7, П8, П10. Выполнение этих пунктов позволит улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизит количество аварийных работ, что в свою очередь, уменьшит их травмоопасность и заболеваемость работников, повысит безопасность труда особенно в осенне-зимний период.

#### Список литературы

1. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. - 2-е изд перераб и доп. - М.: Статистика, 1980.
2. Вчерашний Р.П., Елгаренко Е.А., Давыденко А.А. Использование экспертных методов в информационных исследованиях, М. Информ. 1983.
3. Гольшев А.М., Лосьев К. В. Определение степени травмоопасности основных видов ремонтных и эксплуатационных работ на предприятиях теплоснабжения, Вестник Криворожского технического университета, 2007
4. Лосьев К. В. Установление очередности профилактического ремонта по замене аварийных участков трубопроводов и теплотрасс и влияние их количества на безопасность труда, Вісник КТУ, збірник наукових праць- 2008. Вип № 21. с 183-186
5. СНиП 2.01.01.82 Строительная климатология и геофизика.
6. Аскользин П.А. Предупреждение коррозии оборудования технического водоснабжения и теплоснабжения, под. общей ред. Колотурина Я.М., Москва, Металлургия, 1988.
7. Акоюн К.М. Охрана труда в коммунальной энергетике: справочное пособие, Москва, 1986.
8. Степанский О.П. Проведення аналізу травматизму, професійних захворювань, аварійності умов та безпеки праці і розробка рекомендацій по усуненню причин їх виникнення, збірник НДБПГ, 1997.
9. Панин В.И. Обслуживание коммунальных котельных и тепловых сетей, Москва, Стройиздат, 1974.
10. Онищенко Н.П. Охрана труда при эксплуатации котельных установок, Москва, Стойиздат, 1991.
11. Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж в Україні, Міністерство юстиції України, № 197/13464, 2007р.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.2018

УДК 622.7: 658.562

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

## РОЗРОБКА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРЬОХСТАДІЙНИМ ЗБАГАЧЕННЯМ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ

**Мета.** Метою даної роботи є обґрунтування використання методів нечіткого регулювання і мультиагентного керування для моделювання процесів збагачення залізної руди на ділянці секції збагачувальної фабрики. Складність, інерційність, нестаціонарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між технологічними механізмами обумовлюють застосування вищевказаних методів автоматизованого керування технологічними процесами.

**Методи дослідження.** Проведено аналіз сучасних методів та засобів моделювання процесів роботи технологічних механізмів. Особливу увагу приділено розподілені системам керування та доцільності їх використання у складному технологічному процесі для моделювання зв'язків між стадіями та створення математичної моделі секції збагачення. З метою моделювання роботи окремих стадій збагачення 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 нечіткого регулювання у порівнянні з класичним розподілені керуванням та іншими сучасними методами інтелектуального керування.

**Практична значимість.** Обґрунтовано застосування системи мультиагентного керування для моделювання інформаційних зв'язків між стадіями секції збагачувальної фабрики. Проаналізовано сучасні засоби інтелектуального керування стосовно моделювання роботи окремих технологічних механізмів – засоби нечіткої логіки, штучного інтелекту.

**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 кожною стадією збагачення окремо. Для корекції керуючих впливів залежно від потреб стадій та вимог до отриманої якості кінцевого продукту доцільно застосовувати нечіткі регулятори з підтримкою їх роботи нечіткими базами знань та координуючою нейро-нечіткою мережею.

**Ключові слова.** Збагачення, залізна руда, автоматизація, мультиагентне керування, системний підхід, нечітка логіка.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-32-36

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сьогодні головною метою виробництва є зниження собівартості продукту. Комплексна оптимізація автоматизованого керування, застосування новітніх підходів та сучасного обладнання дозволяють підвищити показник енергоефективності виробництва та його економічні показники.

Фабрика збагачення залізної руди містить у собі різні технологічні механізми, принципи керування якими вимагають потребують знання фізичних умов та особливостей роботи механізмів, різноманітного обладнання та точних обчислень. Крім того, вони перебувають у взаємозв'язку і безпосередньо впливають на взаємну роботу один одного – неефективна робота одного технологічного механізму тягне за собою неефективну роботу наступних механізмів. Аналіз результатів застосування класичних методів автоматизованого керування показав, що у більшості випадків головна увага приділяється керуванню окремими механізмами за прийняття припущення, що інші працюють згідно норми. Керування ділянкою секції збагачувальної фабрики загалом дасть змогу охопити весь процес цілком, проаналізувати технологічні зв'язки між механізмами та їх вплив на загальну роботу секції [1-3].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Для вирішення поставлених задач дослідження процесу збагачення залізної руди загалом необхідно сформувати єдину модель системи керування, яка повинна безперервно визначати і відстежувати характеристики об'єкта управління; обов'язково використання зворотного зв'язку та наявності надійної автоматизованої інформаційної системи [4, 5]. Керування такими системами завжди проходить в умовах принципової невизначеності розвитку і неповної спостережуваності. Побудова формальних моделей для більшості процесів збагачувальної фабрики представляється досить складною.

Дану проблему дозволяє вирішити застосування мультиагентних систем керування (МАС), що враховують взаємодію різних компонент виробництва, що включають технічні та технологічні об'єкти процесу збагачення залізної руди. Однак, збагачувальна промисловість має низку специфічних рис, що обумовлюють складність впровадження формальних методів та моделей керування. Найбільш відмінною рисою є характер виробництва – дискретно-неперервний. Також слід враховувати специфіку самої системи керування, що включає складні функціональні блоки керування окремими технологічними процесами – подрібненням, розділенням, знешламленням, мокрою магнітною сепарацією. Це викликає необхідність здійснення певних класифікацій параметрів функціонування збагачувального підприємства і різних типів агентів для того, щоб коректно підійти до математичних постановок задач. Простими параметрами є ті, які можна знаходити відокремлено. Складні і змінні, відповідно, навпаки.

Згідно [6-9] параметри агентів представляються, або простими, або складними, але можуть бути одночасно як постійними, так і змінними, що обумовлено специфікою збагачувальної фабрики, де більшість процесів не являються детермінованими. І в подальшому можуть описуватися величинами, які можуть бути передбачені, або випадковими. Подібна класифікація показує, що формальні існуючі на сьогоднішній день моделі прогнозу і керування в збагачувальній промисловості не завжди застосовні на підприємстві і виникає необхідність створення принципово нових підходів створення мультиагентних систем [10, 11].

Створення даних елементів МАС уявляється можливим при використанні наступних агентів керування (табл. 1), для яких характерно доцільну поведінку, що припускає наявність у агента цілей функціонування і здібностей використовувати знання про навколишнє середовище, партнерів і про свої можливості.

Згідно зазначених властивостей найоптимальнішим вибором для поставлених задач є агенти розширеного та інтелектуального типів.

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

дає змогу більш коректно давати завдання інтелектуальним агентам керування. Таким чином, нечітке регулювання доповнює роботу мультиагентної системи керування для підвищення швидкодії та точності автоматизованого керування [12-15].

Таблиця 1

Класифікація властивостей агентів, що можуть увійти до МАС, створеної на збагачувальній фабриці

Признак	Тип агента		
	простий	розширений	інтелектуальний
Автономність	+	-	+
Взаємодія з іншими агентами	+	+	+
Реактивність	+	+	+
Здатність використання абстракції	-	+	+
Адаптивна поведінка	-	+	+
Навчання на основі взаємодії з довкіллям	-	-	+
Толерантність до похибок і/або невірних вхідних сигналів	-	-	+
Функціонування в режимі реального часу	-	-	+

**Постановка задачі.** Метою дослідження обрано розробку мультиагентної системи автоматизованого керування ділянкою секції збагачення залізної руди. Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі: проаналізувати вплив зв'язків між механізмами на ділянці секції збагачувальної фабрики на загальний результат їх роботи; обрати сучасні засоби автоматизованого керування, що можуть вирішити поставлені завдання; створити загальну модель системи мультиагентного керування трьохстадійним збагаченням залізної руди з застосуванням обраних методів.

**Викладення матеріалу та результати.** Мультиагентна система має на увазі автономну роботу кожної підсистеми автоматизованого керування окремо при мінімальному втручанні координуючого органу керування. Для застосування даного підходу до автоматизованої системи керування трьох стадійною ділянкою секції збагачення залізної руди було прийнято, що кожна стадія є окремим агентом керування та вирішує власні локальні підзадачі, спрямовані на кінцеву ціль підвищення якості кінцевого продукту. З урахуванням складності вимірювань більшості параметрів роботи технологічних механізмів та оброблюваних ними продуктів запропоновано наступну систему керування, що поєднує у собі концепції мультиагентного керування та нечіткого регулювання (рис. 1).

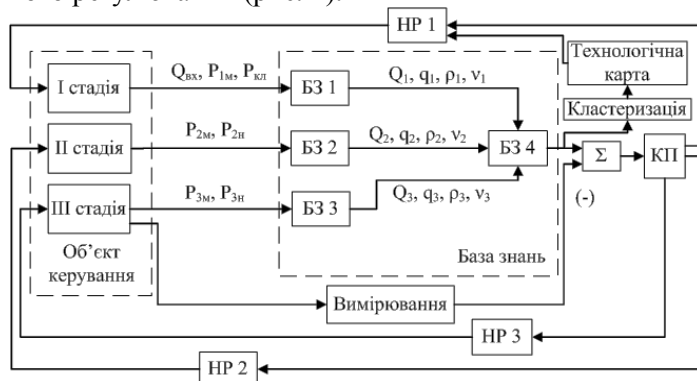


Рис. 1. Загальна схема мультиагентної системи керування трьохстадійним збагаченням залізної руди

На рис. 1 прийнято наступні позначення: НР – нечіткий регулятор; БЗ – база знань; КП – координуючий пристрій;  $Q_{vx}$  – продуктивність живлення;  $P_{kl}$  – потужність двигуна спірального класифікатора;  $P_{1m}, P_{2m}, P_{3m}$  – потужності двигунів відповідно першої, другої та третьої стадій збагачення;  $P_{2n}, P_{3n}$  – потужності насосів гідроциклонів від-

повідно другої та третьої стадій збагачення;  $Q_1, Q_2, Q_3$  – продуктивності за кінцевими продуктами стадій збагачення;  $q_1, q_2, q_3$  – гранулометричний склад кінцевих продуктів стадій збагачення;  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  – густини кінцевих продуктів стадій збагачення;  $v_1, v_2, v_3$  – вміст магнітного заліза кінцевих продуктів стадій збагачення.

Автоматизована система керування працює наступним чином. На першій стадії керування здійснюється вимірювання поточної продуктивності живлення, активної потужності двигунів млину та спірального класифікатора; на другій та третій стадії – активних потужностей двигунів млинів та гідроциклонів. Кожній стадії збагачення відповідає власна нечітка база знань, яка порівнює отриману інформацію згідно бази нечітких правил та на виході дає інформацію по кожній стадії згідно таких параметрів як продуктивність, гранулометричний склад, густина кінцевого продукту та вміст магнітного заліза у ньому. Дані параметри дуже складно виміряти прямим шляхом через надмірну дороговизну вимірюючих механізмів, складність вимірювань та їх низьку точність. Технологія моделювання значень невимірюваних характеристик на прикладі віртуальних аналізаторів (SoftSensors) дає змогу значно зменшити кількість встановлюва-

них датчиків і таким чином є економічно вигідною.

Отримана інформація надходить до загальної бази знань (БЗ4), яка на базі роботи перших двох стадій корегує та уточнює результати роботи третьої кінцевої стадії. Отримана інформація є бажаною характеристикою кінцевого продукту (концентрату) ділянки секції збагачувальної фабрики. Далі реальні результати вимірювань роботи третьої стадії збагачення порівнюються з бажаними і різниця між ними поступає до координуючого пристрою на базі нейро-нечіткої мережі. Він приймає рішення щодо корекції роботи окремих стадій збагачення та сигналізує про це нечітким регуляторам. Згідно власних баз нечітких правил вони вробляють опосередковані керуючі впливи на роботу технологічних механізмів, наприклад, додавання технологічної води до зумпфів гідроциклонів, регулювання частоти обертів млинів та спіралі класифікатора, регулювання завантаження певної кількості гідроциклонів та магнітних сепараторів із їх сукупності в межах однієї стадії.

Дана система дає можливість корекції технологічної карти виробництва. Технологічна карта створюється на базі експертних оцінок і дає інформацію хоч і досить точну, але дискретну з великим періодом дискретизації між оцінками. Збір даних у базах знань дозволить заповнити пробіли у технологічній карті і організувати її самонавчання. Застосовуючи нечітку кластеризацію методом с-середніх на базі даних отриманих з загальної бази знань (БЗ4) можна визначити мінералого-технологічний різновид оброблюваної руди, максимально близький до вже наявних у технологічній карті. При обробці руди, показники якої досить сильно відрізняються від показників вже визначених різновидів або з однаковою долею належать до декількох різновидів, до технологічної карти можна внести нову інформацію зареєструвавши в ній новий різновид усередненої руди, що і складає сутність самонавчання та самоорганізації технологічної карти. Інформація з технологічної карти надходить до нечіткого регулятора першої стадії для більш точного визначення керуючих впливів, так як саме перша стадія відповідає за початкову рудообробку та підготовчі процеси до наступних стадій і саме тут інформація про оброблюваний різновид руди має найбільшу вагу.

Дана система керування відповідає властивостям інтелектуальних агентів керування. Автономність роботи кожної стадії збагачення залізної руди як агенту керування підкріплюється властивістю колегіальності агентів – коли автономна робота кожного спрямована на досягнення загальної мети, а збір даних у базах знань дозволяє реалізувати властивість адаптації до зовнішніх умов та самонавчання.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Проведений аналіз дає змогу стверджувати, що застосування мультиагентного керування значно підвищує точність керування технологічними механізмами збагачувальної фабрики та загалом робить 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 та штучного інтелекту, в цілому підвищує швидкодію та точність керування.

Вдосконалення методу моделювання технологічного процесу на кожній стадії збагачення і зв'язків між ними за рахунок використання властивостей інтелектуальних агентів та нечітких баз знань дозволить підвищити точність керування в умовах нестаціонарності та інерційності процесів збагачувальної фабрики. Можливість самонавчання технологічної карти дає змогу значно спростити керування у майбутньому при досягненні достатньої кількості накопичених знань та даних.

Напрямок подальших досліджень є детальніше дослідження можливостей самонавчання технологічної карти, включення її до системи та налаштування нейрон-нечіткої мережі координуючого пристрою.

#### *Список літератури*

1. **Morkun V.** Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savvitskiy, 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 нейро-нечіткого формування електроспоживання збагачувальними фабриками / В. П. Щокін // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2012. - №60. – С. 47-52.
6. **Gurocak H.B.** Fuzzy rule base optimization of a compliant wristsensor 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. **Spooner 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. **Porkuiian O.** Adaptive control of ore pulp thinning in ball mills with the increase of their productivity / O. Porkuiian// Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 29–31.

13. **Дик И. Г.** Управление характеристиками гидроциклона дополнительным инжектированием 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. Картушин, Л. В. Сорочер, Д. А. Скрипчак. – М. : Недра, 1974. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 504(075.8)

Е. В. ЧАСОВА, канд. хім. наук, доц., О. В. ДЕМЧИШИНА, канд. хім. наук, асист.,  
В.В. БОРИСЕНКО, В.І. ЛИСЕНКО, студенти, Криворізький національний університет

## ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ АНІОННИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

**Постановка завдання.** Поверхнево-активні речовини відносяться до особливої групи органічних забруднювачів навколишнього середовища. Тому контроль змісту ПАР у стічних водах Кривбасу є актуальним. Визначення аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах м. Кривого Рогу проводилось з використанням акридінового жовтого в якості реагента в екстракційно-фотометричному методі.

**Методи дослідження.** Для фотометричного визначення аПАР готували розчин акридінового жовтого (концентрація 0,1 г/дм<sup>3</sup>) розчиненням точної наважки в дистильованій воді. Для побудови градуувального графіку готували розчини аПАР (натрію додецилсульфату) щоденно з вихідного розчину аПАР (концентрація 0,1 г/дм<sup>3</sup>). Всі реактиви мали марку «х.ч» або «ч.д.а.». Рівень рН розчинів контролювали і необхідним чином підбирали, використовуючи рН-метр-мілівольтметр. Оптичну густину водних розчинів, органічних екстрактів градуувальних розчинів та проби води вимірювали на фотоколориметрі КФК-2, у кюветах з товщиною поглинаючого шару 1 см. Квантово-хімічне моделювання проводилось за допомогою неемпіричних методів програми WinGAMES. В якості розрахункового методу був обраний необмежений метод Хартрі-Фока, з використанням DFT – теорії. Для врахування сольватації використовувалася модель поляризаційного континууму.

**Наукова новизна.** Актуальним є використання акридінового жовтого, в якості нового реагента в екстракційно-фотометричному методі. Дослідження властивостей акридінового жовтого. Підтвердження квантово-хімічними розрахунками запропонований хімізм процесу іонізації молекули акридінового жовтого.

**Практична значимість.** Запропонована методика дозволить контролювати вміст аПАР у стічних водах заводськими лабораторіями або лабораторіями очисних споруд.

**Результати.** Підбрано оптимальні умови та визначено вміст аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах з акридіновим барвником. Встановлено вплив рН на водні розчини акридінового жовтого. Виміряна оптична густина органічних екстрактів та водних розчинів органічного барвника при довжині хвилі, яка відповідала максимальному значенню оптичної густини,  $\lambda = 440$  нм. За допомогою градуувального графіка визначено концентрацію, яка знаходиться в межах ГДК, аПАР у досліджуваній воді.

**Ключові слова:** аніонні поверхнево-активні речовини, акридіновий жовтий, екстракти.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-36-39

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Гірничозбагачувальні комбінати – це великі промислові підприємства інтенсивного видобутку та переробки корисних копалин. В результаті технологічних процесів, пов'язаних з переробкою та збагаченням корисних копалин, крім отримання корисних продуктів відбувається забруднення навколишнього середовища. Одним із джерел попадання небезпечних речовин у навколишнє середовище є стічні води. Такими забруднюючими речовинами стічних вод є важкі метали та поверхнево-активні речовини. Можливість потрапляння таких речовин у природні води з промисловими та побутовими стічними водами є однією з суттєвих загроз екологічного стану навколишнього середовища.