

В. С. Моркун, О. І. Савицький, М. А. Тимошенко
ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
кафедра комп'ютерних систем та мереж
кафедра інформатики, автоматички та систем управління

МУЛЬТИАГЕНТНЕ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ CPS РОЗПОДІЛЕНОЮ СИСТЕМОЮ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

© Моркун В.С., Савицький О.І., Тимошенко М.А., 2016

У роботі представлено опис роботи розподіленої системи керування збагачувальним комплексом, що складається з трьох стадій. Увагу приділено інноваційним методам мультиагентного керування, як однієї з концепцій кіберфізичних систем, для покращення зв'язку між обладнанням різних стадій збагачення та їх злагодженої роботи.

The paper presents a description of a distributed control system of processing complex, consisting of three stages. The attention is paid to innovative methods of multi-agent control as one of the CPS concepts to improve communication between the different stages of enrichment equipment and their teamwork.

З урахуванням напрямків розвитку сучасного світового ринку основною ціллю направленості виробництва являється зниження собівартості продукту. Ця ціль досягається за допомогою комплексної оптимізації виробничих процесів на основі введення сучасних технологій. Саме підвищення якості автоматизації промислових технологічних процесів являється основним шляхом у вирішенні питання енергоефективності виробництва.

Збагачувальний комплекс містить у собі багато технологічних агрегатів, що здійснюють різні операції та відрізняються за конструкцією, і тому відповідно вимагають застосування різних підходів при побудові та реалізації систем керування. Крім того, збагачувальні апарати перебувають у взаємозв'язку і безпосередньо впливають на роботу один одного; вимагають застосування багатьох вимірювальних приладів, що фіксують величини різної фізичної природи, що призводить до збільшення потрібних розрахункових потужностей [1, 2].

Вказаних складностей можна уникнути, застосовуючи розподілене керування. Розглядаючи комплекс збагачення залізної руди як одну велику децентралізовану систему розподілених механізмів, можна синтезувати системи керування кожним механізмом кожної стадії окремо, що знаходяться у постійному взаємозв'язку. Даний підхід дає можливість підвищити швидкодію та знизити загрузку на загальну систему і зменшити вимоги до розрахункових потужностей виконавчої системи [3].

Проте розподілене керування має свої власні недоліки, найголовнішим з яких є наявність певного «командного центру». Хоча механізми і працюють незалежно один від одного при розподіленому керуванні, все ж є наявний центр, який оброблює усі отримані дані, необхідні для регулювання взаємодії між керованими механізмами і у ньому зосереджені значні розрахункові ресурси. У випадку виходу з ладу центра керування, об'єкти системи будуть не спроможні взаємодіяти.

Вказаного недоліку дозволяє уникнути мультиагентне керування (МАК). Мультиагентне керування являється однією з провідних концепцій четвертої науково-технічної революції, інформаційної (Industry 4.0). Воно має на увазі повну децентралізацію керування,

відсутність деякої головної системи і вільну роботу кожної системи керування (агента) технологічними механізмами належно одна від одної. Однак, при цьому агенти гармонійно взаємодіють та обмінюються інформацією між собою. Основною відмінністю підходу, що базується на принципах колективного мультиагентного керування, являється відносно низька розрахункова складність реалізуючи його алгоритмів, що дозволяє швидко приймати якщо не оптимальні, то близькі до них рішення в умовах динамічно змінюваної ситуації.

На рис. 1 і 2 зображено розглянуту технологічну схему процесу трьохстадійного подрібнення залізної руди та представлення зв'язків між технологічними агрегатами, як між агентами МАК. Зв'язок між агентами на рис. 2 відбувається по бездротовим мережам, так як прокладення кабелів на значні дистанції в умовах важкого виробництва та забезпечення їх надійної роботи є досить складною задачею. Лише на перших стадіях, які знаходяться найближче до диспетчерської, є також зв'язок по промислового протоколу Ethernet, який забезпечує високу швидкість передачі даних. Кожному технологічному механізму поставлений у відповідність власний агент, що має власну систему керування (рис. 2). Однак, у першій стадії класифікація відбувається не за допомогою гідроциклону, а з застосуванням спірального класифікатора. Так як він не являється досить складним механізмом і не потребує значних затрат на керування, то його разом з мокрим магнітним сепаратором першої стадії можна у сукупності вважати одним агентом.

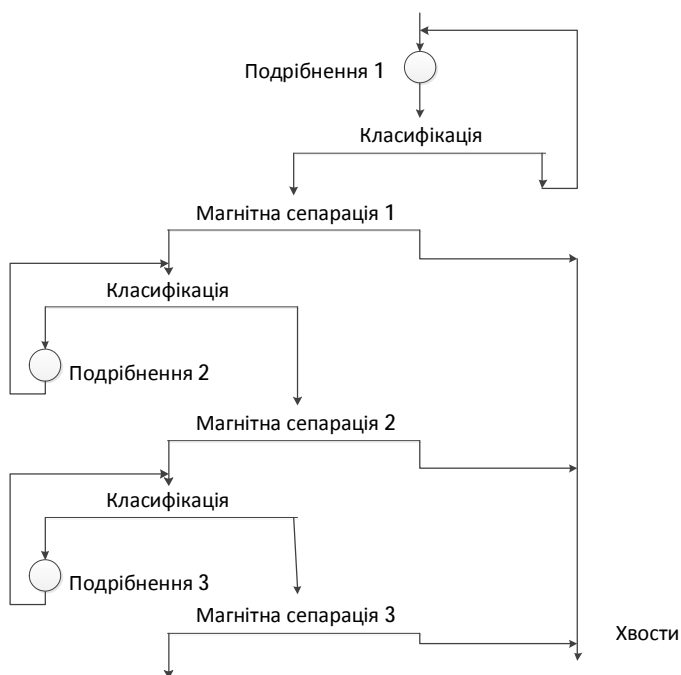


Рис. 1. Технологічна схема процесу трьохстадійного збагачення залізної руди

Рис. 3 являється більш розширеною схемою, зображеною на рисунку 2 та показує схему мультиагентного керування трьома стадіями збагачення з урахуванням зв'язку між ними та передачу інформаційних сигналів від датчиків до ПЛК. До млина у першій стадії залізна руда потрапляє з живильника. Регулювання кількості руди відбувається керуванням приводом живильника, що здійснюється виконавчим механізмом живильника (Af). Після першої та другої стадій подрібнення здійснюються проміжні заміри густини між стадіями за допомогою густиноміра (ρ). Окрім густини у кінцевому продукті після третьої стадії вимірюються набагато більше необхідних параметрів, таких як крупність подрібненого матеріалу за допомогою гранулометра (GM), вміст корисного компоненту (магнітного заліза), що фіксується датчиком, позначеним на рисунку як (%), та продуктивності за водою

та за пульпою загалом (відповідно витратоміри Q_w та Q_p). Кожна стадія має власний ПЛК, що збирає дані, та надсилає їх до ПК на обробку. На основі отриманих даних алгоритм розраховує керуючий вплив та подає його на виконавчі механізми (A1, A2 та A3), які, у свою чергу, регулюють подачу додаткової води у млини. Вважаючи, що у зумпфах гідроциклонів постійно підтримується оптимальний рівень, ми можемо керувати не тільки подачею додаткової води, а й контролювати подачу пульпи. Тому формуються ще три керуючих впливи, які прикладаються до насосів гідроциклонів (P1, P2 та P3). Також відбувається керування сепараторами на основі механізмів Rs. Одночасно відбувається візуалізація у SCADA-системі на основі даних, розрахованих у ПК.

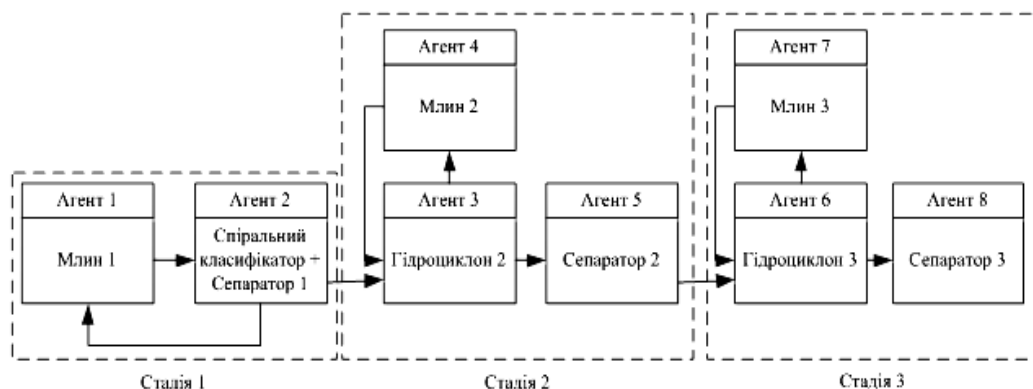


Рис. 2. Представлення зв'язків між агентами керування

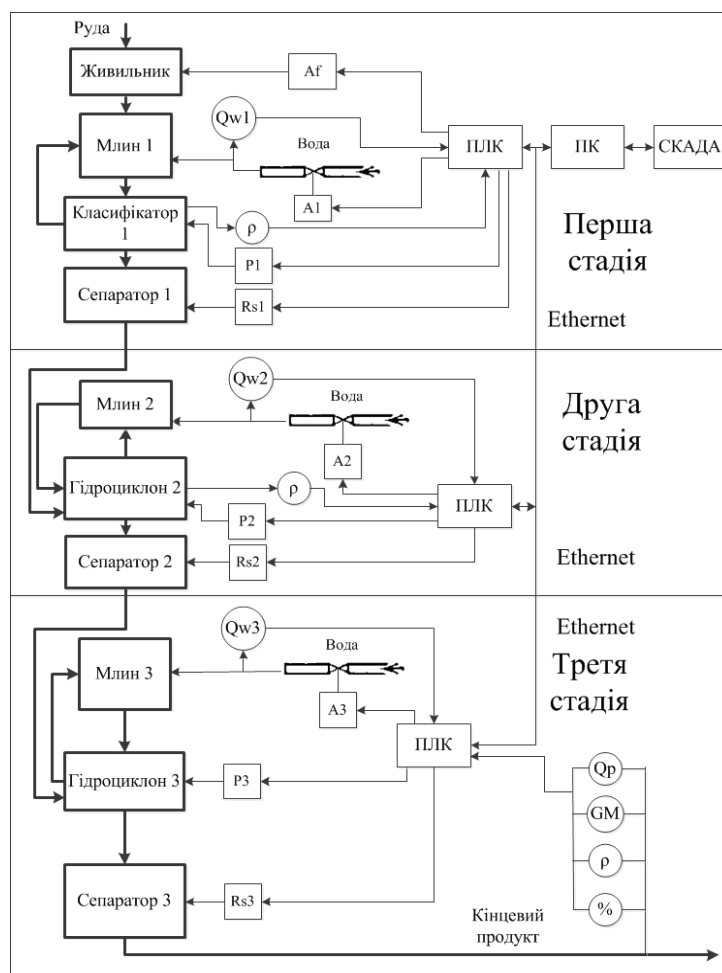


Рис. 3. Схема керування трьома стадіями збагачення

Раніше [4] була розглянута система керування збагачувальним процесом на основі застосування засобів нечіткої логіки. Розглянемо окремо процеси розділення у гідроциклоні другої стадії.

При ефективній роботі системи керування гідроциклоном оптимізуються якісні та кількісні параметри потоків зі зниженням собівартості концентрату у цілому. Регулювання гідроциклону направлено на досягнення двох цілей: кількісної (продуктивність за готовим продуктом) і якісної (ефективність розділення і гранулометричний склад). Гідроциклон не слід розглядати окремо від зумпфа, пов'язаного з попередньою стадією подрібнення, і це також збільшує кількість розглядуваних параметрів при керуванні технологічним механізмом. Система автоматизованого керування складного об'єкта повинна створюватися на основі алгоритмів, які не потребують детальної попередньої інформації про об'єкт керування [9-12].

Саме складність складення математичної моделі гідроциклону і обумовлює застосування сучасних інтелектуальних засобів, у тому числі засобів нечіткої логіки.

У технологічних схемах збагачувальних фабрик, у другій стадії, зазвичай застосовують декілька гідроциклонів (кожний зі своїм приводом). Ми будемо вважати, що інші гідроциклони завантажуються повністю, згідно проектних норм, і коливання продуктивності стадії відбувається тільки у межах одного гідроциклону.

У загальному вигляді агент представляється у вигляді кортежа [15]:

$$A = \langle G, S, A, \theta, \varphi \rangle, \quad (1)$$

де G – цільова функція, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ – набір параметрів стану, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – набір дій, θ – база знань, φ – оператор.

Основою керування являється підтримання співвідношення продуктивностей за зливом і за пісками на певному рівні. Тому для гідроциклонна другої стадії цільовою функцією G буде критерій

$$K = Q_{of} / Q_{uf}; \rho_{of} \leq \rho_{of.n}; \rho_{uf} \geq \rho_{uf.n} \quad (2)$$

Параметрами стану будуть значення густин зливу та пісків, продуктивності за зливом і за піском, рівень пульпи у зумпфі та тиск, створюваний насосом гідроциклону. Набір дій складатиметься з регулюючих впливів, а саме керування швидкості обертання двигуна насоса гідроциклону та додавання технологічної води у зумпф. База знань міститиме у собі досвід попереднього керування та технологічну карту різновидів руди, щоб підлаштуватися під певні види залізної руди.

При адаптивному підході до побудови нечітких систем керування налаштування блоків логічного нечіткого виводу здійснюється не тільки у процесі проектування, але і під час нормальної експлуатації системи, паралельно з процесом керування об'єктом. Адаптивні системи дозволяють здійснювати більш якісне керування складними, як у нашому випадку, нестаціонарними об'єктами порівняно зі звичайними системами.

Запропонована система керування виглядає, як показано на рис. 4. Тут розглянуто гідроциклон другої стадії збагачення як окремий агент керування, який одночасно пов'язаний з іншими механізмами другої стадії, та механізмами попередньої та наступної стадій.

На рис. 4 прийняті наступні позначення: ПЧ – перетворювач частоти двигуна; Н – насос; ГЦ – гідроциклон; НМ – нечіткі мережі; V-1 – клапан.

У схемі на рис. 4 використовуються контролери оберненого зв'язку, виконані на нечітких мережах НМ1 і НМ3, що навчаються через ідентифікатор НМ2. Навчання через ідентифікатор, а не безпосередньо на об'єкті, необхідно, щоб «не заважати» нормальному функціонуванню об'єкта пробними впливами, що використовуються для навчання [16]. До недоліків схеми можна віднести високі вимоги до розрахункових ресурсів.

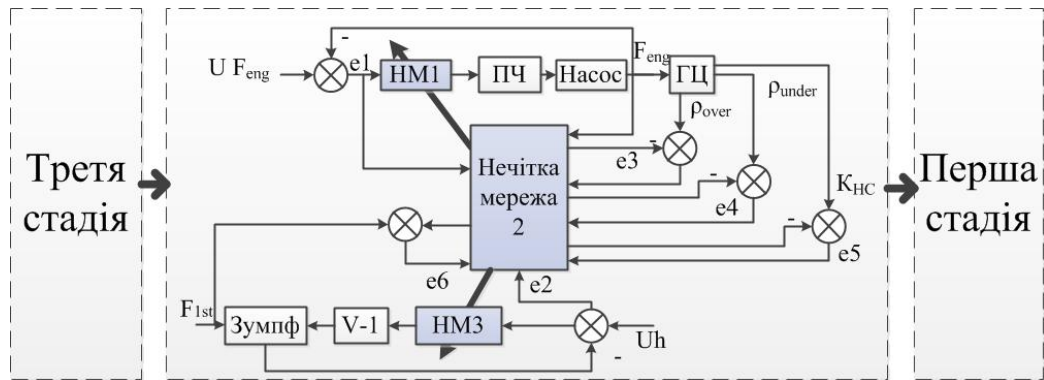


Рис. 4. Структурна схема системи з розгорнутою підсистемою – агентом керування гідроциклоном другої стадії при невизначених параметрах

НМ1 на основі сигналу похибки e_1 , отриманої із розбіжності задаючого сигналу $U F_{eng}$ і сигналу двигуна F_{eng} , виробляє керуючий вплив на ПЧ. Сигнал завдання рівня пульпи у зумпфі U_h разом з реально отриманим сигналом h дають похибку e_2 , що поступає на НМ3, яка керує клапаном V-1 і, відповідно, подачею технологічної води у зумпф. Рівень пульпи у зумпфі регулюється також у відповідності з продуктивністю попередньої першої стадії F_{1st} . Похибки розбіжності e_3 , e_4 і e_5 , отримані як різниця задаючих впливів та вимірних на виходах гідроциклону параметрів густин за пісками і за зливом (ρ_{uf} і ρ_{of}) і коефіцієнту співвідношення продуктивностей за зливом і за пісками (K_{HC}) також надходять на НМ2, як і раніше розглянуті e_1 , e_2 і e_6 . На основі сигналів похибок НМ2 навчає НМ1 і НМ3 і відправляє сигнал на НМ першої стадії (на рис. 2 жирні лінії). Запропонована схема керування гідроциклоном другої стадії збагачення дозволяє підвищити ефективність розділення, підвищуючи густину на його виході за рахунок регулювання швидкості подачі вхідного матеріалу до гідроциклону при підтримці постійного рівня пульпи у зумпфі гідроциклону. Через коливання характеристик вхідного потоку пульпи найбільш прийнятною системою керування являється система з нечітким алгоритмом.

Таким чином і виявляється мультиагентне керування. Виступаючи як окремих агент, друга стадія взаємопов'язана з сусідніми агентами – першою та третьою стадіями збагачення залізної руди. До другої стадії надходить замовлення на вироблення продукту певної кількості та визначеної якості з наступної, третьої стадії. Тоді як, у свою чергу, друга стадія надсилає аналогічний сигнал з вимогами до попередньої першої стадії.

Мультиагентне керування дозволяє враховувати вимоги, що висуває наступна, третя стадія збагачення до якості та об'ємів розділеного продукту і відповідно регулювати процес розділення пульпи у гідроциклоні і, при цьому, задавати власні вимоги до продукту з попередньої, першої стадії. При досягненні екстремальних значень регульованих параметрів другої стадії, виробляється коригувальний сигнал на параметри пульпи, що подається з першої стадії збагачення. Мультиагентне керування дозволяє зробити це без перешкоджання нормальній роботі системи і забезпечує автономність кожної системи керування механізмами збагачувальної фабрики.

Напрямами подальших досліджень являється удосконалення зв'язків з механізмами попередніх та наступних агентів та розробки алгоритмів взаємодії агентів усієї секції збагачення та фабрики у цілому.

1. Богданов О.С. Справочник по обогащению руд. Том 4. Обогажительные фабрики / Под ред. О. С. Богданова, 2-е изд., перераб и доп. – М.: Недра, 1984. – 360 с. 1 Клышинский, Э.С. Агентные

системы: классификация и применение [Текст] / Э.С. Клышинский // САПР и графика, № 8.- 1999.- С. 90-96.3. Хан А. Г. Автоматизация обогатительных фабрик / А. Г. Хан, В. П. Кармушин, Л. В. Сорочер, Д. А. Скрипчак. – М.: Недра, 1974. – 280 с.4. Morkun V. Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savytskyi, M. Tymoshenko. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №8. – P. 22–25.5. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М., «Недра», 1978, 232 с.6. Liudmyla Yefimenko, Mykhailo Tykhanskyi. Information systems in the technological processes automatic control development by technical condition criterion. Metallurgical and Mining Industry, 2015, No1, p.p. 28 – 31.7. Bass L. Contribution to the theory of grinding processes / L. Bass, Z. Angew / Math. Phys. – 1954 – no 5. – pp. 283 –292.8. 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. 129-142.9. Gurocak H.B. Fuzzy rule base optimization of a compliant wrist sensor for robotics // J. Robotic Systems. 1996. № 13. P. 475-487. 10. Wang L.-X. Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems // IEEE Trans. Fuzzy Systems 1993. № 1 (2). P 146–155. 11. Spooner J.T., Passino K.M. Stable adaptive control using fuzzy systems and neural networks // IEEE Trans. Fuzzy Systems. 1996. № 4 (3). P. 339–359.12. Schubert. H. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. – Leipzig, 1967, Bd. 11, p. 472.13. Sbarbaro D. Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p. 14. Мезенцев К.Н. Расчет Мультиагентное моделирование в среде NetLogo / К.Н. Мезенцев //Автоматизация и управление в технических системах (АУТС). – 2015. – №1. – С. 10-20.15. Беззубова Ю.О. Мультиагентное управление распределенными информационными потоками / Ю.О. Беззубова // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – №9. – 113-119 С.16. Усков А.А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2004. № 6. С. 7-13.