

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ  
ПРОЦЕСАМИ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ**

*Анотація.* Збагачення являється комплексним складним процесом та націлене на досягнення трьох різних цілей – підвищення продуктивності, підвищення якості кінцевого продукту та зниження енергозатрат. Для досягнення корисно застосовувати до збагачувального комплексу мультиагентне керування, що дозволить розглядати кожен його механізм окремо у контексті роботи загальної системи. Доцільне використання сучасних інтелектуальних засобів автоматизованого керування – оптимальне та адаптивне керування, засоби штучного інтелекту, нечіткої логіки, генетичні алгоритми, гібридні моделі. Критичний огляд проведених досліджень показав, що дослідники звертають увагу на окремі механізми, не беручи до уваги комплекс збагачення у цілому. Подальші дослідження передбачають більш глибоке дослідження зв'язку між механізмами різних стадій подрібнення та розробку відповідної автоматизованої системи керування.

*Ключові слова.* Автоматизація, збагачення, мультиагентне керування, нечітка логіка, системний підхід.

**Проблема та її зв'язок за науковими і практичними завданнями**

Процес збагачення залізної руди є досить енергоємним та складним. Забезпечення достатньої конкурентоспроможності кінцевого продукту порівняно з виробництвом інших країн світу, зменшення собівартості продукції шляхом зниження затрат на електроенергію та зменшення втрат корисного компоненту у хвостах та підвищення його якості обґрунтують актуальність дослідженого питання.

Під час аналізу існуючих досліджень у сфері автоматизованого керування процесом збагачення залізної руди, було отримано висновки, що в основному дослідники звертають увагу на певні окремі механізми, оптимізуючи лише частково їх роботу і не беручи до уваги загальну систему в цілому.

Найбільша кількість робіт присвячена подрібненню залізної руди, а особливо млину першої стадії подрібнення. Це обумовлено тим, що перша стадія подрібнення є стадією рудопідготовки, вона споживає найбільше енергії (необхідні великі потужності, щоб подрібнювати великі шматки руди) та саме тут відбуваються найбільші втрати корисного компоненту у хвостах. Крім того, саме подрібнення у першій стадії визначає подальший перебіг загального процесу збагачення. Загалом процес подрібнення споживає до 70% енергоресурсів гірничозбагачувального комбінату або близько 5% енергоспоживання усього металургійного комплексу.

### **Аналіз досліджень і публікацій**

Питання формування автоматизованого керування об'єктами гірничозбагачувального комбінату досить детально досліджено у працях [1-5, 7, 8]. Проте, більшість вчених досліджувала окремі технологічні механізми без урахування їх впливу на роботу суміжних механізмів та гірничозбагачувального комбінату у цілому. Прикладом повного огляду усього виробництва збагачення руди з точки зору його комплексної автоматизації є роботи [7, 8].

Для керування комплексом виробничих механізмів доцільно використовувати новітній метод мультиагентного управління, як одного із принципів кіберфізичних систем – складової концепції Industry 4.0 [9-10]. При керуванні ж окремими технологічними механізмами слід застосовувати сучасні засоби інтелектуального керування, такі як апарат нечіткої логіки, засоби штучного інтелекту, генетичні алгоритми, оптимальне та адаптивне керування та гіbridні системи. Зокрема, при управлінні технологічними процесами досить добре себе зарекомендували автоматизовані системи керування, побудовані з використанням засобів нечіткої логіки [1, 7, 11-14].

Звертаючи увагу на існуючий досвід у автоматизованому керуванні окремими об'єктами гірничозбагачувального комбінату, можна помітити, що найбільш досліджені є процес подрібнення залізної руди [1, 2]. Найчастіше, це контроль гранулометричного складу, керування оптимальним завантаженням млина рудою та діагностування його роботи з точки зору подовження життєвого циклу обладнання.

Не менше значення, ніж контроль вмісту корисного компоненту та діагностування аварійних ситуацій при роботі обладнання, мають способи вимірювання характеристик оброблюваної руди. Одним,

з найбільш перспективних та розвинутих методів є ультразвуковий контроль. Процеси ультразвукового діагностування пульпи досить детально розглянуто та успішно застосовано у працях [1, 4, 7, 8].

Кондратець В.О. звернув увагу на проблему складності вимірювання більшості параметрів роботи млина та характеристик стану подрібненої руди. Більшість параметрів або дуже складно вимірювати, або взагалі неможливо, тому доводиться нехтувати точністю вимірювання, а отже і керування. На його думку найбільш перспективним параметром для вимірювання є розрідження пульпи у млині.

Учений запропонував нову концепцію адаптивного керування, яка стала основою для вдосконалення підходів стосовно автоматичного керування розрідженням пульпи у замкнених циклах подрібнення руди [2]. Проте, не дивлячись на явні переваги запропонованого методу, він все ж є досить складним для застосування у реальних умовах. Наприклад, вираз співвідношення тверде/рідке на вході млина:

$$K_{T/P} = \frac{A_\delta \cdot (Q_{VP} - Q_{VBG}) + Q_{PM}}{Q_{BM} + Q_{BGM} + K_n \cdot [A_\delta (Q_{VP} - Q_{VBG})]} \quad (1)$$

де  $Q_{VP}$ ,  $Q_{VBG}$ ,  $Q_{BM}$ ,  $Q_{BGM}$  – відповідно об'ємна витрата пульпи, витрата води в пісковий жолоб класифікатора, масова витрата вихідної води та води, що надходить у пісковий жолоб;  $A_\delta$  – параметр, що залежить від густини пульпи;  $K_n$  – коефіцієнт, що визначає вміст вологи у пісках. Як видно, для розрахунку необхідно вимірювання багатьох параметрів, що потребує значних затрат.

Як бачимо, до проблеми автоматизації процесу подрібнення підходили з різних боків. перш за все, найбільшу увагу учені приділяли першій стадії, як найголовнішій; розглядали млини різних конструкцій (кульові, стержневі), типів подрібнення (самоподрібнення та з подрібнюючим середовищем), у зв'язку з наступними агрегатами (класифікатор, гідроциклон) та окремо. Були запропоновані нові методи обробки матеріалу, діагностування стану млинів, нові методи керування та ідентифікації об'єктів керування. З приводу автоматизації інших технологічних механізмів збагачувальної фабрики, то їм приділено значно менше уваги. Проте і тут є значні досягнення.

Сайтгареев Л. Н. досліджував параметри протікання пульпи для розуміння процесів розділення її тонкодисперсних компонентів та подальшого використання отриманих знань у керуванні розділенням. Вченім була розроблена математична модель, яка дозволяє роз-

раховувати розподіл дисперсних частинок в об'ємі апарату з урахуванням нестационарності поля швидкості та його залежності від змінної концентрації твердої фази. За результатами численного моделювання руху пульпи в гідросепараторі, проведеними за розробленою моделлю, учений запропонував показник раціонального використання об'єму гідросепаратора, що забезпечує створення зони розділення за заданим граничним зерном, і обчислюється за даними про поле швидкості сусpenзії, дозволяє кількісно оцінити поєднання технологічних та конструкційних рішень для створення необхідних гідродинамічних умов розділення. [3]. Отримані дані можна успішно застосовувати для керування процесами розділення пульпи та задавати дані про перебіг процесу сусіднім агентам розділюючого апарату. Проте, фізична природа руху тонкодисперсних матеріалів є дуже складною, тому отримані результати є досить приблизними. Наприклад, рівняння руху твердої частинки у рухомому потоці зі змінними властивостями:

$$\frac{dU_u}{dt} = \frac{\rho_u - \rho}{\rho_u + 0,5\rho} g - C_D \frac{3\rho}{4d_u(\rho_u + 0,5\rho)} |U_u - u| (U_u - u) + \frac{\rho}{2(\rho_u + 0,5\rho)} \frac{du}{dt} \quad (2)$$

де  $u$ ,  $U_u$  – вектори швидкості твердої частинки без та з урахуванням швидкості дифузійного перенесення;  $\rho$ ,  $\rho_u$  – середня густина пульпи та густина твердої частинки;  $d_u$  – діаметр еквівалентної частинці за об'ємом сфери,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $C_D$  – емпіричний коефіцієнт опору. Усі використані у формулі показники є досить приблизними, важковимірюваними та припускають чимало допущень (наприклад ідеалізоване представлення форми твердої частинки у вигляді сфери).

Радіоновим В. М. було досить детально досліджено роботу гідроциклону у замкненому циклі подрібнення-класифікації та удосконалено його модель. Даний ефект був досягнутий шляхом інтеграції до системи керування і апріорних моделей, які містять попередню інформацію про механізм до початку роботи, і динамічних, розроблених вже у процесі роботи технологічного механізму [4]. Автором підтверджено гіпотезу про те, що найефективнішим керуючим впливом для гідроциклона є регулювання швидкості обертання піскового насосу шляхом застосування частотного приводу. Ученим підтверджено, що керуючий вплив розраховується в залежності від характеру руху частинок у потоці гідроциклона, що розраховується за рівнянням:

$$pV \frac{d\vec{v}}{dt} = (\rho - \rho_e)V\vec{g} + \vec{F}_D + \vec{F}_F + \vec{F}_S + \vec{F}_M + \vec{F}_B + C_{VM}\rho_e \left[ \frac{D\vec{v}_e}{Dt} - \frac{d\vec{v}_\rho}{dt} \right] \quad (3)$$

де  $C_{VM}$  – коефіцієнт приєднаних мас,  $\rho$  - середня щільність частинки,  $V$  – її об'єм,  $\rho_e$  – густина несучого середовища;  $\vec{F}_D + \vec{F}_F + \vec{F}_S + \vec{F}_M + \vec{F}_B$  - відповідно сили опору Фрадсена, Сафмана, Магнуса і Бассе, діючі на частинку. Проте, більшість параметрів є складно вимірюваними, особливо сили опору, діючі на частинку, а отже застосовуються приблизні табличні значення, що значно знижує точність розрахунків.

Окрім процесів підготовки руди (подрібнення, розділення) слід розглянути з точки зори автоматизації керування процеси безпосередньо збагачення. Досвід показує, що автоматизоване керування магнітним сепаратором є досить складним з точки зору застосування керуючих впливів. Найчастіше у якості керуючих впливів застосовують зміну подачі технологічної води у сепаратор та зміну напруженості магнітного поля. Проте, змінювати напруженість магнітного поля досить складно, а регулювання подачі води до сепаратора може негативно відбитися на роботі інших сепараторів секції гірничозбагачувальної фабрики. Тому зазвичай роботою магнітного сепаратора керують опосередковано, керуючи передуючими йому механізмами – млинами та гідроциклонами.

Оптимізацію роботи дешламаторів та сепараторів займався Ртищев А.Б. На основі роботи дослідника розроблені теоретичні основи та експериментально обґрунтоване створення конструкцій магнітних систем сепараторів з глибоким проникненням магнітного поля та флокуляторів з магнітними полями, близькими до однорідних [5]. Учений докладно дослідив природу магнітних процесів у сепараторах та запропонував нову їх конструкцію, що підвищить їх ефективність та покращить якість отримуваного концентрату. Проте, вникає складність з практичним застосуванням отриманих результатів, адже заміна технологічних механізмів збагачення веде за собою значні затрати часу та коштів.

Проте, не завжди зміни у конструкції технологічного механізму вимагають заміни самого механізму, а отже радикальних перебудов збагачувального комбінату. Іноді достатньо здійснити надбудову, яка не заважає роботі, а лише покращує її. Наприклад, Дік, Крохіна та Міньков запропонували у нижній частині гідроциклону, недалеко від піскової насадки, встановити інжектор та детально дослідили

природу змін у процесі роботи механізму після такої надбудови. Інжектор вприскує додаткову воду поперечно до напрямку виходу пісків. Потоки води під тиском заважають проходженню мілкої фракції у піски та виштовхують її до основного потоку, щоб дрібні частки потрапили до зливу. При цьому, проходженню крупних частинок у піски нічого не заважає. На основі досліджень було встановлено, що тангенціальна інжекція (потоки вприскуваної води направлені до центру кола перерізу) значно покращує сепараційну характеристику гідроциклону і дає кращий ефект, ніж радіальна інжекція (вода направлена під кутом до основного потоку) [6].

Для сепараційної кривої дослідниками було отримано вираз:

$$T(d_j) = \frac{1}{1 + S \cdot \exp\left[-\frac{D_c}{2D_t} (V_s(d_j) - \frac{V_{inj,e}}{n+1})\right]} \quad (4)$$

де  $T(d_j)$  – функція сепарації для частинок розміром  $d_j$ ,  $S$  – спліт-параметр,  $D_c$  – діаметр гідроциклону,  $D_t$  – коефіцієнт турбулентної дифузії;  $V_s$ ,  $V_{inj,e}$  – швидкості відповідно відсадження та інжекційного потоку на зрізі інжектора.

Розглянуті роботи дозволяють стверджувати, що в основному науковцями розглядаються окремі механізми лише інколи у взаємозв'язку з сумісними агрегатами, але частіше окремо, ніби ізольовано від загального процесу. Лише декілька учених розглядали технологічний комплекс збагачення залізної руди загалом.

Наприклад, Моркун Н.В. звернула увагу, що для багатьох технологічних агрегатів на залізорудних збагачувальних фабриках залежність між основними вхідними й вихідними параметрами має екстремальний характер. Крім того техніко-економічні показники, що характеризують ефективність роботи технологічних агрегатів, також необхідно підтримувати на екстремальному рівні. Саме тому дослідник застосувала адаптивне екстремальне керування для підвищення ефективності систем управління інерційними об'єктами із запізнюванням у разі нечіткої і неповної інформації про об'єкт та дії неконтрольованих збурювань [7]. Для вимірювання характеристик пульпи було застосовано ультразвукові методи, а саме вимірювання згасання хвилі Лемба після проходження через магнітне поле. Однак, тут присутні деякі похибки та припущення, обумовлені складністю вимірювань та обчислень. Наприклад, вираз:

$$I_v = I_{oo} \exp\{-k(1 - \alpha(H))l\} \exp\left\{-\frac{[(1 - W_\tau)\rho_e - W_\tau\rho_{me}]}{\rho_{n,l}} C_v l\right\} \quad (5)$$

де  $I_{oo} \exp\{-k(1 - \alpha(H))l\}$  - функція послаблення хвилі при відсутності контактуючого середовища;  $\rho_e$ ,  $\rho_{tv}$ ,  $\rho_{pl}$  – густини відповідно води, твердої фази пульпи та вимірювальної пластиини) може застосовуватися лише при припущені строго поперечного магнітного поля, крім того, не враховується зміна у часі густин твердої та рідкої складових пульпи. Проте, застосування сучасних засобів інтелектуального керування дало змогу підтримувати бажані значення характеристик кінцевого продукту в залежності від параметрів вхідної руди. У сукупності з засобами вимірювання, що не вимагають безпосереднього втручання у збагачувальні процеси та дозволяють, таким чином, аналізувати його перебіг без зупинки самої роботи, дослідник змогла оперативно контролювати якість залізорудної сировини у реальному часі.

Наприклад, Поркуян О.В. сформулювала одну з актуальних проблем технологічного процесу збагачення залізної руди, як досягнення підвищення якості концентрату без значного збільшення витрат на виробництво. Дослідник зауважила, що це завдання неможливо вирішити без ефективного автоматизованого керування всіма процесами збагачення руд. Дослідник запропонувала гібридні моделі для апроксимації об'єктів магнітного збагачення в умовах неповної та нечіткої інформації, алгоритмічні рішення для реалізації автоматизованого адаптивного керування технологічними процесами гірничо-збагачувальних виробництв; розробила уніфіковані ультразвукові методи визначення основних параметрів залізорудної пульпи і на основі цього синтезувала систему керування технологічними процесами магнітного збагачення [8]. Проте, не дивлячись на явні переваги системи, такі як універсальність та ефективність, введенню її у експлуатацію заважає складність використовуваних методів керування

### Постановка завдання

На основі проведеного критичного аналізу існуючих рішень удосконалення процесів збагачення залізної руди можна помітити, що збагачувальний комплекс у цілому не досить добре розглянутий, так як основна увага переважно приділяється окремим технологічним механізмам. Учені зазвичай розглядають окремо млини, розділяючі апарати та магнітні сепаратори з різних точок зору – розробляють

нові методи вимірювання та контролю характеристик оброблюваної руди, діагностують стан технологічних механізмів для збільшення їх довговічності, докладно заглиблюються у фізичну природу процесів обробки руди та пропонують навіть нові конструкції технологічних механізмів або надбудови до них. Запропоновані вирішення окремих проблем, без сумнівів, дозволяють досягти значного корисного ефекту, проте науковцями не розглянуто їх роботу у взаємозв'язку та можливі наслідки і введення в експлуатацію більшості розглянутих розробок є або занадто складним, або занадто коштовним. Розглянуті ж методи комплексної автоматизації одразу усіх процесів збагачення залізної руди є ще складнішими. Отже, найбільш оптимальним вибором є мультиагентне керування збагачувальними процесами на основі інтелектуальних засобів керування. Таким чином, кожен з об'єктів буде мати власну систему керування, що значно спростить автоматизоване керування процесів збагачення загалом, і одночасно усі об'єкти будуть пов'язані між собою та обмінюватимуться необхідною інформацією. 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.

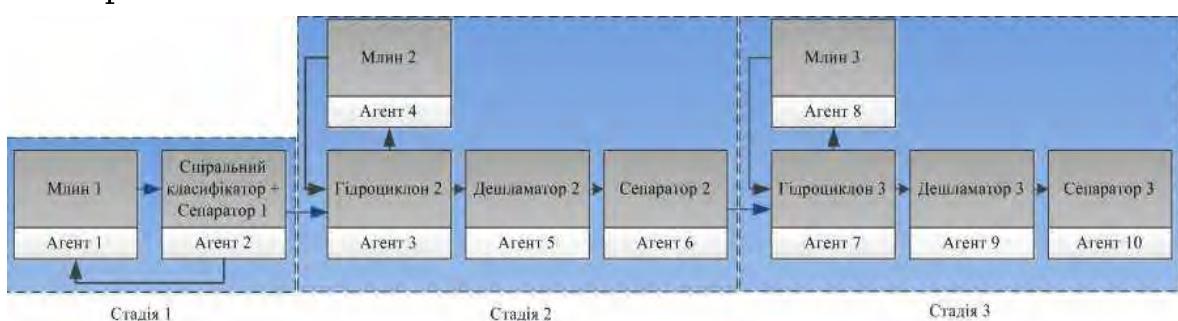


Рисунок 1 - Схема зв'язків при мультиагентному керуванні трьохстадійним збагаченням залізної руди

#### Викладення матеріалу і результати дослідження

Згідно запропонованої схеми (рис. 1) кожна стадія окрім першої здійснює чотири операції – подрібнення, класифікацію, знешламлення та мокру магнітну сепарацію залізної руди. Відповідно, у кожній стадії присутні млини, магнітні сепаратори, дешламатори та розділяючі механізми. Для першої стадії це спіральний класифікатор, для наступних – гідроциклони. Кожен технологічний механізм має власну, незалежну від інших, систему керування і являється аге-

нтом. Зважаючи на відносну простоту спірального класифікатора, з деякими припущеннями його можна розглядати у сукупності з міном першої стадії подрібнення як окремий агент з загальною системою управління для двох механізмів. При налагоджених зв'язках між агентами кожна система керування має змогу оптимально працювати за рахунок отримуваної інформації від інших агентів про поточний стан оброблюваної руди, бажані характеристики кінцевого продукту та можливі аварійні ситуації. Загалом це дозволить отримати значний економічний ефект.

Кожен агент у загальному вигляді можна описати у вигляді кортежа параметрів [8]:

$$A = \langle G, S, A, \theta, \phi \rangle \quad (6)$$

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,  $\theta$  – база знань,  $\phi$  – оператор.

Основою керування являється підтримування співвідношення продуктивностей за зливом і за пісками на певному рівні. Тому, наприклад, для гідроциклона, як одного з механізмів, цільовою функцією  $G$  буде критерій

$$K = Q_{of} / Q_{uf}; \rho_{of} \leq \rho_{of,n}; \rho_{uf} \geq \rho_{uf,n} \quad (7)$$

що має на увазі підтримку співвідношення продуктивностей за зливом та за пісками і густин пісків та зливу в оптимальних межах.

Параметрами стану будуть значення густин зливу та пісків, продуктивності за зливом і за пісками, рівень пульпи у зумпфі та тиск, створюваний насосом гідроциклону. Зокрема, завдяки результатам розрахунків рівнянь (2) та (3) на основі уявлень про рух частинок руди у гідроциклоні можна точніше розрахувати густини та продуктивності кінцевих продуктів при моделюванні цих параметрів, що дозволить не вимірювати їх фізично. Крім того, вираз (4) дає змогу розрахувати параметри стану гідроциклона з урахуванням конструктивних змін. При застосуванні ультразвукових методів контролю з'являється можливість вимірювати параметри пульпи не втручаючись у технологічний процес. Не дивлячись на складність та надмірну кількість припущень при розрахунках (рівняння (5)), даний підхід є досить ефективним та дозволяє точніше вимірювати параметри стану для агентів керування. Набір дій складатиметься з регулюючих впливів, а саме керування швидкості обертання двигуна насоса гідроциклону та додавання технологічної води у зумпф.

Для шарового млина цільова функція має прямувати до оптимального розкриття руди, підвищення продуктивності та зменшення витрат електроенергії та мелючих тіл. Параметрами стану, тобто вимірюваними характеристиками є продуктивність за вихідною рудою, наповненість рудою та мелючими тілами, потужність, що споживається електроприводом млина та крупність кінцевого продукту. При керуванні агентом 2 (рис. 1), який містить два механізми одразу – млин та спіральний класифікатор, доцільно до параметрів стану внести співвідношення тверде/рідке на вході млина відповідно до виразу (1). До набору дій (регулюючі впливи) належать регулювання завантаження млина рудою, мелючими тілами та технологічною водою.

Ціллю керування мокрим магнітним сепаратором є підвищення його продуктивності та процента заліза у концентраті. Не менш важливим є зменшення втрат заліза у хвостах. Вимірюваними параметрами є затрати пульпи, що надходить на сепарацію, її густина, витрати води, напруженість магнітного поля, вміст корисного компоненту у концентраті та хвостах. Для автоматизованого керування застосовуються такі дії, як регулювання додавання води у барабан сепаратора та зміна напруженості магнітного поля.

Для усіх агрегатів такий елемент кортежу як база знань містить у собі досвід попереднього керування та технологічну карту різновидів руди, щоб підлаштовуватися під певні види залізої руди.

#### **Висновки і напрямки подальших досліджень**

Як видно, кожен технологічний механізм є досить складною окремою системою з великою кількістю контролюваних та керованих параметрів та має власну окрему систему керування. Однак, засоби мультиагентного керування дозволяють ще й удосконалити обмін інформацією між механізмами, їх взаємозв'язок. Застосування мультиагентного керування у комплексі з засобами нечіткої логіки та оптимальним керуванням для кожного механізму дозволить досягти найбільшої узгодженості системи керування збагачувальними процесами з реальними умовами. Отже, напрямком майбутніх досліджень є розробка мультиагентної системи керування комплексом збагачення залізої руди на основі нечіткої оптимізації роботи агентів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Подгородецький М.С. Енергоефективне адаптивне керування замкнутим циклом подрібнення руди на базі гібридної нечіткої моделі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.07 / Микола Сергійович Подгородецький ; Криворізький національний університет. – Кривий Ріг, 2011. – 20 с.
2. Кондратець В.О. Адаптивне розподілене керування подрібненням руди кульовими млинами з оптимізацією динаміки розрідження пульпи : дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.13.07 / Василь Олександрович Кондратець ; Криворізький національний університет. – Кривий Ріг, 2015. – 339 с.
3. Сайтгареев Л.Н. Обґрунтування параметрів класифікації тонкодисперсних магнетитових кварцитів у нестационарному полі швидкості пульпи гідросепаратора : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.15.08 / Леван Наільєвич Сайтгареев ; Криворізький національний університет. – Кривий Ріг, 2010. – 17 с.
4. Радіонов В.М. Енергоефективне керування гідроциклоном на основі моделі його гідродинаміки в ультразвуковому полі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.07 / Владислав Михайлович Радіонов ; Криворізький національний університет. – Кривий Ріг, 2014. – 20 с.
5. Ртищев А.Б. Підвищення якості магнетитових концентратів за рахунок зміни взаємної орієнтації магнітного і гідродинамічного потоків : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.15.08 / Андрій Борисович Ртищев ; Криворізький національний університет. – Кривий Ріг, 2003. – 17 с.
6. Дик И.Г. Управление характеристиками гидроциклиона дополнительным инжектированием воды / И. Г. Дик, А. В. Крохина, Л. Л. Миньков // Теоретические основы химической технологии. – 2012. – том 46. – №3. – С. 342-352.
7. Моркун Н.В. Адаптивна система управління процесом магнітної сепарації залізних руд на базі засобів ультразвукового контролю : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.07 / Наталія Володимирівна Моркун ; Криворізький національний університет. – Кривий Ріг, 2005. – 23 с.
8. Поркуян О. В. Керування нелінійними динамічними об'єктами забаочувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна

**5 (106) 2016 «Системные технологии»**

---

- : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.13.07 / Ольга Вікторівна Поркуян ; Криворізький національний університет. – Кривий Ріг, 2009. – 27 с.
9. Мезенцев К. Н. Расчет Мультиагентное моделирование в среде NetLogo / К. Н. Мезенцев // Автоматизация и управление в технических системах (АУТС). – 2015. - №1. – С. 10-20.
10. Безгубова Ю.О. Мультиагентное управление распределенными информационными потоками / Ю. О. Безгубова // Образовательные ресурсы и технологии. - 2015. - №9. - 113-119 С.
- 11.11. Пешко М.С. Адаптивная система управления параметрами микроклимата процесов производства и хранения пищевых продуктов : дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : 05.13.06 / Михаил Сергеевич Пешко ; Омский государственный технический университет. – Омск, 2015. – 200 с.
12. Байченко А.А. Применение нечеткой логики в управлении предприятием пищевой промышленности / А. А. Байченко, Л. А. Байченко, В. А. Арут // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2014. – №3. – С. 35-69.
13. Новиков С.И. Методы нечеткой логики в задачах автоматизации тепловых процессов электростанций / С. И. Новиков, В. Р. Шахнович, А. В. Сафонов // Вестник ИГЭУ. – 2010. – №4. – С. 72-75.
14. Коломийчук С.Г. Расчет остаточного ресурса технической системы с помощью методов нечеткой логики с использованием программных пакетов MATLAB и Simulink / С. Г. Коломийчук // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – №9. – С. 161-165.