

**Маринич Іван Анатолійович**  
кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри інформатики,  
автоматики і систем управління  
Державний вищий навчальний заклад  
«Криворізький національний університет»

**Маринич Иван Анатольевич**  
кандидат технических наук,  
старший преподаватель кафедры информатики,  
автоматики и систем управления  
Государственное высшее учебное заведение  
«Криворожский национальный университет»

**Marynych I.**  
candidate of technical sciences, senior lecturer,  
department of information science, automation and control systems  
State institution of higher education  
«Kryvyi Rih national university»

## ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДРОБИЛЬНО-ПОДРІБНЮЮЧИМ КОМПЛЕКСОМ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

## APPLICATION OF CONTROL SYSTEMS FOR A CRUSHING AND GRINDING COMPLEX BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Анотація:** Наведено обґрунтування застосування інтелектуальних систем керування, що базуються на технологіях нейро-нечіткого керування і штучного інтелекту.

**Ключові слова:** адаптивна система керування, штучний інтелект, нейронні мережі, нечітка логіка, дробильно-подрібнювальний комплекс.

**Аннотация:** Приведено обоснование применения интеллектуальных систем управления, базирующихся на технологиях нейро-нечеткого управления и искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** адаптивная система управления, искусственный интеллект, нейронные сети, нечеткая логика, дробильно-измельчительный комплекс.

**Summary:** The rationale for the use of intelligent control systems based on the technologies of neuro-fuzzy control and artificial intelligence is presented.

**Key words:** adaptive control system, artificial intelligence, neural networks, fuzzy logic, crushing and grinding complex.

Однією з основних проблем підприємств гірничої галузі України є те, що переорієнтація на світові ринки збуту, вимагає постійного підвищення конкурентоспроможності продукції, що випускається, зниження її енергоємності.

Світовий досвід свідчить, що в таких умовах найбільш ефективним шляхом підвищення якості та зни-

ження собівартості є комплексна автоматизація основних технологічних процесів, заснована на застосуванні сучасних інтегрованих систем інтелектуального, оптимального і адаптивного керування [1].

Головною проблемою, яка виникає при реалізації таких систем, є відсутність надійних засобів контролю необхідної точності або досить значна вартість окремих

датчиків. Зараз досить активно розвивається альтернативний спосіб побудови автоматизованих систем керування (АСК) на основі використання технологій штучного інтелекту (нейронні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми і т.д.). Разом з тим, досвід показує, що на розробку і впровадження інтелектуальних систем керування витрачаються значно менші кошти за рахунок зменшення необхідності використання дорогого устаткування (датчики, комунікації).

Аналіз робіт показує, що переважна більшість АСК реалізовано на основі застосування класичних підходів теорії керування, адаптивних і оптимальних систем. В якості математичних моделей, як правило, застосовується 1-2 каналні лінійні системи. Більшість таких систем досить просто реалізується за допомогою класичних ПІД-регуляторів. Відносна простота реалізації і порівняно висока надійність таких систем обумовлюють їх застосування приблизно у 80-90% систем промислової автоматизації [1]. Разом з тим відомо, такі системи не завжди можуть забезпечувати необхідну якість керування, особливо в умовах нестаціонарності, інерційності, запізнювання, випадкових збурень, наявності нечіткої та неповної інформації. До того ж, ПІД-регулятори вимагають постійного перенастроювання власних коефіцієнтів в разі зміни технологічної ситуації (наприклад, коливання складу шихти, продуктивності, якості і т.п.).

Прагнення до зниження витрат енергії на рудопідготовку в цілому призводить до нових сучасних рішень, зокрема, до використання адаптивних систем автоматизованого узгодженого керування технологічними стадіями скорочення крупності руди дробильно-подрібнювального комплексу.

При цьому слід зазначити, що важливим в економічному відношенні є показник не тільки оптимальної продуктивності дробарки при переробці руди з мінімально-можливими енерговитратами, а й показник стабільної роботи з найменшим розміром кінцевого дробленого продукту. Так як енергетичні витрати на наступному переділі збагачення – циклах на основі кульових млинів МШЦ значно перевищують витрати на дроблення, а ефективність роботи млинів істотно залежить від однорідності одержуваного продукту, тому отримання однорідного складу руди, що надходить, набуває пріоритетного значення.

Реалізація політики енергозбереження особливо важлива для економіки України, оскільки в умовах гострого дефіциту фінансових, енергетичних і матеріальних ресурсів дозволяє на діючих потужностях гірничих підприємств збільшити вилучення корисного компонента в концентраті, підвищити його якість, знизити експлуатаційні витрати і тим самим зменши-

ти собівартість готової продукції, підвищити її конкурентоспроможність на світовому ринку [4].

Вирішення цього завдання можливе шляхом впровадження енергоефективних технічних засобів, технологічних і організаційно-технічних рішень, безперервного контролю якості ведення технологічного процесу, а також енергозберігаючих методів керування і автоматичних систем регулювання [2,3].

Як було зазначено вище, найбільш енергоємним процесом на гірничо-збагачувальних комбінатах є подрібнення руди. У роботах [2,5] пропонуються два шляхи зменшення витрат електроенергії на цей процес. Перший – це вдосконалення обладнання і технології дроблення руд для зниження крупності продукту, що подається потім на подрібнення. За кордоном цим напрямком приділяється велика увага. Підраховано, що збільшення витрат електроенергії на дроблення на 1 кВт·год. з метою зменшення крупності подрібненої руди дає економію при подрібненні  $3 \div 4$  кВт·год. Це досягається як використанням замкнутого циклу дроблення, так і нового покоління дробарок. Наприклад, застосування дробарок шведського виробника «Svedala» забезпечує отримання подрібненої руди крупністю – 16, – 10 і – 5 мм. При використанні цих дробарок на Центральному гірничо-збагачувальному комбінаті (м. Кривий Ріг) може бути зекономлено 20 млн. грн. на рік. Інший шлях зниження витрат електроенергії полягає в удосконаленні самих процесів подрібнення і створенні нових агрегатів. Наприклад, використання для подрібнення вертикальних кульових млинів з обертовим ротором забезпечує зменшення витрат електроенергії на 50%. У той же час, не дивлячись на дуже низький ККД кульових млинів, їх можливості ще повністю не вичерпані. Досить сказати, що в США на отримання 1 т готового класу при подрібненні витрачається 18 кВт·год. електроенергії, тоді як на вітчизняних гірничо-збагачувальних комбінатах для цього витрачається 43 кВт·год. Дослідження роботи млина третьої стадії показує, що на подрібнення після класифікації в гідроциклонах надходить матеріал, що містить до 75% розкритих рудних зерен, тобто які не потребують подрібнення. В цьому випадку млини працюють просто в холосту, переподрібноючи матеріал, утворюючи шлами, зношуючи футерування й кулі зменшення, виробляючи шум і виділяючи тепло в навколишній простір.

Теорія нечітких множин в даний час широко використовується для формування автоматичного керування технологічними процесами [3]. Основними передумовами для цього є: недолік точних формалізованих знань, нелінійний характер поведінки, високий ступінь невизначеності, складність формалізованої моделі (наприклад, неявна залежність вхід-вихід)

і т.п. Нечіткі множини служать гладким інтерфейсом між якісними параметрами, включеними в правила і числовими даними входу і виходу моделі [3].

За минулі кілька років стався швидкий зріст використання контролерів нечіткої логіки для керування складними процесами, що характеризуються великим ступенем невизначеності. Більшість нечітких контролерів, розроблених до теперішнього часу базуються на концепції [7], коли правила в контролері моделюють відповідь оператора на поточну ситуацію в керуванні процесом. Альтернативний підхід використовує нечітку або зворотну нечітку модель в процесі керування [8], тому що часто набагато простіше отримати інформацію щодо того, як процес реагує на прикладений вплив, ніж зафіксувати, як і чому оператор реагує на специфічну ситуацію.

У роботах [7-8] розглядаються системи, що навчаються, засновані на використанні нейронних мереж і нечітких моделей в зворотному контурі керування.

В роботі [9] для ідентифікації технологічного процесу збагачення в умовах рудозбагачувальної фабрики використаний нейро-мережевий підхід з подальшою побудовою контролера з алгоритмом на підставі нечіткої логіки. Досліджувалися різні моделі реалізації нейрокерування (зокрема, послідовного і паралельного керування, схеми з емуляторами і самонастроюванням).

Використання штучних нейро-нечітких мереж для моделювання і ідентифікації об'єкта керування – підхід, який зазвичай розглядається як альтернатива методам, заснованим на фізичних або технологічних принципах. Недоліком цього методу (по суті – «чорного ящика») є небезпека формування нереалістичної моделі через нестачу інформаційного змісту даних ідентифікації та свёрхпараметризації моделей.

Інша незручність в подібному моделюванні – немасштабованість моделей «чорного ящика», тобто, необхідність збору нових навчальних даних в разі зміни об'єкта. Перспективним напрямком є комбінація наведених підходів в складі гібридних моделей, що дозволяє в значній мірі усунути вищевказані недоліки [6].

З викладеного можна зробити висновок про те, що основним завданням при синтезі енергоефективного керування технологічними процесами збагачувального виробництва є обґрунтування і розробка методів створення САР в умовах неповної і нечіткої інформації про об'єкт керування, що забезпечують необхідну якість її збагачення відповідно до поточних характеристик сировини, що переробляється, при максимальній продуктивності технологічної лінії і мінімізації часу, протягом якого технологічні агрегати працюють поза своїх оптимальних характеристик. Для математичного опису об'єкта керування в цих умовах доцільно використовувати стратегію гібридного моделювання, яка дозволяє використовувати переваги як аналітичного опису відомих взаємозв'язків, так і методу «чорного ящика» для подання важкоформалізуємих складових.

З огляду на всі зазначені фактори, можна стверджувати, що проблема застосування технологій штучного інтелекту в гірничій справі зараз є відносно новою і досить актуальною. Зокрема, це стосується можливості використання нейронних мереж і нечіткої логіки для керування технологічними процесами дроблення-подрібнення і збагачення корисних копалин.

Саме інтелектуальні системи за рахунок застосування окремих математичних моделей розумової діяльності людини, узагальнюючих властивостей, вбудованої нелінійності та адаптивності при забезпеченні певних умов дозволяють вирішувати поставлені завдання.

### Література

1. Купін А. І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології: Монографія / А. І. Купін.- Кривий Ріг: КТУ.-2008.- 204 с.
2. Назаренко В. М. Современные информационные технологии для управления работой рудником горнообогатительного комбината / В. М. Назаренко, М. В. Назаренко, С. А. Хоменко, А. І. Купін // Разраб. руд. месторожден. – Вып.77. – Кривой Рог: КТУ. – 2002.- С.66-70.
3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под.ред. Н. Д. Егупова.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.- 744 с.
4. Качество минерального сырья : Сб. научн. трудов. – Кривой Рог: Минерал, 2005. – 544 с.
5. Губин Г.В. Парадоксы и альтернативы горно-металлургической промышленности с позиции энергопотребления / Г. В. Губин, В. Г. Губина. – Качество минерального сырья : Сб. научн. тр. – 2002. – С. 181-188.
6. Marynych I.A. Reason for application of intelligent systems for disintegrating complex control / Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 25–29.
7. Разработка нелинейных контроллеров типа Takagi-Sugeno для управления технологическими процессами на обогатительных фабриках / [В. С. Моркун, О. В. Поркуян, С. Н. Барский, Т. Г. Сотникова] // Вісник Криворізького технічного університету. – 2005. – Вып. 8. – С. 209-212.
8. Подгородецкий Н. С. Энергоэффективное адаптивное управление замкнутым циклом измельчения руды на базе гибридной нечеткой модели / Подгородецкий Н. С.: Автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизация технологических процессов». – Кривой Рог, 2011. – 24 с.
9. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності / А. І. Купін: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Кривий Ріг, 2010. – 36 с.