

блоке подшипников. В этот блок воздух подается через воздушный коллектор и трубу от воздухоудовки. Затем воздух поступает на импеллер и диспергируется. Пульпа аэрируется и переходит в последующую камеру, через окно в междукламерной перегородке. Образовавшиеся на этом этапе пузырьки воздуха, подвергаются воздействию высокоэнергетического ультразвука, с заданной амплитудой и частотой, излучаемого элементами ультразвуковой фазированной решетки, управляемой системой автоматического управления распределением газовых пузырьков по размерам с обратной связью и закрепленной на внешней стенке камеры флотационной машины. Гидрофобные частицы прилипают к пузырькам и выносятся на поверхность пульпы, где образуют слой минерализованной пены, которая снимается в виде пенного продукта.

**Выводы:** Результаты моделирования процесса воздействия динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука на газовую фазу пульпы и результаты проведенных опытно-промышленных испытаний предлагаемого метода оптимизации процесса флотации свидетельствуют о том, что такой подход позволяет реализовать эффективное управление составом газовой фазы пульпы, повысить качество получаемого концентрата и энергоэффективность всего технологического процесса.

#### Список литературы

1. Medwin H. Counting bubbles acoustically: a review. *Ultrasonics*, 1977, 15: 7-13.
2. MacIntyre F. On reconciling optical and acoustical bubble spectra in the mixed layer," in "Oceanic Whitecaps. edited by Monahan, E.C. and Macniocail, G., Reidel, New York, 1986:75-94.
3. Ohern T, Torczynski J, Tassin S, et al. Development of an Electrical Impedance Tomography System for an Air-Water Vertical Bubble Column. *Proceedings, Forum on Measurement Techniques in Multiphase Flows, ASME IMECE, San Francisco, CA, USA, 1995.*
4. Xiong-jun Wu, Georges L. Chahine. Development of an acoustic instrument for bubble size distribution measurement. 9-th International Conference on Hydrodynamics. Shanghai. 2010 p.1-7
5. П.Е.Токмаков, И.Н.Диденкулов, Н.В.Прончатов-Рубцов. Движение пузырьков в акустическом резонаторе с потоком жидкости. Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2003
6. И.Н.Диденкулов, Н.В.Прончатов-Рубцов, Д.А.Селивановский, П.Е.Токмаков, В.В.Чернов. Динамика газовых пузырьков в сильном акустическом поле. Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2001
7. П.Е.Токмаков, И.Н.Диденкулов, Н.В.Прончатов-Рубцов. Влияние потока на поведение газового пузырька в акустическом резонаторе. Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2004.
8. Iida, Y., Ashokkumar, M., Tuziuti, T., Kozuka, T., Yasui, K., Towata, A., Lee, J.: Bubble population phenomena in sonochemical reactor: I Estimation of bubble size distribution and its number density with pulsed sonication – Laser diffraction method. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 17, 2010, pp. 473-479.
9. Iida, Y., Ashokkumar, M., Tuziuti, T., Kozuka, T., Yasui, K., Towata, A., Lee, J.: Bubble population phenomena in sonochemical reactor: II. Estimation of bubble size distribution and its number density by simple coalescence model calculation. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 17, 2010, pp. 480-486.
10. T. Sile, J. Virbulis, A. Timuhins, J. Sennikovs, U. Bethers. Modelling of Cavitation and Bubble Growth During Ultrasonic Cleaning Process. *International Scientific Colloquium Modelling for Material Processing Riga*, 2010
11. Parlitz, U., Mettin, R., Luther, S., Akhatov, I., Voss, M., Lauterborn, W.: *Spatio-temporal dynamics of acoustic cavitation bubble clouds*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, Vol. 357, 1999, pp. 313-334.
12. Leighton T.G.: *The Acoustic Bubble*. Academic Press, 1997, 613 pp
13. Mettin, R., Akhatov, I., Parlitz, U., Ohl, C.D., Lauterborn, W.: *Bjerknes forces between small cavitation bubbles in a strong acoustic field*. *Physical Review E*, Vol.56, 1997, No.3, pp. 2924-2931.
14. Donikov A.A.: *Translational motion of two interacting bubbles in a strong acoustic field*, *Physical Review E*, Vol.64, 2001, pp. 026301.
15. Красильников, В.А., Крылов, В.В.: Введение в физическую акустику, Наука, Москва, 1984.
16. Introduction to Ultrasonic Technology Applications. *Advanced Practical NDT Series*. - KJII, R/D Tech, 2007 г. /Введение в технологию применения ультразвуковых фазированных решеток. - Перевод С.В. Реука, 2011 г
17. Режим доступа - [http://www.pergam.ru/articles/articles\\_142.htm](http://www.pergam.ru/articles/articles_142.htm)

Рукопись поступила в редакцию 19.03.13

УДК 622.73-52

И.А. МАРИНИЧ, ст. преподаватель, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Приведено обоснование применения интеллектуальных систем управления базирующихся на технологиях нейронного управления и искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** адаптивная система, искусственный интеллект, нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы, согласованное управление дробильно-измельчительный комплекс.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Одной из основных проблем предприятий горной отрасли Украины является то, что переориентация на мировые рынки сбыта, требует постоянного повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, снижению ее энергоемкости.

Мировой опыт свидетельствует, что в таких условиях наиболее эффективным путем повышения качества и снижения себестоимости является комплексная автоматизация основных технологических процессов, основанная на применении современных интегрированных систем интеллектуального, оптимального и адаптивного управления [1].

Главной проблемой, которая возникает при реализации таких систем, является отсутствие надежных средств контроля требуемой точности или достаточно значительная стоимость отдельных датчиков. Сейчас достаточно активно развивается альтернативный способ построения автоматизированных систем управления (АСУ) на основе использования технологий искусственного интеллекта (нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы и т.д.). Вместе с тем, опыт показывает, что на разработку и внедрение интеллектуальных систем управления расходуются значительно меньшие средства за счет уменьшения необходимости использования дорогостоящего оборудования (датчики, коммуникации).

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ работ показывает, что подавляющее большинство АСУ реализовано на основе применения классических подходов теории управления, адаптивных и оптимальных систем. В качестве математических моделей, как правило, применяется 1-2 канальные линейные системы. Большинство таких систем достаточно просто реализуется с помощью классических ПИД-регуляторов. Относительная простота реализации и сравнительно высокая надежность таких систем обуславливают их применения примерно у 80-90 % систем промышленной автоматизации [1]. Вместе с тем известно, такие системы не всегда могут обеспечивать необходимое качество управления, особенно в условиях не стационарности, инерционности, запаздывания, случайных возмущений, наличие нечеткой и неполной информации. К тому же, ПИД-регуляторы требуют постоянного перенастройки собственных коэффициентов в случае изменения технологической ситуации (например, колебания состава шихты, производительности, качества и т.д.).

**Цель исследований.** Целью исследований является обоснование применения интеллектуальных систем управления дробильно-измельчительным комплексом.

**Изложение материала и результаты.** Стремление к снижению расхода энергии на рудо-подготовку в целом приводит к новым современным решениям, в частности, к использованию адаптивных систем автоматизированного согласованного управления технологическими стадиями сокращения крупности руды дробильно-измельчительным комплексом.

При этом следует отметить, что важным в экономическом отношении является показатель не только оптимальной производительности дробилки при переработке руды с минимально-возможными энергозатратами, но и показатель стабильной работы с наименьшей крупностью конечного дробленого продукта. Так как энергетические затраты на последующем переделе обогащения - циклах на основе шаровых мельниц МШЦ значительно превышают затраты на дробление, а эффективность работы мельниц существенно зависит от однородности получаемого продукта, поэтому получение однородного состава поступающей руды приобретает приоритетное значение.

Реализация политики энергосбережения особенно важна для экономики Украины, поскольку в условиях острого дефицита финансовых, энергетических и материальных ресурсов позволяет на действующих мощностях горных предприятий увеличить извлечение полезного компонента в концентрат, повысить его качество, снизить эксплуатационные затраты и тем самым уменьшить себестоимость готовой продукции, повысить ее конкурентоспособность на мировом рынке [3].

Решение этой задачи возможно путем внедрения энергоэффективных технических средств, технологических и организационно-технических решений, непрерывного контроля качества ведения технологического процесса, а также энергосберегающих методов управления и автоматических систем регулирования [1,2].

Как было отмечено выше, наиболее энергоемким процессом на горно-обогатительных комбинатах является измельчение руды. В работах [2,4] предлагаются два пути уменьшения расхо-

да електроенергії на этот процесс.

Первый - это совершенствование оборудования и технологии дробления руд для снижения крупности продукта, подаваемого затем на измельчение. За рубежом этому направлению уделяется большое внимание.

Подсчитано, что увеличение расхода электроэнергии на дробление на 1 кВт·ч для уменьшения крупности дробленой руды дает экономию при измельчении 3-4 кВт·ч. Это достигается как использованием замкнутого цикла дробления, так и нового поколения дробилок. Например, применения дробилок фирмы "Сведала" обеспечивает получение дробленой руды крупностью -16, -10 и -5 мм. При использовании этих дробилок на ЦГОКе (г. Кривой Рог) может быть сэкономлено 20 млн грн. в год.

Другой путь снижения расхода электроэнергии заключается в совершенствовании самих процессов измельчения и создании новых агрегатов. Например, использование для измельчения вертикальных шаровых мельниц с вращающимся ротором обеспечивает уменьшение расхода электроэнергии на 50 %. В то же время, несмотря на очень низкий КПД шаровых мельниц, их возможности еще полностью не исчерпаны. Достаточно сказать, что в США на получение 1 т готового класса при измельчении затрачивается 18 кВт·ч электроэнергии, тогда как на отечественных горно-обогатительных комбинатах для этого расходуется 43 кВт·ч. Исследование работы мельницы третьей стадии показывает, что на измельчение после классификации в гидроциклонах поступает материал, содержащий до 75 % раскрытых рудных зерен, т.е. не требующих измельчения. В этом случае мельницы работают попросту в холостую, переизмельчая материал, образуя шламы, изнашивая футеровку и мелющие шары, производя шум и выделяя тепло в окружающее пространство.

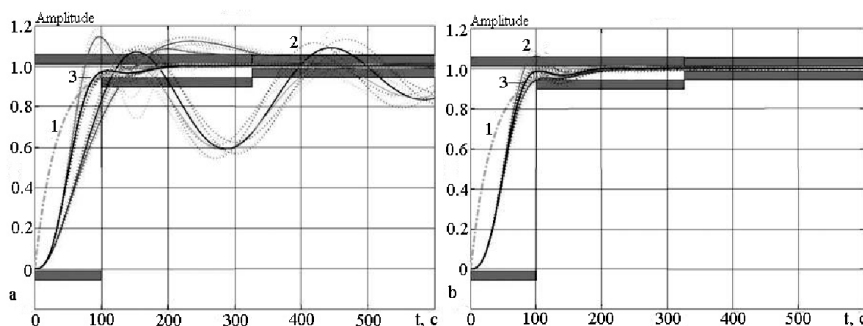
Теория нечетких множеств в настоящее время широко используется для формирования автоматического управления технологическими процессами. Основными предпосылками для этого являются: недостаток точных формализованных знаний, нелинейный характер поведения, высокая степень неопределенности, сложность формализованной модели (например, неявная зависимость вход-выход) и т.д. Нечеткие множества служат гладким интерфейсом между качественными параметрами, включенными в правила и числовыми данными входа и выхода модели.

За прошедшие несколько лет произошел быстрый рост использования контроллеров нечеткой логики для управления сложными процессами, характеризующимися большой степенью неопределенности. Большинство нечетких контроллеров, разработанных до настоящего времени базируются на концепции [5], когда правила в контроллере моделируют ответ оператора на текущую ситуацию в управлении процессом.

В работе [6] для идентификации рабочего режима замкнутого цикла измельчения, характеризующегося максимально возможной производительностью по руде, распределение частиц которой по крупности определяется зафиксированными параметрами кривой разделения гидроциклона, используются нечеткие правила Такаги-Сугэно. Показано, что, например, для оптимального режима работы цикла справедливо правило

$$r_i : \text{If } W_7 \text{ is } A_{i,1} \text{ and } Q_7 \text{ is } A_{i,2} \text{ and } d \text{ is } A_{i,3} \text{ then } y_i(x) = b_i^1 + a_i^1 x,$$

где  $W_7$ ,  $Q_7$ ,  $d$  (диаметр песковой насадки) - переменные состояния гидроциклона;  $a, b, x, y$  - параметры кривой эффективности разделения гидроциклона.



**Рис. 1.** Настройка обычного *a* и адаптивного нечеткого ) ПИ-регуляторов. Переходные процессы: 1 - желаемый, 2 - исходный, 3 - финальный

На рис. 1 приведены результаты настройки параметров обычного и адаптивного нечеткого ПИ-регуляторов со стандартной процедурой и одинаковых начальных условиях в пакете Simulink Response Optimization (MATLAB 7.0).

В сравнении с обычным адаптивным регулятором, что реализует еизложенную коррекцию, нечеткая структура для звена второго порядка с неопределенностью коэффициентов до 10 % и мощностью шума 0,1 обеспечивает уменьшение длительности переходных процессов в замкнутой системе ругулирования на 6-8 %.

В работе [7] было рассмотрено применение нейрорегулятора для управления дробильным комплексом. Вид модели приведен на рис. 2, а графики обучения модели на рис. 3.

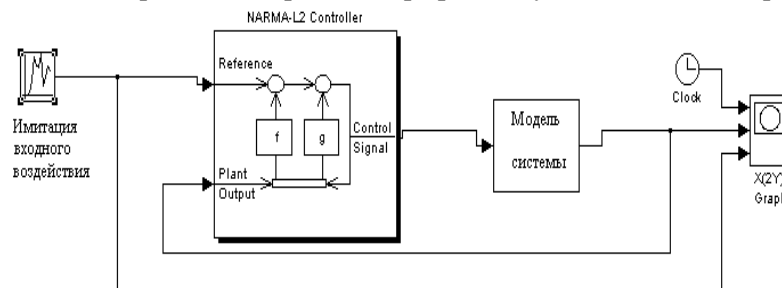


Рис. 2. Система с NARMA-регулятором

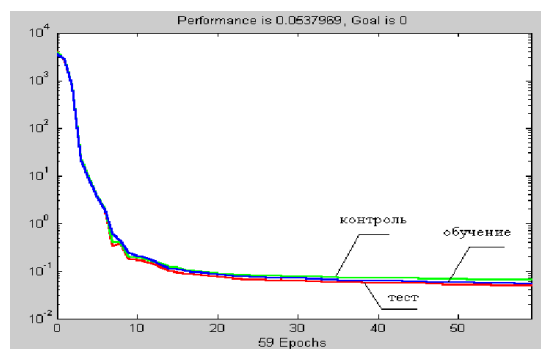


Рис. 3. Ошибка обучения, контрольной и тестовой последовательности для нейросетевого регулятора

Результат работы системы с обученным регулятором представлен на рис. 4, где кривая 1 отображает входное воздействие; а кривая 2 - выходной сигнал.

Сравнение графиков входного (случайного) сигнала и выхода системы показывает, что применение регулятора позволяет добиться более стабильной работы участка по выходному продукту, при случайных изменениях входного грузопотока.

В работе [8] для идентификации ТП обогащения в условиях рудообогатительных фабрик использован нейросетевой подход с дальнейшим построением контролера с алгоритмом на основании нечеткой логики.

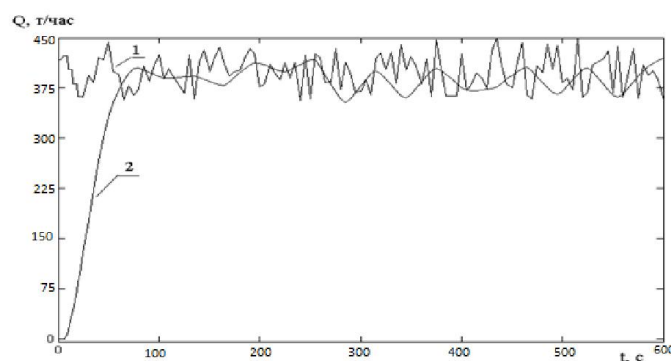


Рис. 3. Входной и выходной сигналы системы с NARMA-регулятором

Исследовались различные модели реализации нейроуправления (в частности, последовательного и параллельного управления, схемы с эмуляторами и самонастройкой).

Использование искусственных нейро-нечетких сетей (ИНС) для моделирования и идентификации объекта управления - подход, который обычно рассматривается как альтернатива методам, основанным на физических или технологических принципах.

Недостатком этого метода (по существу - «черного ящика») является опасность формирования нереалистичной модели из-за недостаточного информационного содержания данных

идентифікації і сверхпараметризації моделей.

Друге неудобство в подібному моделюванні - немасштабованість моделей «чорного ящика», т.е., необхідність збору нових навчальних даних в разі зміни об'єкта. Перспективним напрямком є комбінація приведених підходів в складі гібридних моделей, що дозволяє в значительній мірі усунувати вищезазначені недоліки.

Із викладеного можна зробити висновок про те, що основною задачею при синтезі енергоефективного управління технологічними процесами обогатительного виробництва є обґрунтування і розробка методів створення САР в умовах неповної і нечіткої інформації об'єкті управління, що забезпечують необхідне якість її обогачення в відповідності з поточними характеристиками перероблюваного сировини, при максимальній продуктивності технологічної лінії і мінімізації часу, в процесі якого технологічні агрегати працюють поза своїх оптимальних характеристик.

Для математичного опису об'єкта управління в цих умовах цілком природно використовувати стратегію гібридного моделювання, що дозволяє використовувати переваги як аналітичного опису відомих взаємозв'язків, так і методу «чорного ящика» для представлення складноформалізованих складових.

**Висновки.** Враховуючи всі зазначені фактори, можна утвердити, що проблема застосування технологій штучного інтелекту в горнодобувальній справі зараз є відносно новою і дуже актуальною. В частині, це стосується можливості застосування нейронних мереж і нечіткої логіки для управління технологічними процесами дроблення-змельчення і обогачення корисних копалин.

Іменно інтелектуальні системи за рахунок застосування окремих математичних моделей мислительної діяльності людини, узагальнюючих властивостей, вбудованої нелінійності і адаптивності при забезпеченні певних умов дозволяють вирішувати поставлені задачі.

#### Список літератури

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. Сучасні інформаційні технології для управління роботою рудником горнообогатительного комбінату / В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, А.І. Купін // Розроб. рудн. месторожд. – Вип. 77.- Кривий Ріг: КТУ, 2002.- С.66-70.
3. Якість мінерального сировини : Сб. научн. трудов. - Кривий Ріг: Мінерал, 2005. - 544 с.
4. Губин Г.В. Парадокси і альтернативи горно-металургічної промисловості з позиції енергопотреблення / Г.В. Губин, В.Г. Губина. - Якість мінерального сировини : Сб. научн. тр. – 2002. - С. 181-188.
5. Розробка нелінійних контролерів типу Takagi-Sugeno для управління технологічними процесами на обогатительних фабриках / [В.С. Моркун, О.В. Поркунян, С.Н. Барський, Т.Г. Сотникова] // Вісник Криворізького технічного університету, 2005. – Вип. 8. - С. 209-212.
6. Подгородецкий Н.С. Енергоефективне адаптивне управління замкнутим циклом змельчення руди на базі гібридної нечіткої моделі / Подгородецкий Н.С.: Автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація технологічних процесів». – Кривий Ріг, 2011. – 24 с.
7. Мейта А.В. Система моніторингу і управління дробильно-помольним комплексом / Мейта А.В. Автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.09.03 – Електротехнічні комплекси і системи – Київ, 2009. – 36 с.
8. 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.

Рукопис прийнятий в редакцію 19.03.13

УДК 620.9.004: 658.5

В.В. КОВАЛЕНКО, магістрант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

Розглянуто вторинні енергоресурси, їх ефективність використання і перспектива розвитку на сьогодні.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** У зв'язку зі збільшенням вартості природного газу та електроенергії, зараз для металургійних підприємств України доцільно розглядати вторинні енергоресурси як джерело вирішення даних питань. Так як кількість вторинних енергетичних ресурсів велика, тому їх використання є одним із важливих