

6. Пат. 2445171 Российская Федерация, МПК В04С 11/00, В04С 3/00, G05D 24/00. Способ автоматического управления гидроциклоном [Текст] / **Андреев Е.Е., Львов В.В., Николаева Н.В.**; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)» — №2010121474/05; заявл. 26.05.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. №8, — 5с.

7. Автоматизация процессов обогащения руд цветных металлов [Текст] / **Зубков Г.А., Забелин В.Л., Корендяев Г.В.** [и др.] — М.: Недра, 1967г. — 484 с.

8. Пат. 2375120 Российская Федерация, МПК В03В 5/62, В04С 5/00. Гидроциклон и способ регулирования работы гидроциклона [Текст] / **Гайтанов Ю.Я., Любченко Л.П., Черниловский С.К.**; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Золотой Остров» — №2008114577/15; заявл. 14.04.2008; опубл. 10.12.2009, Бюл. №34, — 17 с.

9. **Поваров А. И.** Гидроциклоны на обогатительных фабриках [Текст] / **Поваров А.И.** — М.: Недра, 1978г., — 232 с.

10. **Тихонов О. Н.** Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. [Текст] / **Тихонов О. Н.** — М.: Недра, 1984г., — 207 с.

11. **Марюта А.Н.** Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик [Текст] / **Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А.** — М.: Недра, 1983г., — 277 с.

12. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении [Текст] : учеб. пособие. / **Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А.** [и др.] — СПб: НИУ ИТМО, 2013г., —277 с.

13. **Мирошник И. В.** Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами [Текст] / **Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л.** — СПб.: Наука, 2000г., — 549 с.

14. **Гостев В.И.** Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / **Гостев В.И.** — К.: «Радиоаматор», 2008г., — 972 с.

15. **Штовба С.Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / **Штовба С.Д.** — М.: Горячая линия – Телеком, 2007г., — 288 с.

Рукопис подано до редакції 13.04.16

УДК 004.896:[669.162: 662.614]

М.П. ТИХАНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., А.О. ПУЛИНЕЦЬ, студент  
Криворізький національний університет

## УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВИМ ПРОЦЕСОМ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

У роботі розглянуто існуючі системи управління доменною піччю. Загальним недоліком розглянутих систем є те, що вони не можуть враховувати невизначеності вихідних параметрів доменної печі та нечіткість процесів, що протікають в ній. Розробка системи автоматичного керування з нечіткою логікою дозволить врахувати всі недоліки "класичних" систем автоматичного керування, а також передбачити поведінку системи.

Встановлено, що тепловий режим є найважливішим параметром доменного процесу і при цьому досить складним в дослідженні. Для таких складних об'єктів управління, як доменна піч, необхідна система, яка зможе сама реагувати на зміну параметрів всередині об'єкту і приймати рішення. У системах управління з нечіткою логікою використовують нейрорегулятори. Були змодельовані та досліджені три види нейронних регуляторів, які забезпечують бажаний перехідний процес, реакцію на випадкову ступінчасту дію.

Аналіз літературного огляду і експериментальних робіт, показав, що:

тепловий режим доменного виробництва залежить від багатьох внутрішніх і зовнішніх чинників, таких як нагрів дуття, склад шихти, що подається у піч, тиск всередині печі, повнота хімічних і теплообмінних процесів та інше; передбачення поведінки системи дає можливість уникнути невизначеностей і знизити обчислювальну похибку, а також зробити технологічний процес більш продуктивним та якісним.

**Ключові слова:** доменна піч, тепловий процес, нечітка логіка, система автоматичного керування, адаптивна система, нейрорегулятор.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сучасне доменне виробництво - це постійне зростання потужності доменних печей, запровадження нових методів і технологій, що допомагають зробити технологічний процес більш продуктивним та якісним.

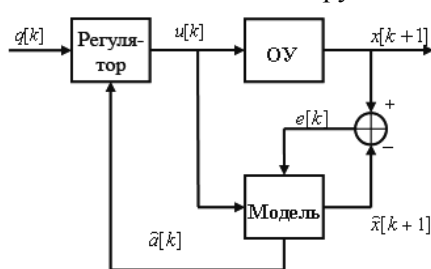
З точки зору управління доменний процес є досить складним об'єктом, що має залежні змінні, непостійні параметри, високий рівень перешкод та нелінійні залежності. Через збільшення інформації, яку необхідно збирати для керування доменною піччю, ускладнився й сам процес управління доменним виробництвом. Для обслуговування печі необхідно більш кваліфікований персонал, оскільки аналізувати інформацію, що надходить, та обирати оптимальні керуючі впливи стає дедалі складніше. В таких умовах набуває актуальності впровадження систем автоматичного керування і контролю доменним виробництвом.

Найбільш важливим вважається вдосконалення системи автоматичного керування тепловим процесом доменної печі. Саме тепловий процес визначає умови, при яких пряме і непряме відновлення заліза можуть набувати раціонального співвідношення.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Над розробкою систем автоматичного керування тепловим процесом доменної печі займаються ряд учених, таких як В.І. Большаков, І.Г. Гуліна, А.К. Тараканов, Ю.В. Каганов, В.В. Миленький, І.Д. Рогожкін, В.І. Набока та багато інших.

Так, автор у своїй роботі [1] описав експертну систему для підтримки прийняття рішень в керуванні режимом дуття в доменному виробництві. Автор розробив інтелектуальну систему управління на основі методу Мамдані [2], оскільки він дозволяє уникнути накопичення нечіткості, при цьому відсутність проміжних процедур фаззифікації/дефаззифікації знижує обчислювальну похибку.

У роботі [3,5] автором було досліджено принципи побудови робастних, оптимальних і адаптивних систем керування. В результаті була використана безпошукова система непрямого адаптивного керування з ідентифікацією об'єкту керування за допомогою навчання прогнозуючих моделей. При цьому основний контур розімкнений, що обумовлює асимптотичну стійкість системи автоматичного керування (рис. 1).



**Рис. 1.** Структура системи непрямого адаптивного управління з моделлю, що налаштовується

**Постановка завдання.** Аналіз літературного огляду показує, що системи автоматичного керування технологією доменного виробництва будуються за досить різними методами і алгоритмами. При управлінні тепловим процесом доменної печі виникає складність з такими невизначеностями як вихідні дані, параметри системи, нечіткість цілей і задач управління. Тому виникає необхідність розробки системи управління, яка зможе враховувати вказані недоліки, а саме систему з використанням нечіткої логіки.

**Викладення матеріалу та результати.** Температурний режим є найважливішим параметром технологічного процесу доменного виробництва. Окрім тепла, що вноситься нагрітим дуттям, основним джерелом тепла є те, яке виділяється у верхній частині горна при згорянні палива і використовується для нагріву шихти та газів, плавлення чугуна і шлаків та забезпечення процесів відновлення і теплових витрат. Гарячі продукти згоряння у газообразному вигляді підіймаються вгору з горна, віддаючи тепло холодним шихтовим матеріалам, що рухаються до низу. Таким чином, на одному горизонті печі температура може відрізнитися в достатньо великому діапазоні. Така непостійність температури пояснюється тим, що гарячі гази, які підіймаються, досить нерівномірно рухаються по перерізу печі: найвищі температури спостерігаються у місцях поперечного перерізу з найменшим опором шихти, де проходить найбільша кількість газів.[4,11]

Причиною виникнення таких невизначеностей є стохастична природа зовнішніх факторів, що впливають на систему, таких як нагрів дуття, склад використовуваної шихти, тиск всередині печі; особливості протікаючого технологічного процесу, непередбачуваність управляючої дії людини.

Нечітка логіка - розділ математики, що є узагальненням класичної логіки та теорії множин, що базуються на понятті нечіткої множини, вперше введеної Л. Заде в 1965 р. як об'єкту з функцією приналежності елементу до множини, що приймає будь-які значення на інтервалі [0,1]. На основі цього поняття вводяться різноманітні логічні операції над нечіткими множинами і формулюється поняття лінгвістичної змінної, в якості значень якої виступають нечіткі множини. [6]

Нечітка множина (fuzzy set) являє собою сукупність елементів довільної природи, відносно яких не можна з повною визначеністю сказати - чи належить той чи інший елемент сукупності, що роздивляється, даній множині чи ні. Іншими словами, нечітка множина відрізняється від звичайної множини тим, що не має однозначної відповіді на питання: "Належить чи не належить той чи інший елемент даній нечіткій множині?" [6,11]

Такий підхід, що використовує штучні чіткі і нечіткі нейронні мережі в теорії управління називають "некласичним". Це дозволяє керувати нелінійними САУ з нейрорегулятором, що

навчається. До переваг використання таких нейрорегуляторів відносяться їх висока ефективність для управління нелінійними нестационарними об'єктами управління в областях промисловості, а також для управління багатовимірними об'єктами управління зі збуренням [3,5].

Використання нейромережі дозволяє вирішувати задачу управління нелінійним об'єктом управління шляхом створення адаптивної системи автоматичного керування з нейрорегулятором, що навчається і еталонною моделлю (рис. 2).

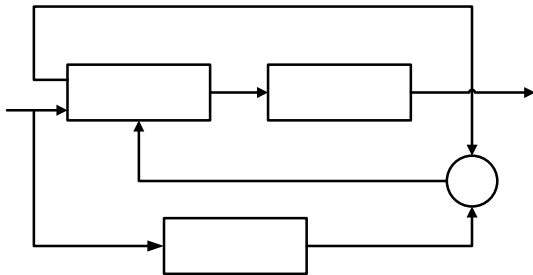


Рис. 2. Нейромережева система управління з еталонною моделлю

У стандартній програмі Matlab були створені та досліджені три види нейрорегуляторів: регулятор з передбаченням, регулятор з використанням нелінійної авторегресії з ковзаючим середнім, регулятор на основі еталонної моделі.

При управлінні з передбаченням модель керованого процесу використовується для того,

щоб передбачити його майбутню поведінку, а алгоритм оптимізації застосовується для розрахунку такого управління, яке мінімізує різницю між бажаними та дійсними змінами виходу моделі. Крім того, регулятор обчислює сигнал управління, який оптимізує поведінку об'єкта на заданому інтервалі часу(рис. 3).

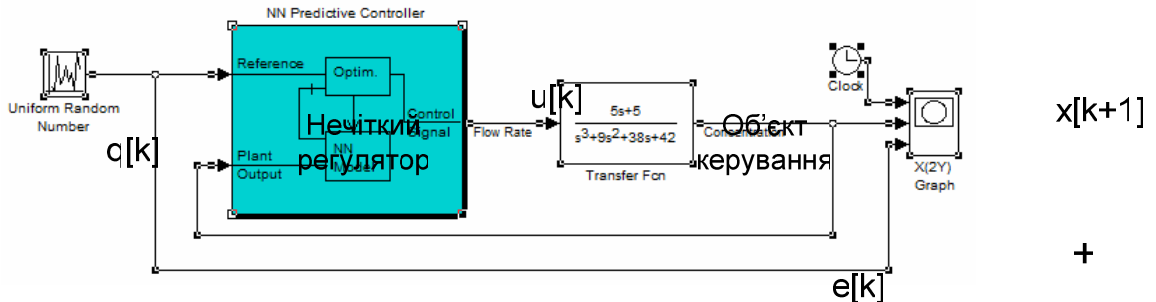


Рис. 3. Модель системи управління об'єктом з використанням нейрорегулятора з передбаченням

Нейромережевий регулятор, який використовує в якості моделі управління процесом модель нелінійної авторегресії з ковзаючим середнім, представляє собою модифіковану нейромережеву модель керованого процесу, отриману на етапі автономної ідентифікації (рис. 4).

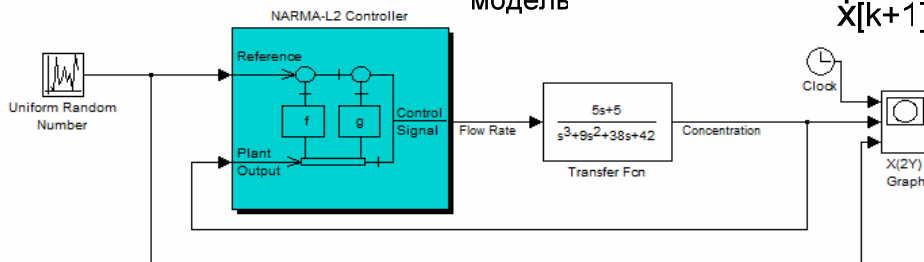


Рис. 4. Модель системи управління об'єктом з використанням нейрорегулятора з використанням нелінійної авторегресії з ковзаючим середнім

Система керування з еталонною моделлю використовує 2 нейронні мережі: для регулятора і для моделі об'єкта керування.

Регулятори на основі еталонної моделі застосовуються до різноманітних класів керованих процесів (рис. 5).

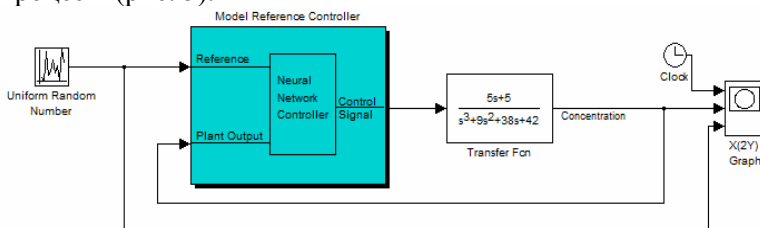


Рис. 5. Модель системи керування з еталонною моделлю

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** В результаті огляду і аналізу теоретичних і експериментальних робіт, встановлено, що:

тепловий режим доменного виробництва залежить не тільки від протікаючих у ньому процесів, а й від зовнішніх факторів таких як нагрів дуття, склад поступаючої шихти та інше; передбачення поведінки системи дає можливість уникнути невизначеностей і знизити обчислювальну похибку, а також зробити технологічний процес більш продуктивним та якісним.

У подальшому є актуальним створення і розвиток систем автоматичного керування на основі нечіткої логіки, які змогли б безпосередньо застосовувати якісно сформульовані експертні знання для генерування управляючих дій на об'єкт управління.

#### Список літератури

1. <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2009/kita/rogzhkin/diss/indexu.htm>
  2. **Mamdani E.H., Assilian S.** An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies, 1975. - Vol. 7. - №1. - P. 1-13.
  3. **Гулина И.Г.** Адаптивная САУ сложным многосвязным объектом управления с интеллектуальным прогнозированием // И.Г. Гулина, В.И. Корниенко // Системы обработки информации, 2011. – Вип.87. – С. 57-62. – ISSN 1681-7710
  4. **Корниенко В.И.** Обоснование принципов построения систем управления тепловым состоянием доменной печи // В.И. Корниенко, И.Г. Гулина // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2011. – № 4. – С.111-115. – ISSN 2071-2227.
  5. **Корниенко В.И.** Методология побудови інтелектуальних прогнозуючих систем оптимального керування нелінійними технологічними процесами / В.И. Корниенко, И.Г. Гулина // Гірничая електромеханіка та автоматика. – 2010. – Вип. 85. – С. 75-82.
  6. **Гостев В.И.** Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / Гостев В.И. – К.: «Радиоаматор», 2008г., – 972 с.
  7. **Штовба С.Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / Штовба С.Д. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007г., – 288 с.
  8. **Мирошник И. В.** Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами [Текст] / Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л. – СПб.: Наука, 2000г., – 549 с.
  9. **Бобцов А.А.** Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении [Текст] : учеб. пособие. / Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А. [и др.] – СПб: НИУ ИТМО, 2013г., –277 с.
  10. **Попович М.Г.** Теория автоматического керування: Підручник [Текст] / Попович М.Г., Ковальчук О.В., – К.: Либідь, 1997р., – 533 с.
  11. **Terano T., Asai K., Sugeno M.,** Fuzzy Systems Theory and its Applications, Academic Press, London 1992.
  12. **Takagi T., Sugeno M.,** Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1985, vol. 15, s. 116-132.
  13. **Леоненков А.В.** Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / **А.В. Леоненков** – СПб.: БХВ-Петербург, 2005., – 736 с.
  14. **Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений /Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
  15. **Круглов В.В., Борисов В.В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика / **В.В. Круглов, В.В. Борисов.** – М.: Горячая линия - Телеком, 2001., – 382 с.
  16. **Mamdani E.H., Assilian S.** An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. - 1975. - Vol. 7. - №1. - P. 1-13.
- Рукопис подано до редакції 09.04.16

УДК 622.7: 658.562

А.И. САВИЦКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.А. ТИМОШЕНКО, аспирант  
Криворожский национальный университет

### НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОЦИКЛОНОМ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРАХ

Обогащение является комплексным сложным процессом и преследует достижение трех различных целей – повышения производительности, повышение качества конечного продукта и снижение энергозатрат. Для достижения этих целей рационально применять распределенное управление к обогатительному комплексу, что позволит рассматривать каждый его механизм по отдельности и в контексте работы общей системы. При этом целесообразно использование современных интеллектуальных способов автоматизированного управления: оптимальное и адаптивное управление, средства искусственного интеллекта, нечеткой логики, генетические алгоритмы, гибридные модели. Исследования показывают, что нечеткое управление гидроциклоном второй стадии измельчения позволяет учитывать множество зависимостей и вырабатывать управляющие воздействия, зависящие от многих параметров. Кроме того, данный подход позволяет работать в условиях неопределенных параметров. Представленная система управления самообучается и самонастраивается, а также учитывает связь с предыдущей и последующей стадией измельче-