

технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва.” –К.: НТТУ “КПІ”, 1998. – Т.3. – С. 268–271.

3. Клендій П. Математична модель процесу пневмотранспортування сипких матеріалів у продуктопроводі / П.Клендій, Г. Клендій, С. Гайдукевич // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 2008. –№ 1. –С. 119 – 124.

4. Птушкин А.Т. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна / А.Т. Птушкин. – М.: Колос, 1979. – 335 с.

5. Transport des sacs postaux a laide de tudes pneumatques // Manutention. – 1969. – Vol 19. –№ 161. – P. 117 – 119.

6. Tubexpress developed a new concept in solids transportation // Pipe Line News. – 1972. – Vol. 19. –№ 161 – P. 117 – 119.

7. Wasp E. State of the art in Solids pipe – lining // Pipe–Line. – Eng., 1969.– № 12.

В среде Simulink пакета прикладных программ MatLAB разработана компьютерная модель пневмотранспортной системы мельницы типа P6-ABM-15. Используя модель, исследована работа пневмосети при разной загрузке пневмоветок и определены энергоэффективные режимы.

Компьютерное моделирование, пневмотранспортная система, энергоэффективные режимы.

In the environment of Simulink of application of MatLAB package the computer model of the system of mill is made of type as P6-ABM-15. Using a model, work of pnevmatiknetwork is investigated at the different loading of pnevmatikbranch and the energy effective modes are curtained.

Computer design, pnevmatik system, energy effective modes.

УДК 665.33.001.73

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ УСТАНОВКОЮ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

***В.П. Лисенко, кандидат технічних наук
Д.С. Комарчук, асистент***

Розроблено систему автоматичного керування режимами роботи установки для теплової обробки дисперсних матеріалів індукційним способом передачі енергії до теплопередаючої поверхні на основі нечітких нейронних мереж.

Індуктор, індукційний нагрів, нечітка система, ріпак, нечітка нейронна мережа, система автоматичного керування.

Нині важливим фактором впливу на зростання потенціалу економіки України є підвищення наукоємності технологій, у тому числі електротехнологій з використанням комп'ютерних інтелектуальних систем керування [3].

Для сучасних промислових електротехнологічних систем невисокий рівень питомих енергетичних витрат на одиницю продукції, зручність експлуатації та надійність роботи в значній мірі залежить від якості систем автоматичного керування. Складність розробки таких систем зростає в умовах непрогнозованих змін напруги електромережі живлення і невизначених змін нелінійності об'єкта регулювання, які можуть виникати в силу особливостей нестационарного технологічного процесу.

Мета досліджень – створення системи автоматичного керування режимами роботи установки для теплової обробки дисперсних матеріалів з використанням нечіткої логіки та гібридних нейронних мереж.

Матеріали та методика досліджень. Зміну напруги електричної мережі живлення в умовах невизначеності електричних режимів сучасного електротехнічного та електронного обладнання складно представити в математичній формі чи спрогнозувати. У той же час автоматичне керування при нестабільності напруги в електротехнологічному навантаженні у більшості сучасних установок є умовою, при якій необхідно забезпечити низькі питомі енергетичні витрати та отримати продукцію високої споживчої якості.

Відхилення напруги живлення в електротехнологічному навантаженні можуть виникати через низку факторів [1,4,5]. Складність задач якісного регулювання і стабілізації напруги електротехнологічних систем полягає в формуванні загальної картини взаємовідношень всіх складових впливу. Прийняття рішення про характер поведінки системи в цілому повинно базуватись на врахуванні як відхилення напруги, характеру нелінійності навантаження, параметрів технологічного процесу, стану виконавчого органу, так і особливостей функціонування регуляторів та стабілізаторів напруги з різними способами керування силовими виконавчими органами.

Структура більшості систем регулювання та стабілізації напруги, що нині має місце на виробництві, подібна до традиційних локальних систем з ПІД-законом керування і не може забезпечити оптимальне керування і прийняття рішень щодо керування без математичного опису системи. Відомі системи з прогнозним (упередженим) керуванням та так звані «робастні» системи [2,9], які потребують наявності детермінованого причинно-наслідкового зв'язку між вхідними і вихідними параметрами у вигляді математичних рівнянь, що для більшості промислових електротехнологічних процесів неможливо визначити. А за відсутності достовірного математичного опису поведінки системи регулювання, в умовах непрогнозованої зміни напруги мережі, неможливо встановити оптимальні коефіцієнти налаштування ПІД-регулятора, який повинен працювати на нелінійне навантаження.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури [6–9] показує, що для підвищення ефективності керування та якості регулювання і стабілізації в широкому діапазоні напруги електротехнологічних систем математичний апарат нечіткої логіки є одним із найдодільніших шляхів, оскільки дозволяє ідентифікувати електротехнологічні системи засо-

бам формалізації природних мовних виразів і логічних висновків із синтезом нечіткого логічного контролера, що має нелінійну передавальну характеристику. Нечітка система керування, окрім здатності спостереження за вхідними параметрами перетворювача та їх аналізом, спроможна встановлювати відношення між параметрами спостереження та виконувати оцінку ступеня взаємозв'язку між ними на основі правил бази знань і приймати рішення щодо керування виконавчим органом на основі відтворення оптимальних відношень. Це забезпечить покращення ефективності та підвищення якості регулювання і стабілізації напруги зі зменшенням часу виходу на заданий режим при зменшенні величини перерегулювання.

Тому створення та дослідження вискоефективних інтелектуальних систем, що забезпечують регулювання і стабілізацію параметрів у широкому діапазоні зміни напруги, на основі методів нечіткої логіки є досить актуальною задачею.

Результати досліджень. Для створення нейроінформаційної системи використовуємо алгоритм Сугено [111,122]. На основі алгоритму нечіткого логічного висновку будується система міркувань (рис.1).

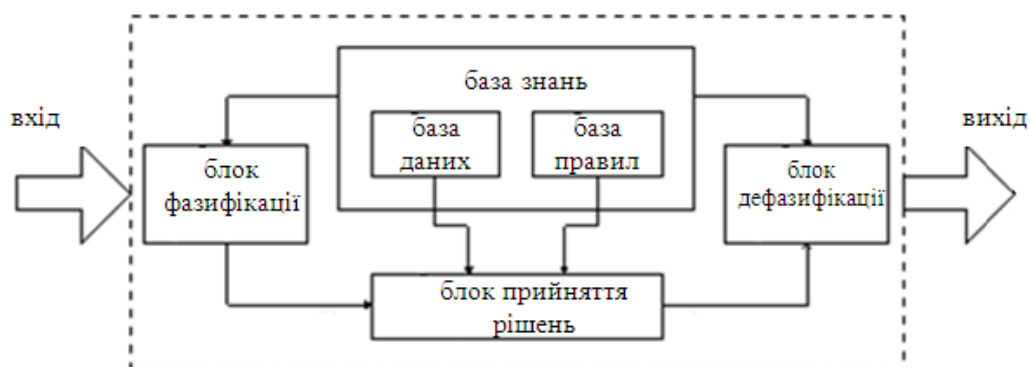


Рис. 1. Нейроінформаційна система

Система нечітких міркувань складається з п'яти функціональних блоків:

- блок фазифікації, що перетворює чисельні вхідні значення в ступені відповідності лінгвістичним змінним;
- база правил, яка містить набір нечітких правил типу якщо-то;
- база даних, в якій визначено функції приналежності нечітких множин, що використовуються в нечітких правилах;
- блок прийняття рішень, здійснює операції виведення на підставі наявних правил;
- блок дефазифікації перетворює результати виводу в чисельні значення.

ANFIS реалізує систему нечіткого виводу Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу (рис.2). Призначення шарів таке:

- перший шар – терми вхідних змінних;
- другий шар – антецеденти (посилки) нечітких правил;
- третій шар – нормалізація ступенів виконання правил;

- четвертий шар – укладення правил;
- п'ятий шар – агрегування результату, отриманого за різними правилами.

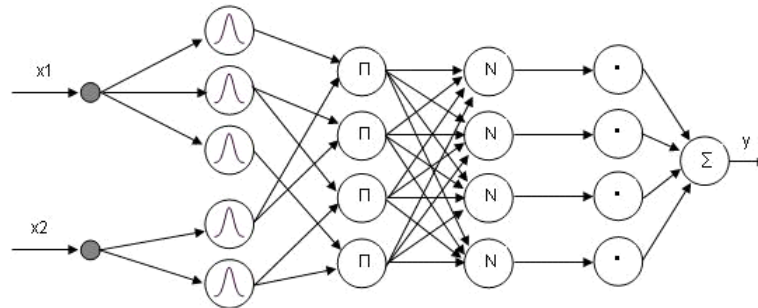


Рис. 2. ANFIS мережа

База правил являє собою безліч нечітких правил $R^k, k = 1, \dots, N$ виду [11]:

$$R^k : IF(x_1 \text{ it } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ it } A_2^k \dots \text{ AND } x_n \text{ then } A_n^k) \text{ Then} \quad (1)$$

$$(y_1 \text{ it } B_1^k \text{ AND } y_2 \text{ it } B_2^k \dots \text{ AND } y_m \text{ it } B_m^k),$$

де N – кількість нечітких правил; A_j^k, B_j^k - нечіткі множини.

Об'єднавши математичні описи всіх використаних елементів мережі отримуємо один із способів реалізації ANFIS мережі:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k \left(\prod_{i=1}^n e^{-\frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma_i^k}} \right)}{\sum_{i=1}^N \left(\prod_{i=1}^n e^{-\frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma_i^k}} \right)} \quad (2)$$

Створення ANFIS-моделі забезпечення необхідної температури дисперсного матеріалу виконуємо з використанням графічного інтерфейсу гібридних нейронних мереж у пакеті прикладних програм ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) системи MatLAB [10].

Для моделювання використаємо три блоки даних, отриманих у результаті проведених експериментальних досліджень та математичної моделі – навчальні, контрольні та дані для перевірки.

Розробку системи автоматичного керування напругою установки залежно від початкової температури дисперсного матеріалу та діючої напруги мережі розпочнемо з завантаження даних експерименту в редактор моделі. Використовуємо дані Training data (рис.3).

У групі опцій ANFIS активуємо опцію grid partition. Не змінюючи інші налаштування, генеруємо структуру нейронної моделі типу input_gbellmt та output_linear (рис. 4). Кількість циклів змінимо на 600.

Структуру розробленої мережі зображено на рис.5.

Навчання мережі за експериментальними даними припинилось після 515 циклу (рис.6) з середньоквадратичною похибкою 0,0029026.

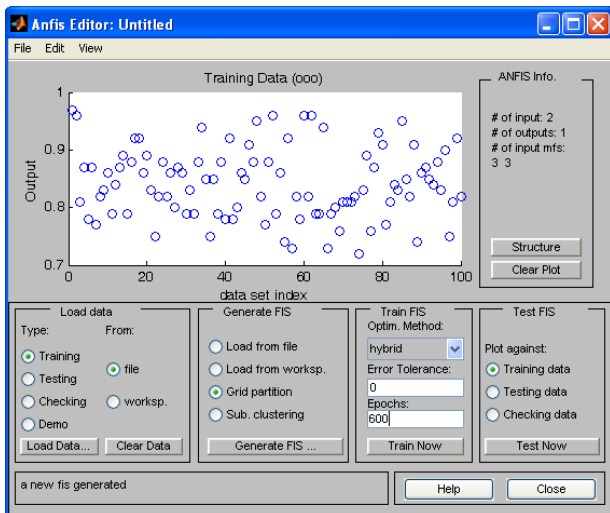


Рис. 3. Налаштування ANFIS редактора на навчальну вибірку експериментальних даних

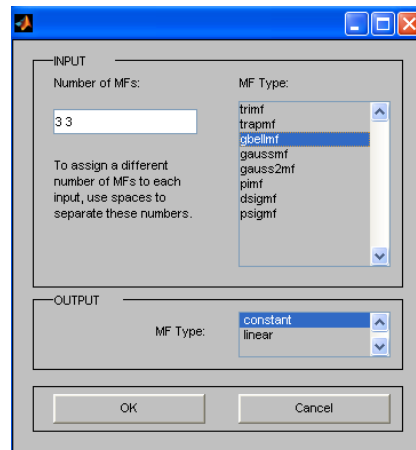


Рис. 4. Вікно визначення функцій належності

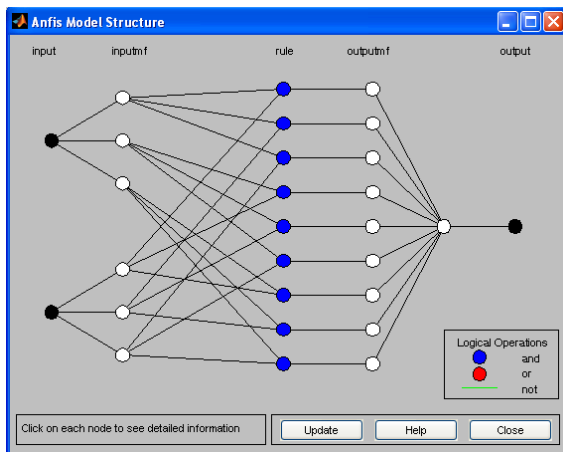


Рис. 5. Структура розробленої гібридної мережі

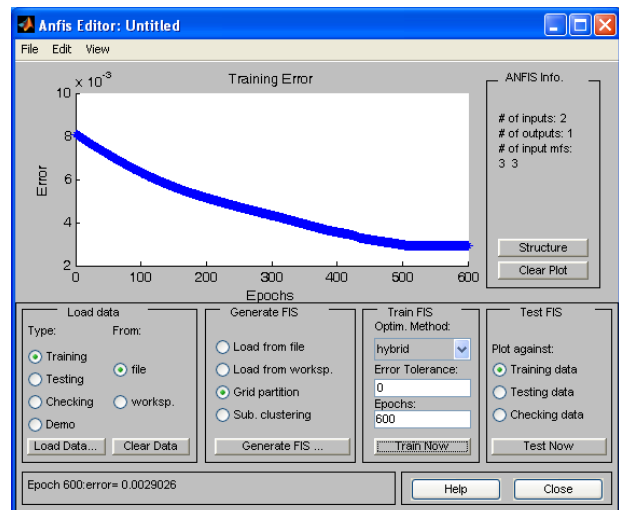


Рис. 6. Результати навчання мережі

Наступним кроком розробки є введення в редактор контрольної вибірки – Testing data (рис.7). За результатами отримали середньоквадратичне відхилення 0,0034573. Таке відхилення у визначенні коефіцієнта m цілком нас влаштовує. Якість роботи гібридної нейронної мережі оцінимо, завантаживши в ANFIS контрольну вибірку даних – Cheking data. Середньоквадратичне відхилення становила 0,0037069 (рис.8), отже ANFIS навчання мережі завершено.

Аналізуючи отриману гібридну мережу, можемо зробити висновки про її адекватність. Поверхня відгуку мережі зображена на рис.9 при коливаннях t_0 в межах від 0 до 30°C та діючої напруги мережі U_m від 200 до 240 В. Візуалізацію взаємодії всіх параметрів показано на рис.10. Навчена ANFIS забезпечує необхідну точність визначення коефіцієнта напруги та може використовуватись для керування електротехнічним комплексом температурної обробки дисперсних матеріалів.

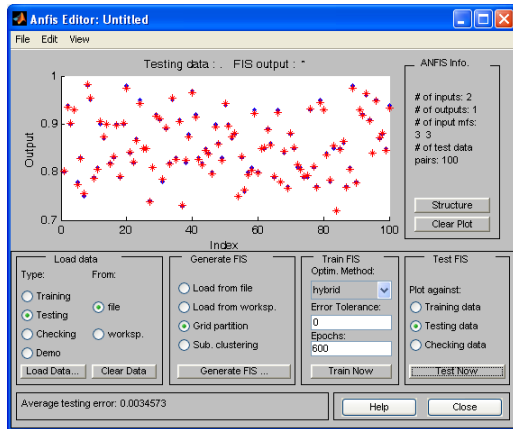


Рис. 7. Самоналаштування ANFIS на контрольну вибірку експериментальних даних

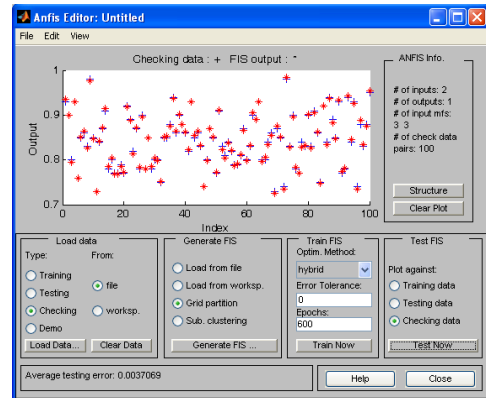


Рис. 8. Результати самоналаштування ANFIS на перевіряльні дані

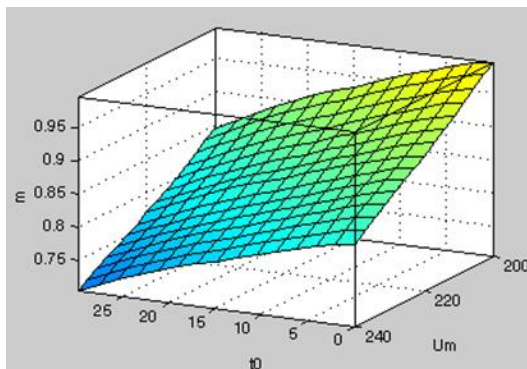


Рис. 9. Графічна залежність коефіцієнта напруги m від початкової температури t_0 , °C та діючої напруги мережі U_m , В

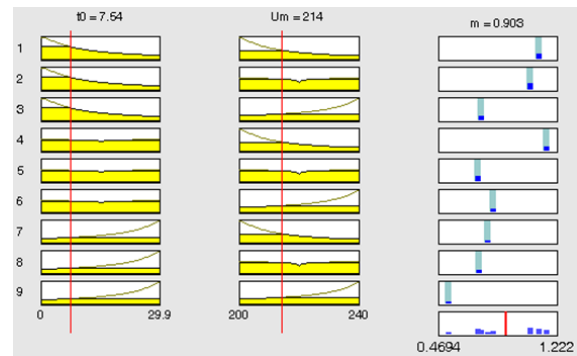


Рис. 10. Вікно правил FIS редактора середовища MatLAB

Висновки

Дослідження створеної за допомогою нечітких нейронних мереж автоматичної системи керування, в якій коефіцієнт напруги залежить від початкової температури дисперсного матеріалу та діючої напруги мережі, підтвердили її адекватність для керування режимами роботи установки. При цьому середньоквадратичне відхилення налаштування системи становило 0.0034573 при обробці Testing data та 0.0037069 при обробці Cheking data.

Список літератури

1. Волков І.В. Спеціалізовані стабілізатори напруги живлення засобів обчислювальної техніки / І.В. Волков, К.О. Липківський, В.А. Халіков // Технічна електродинаміка. – 1996. – №5. – С. 72 – 73.
2. Жуйков В.Я. Системи упереджувального управління вентилями преобразователями / Жуйков В.Я., Павлов В.Б., Стжелецки Р.Г. – К.: Наук. думка, 1991. – 240с.

3. Кирик В. В. Комп'ютерно-інтегровані технології керування на основі нечіткої логіки: монографія / В.В. Кирик, В.К. Присяжнюк. – К.: Академія муніципального керування, 2008. – 198 с.
4. Липківський К.О. Проблема регулювання напруги змінного струму та ефективного вирішення її основних аспектів за допомогою локальних технічних засобів / К.О. Липківський // Технічна електродинаміка. – 1997. – №1. – С. 35 – 39.
5. Миловзоров В.П. Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения / В. П. Миловзоров, А. К. Мусолин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
6. Особенности питания «энергоэффективных потребителей» // К. А. Липковський, В.В. Кирик, А.Ф. Жаркин, А.В. Самков // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Моделювання електронних, енергетичних та технологічних систем». – 1999. – Ч.1. – С. 94–96.
7. Сокол Є.І. Мікропроцесорне керування напівпровідниковими перетворювачами електричної енергії за обчислювальними прогнозами: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.09.12 / І.Є. Сокол. – К., 1994. – 40 с.
8. Тимченко Ю.Б. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів: підручник / За ред. В.І. Бикова. – К.: Либідь, 2003. – 272 с.
9. Шидловский А. К. Тиристорные преобразователи постоянного напряжения для низковольтного электротрансформатора / А.К. Шидловский. – К.: Наук. думка, 1982. – 188 с.
10. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2007. – 288 с.
11. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. Systems & Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665 – 685.
12. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. John Wiley & Sons. – 1997. – 305p.

Разработана система автоматического управления режимами работы установки для тепловой обработки дисперсных материалов индукционным способом передачи энергии к теплопередающей поверхности на основе нечетких нейронных сетей.

Индуктор, индукционный нагрев, нечеткая система, рапс, нечеткая нейронная сеть, система автоматического управления.

The system of automatic control for the induction heating of dispersion materials with use fuzzy neural networks is developed.

Coil, induction heating, fuzzy systems, rape, fuzzy neural network, automatic control system.