

Комарчук Д.С.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розроблено алгоритм використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування електротехнологічного комплексу температурної обробки зерна в лінії виробництва олії ріпаку і створено поновлювальну базу знань режимів функціонування обладнання. Її адекватність доведено дослідженням створеної за допомогою нечітких нейронних мереж автоматичної системи керування коефіцієнтом напруги залежно від початкової температури зерна ріпаку та діючої напруги мережі.

Ключові слова: нейронна мережа, індукційний нагрів, індуктор, прес-екструдер, тепловий процес, ріпак, олія.

Постановка проблеми. Сьогодні найбільш важливим науково-технічним напрямом впливу на зростання потенціалу економіки України є підвищення наукоємності електротехнологій з використанням комп'ютерних інтелектуальних систем керування в промисловості та інших сферах діяльності людини [3].

Для сучасних автоматичних промислових систем низький рівень питомих енергетичних витрат на одиницю продукції, зручність експлуатації та надійність роботи в основному визначаються науково-технічним рівнем систем автоматичного керування та режимами споживання електричної енергії. Складність розроблення таких систем автоматичного управління зростає в умовах непрогнозованих змін напруги електромережі живлення і невизначених змін об'єкту керування, які можуть виникати в силу особливостей нестаціонарного технологічного процесу.

Зміну рівня напруги електричної мережі живлення в умовах невизначеностей електричних режимів обладнання неможливо представити в математичній формі чи достовірно спрогнозувати. Однак автоматичне управління за нестабільності напруги у більшості сучасних установок є умовою, за якої необхідно забезпечити оптимальні параметри електроенергетичних і технологічних процесів для отримання продукції високої споживчої якості.

Відхилення напруги живлення в навантаженні виникають через низку факторів і характеризуються багатосторонніми зв'язками [6, 7, 8]. Складність задачі якісного регулювання і стабілізації напруги електротехнологічних систем полягає у

формуванні загальної картини взаємозв'язків всіх складників впливу, які в повній мірі можна досягнути тільки після того, як прийнято «рішення» для виконавчого пристрою, яке до зафіксованих відхилень додає другорядні чинники.

Структура більшості систем регулювання та стабілізації напруги, що сьогодні має місце на виробництві, подібна до традиційних локальних систем з ПІД-законом керування і не може забезпечити оптимальне управління і прийняття рішень щодо управління без математичного опису системи. Відомі системи з прогнозним (упередженим) керуванням та так звані «робастні» системи [1, 2, 13] теж вимагають наявності детермінованого причинно-наслідкового зв'язку між вхідними і вихідними параметрами у вигляді математичних рівнянь, які для більшості промислових електротехнологічних процесів неможливо визначити. А за відсутності достовірного математичного опису поведінки системи регулювання в умовах непрогнозованої зміни напруги мережі можливо оптимально встановити коефіцієнти управління ПІД-регулятора, який повинен працювати на нелінійне навантаження.

До нелінійних навантажень відносяться і більшість промислових електротермічних установок, в тому числі й установки температурної обробки, які широко використовуються в промисловості і приватному секторі (зокрема для термообробки сільськогосподарських матеріалів, олійного насіння тощо). Для здійснення технологічного циклу в таких установках необхідно виконувати регулювання напруги у всьому вхідному діапазоні напруги мережі живлення.

На цей час одним із ефективних шляхів у вирішенні проблеми регулювання параметрів промислових електротехнологічних комплексів температурної обробки є розробка систем регулювання та стабілізації напруги електротехнологічних установок з використанням в них інтелектуальних методів на основі математичного апарату нечіткої логіки, які реалізують управління на основі отриманих експериментальних даних і не потребують математичного опису поведінки системи.

Значного підвищення ефективності, якості та швидкодії систем регулювання змінної напруги, зокрема і підвищення ефективності використання самих мікропроцесорних засобів формування сигналів управління за відсутності математичних моделей цих систем, можна досягнути на основі математичного апарату нечіткої логіки з інтелектуальним підходом до організації та реалізації алгоритму прийняття рішення щодо управління з використанням основних досягнень в методології обробки інформації людиною під час врахування особливостей тих чи інших способів регулювання та стабілізації напруги.

Три десятиліття тому в системах управління, крім «жорсткої» логіки, використовували мікропроцесори, а потім і мікроконтролери. Це дозволило максимально гнучко використовувати набуті енергетичні і часові характеристики та багаторазово збільшити ефективність традиційних електротехнологічних систем.

Сьогодні не просто ставить задачу ефективного та якісного регулювання чи стабілізації змінної напруги з використанням нечітких методів підтримки рішень управління силовим виконавчим органом, а й висуває вимоги до створення інтегрованих цілісних систем того чи іншого електротехнологічного чи виробничо-побутового призначення з можливістю передачі функцій управління перетворювачем напруги комп'ютерній системі споживача, щоб отримати оптимальні енергетичні показники за мінімальних апаратних затрат та максимального використання ресурсів ЕОМ.

Важливість створення електротехнічних систем з використанням нечітких логічних контролерів, алгоритми роботи яких наближені до розумової діяльності людини, та адаптація їх для використання в керуючих комп'ютерних системах підкреслюється у матеріалах Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) і Міжнародної електротехнічної комісії (IEC) [16, 18].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури [2, 9, 11, 12, 13] показує, що для підви-

щення ефективності управління та якості регулювання і стабілізації в широкому діапазоні напруги електротехнологічних систем математичний апарат нечіткої логіки є одним з найбільш доцільних шляхів, оскільки дозволяє ідентифікувати електротехнологічні системи засобом формалізації природних мовних виразів (предикатів) і логічних висновків з синтезом нечіткого логічного контролера, що має нелінійну передатну характеристику. Нечітка система управління, окрім здатності спостереження за вхідними параметрами перетворювача та їх аналізом, спроможна установлювати відношення між параметрами спостереження та виконувати оцінку ступеня взаємозв'язку між ними на основі правил бази знань і приймати рішення щодо управління виконавчим органом на основі відтворення оптимальних відношень, що забезпечить покращення ефективності та підвищення якості регулювання і стабілізації напруги зі зменшенням часу виходу на заданий режим за зменшення величини перерегулювання.

Формулювання цілей статті. Розробити алгоритм використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування електротехнологічного комплексу індукційного нагріву дисперсних матеріалів в процесі виробництва олії.

Виклад основного матеріалу. Спосіб регулювання напруги та метод і схемотехніка його реалізації визначають точності, енергетичні показники та показники надійності регуляторів і стабілізаторів змінної напруги [4]. За способом регулювання напруги регулятори та стабілізатори поділяються на неперервні та імпульсні.

Розглянемо напівпровідникові імпульсні регулятори та стабілізатори напруги (як найбільш поширені), в яких напруга мережі в кожному напівперіоді повністю вмикається та вимикається, а регулювання проходить шляхом зміни моменту цього перемикавання. Імпульсний спосіб регулювання визначається видом модуляції. В напівпровідникових регуляторах використовуються наступні види імпульсної модуляції: широтно-імпульсна (ШІМ), частотно-імпульсна (ЧІМ) та частотно-широтно-імпульсна (ЧШІМ). Якщо вважати імпульсом певну послідовність енергії (квант), то при ШІМ змінюється сумарна довжина імпульсів за постійної частоти їх появи. При ЧІМ змінюється частота появи імпульсів за постійної їх довжини. При ЧШІМ змінюється як частота появи імпульсів, так і їх довжина.

Залежно від відношення фаз та частот вмикання виконавчих силових елементів види модуляції

ділять на синхронні та асинхронні. При синхронній модуляції частоти імпульсів модуляції повинні дорівнювати подвійній частоті мережі $f_m = 2f_M$. Асинхронна модуляція поділяється на багатократну та багатократну синфазну. За багатократної модуляції частоти вмикання імпульсних елементів різні, але кратні, а за синфазної модуляції додатково співпадають моменти появи кратних імпульсів [4].

По відношенню частот модуляції f_m та мережі f_M розрізняють імпульсну модуляцію на частоті мережі або фазово-імпульсну, коли $f_m = 2f_M$; високочастотну модуляцію, коли $f_m > 2f_M$; низькочастотну модуляцію, коли $f_m < 2f_M$.

На одному зі шляхів підвищення ефективності роботи електрообладнання під час нестационарних технологічних процесів, зокрема в установках електричного нагріву, як відомо, отримали широке поширення способи регулювання напруги використанням широтно-імпульсної модуляції [4, 10]. Регулювання напруги в основному каналі технологічного навантаження виконується на основі способу регулювання напруги з використанням частотно-імпульсної модуляції на частоті мережі електроживлення (ШІМ МЧ).

Широко поширеним видом модуляції, що використовуються у різного виду електротермічних установках різного технологічного напрямку, є широтно-імпульсна модуляція на низькій частоті (ШІМ НЧ). За низькочастотної імпульсної модуляції діюче та середнє значення змінної напруги за період модуляції можна змінювати за необхідним законом. Окрім цього, низькочастотна модуляція з ввімкненням ключів при $\alpha = \beta = 0$ дозволяє виконати «м'яку» комутацію, що характеризується практично відсутністю генерації високочастотних гармонік [3]. Мінімальна довжина низькочастотних імпульсів визначається півперіодом мережі, але практично мінімальне значення імпульсу вибирається рівним періоду напруги мережі для усунення постійного складника в навантаженні. Тому діюче або середнє значення однофазної напруги в навантаженні визначається коефіцієнтом напруги m (коефіцієнтом часу вмикання j -фази навантаження) [3]:

$$m = \frac{T_y}{T_p} \quad (1)$$

де: T_y – час вмикання навантаження, який устанавлюється шляхом зміни кількості n періодів напруги мережі T_M пропущених в навантаження за період регулювання T_p і дорівнює:

$$T_y = n \cdot T_M \quad (2)$$

Таким чином, абсолютна дискретній ΔU визначається мінімально можливою зміною сигналу управління X .

$$\Delta X_y = \frac{T_M}{T_p} \quad (3)$$

Діюче та середнє значення напруги в навантаженні можна записати як:

$$U_d = U_d(T_p)m, \quad (4)$$

$$U_d = U_d(T_p)m, \quad (5)$$

Отже, системи фазового регулювання, які виключають генерування субгармонік, але вносять широкий спектр високочастотних гармонік, забезпечують плавне регулювання напруги як на інерційних, так і мало інерційних навантаженнях та окрім цього, мають нелінійну передатну характеристику і нестабільність коефіцієнта передачі, що спричиняється напругою мережі; системи регулювання з використанням низькочастотної широтно-імпульсної модуляції можуть генерувати низькочастотні коливання напруги в навантаженні, але мають лінійну передатну характеристику за умови значно меншого впливу на неї нестабільності напруги мережі та є більш придатними для інерційних навантажень, таких як установки температурної обробки з використанням індукційного нагріву.

Результати досліджень. Для створення нейроінформаційної системи використаємо алгоритм Сугено [15, 17], що найбільш часто використовується під час побудови нейроінформаційних систем. На основі алгоритму нечіткого логічного висновку будується система міркувань, яка складається з п'яти функціональних блоків [5]:

- 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 використовуються в нечітких правилах;
- блок прийняття рішень, який 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. 1). Призначення шарів наступне:

- 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.

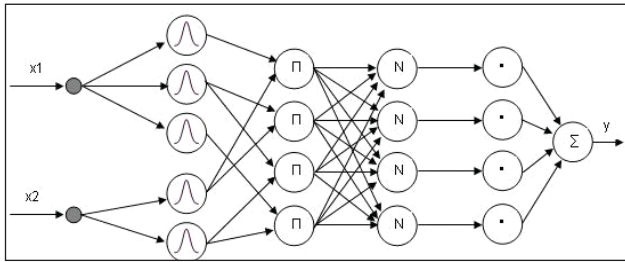


Рис. 1. ANFIS мережа

ANFIS-мережа функціонує наступним чином.

База правил являє собою безліч нечітких правил $R^k, k = 1, \dots, N$ виду [15]:

$$R^k : IF(x_1 \text{ it } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ it } A_2^k \dots \text{ AND } x_n \text{ it } A_n^k) \text{ Then } (y_1 \text{ it } B_1^k \text{ AND } y_2 \text{ it } B_2^k \dots \text{ AND } y_m \text{ it } B_m^k), \quad (6)$$

де N – кількість нечітких правил;

A_j^k, B_j^k – нечіткі множини.

При скалярному вигляді формула (6) прийме вигляд:

$$R^k : IF(x_1 \text{ it } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ it } A_2^k \dots \text{ AND } x_n \text{ it } A_n^k) \text{ Then } (y \text{ it } B^k). \quad (7)$$

Таким чином, база правил системи нечіткого висновку представляється у вигляді сукупності нечітких предикатних правил виду:

П1: якщо x це $A1$, тоді y це $B1$,

П2: якщо x це $A2$, тоді y це $B2$,

Пn: якщо x це An , тоді y це Bn ,

Блок прийняття рішення. Для визначення функції належності нечіткої множини B^k скористаємося формулою:

$$\mu_{B^k}(y) = \sup\{\mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i)\} \quad (8)$$

Блок фазифікації. Застосуємо операцію типу Синглетон:

$$A'(x) = \begin{cases} 1, & x = \bar{x}, \\ 0, & x \neq \bar{x} \end{cases} \quad (9)$$

Супремум в 8 досягається при $\mu_{A'}(\bar{x}) = 1$, тоді вираз 8 приймає вигляд:

$$\mu_{B^k}(y) = \{\mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(\bar{x}_i)\} \quad (10)$$

Для блоку дефаззифікації застосовується метод центру ваги (CoGS, Centre of Gravity for Singletons):

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k \cdot \mu_{B^k}(\bar{y}^k)}{\sum_{i=1}^N \mu_{B^k}(\bar{y}^k)} \quad (11)$$

де: \bar{y}^k – центр нечіткої множини B^k , тобто точка, в якій функції належності нечіткої множини B^k досягає максимуму.

Підставляючи вираз 10 в рівняння 11 і враховуючи, що максимальне значення в точці $\bar{y}^k = 1$, отримуємо:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(\bar{x}^k))}{\sum_{i=1}^N (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(\bar{x}^k))} \quad (12)$$

Завершальний етап – це визначення форми і параметрів функцій належності нечітких множин A . Наприклад, це може бути функція Гауса

$$\mu_{A_j^k}(x_j) = e^{-\frac{(x_j - \bar{x}_j^k)^2}{\sigma_j^k}} \quad (13)$$

де: \bar{x}_j^k – це центр; σ_j^k – ширина Гаусовської кривої.

Об'єднаємо всі представлені елементи. Скористаємося виразами 8, 9, 11 і 13 та отримуємо один із способів реалізації ANFIS мережі:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k (\prod_{i=1}^n e^{-\frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma_i^k}})}{\sum_{i=1}^N (\prod_{i=1}^n e^{-\frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma_i^k}})} \quad (14)$$

Створення ANFIS-моделі забезпечення необхідної температури вхідного матеріалу олійного матеріалу використовуємо графічний інтерфейс гібридних нейронних мереж у пакеті прикладних програм ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) системи MatLAB [14].

Для моделювання використаємо три блоки даних, отриманих на основі проведених експериментальних досліджень та отриманої математичної моделі, зокрема навчальні, контрольні та перевіряльні дані.

Початок розробки моделі ANFIS залежності коефіцієнту напруги від початкової температури зерна ріпаку та діючої напруги мережі розпочнемо з завантаження даних експерименту в редактор моделі. Використовуємо дані Training data (рис. 2).

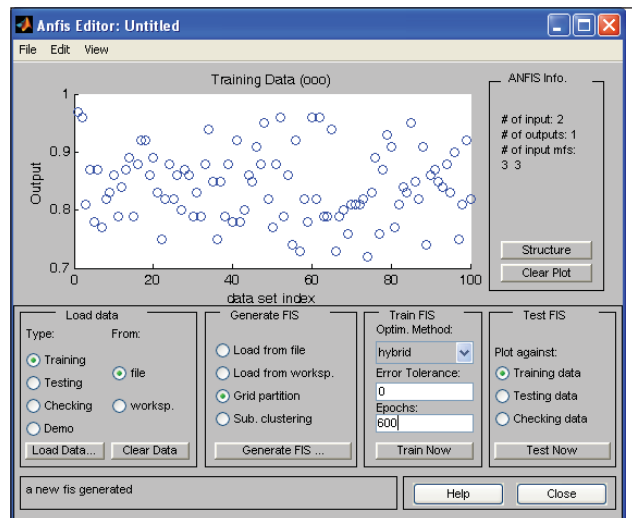


Рис. 2. Налаштування ANFIS редактора на навчальну вибірку експериментальних даних

В групі опцій ANFIS за умовчанням активована опція grid partition. Не змінюючи налаштування, генеруємо структуру нейронної моделі типу input_gbellmf та output_linear (рис. 3). Кількість циклів змінимо на 600.

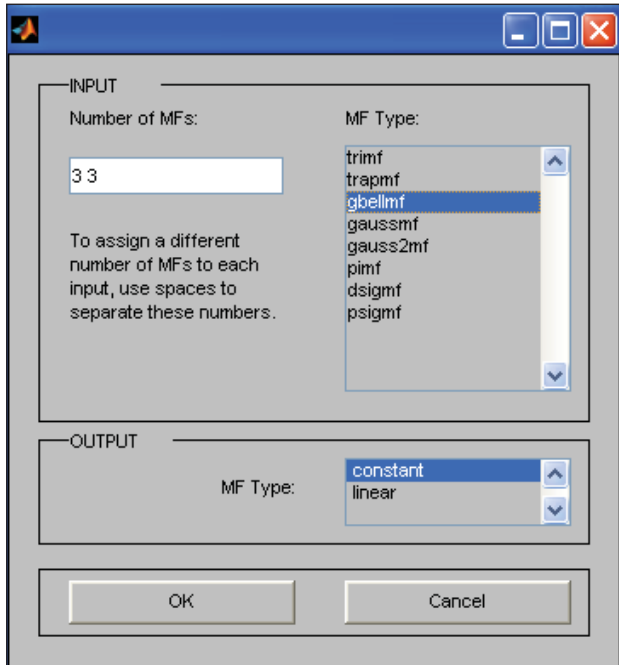


Рис. 3. Вікно визначення функцій належності

Структуру розробленої мережі зображено на рис. 4.

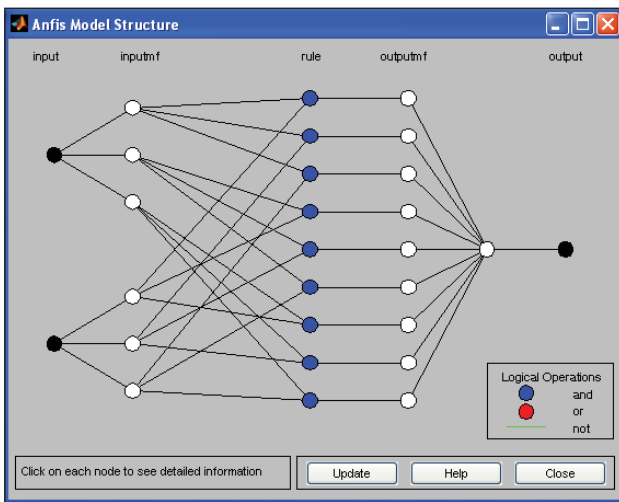


Рис. 4. Структура розробленої гібридної мережі

Навчання мережі за експериментальними даними припинилось після 515 циклу (рис. 5) з середньоквадратичною похибкою 0,0029026.

Наступним кроком розробки є введення в редактор контрольної вибірки – Testing data (рис. 6). В результаті ми отримали середньоквадратичне відхилення 0,0034573. Таке відхилення у визна-

ченні коефіцієнта m цілком нас влаштовує. Якість роботи гібридної нейронної мережі оцінимо, задавши вхідними контрольну вибірку даних – Checking data. Середньоквадратична похибка становила 0,0037069 (рис. 7), отже ANFIS навчання мережі завершено.

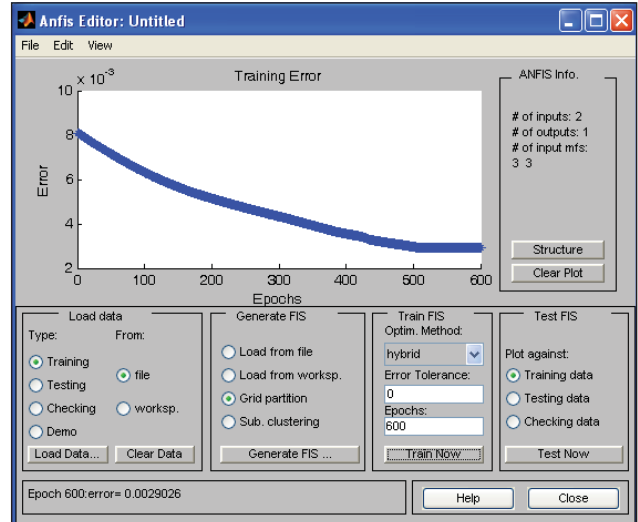


Рис. 5. Результати навчання мережі

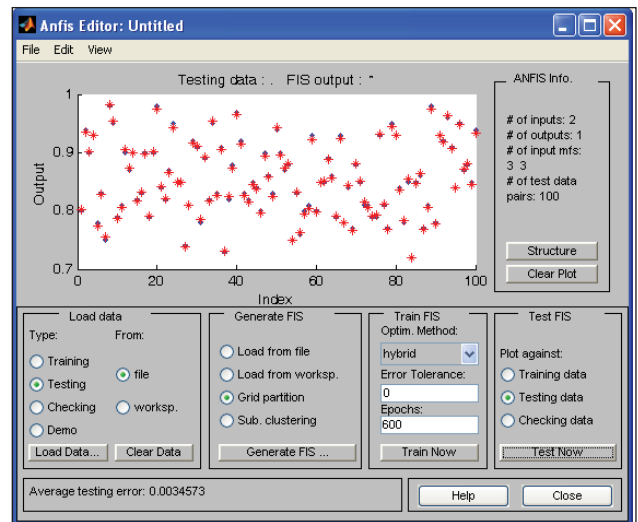


Рис. 6. Самоналаштування ANFIS на контрольну вибірку експериментальних даних

Аналізуючи отриману гібридну мережу, можемо справедливо констатувати її адекватність. Поверхню відгуку мережі зображує рис. 8. За коливань t_0 в межах від 0 до 30 °C та діючої напруги мережі U_m від 200 до 240 В візуалізація взаємодії всіх параметрів показана на рис. 9. Навчена ANFIS забезпечує необхідну точність визначення коефіцієнта напруги та може використовуватись для керування електротехнічним комплексом температурної обробки зерна ріпаку.

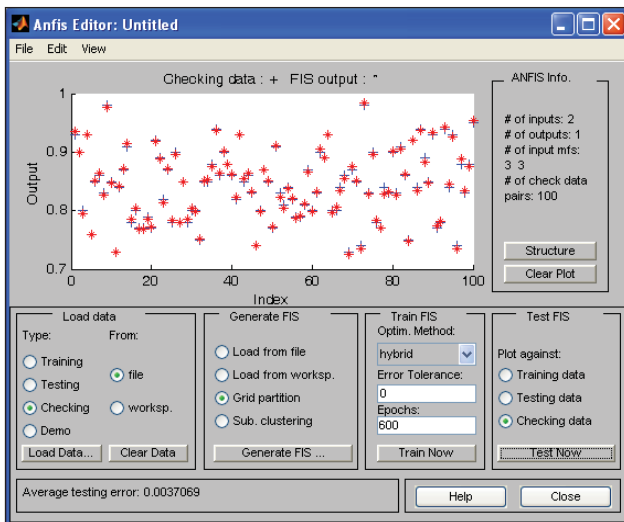


Рис. 7. Результати самоналаштування ANFIS на перевіряльні дані

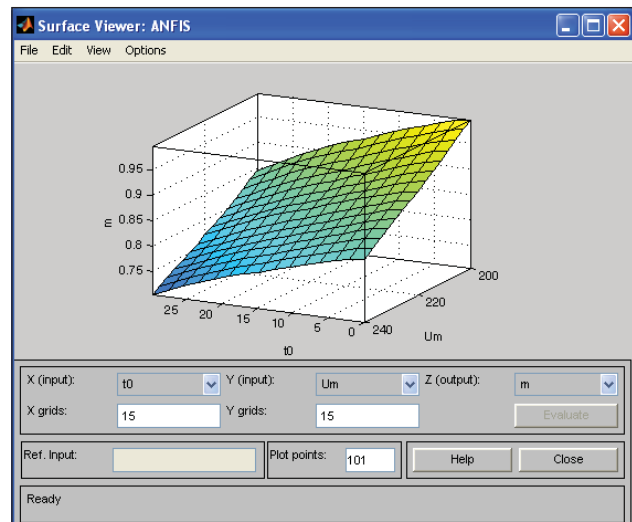


Рис. 8. Графічна залежність коефіцієнта напруги m від початкової температури t_0 , °С, та діючої напруги мережі U_m , В

Висновки. Дослідження створеної з допомогою ННМ АСК коефіцієнтом напруги залежно від початкової температури зерна ріпаку та діючої напруги мережі показали її адекватність. Середньоквадратична похибка налаштування системи становила 0.0034573 за обробки Testing data та 0.0037069 за обробки Cheking data.

Розроблено алгоритм використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування електротехнологічної термічної обробки зерна в лінії виробництва олії ріпака і створено поновлювальну базу знань режимів функціонування вдосконаленого обладнання (похибка не перевищує 1.8%).

Список літератури:

1. Волков І.В., Липківський К.О., Халіков В.А. Спеціалізовані стабілізатори напруги живлення засобів обчислювальної техніки. Технічна електродинаміка. 1996. № 5. С. 72–73.
2. Жуйков В.Я., Павлов В.Б., Стжелецки Р.Г. Системи упреждающего управления вентильными преобразователями. К.: Наук. думка, 1991. 240 с.
3. Кирик В.В. Компьютерно-интегрированные технологии управления на основе нечеткой логики: монография / за ред. В.К. Присяжнюк. Київ: Академія муніципального управління, 2008. 198 с.
4. Краснопрошина А.А., Скаржепа В.А., Кравец П.И. Электроника и микросхемотехника: Учебник / под. общ. ред. А.А. Краснопрошиной. К.: Выща шк, 1980. 303 с.
5. Лисенко В. П., Комарчук Д.С. Розробка системи автоматичного керування установкою теплової обробки дисперсних матеріалів з використанням нейронних мереж. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194. Ч. 1. С. 50–56.
6. Липківський К.О., Кирик В.В., Жаркин А.Ф., Самков А.В. Проблема регулювання напруги змінного струму та ефективне вирішення її основних аспектів за допомогою локальних технічних засобів. Технічна електродинаміка. 1997. № 1. С. 3–39.
7. Липковський К.А. Особенности питания «энергоэффективных потребителей». Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Моделирование электронных, энергетических та технологических систем». 1999. Ч. 1. С. 94–96.
8. Липковський К.О. Трансоформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения. Киев. Наук. думка, 1983. 216 с.
9. Миловзоров В.П., Мусолин А.К. Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1986. 248 с.
10. Певзнер В.В. Прецизионные регуляторы температуры. М.: Энергия, 1973. 192 с.
11. Сокол Є. І. Мікропроцесорне керування напівпровідниковими перетворювачами електричної енергії за обчислювальними прогнозами: дис. д-ра техн. наук: 05.09.12. Київ, 1994. 40с.

12. Тимченко Ю. Б. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів: Основы САПР та системного проектирования складных объектов: підручник / за ред. В.І. Бикова. К.: Либідь, 2003. 272 с.
13. Шидловський А.К. Тиристорные преобразователи постоянного напряжения для низковольтного электротрансформатора. Киев: Наук. думка, 1982. 188 с.
14. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая Линия, 2007. 288 с.
15. Jang J.S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Trans. Systems & Cybernetics, 1993. Vol. 23. P. 665–685.
16. Mamdani E.H. Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis. IEEE Trans. on Computers, Vol. 26. 1997. – P.1182-1191.
17. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. John Wiley & Sons, 1997. 305 p.
18. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy Identification of Systems and Application to Modeling and Control. IEEE Trans.Syst. Man & Cybern. 1985. Vol. 20. No. 2. 1985. P. 116–132.

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА
ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Разработан алгоритм использования нечетких нейронных сетей для определения энергоэффективных режимов функционирования электротехнологического комплекса температурной обработки зерна в линии производства масла рапса и создана возобновляемая база знаний режимов функционирования оборудования. Исследованием созданной с помощью нечетких нейронных сетей автоматической системы управления коэффициентом напряжения в зависимости от начальной температуры зерна рапса и действующего напряжения сети доказана ее адекватность.

Ключевые слова: нейронная сеть, индукционный нагрев, индуктор, пресс-экструдер, тепловой процесс, рапс, растительное масло.

**DEVELOPING OF THE ALGORITHM OF USE THE FUZZY NEURAL NETWORK
FOR THE DETERMINATION OF THE ENERGY EFFICIENT MODES
OF THE OPERATION BY ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX
OF INDUCTION HEATING OF DISPERSE MATERIALS**

The algorithm of usage of fuzzy neural networks for the determination of energy-efficient modes of operation of the electrotechnological complex of heating processing of grain in the production line of rapeseed oil has been developed and a renewed knowledge base of the operating modes of the equipment has been created. Learning of the fuzzy neural network which was created for automatic control of the voltage coefficient, depending on the initial temperature of the rape grain and the operating voltage, showed its adequacy.

Key words: neural network, induction heating, inductor, extruder, heating process, rape, seed oil.