

УДК 621.3.079

APPLICATION OF FUZZY PETRI NETS FOR THE FORMATION OF EDUCATIONAL SAMPLES OF NEURAL NETWORKS SYNTHESIS

V. Kozyrskyy, V. Momotyuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

N. Zaiets

National University of Food Technologies

Key words:

Bakery production

Energy efficiency

Control system

Neural network

Fuzzy Petri nets

Article history:

Received 02.09.2016

Received in revised form
28.09.2016

Accepted 20.10.2016

Corresponding author:

N. Zaiets

E-mail:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the specifics of functioning of optimal (efficient) control systems and estimates the complexity of such systems for baking industries. Justification of feasibility of using neural networks when building a control system for grain production has confirmed the need for a separate unit to create optimal (efficient) samples, which are the base for neural networks synthesis. An algorithm and structure of the control system for baking bread as one of the most energy intensive processes are proposed. Testing of the developed approach was conducted based on mathematical models (in the form of differential equations and neural networks), which singled out the ways for further research.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ВИБІРОК СИНТЕЗУ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

В.В. Козирський, В.В. Момотюк

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Н.А. Заєць

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано специфіку функціонування оптимальних (ефективних) систем управління, оцінено складність побудови таких систем на хлібопекарських виробництвах. Обґрунтування доцільності використання нейронних мереж при побудові системи керування на хлібному виробництві підтвердило необхідність створення окремого блоку оптимальних (ефективних) вибірок, на основі яких синтезуються нейронні мережі. Сформовано алгоритм і структуру системи керування процесом випічки хліба як одного з найбільш енергозатратних. На основі математичних моделей (у вигляді диференціальних рівнянь і нейронної мережі) проведено апробацію розробленого підходу, яка довела його перспективність.

Ключові слова: хлібопекарське виробництво, енергоефективність, система керування, нейронна мережа, нечітка мережа Петрі.

Постановка проблеми. З огляду на класичну теорію автоматичного управління, алгоритм роботи оптимальної (ефективної) системи управління визначається такими блоками інформації [1; 2]: характеристиками об'єкта управління; характером інформації надходить на керуючий пристрій про об'єкт; технологічними вимогами до об'єкта управління.

При цьому технологічні процеси хлібопекарського виробництва є дуже складними з точки зору оптимізації показників якості, витрат та продуктивності і утворюють сукупність окремих, головним чином послідовних операцій; ефект кожної операції визначається не лише даною операцією, але й результатом впливу на продукт попередньої та наступної операцій. З наведеного вище очевидно, що тільки технологічні вимоги до об'єкта управління залишаються відносно сталими [3]; блоки інформації в процесі функціонування можуть кардинально неконтрольовано змінювати свої значення і структуру.

Отже, доцільним буде створення автоматизованої системи управління (АСУ) із застосуванням нейронних мереж (НМ). Однак існує суттєва проблема функціонування нейромереж — формування оптимальної (ефективної) навчальної вибірки, оскільки набори даних можуть не відповідати критерію оптимальності (ефективності). Для отримання необхідного результату, як правило, проводяться повторні експериментальні дослідження, що підвищують вартість робіт і збільшують термін отримання ефективної АСУ, тому розробка теоретичних підходів до адаптивного формування навчальної вибірки з метою подальшого синтезу НМ є актуальним завданням.

Серед математичних апаратів, здатних вирішувати поставлене завдання, варто використовувати нечіткі мережі Петрі [1]. Переваги їх застосування для формування навчальної вибірки [2]: здатність в поданні паралельних асинхронних систем; здатність імітаційного моделювання локального управління, паралельних, конфліктних, недетермінованих і асинхронних подій; графічне представлення мережі; зрозумілість моделі і легкість її вивчення й аналізу; можливість опису системи на різних рівнях абстракції.

Технологічно обґрунтована нечітка мережа Петрі (НМП), отримавши набір даних, оцінює його оптимальність (ефективність) [1] з точки зору технології, проводить моделювання й оцінку якості виробничих процесів.

Мета дослідження: розробити й апробувати методологію використання нечітких мереж Петрі для формування навчальних вибірок з подальшим синтезом ефективних нейронних мереж системи управління.

Виклад основних результатів дослідження. На основі системного аналізу виробництва та специфіки технологічних процесів розроблено узагальнену структурну схему системи управління випічкою хліба (рис. 1).

У результаті енергоаудиту підприємства визначено, що хлібопекарські печі є найбільшими споживачами електроенергії в хлібопекарській промисловості (більше 15%) [1], саме тому подальші дослідження будуть базуватись на синтезі системи керування цим обладнанням із використанням запропонованого підходу.

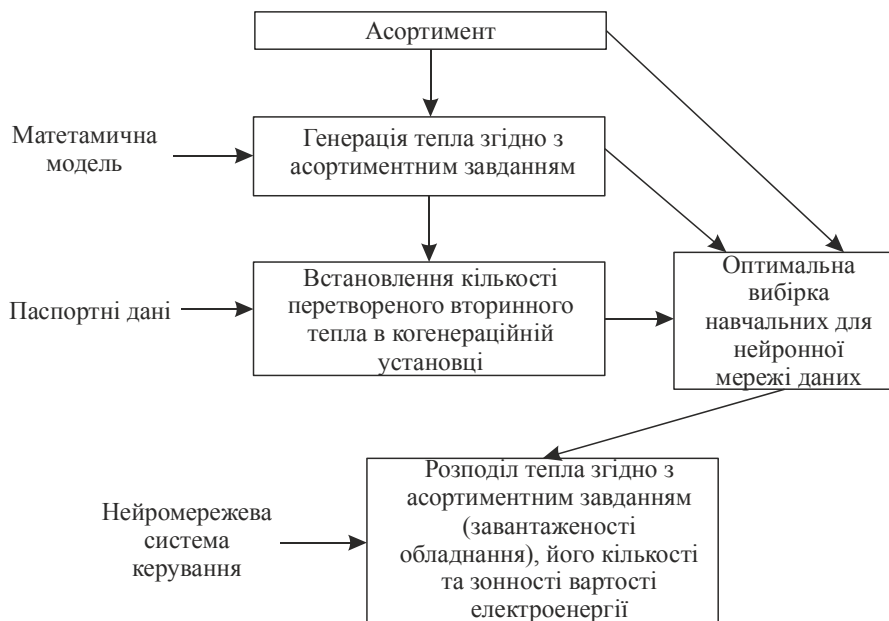


Рис. 1. Узагальнена структура енергоефективного управління процесом випічки хліба

Загалом хлібопекарську піч можна представити як багатопараметричний однозмінний об’єкт, який характеризується рядом технологічних і тепло-технічних величин (рис. 2). Можна виділити дві ємкості: перша ємкість — ємкість топки, друга — ємкість камери випікання.

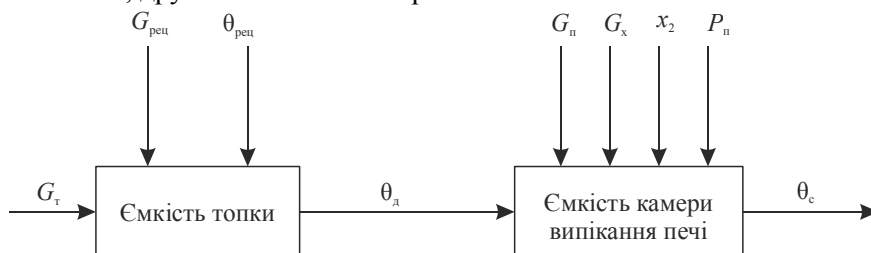


Рис. 2. Параметрична схема хлібопекарської печі за температурою

Проведемо аналітичний розрахунок статичних і динамічних характеристик для ємкості топки. В усталеному режимі робота топки описується рівнянням теплового балансу:

$$Q_{п} - Q_{с} = 0, \tag{1}$$

де $Q_{п}$ — потужність теплового потоку, що надходить в топку, кВт; $Q_{с}$ — потужність теплового потоку, що виходить з топки, кВт.

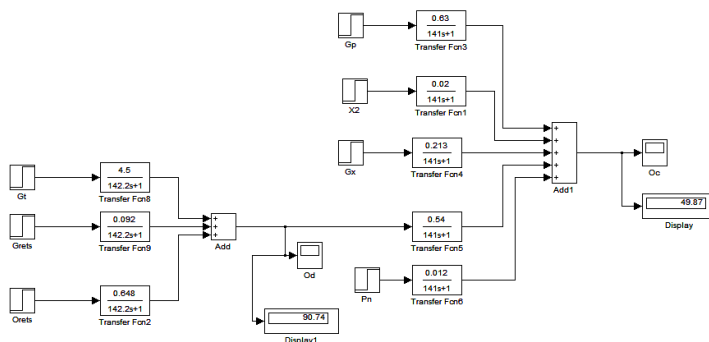
У свою чергу

$$Q_{п} = Q_{x} + Q_{ф} + Q_{в} + Q_{реп}, \tag{2}$$

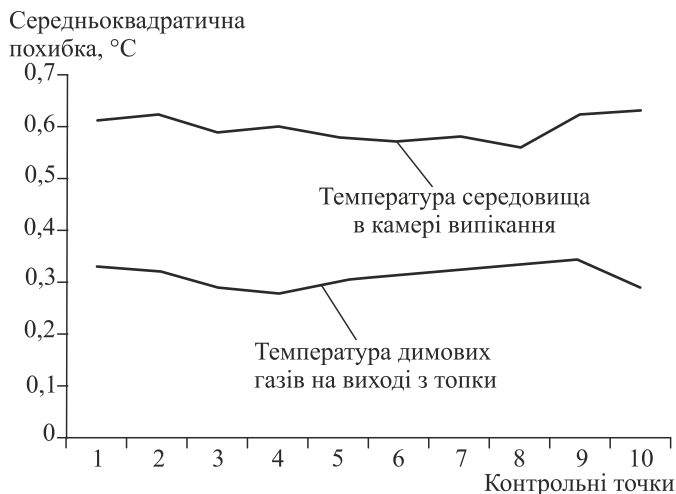
де $Q_{x} = G_{т} \cdot Q_{H}^p$ — потужність теплового потоку, що надходить в топку за рахунок хімічної теплоти палива, кВт; $Q_{ф} = G_{т} \cdot C_{т} \cdot \theta_{т}$ — потужність теплового

поток, що надходить в топку за рахунок фізичної теплоти палива, кВт; $Q_B = G_T \alpha V_0 C_B \theta_B$ — потужність теплового потоку, що надходить в топку з повітрям, кВт; $Q_{\text{рец}} = G_{\text{рец}} \cdot C_{\text{рец}} \cdot \theta_{\text{рец}}$ — потужність теплового потоку, що надходить в топку з рециркуляційними газами, кВт.

Аналітичні розрахунки і дані пасивного експерименту з реального підприємства підтвердили адекватність імітаційної моделі (рис. 3) та можливість її подальшого використання при створенні навчальних вибірок для нейромереж (середньоквадратична похибка не перевищує 1 °С).



А)



Б)

Рис. 3. Імітаційне моделювання процесів у хлібопекарській печі: А — структура моделі; Б — оцінка адекватності моделі

Виходячи з аналізу виробничих параметрів [5], структура НМ керування піччю включатиме дані про такі параметри:

вхідні:

- вихід вторинного тепла з печі згідно з даними математичної моделі (вихід когенераційної установки прийматимемо на основі паспортних характеристик);
- вартість електроенергії згідно із зонним тарифом;

- асортиментне завдання.

вихідні:

- оптимальні затрати енергії (мінімізація вартості) технологічними вузлами для виконання всього спектра асортиментного завдання.

Одним із найскладніших завдань створення навчальної вибірки для нейромережі є формування оптимальних значень для технологічної карти [3]. Для цього використаємо нечіткі мережі Петрі та результати пасивного експерименту на підприємстві, створивши на основі останніх відповідну нейромережу (рис. 4).

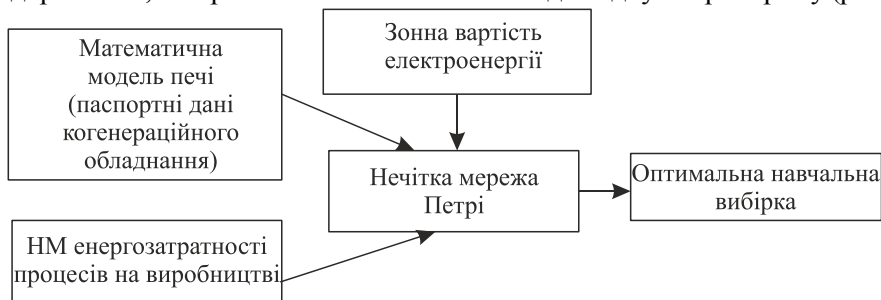


Рис. 4. Структура формування навчальної вибірки з використанням нечітких мереж Петрі

Нечітка мережа Петрі функціонуватиме в контексті поставленого завдання таким чином:

1. Створюється структурна модель системи у вигляді нечіткої мережі Петрі.
2. Задаються значення асортименту.
3. Вираховується із використанням НМ енергозатратність на виготовлення даного асортименту для всіх ключових енергоспоживаючих елементів.
4. Вираховується кількість вторинного тепла, яку ефективно використає когенераційна установка, — вихід когенераційної установки (згідно з паспортними даними).
5. Встановлюється дія зонного тарифу (погодинно).
6. Із використанням нечіткої мережі Петрі оптимізується розподіл вторинного тепла й енергонавантаження на окремі технологічні вузли. Даний процес являє собою ітераційне наближення.

При синтезі НМ оцінки енергозатратності застосували дані пасивного експерименту (8 блоків) та математичний апарат багатозварового перцептрона, оскільки його архітектура й алгоритми навчання достатньо апробовані [2]. Отримана НМ відповідає вимогам адекватності та буде застосовуватись при подальших дослідженнях (рис. 5).

На основі вхідних даних (рис. 1) та встановленої концепції (рис. 4), будували НМП, узагальнене маркування якої — це п'ятірка компонентів (P, T, I, O, m_0) , де: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ — кінцева множина позицій МП; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ — кінцева множина переходів МП; I — вхідна функція переходів, що визначається як відображення $I: P \times T \rightarrow N_0$; O — вихідна функція переходів, що визначається як відображення $O: T \times P \rightarrow N_0$; $m_0 = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0)$ — вектор початкового маркування МП, при цьому $m_i^0 \in N_0$ і m_i^0 — компонент вектора початкового маркування МП, що відповідає позиції $p_n \in P$ (через N_0 позначається множина натуральних чисел і нуль тобто $N_0 = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$).

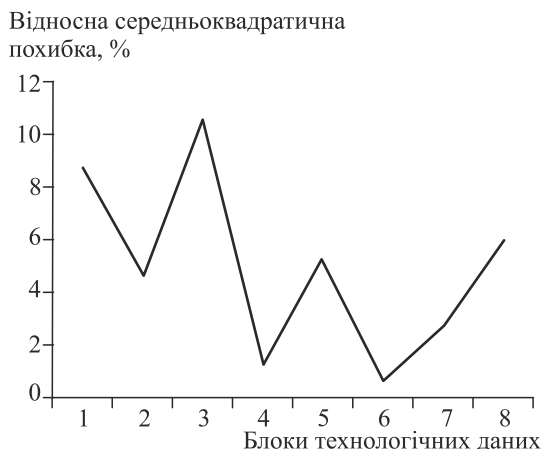


Рис. 5. Якість навчання нейронної мережі оцінці технологічних параметрів процесу випічки хліба



Рис. 6. Порівняння якості функціонування нейромережі з навчальними вибірками, сформованими нечіткою мережею Петрі та без її застосування

Спочатку навчальна вибірка створювалась без використання НМП, набори даних вибирались випадковим чином для того, щоб відносно рівномірно заповнити всю площину проблемної області. Потім, згідно з рис. 4, застосували НМП.

Програмна реалізація НМП, здійснена на основі авторського програмного продукту на мові програмування «С++», продемонструвала вірний тренд розробленого підходу — усереднена якість функціонування НМ по 10 блоках даних покращилась на 12,3% (рис. 6).

Необхідно підкреслити, що при використанні всіх 10 навчальних блоків спостерігався ефект покращення навчання НМ (рис. 6).

Висновки

Запропонований підхід до формування навчальної вибірки для створення нейромережі керування на основі використання нечітких мереж Петрі, апробований на прикладі процесу випічки хліба на хлібокомбінаті, пришвидшує процес ефективного пошуку. Напрямок подальших досліджень потрібно скерувати на візуалізацію програмної реалізації нечітких мереж Петрі, що полегшить процес дослідження предметної області.

Література

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
2. Штепа В.М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В.М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. — Київ: НУБіПУ, 2014. — Вип. 194. — Частина 3. — С. 259—265.
3. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва / В.І. Дробот. — Київ: Логос, 2002. — 365 с.
4. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва / В.І. Дробот. — Київ: Руслана, 1998. — 415 с.
5. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман. — Москва: ЛПИХП, 1984. — 405 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХ ВЫБОРОК СИНТЕЗА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.В. Козырский, В.В. Момотюк

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Н.А. Заец

Национальный университет пищевых технологий

В статье проанализирована специфика функционирования оптимальных (эффективных) систем управления, а также дана оценка сложности построения таких систем на хлебопекарных производствах. Обоснование целесообразности использования нейронных сетей при построении системы управления на хлебном производстве подтвердило необходимость создания отдельного блока и оптимальных (эффективных) выборок, на основе которых синтезируются нейронные сети. Сформирован алгоритм и структура системы управления процессом выпечки хлеба как одного из наиболее энергозатратных процессов. На основе математических моделей (в виде дифференциальных уравнений и нейронной сети) проведена апробация разработанного подхода, которая доказала его перспективность.

Ключевые слова: хлебопекарное производство, энергоэффективность, система управления, нейронная сеть, нечеткая сеть Петри.