

## **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*

*Проаналізовано специфіку функціонування оптимальних (ефективних) систем управління; оцінено складність побудови таких систем на хлібопекарських виробництвах. Обґрунтувавши доцільність використання нейронних мереж при побудові системи керування на хлібному виробництві, виокремили необхідність створення окремого блоку створення оптимальних (ефективних) вибірок на основі яких синтезуються нейронні мережі. Сформовано алгоритм і структуру системи керування процесом випічки хлібу, як одного із найбільш енергозатратних; на основі математичних моделей (у вигляді диференційних рівнянь та нейронної мережі) проведено апробацію розробленого підходу та встановлено його перспективність; виокремлено шляхи подальших досліджень.*

***Хлібопекарське виробництво, енергоефективність, система керування, нейронна мережа, нечітка мережа Петрі.***

**Актуальність досліджень.** З огляду на класичну теорію автоматичного управління, алгоритм роботи оптимальної (ефективної) системи управління визначається наступними 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 представляють 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 видно, що тільки технологічні вимоги до об'єкта управління залишаються відносно сталими [3]; решта блоки інформації в процесі функціонування можуть кардинально неконтрольовано змінювати свої значення і структуру.

Отже, доцільним буде створення автоматизованої системи управління (АСУ) з 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 – підвищуючи вартість робіт і збільшуючи термін отримання ефективної АСУ. Тому розробка теоретичних підходів щодо адаптивного формування навчальної вибірки з метою подальшого синтезу НМ є актуальною задачею.

Серед математичних апаратів здатних вирішувати поставлене завдання орієнтуємось на використання нечітких мереж 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 і 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 і оцінку якості виробничих процесів.

**Мета досліджень** – розробити та апробувати методологію використання нечітких мереж Петрі для формування навчальних вибірок з подальшим синтезом ефективних нейронних мереж системи управління.

**Матеріали і методика досліджень.** На основі системного аналізу виробництва та специфіки технологічних процесів розроблено узагальнену структурну схему системи управління випічкою хліба м (рис. 1).



Рис. 1. Узагальнена структура енергоефективного управління процесом випічки хліба

В 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.

Загалом хлібопекарську піч можна представити як багатопараметричний одноємнісний об'єкт, який характеризується рядом технологічних і теплотехнічних величин (рис. 2). Можна виділити дві ємкості: перша ємкість – ємкість топки, друга – ємкість камери випікання.

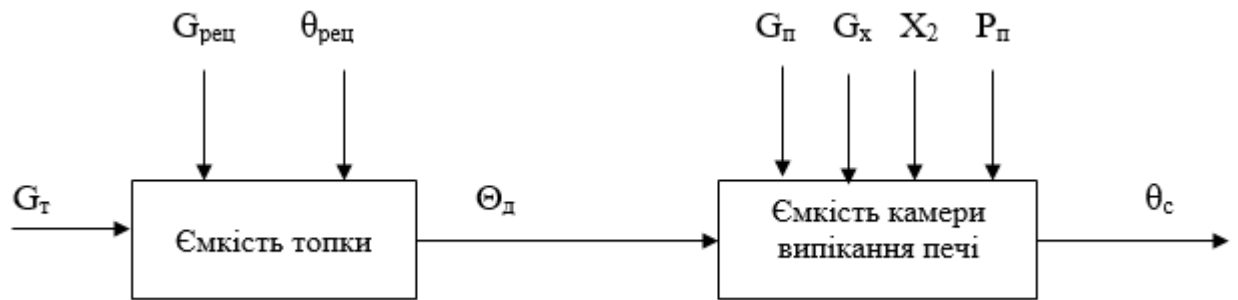


Рис 2. Параметрична схема хлібопекарської печі за температурою

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

$$Q_n - Q_c = 0 \quad (1)$$

де  $Q_n$  – потужність теплового потоку, що надходить в топку, кВт;  
 $Q_c$  – потужність теплового потоку, що виходить з топки, кВт.

У свою чергу

$$Q_n = Q_x + Q_\phi + Q_e + Q_{rec} ; \quad (2)$$

де  $Q_x = G_T \cdot Q_H^p$  – потужність теплового потоку, що надходить в топку за рахунок хімічної теплоти палива, кВт;

$Q_\phi = G_m \cdot C_m \cdot \theta_m$  – потужність теплового потоку, що надходить в топку за рахунок фізичної теплоти палива, кВт;

$Q_e = G_m \alpha V_0 C_e \theta_e$  – потужність теплового потоку, що надходить в топку з повітрям, кВт;

$Q_{rec} = G_{rec} \cdot C_{rec} \cdot \theta_{rec}$  – потужність теплового потоку, що надходить в топку з рециркуляційними газами, кВт.

Провівши аналітичні розрахунки та створивши у середовищі MatLab імітаційну модель (рис. 3), підтвердили її адекватність, використавши дані пасивного експерименту з реального підприємства, та можливість подальшого використання при створенні навчальних вибірок для нейромереж (середньоквадратична похибка – менше не перевищує 1°C).

Виходячи із аналізу виробничих параметрів [5] структура НМ керування піччю включатиме дані про наступні параметри:

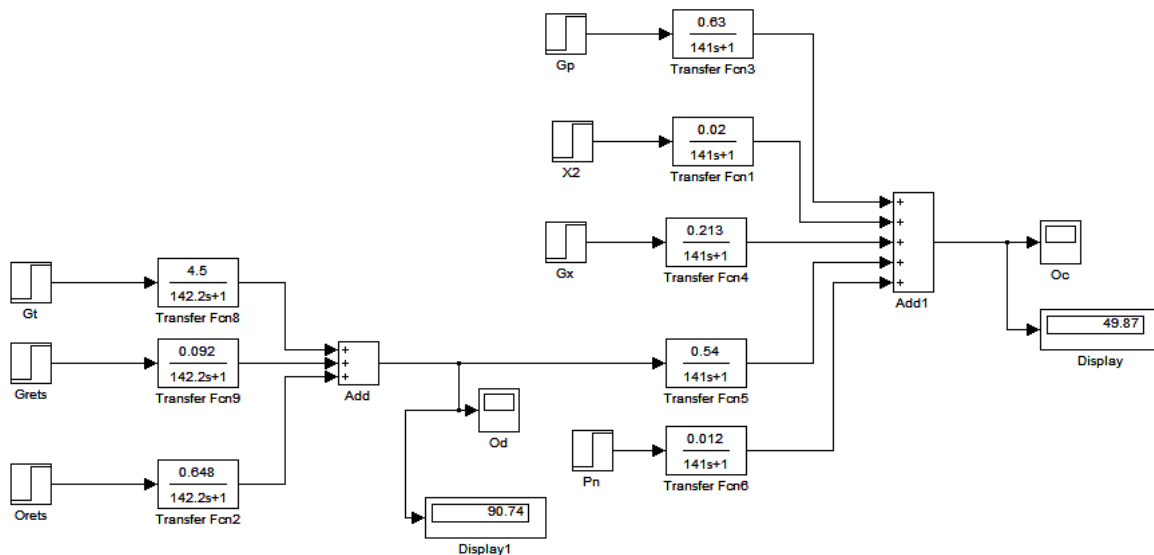
*вхідні:*

- вихід вторинного тепла із печі – згідно даних математичної моделі (вихід когенераційної установки прийматимемо базуючись на паспортних характеристиках);

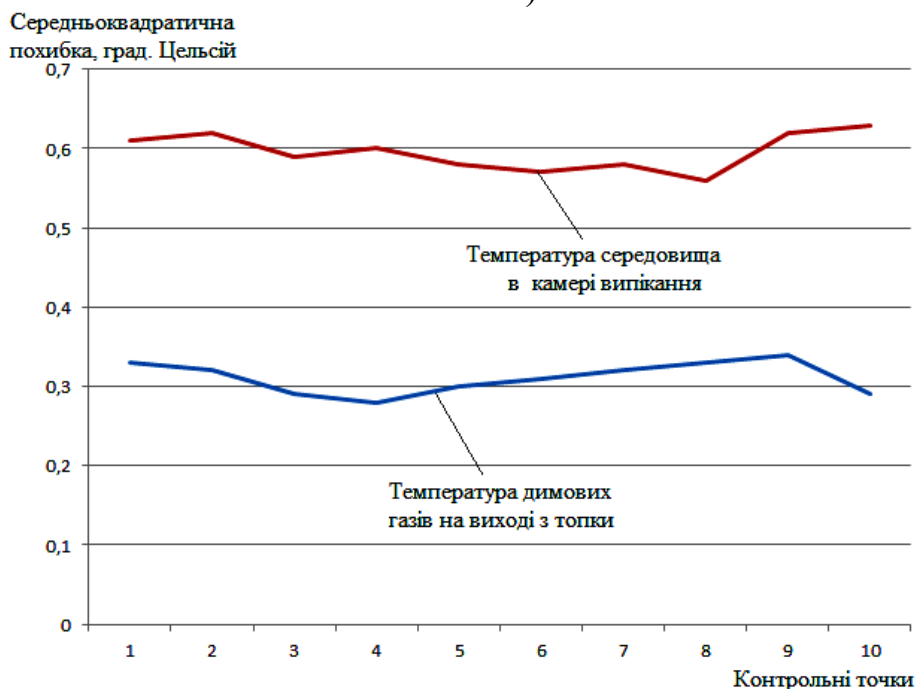
- вартість електроенергії згідно зонного тарифу;
- асортиментне завдання.

вихідні:

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



А)



Б)

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

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).

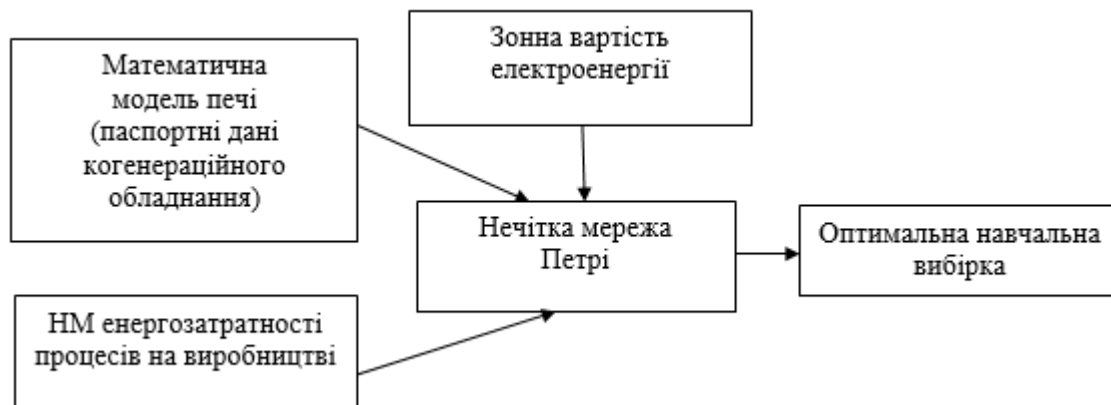


Рис. 4. Структура формування навчальної вибірки із використанням нечітких мереж Петрі

Нечітка мережа Петрі функціонуватиме в контексті поставленого завдання наступним 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, котру ефективно використає когенераційна установка – вихід когенераційної установки (згідно паспортних даних).
5. Встановлюється дія зонного тарифу – погодинно.
6. Із використанням нечіткої мережі Петрі оптимізується розподіл вторинного тепла та 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 багатошарового персептрона, оскільки його архітектура та алгоритми навчання достатньо апробовані [2]. Отримана НМ відповідає вимогам адекватності та буде застосовуватись при подальших дослідженнях (рис. 5).

Тоді, володіючи всіма вхідними даними (див. рис. 1), та згідно встановленої концепції (див. 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  $t_i^0$  –

компонент вектора початкового маркування МП, що відповідає позиції  $p_{ii} \in P$  (через  $N_0$  буде позначається множина натуральних чисел і нуль тобто  $N_0 = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ ).



Рис. 5. Якість навчання нейронної мережі оцінки технологічних параметрів процесу випічки хлібу

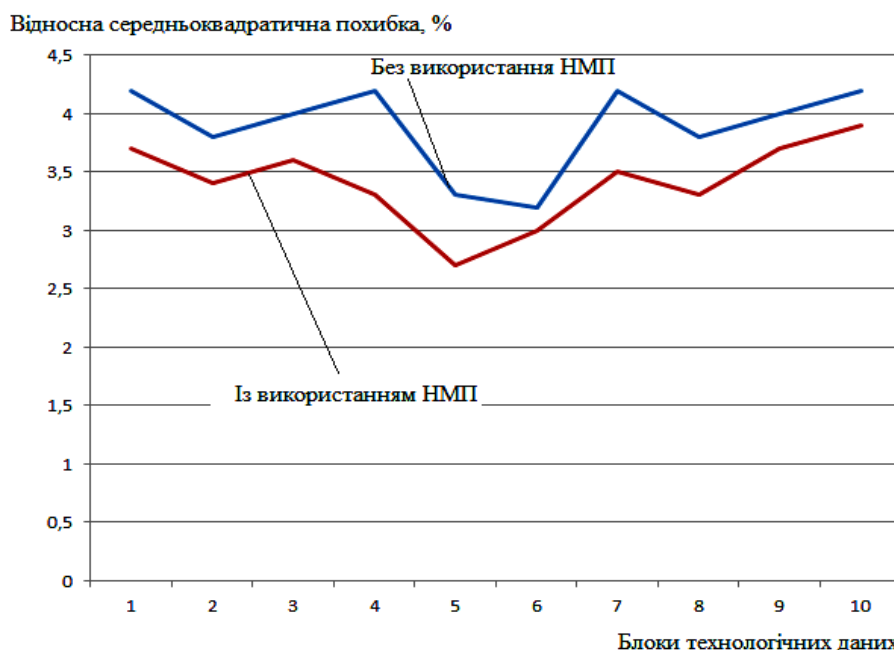


Рис. 6. Порівняння якості функціонування нейромережі із навчальними вибірками сформованими нечіткою мережею Петрі та без її застосування

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

Програмна реалізація НМП, здійснена на базі 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).

Окремо необхідно виділити, що при використанні всіх 10 навчальних блоків спостерігався ефект покращення навчання НМ (див. рис. 6).

### **Висновки**

Запропонований підхід, із використанням нечітких мереж Петрі формування навчальної вибірки для створення нейромережі керування апробований на прикладі процесу випічки хлібу 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 – СПб.: 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. – К.: НУБіПУ. – 2014. – Вип. 194. – Частина 3. – С. 259 – 265.
3. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва / В. І. Дробот. – К.: Логос, 2002. – 365 с.
4. Дробот В. І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва / В. І. Дробот. – К.: Руслана, 1998. – 415 с.
5. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства / Л. Я. Ауэрман. – М.: ЛПИХП. – 1984. – 405 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХ ВЫБОРОК СИНТЕЗА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

***В.В. Козырский, Н.А. Заец***

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

***В.В. Момотюк***

*Мирогощанский аграрный колледж*

*Проанализирована специфика функционирования оптимальных (эффективных) систем управления; оценен сложность построения таких систем на хлебопекарных производствах. Обосновав целесообразность использования нейронных сетей при построении системы управления на хлебом производстве, выделили необходимость создания отдельного блока создание оптимальных (эффективных) выборок на основе которых синтезируются нейронные сети. Сформирован алгоритм и структуру системы управления процессом выпечки хлеба, как одного из наиболее*

*энергозатратных; на основе математических моделей (в виде дифференциальных уравнений и нейронной сети) проведена апробация разработанного подхода и установлено его перспективность; выделены пути дальнейших исследований.*

***Хлебопекарное производство, энергоэффективность, система управления, нейронная сеть, нечеткая сеть Петри.***

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

***Kozyrskyy V.V., Zaiets N.A.***

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*Momotyuk V.V.*

*Myrohoshchanskyy Agricultural College*

*Specificity of optimal functioning (effective) control systems; assessed the complexity of such systems on baking industries. Obtruntuvavshy feasibility of using neural networks in the building management system in the grain industry, highlighted the need for a separate unit to create optimal (efficient) samples are synthesized based on neural networks. Formed algorithm and system structure management process of baking bread as one of the most energy intensive; based on mathematical models (in the form of differential equations and neural networks) conducted testing of the developed approach and set sustainability; singled out the ways for further research.*

***Bakery production, energy efficiency, control system, neural network, fuzzy Petri nets.***