

УДК 621.3.079

## **JUSTIFYING THE CREATION OF NEURAL NETWORK FOR EVALUATING THE EXPENSES OF BREAD-BAKING PLANT PRODUCTION ENERGY RESOURCES**

**V. Kozyrskyy, V. Momotyuk**

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

**N. Zaiets**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Mathematical model  
Energy efficiency  
Correlation analysis  
Neural network  
Adequacy  
Optimization*

---

**Article history:**

Received 10.03.2017

Received in revised form  
21.03.2017

Accepted 12.04.2017

---

**Corresponding author:**

N. Zaiets

**E-mail:**

npuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The actuality of creating the mathematical models of estimation of values of economic and production parameters is appraised at the assortment job processing at a bread-baking plant. At the initial stage, the use of linear correlation analysis was proposed to identify the possible linearity of the relationships. Data processing of the passive experiment conducted at the production facility showed the absence of linear dependencies between the daily assortment task and the energy costs on his realization (electricity and natural gas costs). For further research, artificial neural networks such as multilayer perceptron were used, which demonstrated the adequacy in evaluating production processes at a bread-baking plant; a gradient method optimized the initial architecture of the neural network.

---

## **ОБГРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ОЦІНКИ ВИТРАТ ВИРОБНИЧИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ХЛІБОКОМБІНАТУ**

**В.В. Козирський, В.В. Момотюк**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Н.А. Заєць**

*Національний університет харчових технологій*

*У статті оцінено актуальність створення математичних моделей оцінки значень економічних і виробничих параметрів при виконанні асортиментного завдання на хлібокомбінаті. На початковому етапі запропоновано використання лінійного кореляційного аналізу з метою виявлення ймовірної лінійності взаємозв'язків. Опрацювання даних пасивного експерименту, проведеного на виробничому об'єкті, показало відсутність лінійних залежностей між добовим асортиментним завданням та енергетичними витратами на його реалізацію (витрати електроенергії та природного газу). Для подальших досліджень використано штучні нейронні мережі типу багатошаровий перцептрон, які продемонстрували адекватність при оцінці виробничих*

процесів на хлібокомбінаті. Градієнтним методом оптимізовано початкову архітектуру нейронної мережі.

**Ключові слова:** математична модель, енергоефективність, кореляційний аналіз, нейронна мережа, адекватність, оптимізація.

**Постановка проблеми.** Покращення функціонування електротехнологічних виробничих комплексів, за умови використання сучасних підходів, потребує постійного вдосконалення. При цьому потрібно розуміти, що при вивченні промислових об'єктів типу хлібокомбінатів [1] виникає необхідність встановлення найбільш імовірних взаємозв'язків і взаємозалежностей між двома або більше змінними (має місце при виробництві хлібобулочних виробів). Виявлення зв'язків між різними показниками, чинниками, ознаками — складне завдання, тому створення відповідних математичних моделей є актуальним завданням.

Таке завдання є особливо важливим для оцінки взаємозв'язків між економічними показниками роботи електротехнологічних агрегатів та їх енергетичними характеристиками [2]. Встановлення адекватних залежностей у вигляді відповідних математичних моделей створить передумови для подальшого застосування енергоефективних режимів роботи електротехнічних комплексів і систем хлібокомбінатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для пошуку математичних функціональних або структурних залежностей між двома або більше змінними (за накопиченими експериментальними даними) корисні методи кореляційного аналізу [3]. Кореляційний аналіз дає відповідь на статистичну гіпотезу про відсутність або наявність зв'язку між змінними з наперед заданою довірчою ймовірністю.

Для кількісної оцінки щільності зв'язку широко застосовують лінійний коефіцієнт кореляції. Якщо задані значення змінних  $X$  та  $Y$ , то він розраховується за формулою:

$$r_{XY} = r_{YX} = \frac{\overline{XY} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}. \quad (1)$$

Коефіцієнт кореляції набуває значення від  $-1$  до  $+1$  ( $\sigma$  — дисперсія).

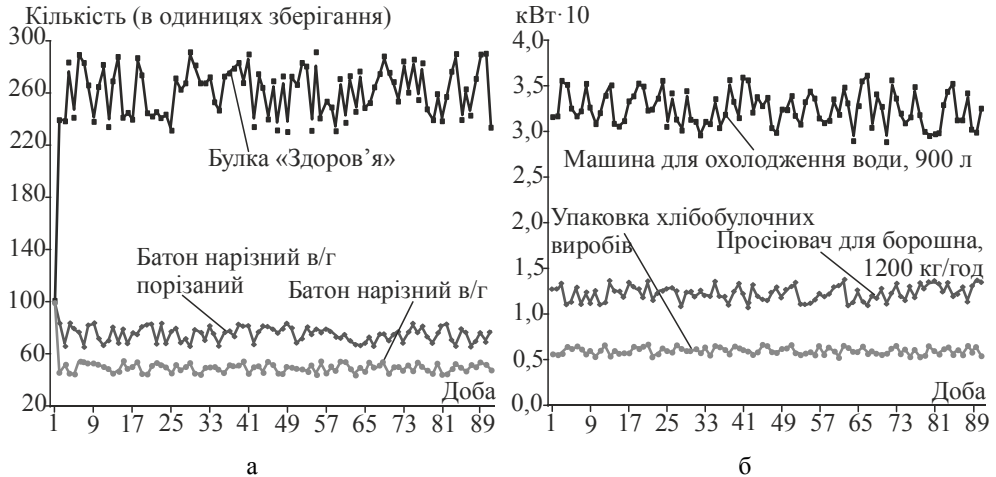
Якщо  $|r| < 0,30$ , то зв'язок між ознаками слабкий;  $0,30 \leq |r| \leq 0,70$  — помірний зв'язок;  $|r| > 0,70$  — сильний або щільний зв'язок. Коли  $|r| = 1$  — зв'язок функціональний. Якщо  $|r| \approx 0$ , то лінійний зв'язок між  $X$  та  $Y$  відсутній.

В іншому випадку доцільно застосовувати математичні методи оцінки нелінійних процесів, серед яких сучасним підходом є використання штучних нейронних мереж (НМ) [4].

**Мета дослідження:** обґрунтувати та створити математичну модель енергетичних витрат виробництва хлібобулочних виробів.

**Виклад основних результатів дослідження.** Для розробки й аналізу математичної моделі розподілу енергетичних ресурсів хлібокомбінату використано експериментальні дані. Перелік основного електротехнологічного обладнання отримано на хлібокомбінаті ВАРКОВИЧІ. Інформацію отримано в результаті проведення пасивного експерименту, який проходив протягом 90 діб.

Результати досліджень та їх візуальний вигляд показали, що вимірювані асортиментні та енергетичні параметри змінюються нелінійно, а процеси проходять нестационарно, що значно ускладнює подальші дослідження впливу асортиментного завдання на енергетичні потоки при виробництві хлібопродуктів (рис. 1).

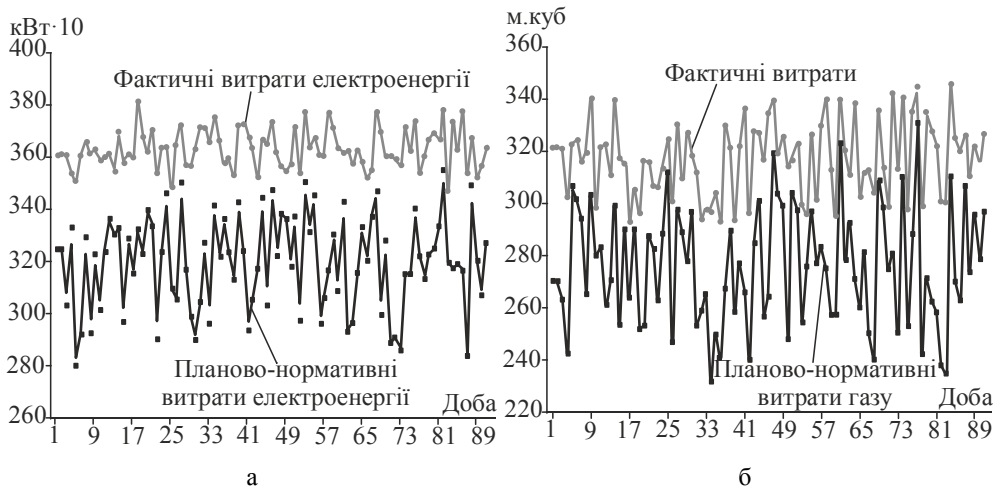


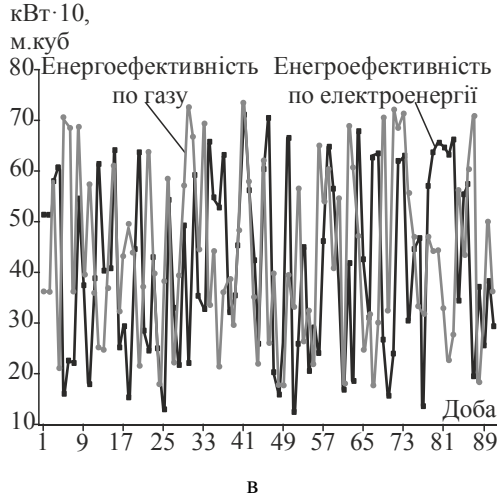
**Рис. 1. Приклади зміни в часі протягом 90 діб:** а — зміна асортиментного завдання, б — зміна витрат електроенергії

Потім, використавши пакет прикладних математичних програм “Statistica” та методику кореляційного аналізу [3], оцінили вплив ключового економічного фактора, асортиментного завдання на енергоефективність. Останній показник визначали таким чином (рис. 2):

$$\text{Енергоефективність} = \text{ФВЕ} - \text{ПНВЕ}, \quad (2)$$

де ФВЕ — фактичні витрати енергоресурсів; ПНВЕ — планово-нормативні витрати енергоресурсів (згідно з [2]).

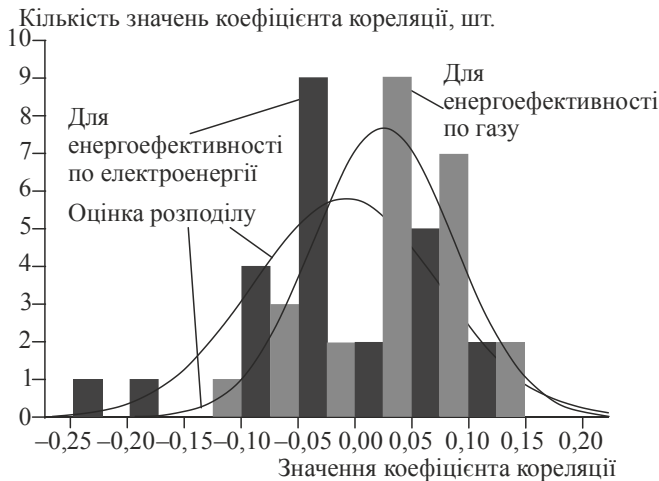




**Рис. 2.** Оцінка енергетичних показників виробництва хлібобулочних продуктів при виконанні добового асортиментного завдання: а — витрати електроенергії; б — витрати природного газу; в — енергоефективність (згідно з (2))

Також було застосовано кореляційний аналіз та отримано значення лінійного коефіцієнта кореляції між асортиментним завданням (24 показники) та енергоефективністю (витрати електроенергії та природного газу)

Результати показали неможливість встановлення ступеня лінійного взаємозв'язку між даними важливими показниками виробничих процесів — усі коефіцієнти кореляції менше 0,3 (рис. 3).



**Рис. 3.** Оцінка результатів лінійного кореляційного аналізу між асортиментним завданням та енергоефективністю його виконання (за витратами електроенергії і природного газу)

Отже, встановлено нелінійність і нестационарність процесів, фактичну неможливість формалізувати взаємозв'язки між виробничими параметрами з

використанням класичних підходів (лінійного кореляційного аналізу), зокрема між асортиментним завданням та енергоефективністю виробництва. Тому для моделювання і розробки концепції функціонування системи управління електротехнологічним комплексом виробництва хлібобулочних виробів, з урахуванням встановленої нелінійності взаємозв'язків між виробничо-економічними параметрами (див. рис. 4) та їх нестаціонарною зміною у часі (див. рис. 1), доцільно використати математичний апарат штучних нейронних мереж, які демонструють ефективність роботи саме при аналізі та оцінці таких процесів: стохастичних, нелінійних, із розмитотою інформаційною складовою [4].

Алгоритм створення (навчання) НМ для оцінки енергетичних характеристик електротехнологічного комплексу хлібокомбінату [4]:

1. Задаються деякі  $\eta$  ( $0 < \eta < 1$ ),  $E_{\max}$  і деяка мала випадкова вага  $w_i$  мережі.

2. Задаються  $k = 1$  і  $E = 0$ .

3. Вводиться чергова навчальна пара  $(x^k, y^k)$ . Проводяться позначення:

$$x = x^k, \quad y = y^k;$$

обчислюється величина виходу мережі:

$$o = o(w^T x) = \frac{1}{1 + e^{-w^T x}}. \quad (3)$$

4. Обновляється (корегується) вага:

$$w = w + \eta(y - o)o(1 - o)x. \quad (4)$$

5. Корегується (нарощується) значення функції помилки:

$$E = E + \frac{1}{2}(y - o)^2. \quad (5)$$

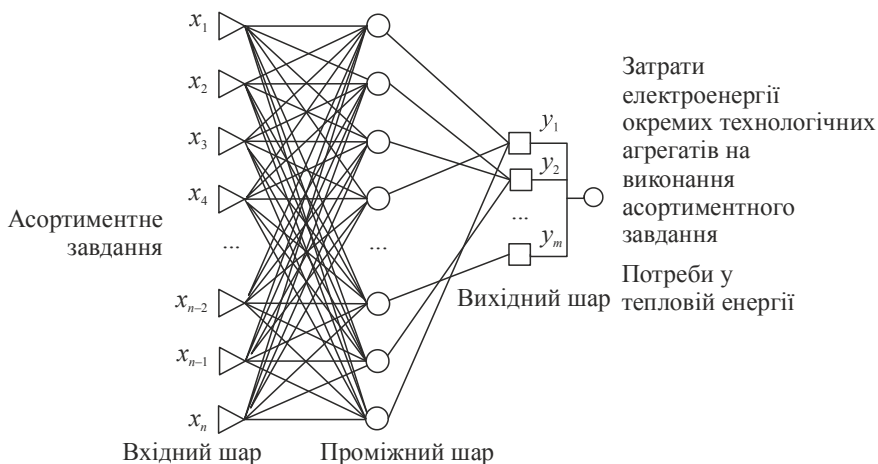
6. Якщо  $k < N$ , тоді  $k = k + 1$  і перехід до кроку 3, у протилежному випадку — перехід до кроку 7.

Завершення циклу навчання. Якщо  $E < E_{\max}$ , то закінчується вся процедура навчання. Якщо  $E \geq E_{\max}$ , тоді починається новий цикл навчання переходом до кроку 2.

Для синтезу та дослідження відповідних НМ використаємо програмний пакет “Statistica Neural Networks”. Критерій зупинки навчання — мінімізація відносної середньоквадратичної помилки НМ.

На вхід подали результати пасивного експерименту. Важливо було отримати значення енергетичних витрат (електроенергії та теплової енергії) на виконання конкретного асортиментного завдання, тобто глибина навчальної вибірки становила 90 наборів навчальних даних (рис. 4).

Для уникнення «перенавчання» нейромережі вибірка ділилась на навчальні, контрольні й тестові дані. Спочатку генерувався ансамбль із п'яти мереж, з яких визначали оптимальну (всі нейромережі відносяться до типу багат шаровий персептрон) (табл. 1).

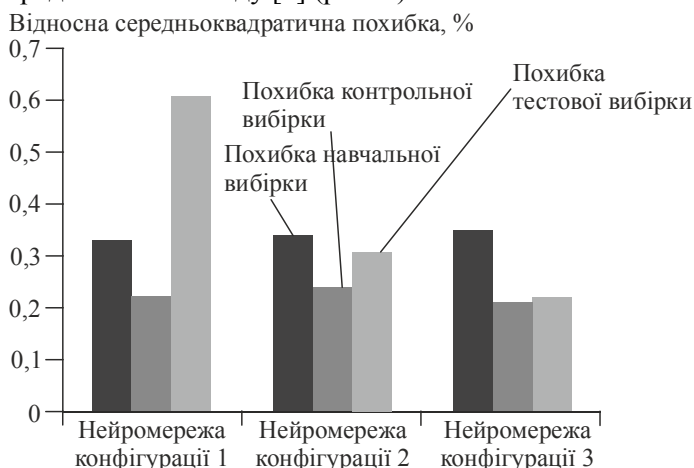


**Рис. 4. Архітектура нейромережевої моделі витрат енергетичних процесів при виробництві хлібобулочних виробів:**  $x_1-x_n$  — асортиментне завдання;  $y_1-y_m$  — витрати електроенергії окремих технологічних агрегатів на виконання асортиментного завдання

**Таблиця 1. Показники функціонування ансамблю нейронних мереж оцінки енергетичних витрат при виробництві хлібобулочних виробів**

№ п/п	Тип нейромережі	Відносна середньоквадратична навчальна похибка, %	Відносна середньоквадратична контрольна похибка, %	Відносна середньоквадратична тестова похибка, %
1	MLP 24-7-29	2,62	0,96	0,47
2	MLP 24-16-29	4,98	0,57	0,33
3	MLP 24-6-29	2,67	0,60	0,38
4	MLP 24-18-29	0,3	0,21	0,57
5	MLP 24-6-29	3,98	0,79	0,61

Для подальших досліджень використано багатозаровий перцептрон із одним прихованим шаром (18 нейронів). Проведено його донавчання за допомогою градієнтного методу [5] (рис. 5).



**Рис. 5. Якість навчання нейронної мережі оцінки виробничих енергетичних витрат процесу випічки хлібу при різних параметрах оптимізаційного градієнтного методу**

Таким чином, отримано адекватну нейромережеву модель (налаштування згідно з конфігурацією 3 — див. рис. 5), яку можна використовувати для оцінки енергоефективності процесів виробництва хлібу. Для подальшого її застосування потрібно оцінити енергетичні параметри технології з точки зору реалізації асортиментного завдання.

### **Висновки**

1. У результаті застосування кореляційного аналізу отримано значення лінійних коефіцієнтів кореляції між асортиментним завданням (24 показники) та енергоефективністю (витрати електроенергії та природного газу), які показали неможливість встановлення ступеня лінійного взаємозв'язку між даними важливими показниками виробничих процесів із використанням такого підходу — всі коефіцієнти кореляції менші 0,3.

2. Створено й оптимізовано адекватну нейромережеву модель оцінки енергетичних витрат виробництва хлібобулочних виробів залежно від номенклатури асортименту (на основі багатозарового перцептрона) з такими відносними середньоквадратичними похибками навчання на різних вибірках: на навчальній — 0,35%, на контрольній — 0,2%, на тестовій — 0,21%, яку можна використовувати для оцінки енергоефективності роботи хлібокомбінату.

### **Література**

1. *Дробот В.І.* Технологія хлібопекарського виробництва / В.І. Дробот. — Київ : Логос, 2002. — 365 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. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
4. *Лисенко В.П.* Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм / В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа, Н.А. Заєць та ін.. — Київ : НУБіП України, 2014. — 336 с.
5. *Круглов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2002. — 382 с.

## **ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ОЦЕНКИ ЗАТРАТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ХЛЕБОКОМБИНАТА**

**В.В. Козырский, В.В. Момотюк**

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

**Н.А. Заец**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье оценена актуальность создания математических моделей оценки значений экономических и производственных параметров при выполнении ассортиментного задания на хлебокомбинате. На начальном этапе предложено использование линейного корреляционного анализа с целью выявления*

возможной линейности взаимосвязей. Обработка данных пассивного эксперимента, проведенного на производственном объекте, показала отсутствие линейных зависимостей между суточной ассортиментной задачей и энергетическими затратами на ее реализацию (затраты электроэнергии и природного газа). Для дальнейших исследований использованы искусственные нейронные сети типа многослойный перцептрон, которые продемонстрировали адекватность при оценке производственных процессов на хлебокомбинате. Градиентным методом оптимизировано начальную архитектуру нейронной сети.

**Ключевые слова:** математическая модель, энергоэффективность, корреляционный анализ, нейронная сеть, адекватность, оптимизация.