

## НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМІ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННИХ ЗМІН ВОДОПОДАЧІ

Давиденко Л. В.<sup>1</sup>, Давиденко В. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Луцький національний технічний університет

<sup>2</sup> Національний університет водного господарства та природокористування

*Запропоновано вдосконалити математичну модель електроспоживання, побудова якої базується на формуванні вибірок з архіву даних з урахуванням виявлених циклічних змін виробничого процесу.*

**Постановка проблеми.** Енергоефективність є важливим пріоритетом в сучасних умовах. Одним з ключових моментів у цій сфері є впровадження моніторингу та контролю ефективності енергоспоживання. В основі контролю - зіставлення результатів вимірювань із базовим рівнем енергоспоживання (БРЕ). В світлі вимог до БРЕ, зазначених в [1], задача моделювання електроспоживання в складних виробничих системах (СВС) з урахуванням циклічних змін виробничого процесу набуває важливого значення. **Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Основним принципом під час управління енергоспоживанням є послідовна замкнутість функцій [2]: вимірювання та облік; унормування та планування; контроль та аналіз; керування. Розробка керуючих впливів на об'єкт з метою підвищення рівня енергоефективності здійснюється за результатами контролю, в основу якого покладено визначення БРЕ. БРЕ повинен бути унормованим до змінних, що впливають на енергоспоживання; часовий період БРЕ повинен бути типовим для коливань в організаційних операціях; а дані щодо визначальних змінних та фактичного енергоспоживання повинні представляти той самий часовий період, що й БРЕ [1]. Комплексний підхід до управління ефективністю електроспоживання в СВС заснований на моделі електроспоживання, якою є функція, що відображає залежність між вхідними параметрами та вихідною змінною. Зазвичай, модель електроспоживання в СВС належить до класу моделей, структура і механізм взаємодії змінних, що спостерігаються, є не відомим. Тому, необхідним є використання для побудови багатофакторних математичних моделей електроспоживання методів, які б не залежали від співвідношення між вхідними та вихідними змінними та не вимагали уточнення моделі із зміною факторів, забезпечували можливість швидкої побудови моделі без участі експерта, роботи із зачумленими даними та здатність моделі до самонавчання та самоорганізації. При цьому, модель електроспоживання повинна відображати циклічні зміни виробничого процесу.

**Мета статті.** Підвищення точності прогнозування електроспоживання в СВС шляхом урахуванням циклічних змін виробничого процесу.

**Основні матеріали дослідження.** Одним з можливим методів побудови багатофакторних математичних моделей енергоспоживання є застосування нейронних мереж - одного з методів імітації процесів, який дозволяє відтворювати складні залежності [3].

Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять

інформацію про режими роботи об'єктів водопостачання, та використання методів інтелектуального аналізу даних для виявлення прихованих закономірностей, що визначають формування технологічних режимів об'єктів водопостачання та електроспоживання. Використання апарату нейронних мереж забезпечує можливість прогнозування електроспоживання в СВС на основі урахування вхідного вектору параметрів без дослідження їх зв'язків з величиною спожитої електроенергії, а шляхом формування архітектури мережі та її навчання на основі архіву даних.

Модель електроспоживання повинна бути диференційованою до збурюючих впливів тобто до режиму водоподачі залежно від сезону, типу дня тощо. Процедура побудови моделі електроспоживання передбачає формування множини вхідних змінних, вибірки значень вхідних та вихідних змінних з урахуванням результатів кластеризації графіків витрати води з мережі водопостачання за сезоном [4], отримання моделі оптимальної складності, перевірку її адекватності. Результатом її виконання є набір моделей електроспоживання, побудованих для кожного сезону.

Під час вибору вхідних змінних, що мають вплив на ефективність електроспоживання в системі комунального водопостачання (СКВ) перевагу слід надавати системі технологічних показників та показників енергоефективності, яка відобразить технічний стан, рівень енергоспоживання та ефективність організації технологічного процесу водопостачання. Для забезпечення правильності моделювання слід врахувати чинники, вклад яких є значним, а сукупність цих чинників буде представляти собою репрезентативну вибірку. Як такі, що мають істотний вплив на ефективність електроспоживання системи водопостачання в цілому вибрано [5]:  $X_1$  – величина об'єму піднятої води насосними станціями (НС) I-го підйому;  $X_2$  – об'єм води, поданої в мережу НС II-го підйому;  $X_3$  – втрати води в мережі;  $X_4$  – коефіцієнт ефективності використання продуктивності насосних агрегатів (НА);  $X_5$  – середній тиск в мережі;  $X_6$  – витрати води на технологічні потреби;  $X_7$  – коефіцієнт ефективності використання потужності приводу НА;  $X_8$  – комунально-побутові потреби;  $X_9$  – об'єм очищеної води. Вихідним параметром є електроспоживання.

Побудову штучної нейронної мережі (ШНМ) виконано для СКВ КП "Луцькводоканал". Як навчальну вибірку використано базу даних про електроспоживання в системі водопостачання та вибрані параметри по місяцях протягом 2009-2015 рр. Для кожного з виділених в [4] типових класів за сезоном (крім нерегу-

лярних днів) за допомогою ППП *STATISTICA Neural Networks* було побудовано та вибрано оптимальні структури ШНМ. Для визначення прийнятної структури ШНМ для окремих кластерів об'єктів прогнозування було виконано перебір нейромережевих конфігурацій і вибрано найкращу з огляду на мінімальну похибку на виході мережі та максимуму її продуктив-

ності. Якісна мережа має однаково низьку похибку на всіх трьох підмножинах: навчальній, контрольній та тестовій. Результати вибору оптимальної архітектури нейронної мережі для прогнозування електроспоживання в системі водопостачання за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки прогнозу для кожного сезону подано в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати вибору оптимальної архітектури нейронної мережі

Сезон	Зима	Весна-осінь	Літо
Структура мережі	БП 8-10-1	БП 8-9-1	БП 8-7-1
Похибка мережі, %	Навчальна =1,68 Контрольна =0,81 Тестова = 1,32	Навчальна =0,73 Контрольна =0,45 Тестова = 1,11	Навчальна =1,70729 Контрольна =1,1393 Тестова = 1,82

В якості моделі оптимальної структури вибрано ШНМ типу багат шаровий перцептрон. Моделі забезпечують високу точність прогнозування. Середня відносна похибка за всією вибіркою для кожного сезону не перевищує 5% (у випадку моделювання без урахування впливу сезонності - 10% [5]).

**Висновки.** Використання апарату нейронних мереж забезпечує можливість прогнозування електроспоживання в складній виробничій системі на основі урахування вхідного вектору параметрів шляхом формування архітектури мережі та її навчання на основі архіву даних. Формування вибірки вихідних даних для навчання мережі з урахуванням результатів класифікації за сезоном дає змогу врахувати циклічні зміни виробничого процесу водоподачі та забезпечити високу якість прогнозування електроспоживання.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ ISO 50004:2016 (ISO 50004: 2014, IDT) Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту. – Київ, 2016. – 38 с.
2. Праховник А. В., Соловей А. И. Энергетический менеджмент. – Київ: ІЕЕ НТУУ "КПІ", 2001. – 472 с.
3. Находов В. Ф., Іванько Д. О., Головка А. В. Вибір методів математичного моделювання процесів енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності. // *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2013. Спецвипуск. – С. 20-26.
4. Давиденко Л. В., Давиденко Н. В. Побудова правил дискримінації добових графіків витрати води з мережі водопостачання з урахуванням сезонних та соціальних чинників. // *Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського*. 2018. – Вип. 3 / 2018 (110). – С. 20-25. doi: 10.30929/1995-0519.2018.3.20-25.

5. Давиденко Л. В., Давиденко В. А., Коменда Н. В. Багатофакторне моделювання електроспоживання в складних виробничих системах з використанням апарату нейронних мереж. // *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України"*. Технічні науки, 2016. – Вип. 175. – С.143-145.

#### Анотація

### НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДОПОДАЧИ

Давыденко Л. В., Давыденко В. А.

*Предложена усовершенствованная математическая модель электропотребления, построение которой основано на формировании выборки из архива данных с учетом выявленных циклических изменений производственного процесса.*

#### Abstract

### NEURAL NETWORK MODELING OF POWER CONSUMPTION IN THE PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEM TAKING INTO CONSIDERATION WATER SUPPLY SEASONAL CHANGES

L. Davydenko, V. Davydenko

*An improved mathematical model of power consumption has been proposed, the construction of which is based on the formation of samples from the data archive, taking into consideration the revealed cyclic changes in the production process.*