

## ЕВОЛЮЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ З НЕЙРОННИМИ АЛГОРИТМАМИ НАВЧАННЯ

*Розроблено та впроваджено систему еволюційного моделювання стану електротехнічних комплексів з невизначеними ризиками в малих вибірках, що потребують поетапної ідентифікації, синтезу сучасних навчальних адаптивних алгоритмів, побудованих на основі нейронних мереж.*

### Вступ та постановка завдання

На сучасному етапі розвитку науки і техніки великого значення набувають задачі прогнозування, управління, розпізнавання в умовах не усуненої інформаційної невизначеності [1]. Комп'ютерне моделювання об'єктів великої розмірності, що функціонують в реальному часі, до сьогоднішнього дня стикаються з відомими труднощами «прокляття розмірності», коли збільшення кількості змінних веде до різкого зростання складності процедур прийняття рішень. Такими об'єктами є електротехнічні комплекси, що підтверджує загальну актуальність пропонованого дослідження. Існують методи боротьби з великою розмірністю моделей і складністю операторів перетворення  $F(\bullet)$  [1, 2]. Постараємось скоротити кількість входів, виходів нашої моделі, виділивши найсуттєвіші змінні, що впливають на ефективність управління. Але в цьому напрямку є своє обмеження на діапазон варіювання оператора перетворення  $F(\bullet)$ , який може привести до неадекватності моделі з реальним об'єктом. Для подолання цієї труднощі пропонується проведення деконпозиції оператора  $F(\bullet)$  в часі, замінивши його на взаємодіючі елементи  $F_i(\bullet)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Таким чином, ми звели задачу спрощення оператора  $F(\bullet)$  до окремих процедур  $F_i(\bullet)$ , який стає адекватним багатостадійному технологічному процесу (БСП).

Вказані дослідження мають свої коріння у 18-му столітті в працях Леонарда Ейлера [2] по двох напрямках: теорії графів, яка є математичною моделлю систем зв'язку між об'єктами будь-якої природи в критичних ситуаціях та спроби Л. Ейлера створення теорії музики, яка у нас буде використана для визначення поведінки БСП на стиках стадій, за допомогою мовно-звукових повідомлень у критичних ситуаціях функціонування об'єкта. Аналіз показує, що досліджуваний прикладний об'єкт в історичному висвітленні потребує необхідності використання напрацювань теорії штучного інтелекту [3] та основ інформаційної теорії ідентифікації [4]. Дослідженні параметри і структури електротехнічних комплексів [5—7]. Фундаментальні розробки з сучасних інформаційних технологій, викладені в роботах [9—11], які ми використаємо для формалізації об'єктів [5—7]. Аналіз використаних публікацій показує на відсутність сучасних розробок з моделювання стану електротехнічних комплексів, що підтверджує галузеву актуальність пропонованої публікації.

### Викладення основного результату

Процес навчання організовано з використанням теорії штучних нейронних мереж, де викликає інтерес еволюція вектора вагових коефіцієнтів  $\omega$ . Основну увагу приділимо оцінюванню нев'язки між цільовою функцією  $f(x)$  та фактичною функцією  $F(x, \omega)$ , що реалізовано в нейронній мережі. Під вектором  $x$  будемо розуміти його вхідний сигнал малої вибірки,  $\omega$  — вектор вагових коефіцієнтів.

Нейронну мережу використаємо для формування алгоритму навчання, за допомогою якого закодуємо наші «емпіричні знання» з електричних навантажень, що будуть подані у вигляді випадкового вхідного незалежного вектора  $X$  та випадкового залежного скаляра  $Y$  (цільової функції ризику) [1]. Припустимо також, що існує  $N$  малих вибірових реалізацій цього вектора  $X$ , який позначимо множиною  $\{x_i\}_{i=1}^N$  і відповідну їм величину реалізацій випадкового скаляра  $Y$ , який позначимо  $\{y_i\}_{i=1}^N$ . Ця пара випадкових реалізацій утворить навчальну вибірку

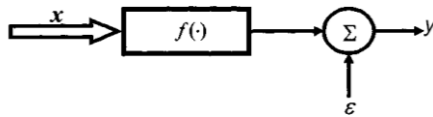
$$T = \{x_i y_i\}_{i=1}^N. \quad (1)$$

Здебільшого не має інформації про функціональні зв'язки між  $X$  та  $Y$ , а тому розглянемо таку адитивну модель:

$$Y = f(X) + \varepsilon, \quad (2)$$

де  $f(\cdot)$  — деяка детермінована функція векторного аргументу;  $\varepsilon$  — це очікувана похибка, яка виражає наше «незнання» залежності між  $X$  та  $Y$ .

Статистичну модель (2) назвемо регресійною (рис.). Очікувана похибка  $\varepsilon$  в загальному вигляді є випадковою величиною, яка, у цьому випадку, має наближений нормальний розподіл та нульове математичне сподівання.



Виходячи з цього регресійна модель (див. рис. а) має дві важливих властивості:

1. Середнє значення очікуваної похибки  $\varepsilon$  для будь-якої малої реалізації  $x$  дорівнює нулю, тобто

$$M[\varepsilon|x] = 0. \quad (3)$$

Природним наслідком цієї властивості є твердження про те, що регресійна функція  $f(x)$  є умовним середнім моделі виходу  $Y$  для вхідного сигналу  $X = x$

$$f(x) = M[y|x]. \quad (4)$$

2. Очікувана похибка  $\varepsilon$  не корелює з функцією регресії

$$M[\varepsilon \cdot f(X)] = 0. \quad (5)$$

Ця властивість підтверджує принцип ортогональності, який говорить про те, що вся інформація про  $Y$ , яка доступна через вхідний канал  $X$ , закодована у функції регресії  $f(X)$ .

Модель (див. рис. б) дозволяє закодувати емпіричні значення навчальної вибірки  $T$  за допомогою відповідного підбору векторів синаптичних ваг  $\omega$ . Тоді отримаємо:

$$T \rightarrow \omega. \quad (6)$$

Таким чином, нейронна мережа забезпечить апроксимацію регресійної моделі (рис. а). Нехай фактичний відгук нейронної мережі на вхідний вектор  $X$  позначається статистичною змінною

$$Y = F(X, \omega), \quad (7)$$

де  $F(X, \omega)$  — функція відображення вхідних даних у вихідні, що реалізована за допомогою нейронної мережі.

Для набору даних навчання  $T$  використаємо напрацювання з методів визначення і прогнозування навантажень електротехнічних комплексів промислових підприємств [5], де вектор синаптичних ваг  $\omega$  обчислимо шляхом мінімізації функції вартості

$$M(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (y_i - F(x_i, \omega))^2. \quad (8)$$

Використавши перетворення (6) та замінивши у функції вартості  $\omega$  на  $T$ , отримаємо:

$$M(\omega) = \frac{1}{2} M_T \left[ (y_i - F(x_i, T))^2 \right]. \quad (9)$$

Добавляючи і віднімаючи функцію  $f(x)$  у виразі в дужках та зробивши деякі перетворення, отримаємо:

$$y - F(x, T) = (y - f(x)) + f(x) - F(x, T) = \varepsilon + (f(x) - F(x, T)). \quad (10)$$

Підставляючи цей вираз у (9), розкривши дужки, функцію вартості представимо у такій еквівалентній формі:

$$M(\omega) = \frac{1}{2} M_T [\varepsilon^2] + \frac{1}{2} M_T [(f(x) - F(x, T))^2] + M_T [\varepsilon(f(x) - F(x, T))]. \quad (11)$$

Зазначимо, що остання складова у правій частині рівняння (11) дорівнює нулю з двох причин:  
 — очікувана похибка  $\varepsilon$  не корелює з регресійною функцією  $f(x)$ , що видно з виразу (5);  
 — очікувана похибка  $\varepsilon$  відноситься до регресійної моделі (рис. а), в той час, як апроксимуюча функція  $F(x, \omega)$  відноситься до нейромережної моделі (рис. б).

Отже, вираз (11) можна спростити:

$$M(\omega) = \frac{1}{2} M_T [\varepsilon^2] + \frac{1}{2} M_T [(f(x) - F(x, T))^2]. \quad (12)$$

Перша складова в правій частині (12) описує дисперсію очікуваної похибки регресійного моделювання  $\varepsilon$ , обчисленої на навчальній вибірці  $T$ . Це початкова похибка, тому що вона не залежить від вектора ваг  $\omega$ . Її можна не враховувати, тому що основною задачею є мінімізація функції вартості  $M(\omega)$  відносно вектора  $\omega$ . Необхідно врахувати, що значення оцінки вектора ваг  $\omega^*$ , що мінімізує функцію вартості  $E(\omega)$ , буде також мінімізувати і середню квадратичну відстань між регресійною функцією  $f(x)$  і функцією апроксимації  $F(x, \omega)$ . Іншими словами, природною мірою ефективності використання  $F(x, \omega)$  для прогнозування бажаного відклику у буде така функція:

$$L_{av}(f(x), F(x, \omega)) = M_T [(f(x) - F(x, T))^2]. \quad (13)$$

Отриманий результат (13) забезпечує математичну основу для дослідження залежності між зміщенням та дисперсією, отриманих у використанні  $F(x, \omega)$  в якості апроксимуючої цільової функції  $f(x)$ .

### Висновки

Розроблено та впроваджено нову модель визначення і прогнозування навантажень електротехнічних комплексів, які мають на початку досліджень недостатні вибірки експериментальних даних. Задачу розв'язано за рахунок синтезу сучасних навчальних алгоритмів, побудованих на основі нейронних мереж.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букатова И. Л. Эволюционное моделирование идеи, основы теории, приложение / И. Л. Букатова. — М. : Знание, 1981. — 64 с.
2. Тиле Р. Леонард Эйлер / Р. Тиле ; пер. с нем. — Киев : Вища школа, 1983. — 192 с.
3. Эндрю А. Искусственный интеллект / А. Эндрю ; пер. с англ. — М. : Мир, 1985. — 264 с.
4. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации / Я. З. Цыпкин. — М. : Наука, 1984. — 320 с.
5. Рогальський Б. С. Методи визначення і прогнозування електричних навантажень промислових підприємств : моног. / Б. С. Рогальський. — Вінниця : ДДТУ, 1996. — 96 с.
6. Рогальський Б. С. Проблеми енергозбереження, нормування і прогноз електроспоживання (на прикладі гірничих підприємств) / Б. С. Рогальський. — Вінниця : Універсум-Вінниця, 1996. — 150 с.
7. Гордеев В. И. Управление электроснабжением и его прогнозирование / В. И. Гордеев, И. Е., Васильев, В. И. Шуцкий. — Ростов на Дону : изд-во Ростовского университета, 1991. — 104 с.
8. Джорратано Дж. Экспертные системы принципы разработки и программирование / Дж. Джорратано, Г. Райли ; пер. с англ. — [4-е изд.] — М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2007. — 1148 с. — ISBN 978-5-8459-1156-8.
9. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс / С. Хайкин ; пер. с англ. — М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2006. — 1104 с. — ISBN 5-8459-0890-6.
10. Мур Дж. Экономическое моделирование, Microsoft Excel / Дж. Мур, Л. Д. Уэдерфорд. ; пер. с англ. — М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2004. — 1024 с. — ISBN 5-8459-0578-8.
11. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. — М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2005. — 864 с. — ISBN 5-8459-0437-4.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 25.06.11  
 Рекомендована до друку 4.07.11

**Лисогор Василь Микитович** — професор кафедри аграрного менеджменту Вінницького національного аграрного університету, Вінниця