

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМІ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ МЕТОДОМ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ

Давиденко Л. В.¹, Давиденко В. А.²

¹Луцький національний технічний університет,

²Національний університет водного господарства та природокористування

Запропоновано математичну модель електроспоживання, побудова якої базується на груповому урахуванні істотних змінних, що характеризують процес водопостачання та його ефективність.

Постановка проблеми. Енергоефективність є важливим пріоритетом в сучасних умовах. Досвід європейських країн свідчить, що впровадження політики енергоефективності вимагає змін на рівні управлінських рішень для поліпшення енергетичної результативності діяльності організації. **Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Першим етапом на шляху ефективного управління енергоспоживання згідно [1] є енергетичне планування. Одним із його завдань є планування енергоспоживання, результатом якого є визначення БРЕ. Планування енергоспоживання – процес пізнання об'єктивних причинно-наслідкових зв'язків між енергетичним та іншими чинниками виробництва шляхом їх моделювання на певний період. Згідно вимог стандарту ISO 50001 [1] БРЕ повинен бути унормованим до відповідних змінних, що впливають на енергоспоживання. Одним із способів унормування БРЕ є побудова математичної моделі споживання енергії для виробничого об'єкту з урахуванням чинників, які суттєво впливають на величину витрати енергії [1]. Комплексний підхід до управління ефективністю електроспоживання заснований на багатofакторній моделі витрати електроенергії [2]. Будь-який виробничий об'єкт має унікальний характер електроспоживання і складні залежності між електроспоживанням і чинниками, що впливають на нього. Складність математичного моделювання електроспоживання будь-якого виробничого об'єкту обумовлена необхідністю урахування багатьох чинників, що впливають на споживання електроенергії, а також їх взаємозв'язків, інформація про які міститься в результатах спостереження. Для побудови математичної моделі в загальному випадку слід визначити її структуру та оцінити параметри, тобто вирішити завдання структурно-параметричної ідентифікації моделі за вибіркою статистичних або експериментальних даних. Причому, на практиці структура моделі, як правило, невідома. Жорсткі обмеження на обсяг вихідної інформації зумовлюють необхідність використання спеціалізованих методів, що орієнтовані на роботу саме за таких умов [3].

Мета статті. Підвищення точності прогнозування електроспоживання в СКВ шляхом автоматичної структурно-параметричної ідентифікації моделі.

Основні матеріали дослідження. Останнім часом великий інтерес проявляється до механізмів самоорганізації, яка як метод адаптивного синтезу складних систем, заснована на припущенні, що інформація про взаємної кореляції змінних прихована в експериментальних значеннях цих змінних. Самооргані-

зацію моделей можна визначити, як їх побудову при всебічному зменшенні необхідної апріорної інформації, зокрема, зводиться до мінімуму кількість вказівок автора моделювання [4]. З обчислювальної точки зору досить привабливим в цій ситуації є метод групового урахування аргументів (МГУА) [4] – один з найбільш успішних методів структурно-параметричної ідентифікації моделей в умовах невизначеності, що відрізняється застосуванням принципів автоматичної генерації варіантів, неостаточних рішень і послідовної селекції моделей оптимальної складності за зовнішніми критеріями [3, 4]. В його основу покладено принципи індуктивного моделювання складних систем: самоорганізації, зовнішнього доповнення і свободи вибору рішень під час автоматичної генерації та послідовної селекції дедалі складніших структур моделей [4]. МГУА не потребує представлення моделі в явному вигляді, оскільки модель конструюється сама в процесі роботи алгоритму на основі обробки наявних вибірок експериментальних даних. Для порівняння і вибору кращих моделей застосовують зовнішні критерії [4], засновані на поділі вибірки на дві чи більше частин, причому оцінювання параметрів і перевірка якості моделей виконуються на різних підвбірках. Це дозволяє уникнути обтяжливих апріорних припущень, оскільки поділ вибірки дає змогу неявно (автоматично) врахувати різні види апріорної невизначеності при побудові моделі та є одним з найбільш успішних способів боротьби з перенавчанням [3]. МГУА є індуктивним методом прямої побудови лінійних, нелінійних, різницевих та інших математичних моделей складних процесів за короткими вибірками даних в умовах істотної неповноти та невизначеності інформації, пов'язаної як із властивостями обмежених вибірок даних, так і з зовнішніми умовами моделювання або апріорною інформацією. За допомогою МГУА можна синтезувати адаптивні моделі за умови дефіциту апріорної інформації. Застосування МГУА дає найкращу оптимально спрощену модель для неточних, зашумлених або невеликих наборів даних [4].

В якості моделі електроспоживання використовується найкраща індуктивна модель, що отримана за багаторядним алгоритмом синтезу моделей (АСМ) МГУА [4] в результаті послідовного випробування моделей, отриманих із використанням множини їх опорних виглядів при заданій мінімальній похибці моделювання. Шуканою за допомогою МГУА моделлю електроспоживання об'єкту водопровідного господарства буде математична залежність, що представляється поліномом Колмогорова-Габбора [4]:

$$y = \theta_0 + \sum_{i=1}^m \theta_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \theta_{ij} x_i x_j + \dots \quad (1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні змінні,
 $\theta_0, \theta_i, \theta_{ij}, \dots$ – коефіцієнти або параметри.

Як такі, що мають істотний вплив на ефективність електроспоживання системи водопостачання в цілому вибрано змінні: 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 – витрати води на технологічні потреби; X_6 – коефіцієнт ефективності використання потужності приводу НА; X_7 – комунально-побутові потреби. Вихідним параметром є електроспоживання. Навчальну вибірку утворюють дані про електроспоживання в СКВ та вибрані параметри по місяцях протягом 2015-2018 рр.

Моделювання електроспоживання виконувалося в програмному середовищі GMDH Shell DS 3.8.2 [5], що є інструментом інтелектуального аналізу даних і прогнозування на основі алгоритму МГУА. За його допомогою здійснюється структурно-параметрична оптимізація математичних моделей, що відображають закономірності багатопараметричних даних об'єкта.

Застосовано комбінаторний алгоритм. Пошук моделей оптимальної складності виконувався класі поліноміальних моделей з ефектом взаємодії. Модель вибирається з множини моделей-претендентів послідовним відбором спочатку за критерієм регулярності, потім – за критерієм мінімуму зсуву [4] (зовнішніми критеріями якості моделі).

Як стратегію валідації моделей (алгоритму використання "зовнішнього доповнення") вибрано перехресну перевірку (крос-валідацію) по К-блоках. Суть стратегії: деяку фіксовану частку (перші 10% зразків) виключають з вихідного набору даних, будують модель (використовуючи 90% даних, що залишилися) і застосовують її до виключеного набору; на наступному циклі видалені дані повертаються, видаляються інші 10% даних, знову будується модель, яка застосовується до виключених даних. Процедура повторюється доти, доки всі дані не побувають в числі виключених. У результаті використання МГУА отримано модель оптимальної складності у вибраному класі опорних функцій:

$$W = 130,8 + x_1 \cdot x_2 \cdot 5,55 + x_2 \cdot x_3 \cdot 1,17 + x_4 \cdot x_6 \cdot 1,51 + x_5 \cdot x_7 \cdot (-0,724) + x_1^2 \cdot 3,94 + x_2^2 \cdot x_3 \cdot 0,57 + x_1^2 \cdot x_7 \cdot 2,22 + x_4^2 \cdot x_6 \cdot 0,45 \quad (2)$$

Отримана модель забезпечує мінімум внутрішнього критерію $\Delta^2(A)=0,00166$, критерію регулярності $\Delta^2(B)=0,0094$, незміщеності $n_{zc}=0$ та варіації похибки прогнозу $\delta^2=0,00005$, а також максимум коефіцієнта кореляції $R=0,9996$. Точність прогнозу $\Delta^2(C)=0,0036$. Отримані результати свідчать про достатньо високу якість моделювання та точність прогнозу.

Висновки. Застосування комбінаторного алгоритму МГУА до побудови математичної моделі електроспоживання в СКВ (структура і механізм взаємодії спостережуваних параметрів якої є невідомими) дало змогу шляхом перебору усіх можливих моделей із заданого базису вибрати форму залежності, тобто, здійснити структурно-параметричну ідентифікацію моделі за експериментальними даними, та отримати оптимальну у вибраному класі опорних функцій нефізичну модель електроспоживання.

Список використаних джерел

1. ДСТУ ISO 50001:2014. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT). Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 27 с.
2. Грунтович Н. В., Мороз Д. Р., Капанский А. А. Развитие методического обеспечения диагностирования и прогнозирования энергоэффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения. *Енергоефективність*. 2015. № 1. С. 20-23.
3. Мороз О. Г., Степашко В. С. Огляд гібридних структур МГУА-подібних нейронних мереж та генетичних алгоритмів. *Індуктивне моделювання складних систем*. 2015. Вип.7. С.173- 191.
4. Ивахненко А. Г., Степашко В. С. Помехоустойчивость моделирования. Київ : Наукова думка, 1985. 216 с.
5. GMDH Shell for Data Science uses the power of the GMDH (Group Method of Data Handling). URL: <http://www.gmdh.net/>

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МЕТОД ГРУППОВОГО УЧЁТА АРГУМЕНТОВ

Давыденко Л. В., Давыденко В. А.

Предложена математическая модель электропотребления, построение которой основано на групповом учете влияющих переменных, характеризующих процесс водоснабжения и его эффективность.

Abstract

MODELING OF POWER CONSUMPTION IN THE SYSTEM OF MUNICIPAL WATER SUPPLY SYSTEM BY THE GROUP METHOD OF DATA HANDLING

L. Davydenko, V. Davydenko

A mathematical model of power consumption, the construction of which is based on the group consideration of relevant variables characterizing the water supply process and its efficiency, has been proposed.