

УДК 621.31:658.26

Людмила Давиденко¹, к.т.н., доц., Володимир Давиденко², к.т.н., доц., Ніна Давиденко³, к.т.н.

¹Луцький національний технічний університет, Україна

²Національний університет водного господарства та природокористування

³Національний університет водного господарства та природокористування

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЦИКЛІЧНИХ ЗМІН ВОДОСПОЖИВАННЯ

Розглянуто питання побудови математичної електроспоживання насосної станції для визначення базового рівня електроспоживання, адаптованого до зміни фактичних умов водоподачі, зумовлених впливом сезонних та соціальних чинників.

Ключові слова: насосна станція, визначальні змінні, модель електроспоживання, базовий рівень електроспоживання

Liudmyla Davydenko, Volodymyr Davydenko, Nina Davydenko CONSTRUCTION OF THE POWER CONSUMPTION MODEL OF THE WATER SUPPLY PUMPING STATION TAKING INTO CONSIDERATION CYCLIC CHANGES IN WATER CONSUMPTION

The issues of construction a mathematical model of power consumption of pumping station for determining the energy baseline adapted to change in the actual conditions of water supply caused by the influence of seasonal and social factors is considered.

Keywords: pumping station, relevant variables, power consumption model, energy baseline.

Відповідно до стандарту ISO 50001 енергетичне планування передбачає проведення енергетичного аналізу для виявлення тенденцій, сезонних коливань, чинників, від яких залежить споживання енергії. Результатом енергетичного аналізу є інформація та дані, необхідні для встановлення базового рівня енергоспоживання (БРЕ) [1], який повинен бути унормованим до змінних, що впливають на енергоспоживання; часовий період базового рівня енергоспоживання повинен бути типовим для коливань в операціях; дані щодо визначальних змінних та фактичного енергоспоживання повинні представляти той самий часовий період, що й БРЕ. Загалом моделлю БРЕ є функція $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, що відображає залежність між вхідними та вихідною змінними.

Сумарні витрати електроенергії насосної станції (НС) залежать від обсягу води, що перекачується, і створюваного напору. Необхідний напір залежить від втрат напору і необхідного вільного напору в місцях водорозбору, а витрати води - від обсягів водоспоживання. Водоспоживання є одним з чинників, що впливають на ефективність режиму електроспоживання. Воно є нерівномірним і формується під впливом сезонних (що відображають вплив температури повітря, опадів тощо) та соціальних (що відображають вплив зміни укладу життя у робочі та вихідні дні) чинників зовнішнього середовища. Крім того, зміна об'ємів витрати води з мережі зумовлює зміну режиму роботи насосних агрегатів, а отже й значення технологічних параметрів та інших змінних, що впливають на ефективність електроспоживання, та часових періодів для їх отримання. Отже, електроспоживання НС залежить від: характеристик технологічного процесу, технічних характеристик, параметрів режиму роботи та умов зовнішнього

середовища. Математичний опис зв'язку між всіма чинниками та електроспоживанням є складним. При цьому, ступінь впливу чинників на електроспоживання є різним.

Передумовою моделювання електроспоживання є створення бази даних (БД) про електроспоживання та технологічні параметри режиму роботи НС.

Впровадження системи моніторингу забезпечує постійне отримання інформації про електроспоживання, технологічні параметри, характеристики режимів роботи НС; створення баз даних та можливість використання методів інтелектуального аналізу даних для виявлення закономірностей у формуванні технологічних режимів НС.

На першому етапі необхідним є аналіз режимів водоспоживання, виявлення тенденцій його зміни залежно від сезону, кліматичних умов. Характеристикою фактичного режиму водоспоживання є добовий графік витрати води (ГВВ) з мережі водопостачання [2]. Система моніторингу дозволяє сформувати БД добових ГВВ та їх показників, сукупний аналіз яких забезпечує виявлення прихованих закономірностей у характері водоспоживання. Його виконано у два етапи: 1) виявлено вплив сезонності; 2) виявлено вплив соціальних. Для першого етапу виявлено чотири класи ГВВ: 1 клас – «літо»; 2 клас – «зима»; 3 клас – «весна-літо-осінь»; 4 клас – «нерегулярні дні» (ГВВ різних місяців та сезонів). Для другого етапу виявлено три класи: 1 клас – «робочі дні»; 2 клас – «вихідні дні»; 3 клас – «нерегулярні дні» (ГВВ днів різного типу) [3].

Наступний етап – формування набору визначальних змінних. Попередньо було виконано аналіз чинників, що впливають на ефективність електроспоживання. Для оцінки взаємозв'язку між змінними використано кореляційний аналіз. Виявлено: найбільший вплив на електроспоживання мають змінні подача Q та надлишковий тиск ΔH_{Σ} . Слід зазначити, що покриття відхилень об'ємів витрати води від запланованих значень забезпечується регульованими насосними агрегатами. Математичний опис цього процесу є складним. Тому для спрощення моделювання електроспоживання НС запропоновано враховувати морфометричні показники нерівномірності графіка водоподачі [2]. Вони описують форму графіка витрати води і дозволяють врахувати його зміну. Отже, модель електроспоживання представлено у вигляді залежності:

$$W_{nc} = f\{Q, \Delta H_{\Sigma}, M_1, M_2, M_3, M_4\}, \quad (1)$$

де M_1 - округлість; M_2 - компактність; M_3 - видовження; M_4 – випуклість [2].

Структура і механізм взаємодії вибраних параметрів є невідомими. Для побудови моделі енергоспоживання доцільно використовувати метод самоорганізації - метод групового урахування аргументів (МГУА). МГУА дає змогу виконати структурно-параметричну ідентифікацію математичної моделі електроспоживання на основі спостережених даних. Алгоритм МГУА знаходить взаємозв'язки в даних для підвищення точності прогнозування і вибору оптимальної структури моделі. МГУА на основі експериментальних даних дозволяє знайти оптимальну нефізичну модель, точність якої вища і структура якої простіша ніж повної фізичної моделі [4].

Для моделювання електроспоживання за експериментальними даними вибрано комбінаторний алгоритм методу групового урахування аргументів. Попередньо було створено вибірки даних для електроспоживання та визначальних змінних. Їх отримано з урахуванням результатів формування груп однотипних ГВВ [3].

Пошук моделей оптимальної складності виконувався в таких класах опорних функцій: клас моделей лінійного опису – лінійні функції від n змінних (клас №1); клас моделей лінійного опису з ефектом взаємодії (клас №2); клас моделей нелінійного опису з обмеженням ступеня p : $p=2$ – квадратичні функції від n змінних (клас №3); $p=3$ – кубічні функції від n змінних (клас №5); клас поліноміальних моделей з ефектом взаємодії – поліноміальні функції від n змінних з обмеженням ступеня p : $p=2$ – квадратичні функції (клас №4); $p=3$ – кубічні функції (клас №6).

Згідно алгоритму МГУА оптимальна модель вибирається з умови мінімуму зовнішніх критеріїв: спочатку за критерієм регулярності, потім – за критерієм мінімуму

зсуву [4]. Одним з етапів є перевірка її достовірності та апробація на реальних даних. Про ступінь валідації моделі свідчить її здатність правильно визначати вихідну величину. Стратегія валідації використовується для вибору методу перевірки моделі. Одна з них - спосіб формування навчальної вибірки (для побудови моделі) і тестової (для її перевірки). Хороша модель дає прийнятні результати точності на навчальній і контрольній вибірці. Як стратегію валідації моделей вибрано перехресну перевірку (крос-валідацію) по К-блоках. Оптимальна модель відшукується лише в заданому класі.

У результаті використання МГУА отримано модель оптимальної складності для кожного класу опорних функцій. Отримані моделі забезпечують мінімум внутрішнього критерію $\Delta^2(A)$, та варіації похибки прогнозу δ^2 , максимум коефіцієнта кореляції R (їх розраховано на навчальній вибірці), а також критерію регулярності $\Delta^2(B)$, незміщеності n_{zc} в обраному класі функцій (їх розраховано на перевірочній вибірці). Такі результати отримано для всіх типових класів за сезоном та типом дня. Всі моделі-кандидати є оптимальними в своєму класі та забезпечують мінімум вибраних критеріїв відбору. Слід зазначити, що ускладнення моделі та підвищення степеню полінома не дає значного підвищення якості моделювання та точності прогнозування.

Вибір кращої структури моделі передбачає аналіз її адекватності на основі критеріїв регулярності, мінімум зсуву, Шварца, коефіцієнту детермінації, а також оцінку точності прогнозу. Цільові функції багатокритерійного вибору кращої моделі:

$$\begin{aligned} \Delta^2(B) \rightarrow \min; \quad n_{zc} \rightarrow \min; \\ R^2 \rightarrow \max; \quad BIC \rightarrow \min; \quad \Delta^2(C) \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (2)$$

В результаті вибрано кращі структури моделей для електроспоживання для кожного типового дня кожного сезону. Відібрані моделі є моделями з ефектом взаємодії та більшість з них (крім моделі для вихідного дня зимового сезону) є лінійними моделями. Кожна модель адаптована до режиму водоподачі типового дня певного сезону. Це дає змогу врахувати конкретні умови функціонування насосної станції водоподачі під час визначення БРЕ для заданого часового проміжку.

Виявлення та врахування циклічних змін технологічного процесу (відповідно до вимог стандартів серії ISO 50000), зумовлених впливом чинників зовнішнього середовища, забезпечує можливість визначення часових діапазонів для визначення (спостереження) визначальних змінних та побудови моделі електроспоживання, яка є адаптованою до режиму водоподачі для характерного типу дня відповідного сезону. Застосування комбінаторного алгоритму МГУА дало змогу здійснити структурно-параметричну ідентифікацію моделі за експериментальними даними та сформуванню сукупності моделей-кандидатів, а їх оцінка за множиною критеріїв якості моделювання та точності прогнозу дозволяє виконати відбір кращої структури моделі для типових днів кожного сезону. Це забезпечує можливість визначення БРЕ НС водоподачі з урахуванням її фактичних умов роботи протягом конкретного часового інтервалу.

Література

1. ДСТУ ISO 50004:2016 Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 38 с.
2. Розен В.П., Давиденко Н.В. Формування множини характеристик фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2015. № 3 (41). С. 85-92.
3. 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. №3/2018(110). С. 20-25.
4. Стеценко І. В. Моделювання систем. Черкаси: ЧДТУ, 2010. 399 с.