

ПРОЦЕДУРА ПЛАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВОДОПОСТАЧАННЯ

¹Луцький національний технічний університет;

²Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

Розглянуто питання планування електроспоживання об'єктів водопостачання як складової системи контролю та планування. Обґрунтовано вплив водоспоживання як зовнішнього чинника на ефективність електроспоживання. Запропоновано процедуру планування електроспоживання, яка спирається на інтелектуальний аналіз даних системи моніторингу, та дозволяє врахувати зміну рівня ефективності електроспоживання залежно від зовнішніх чинників. Виконання її етапів забезпечує визначення часового періоду для збору даних щодо електроспоживання та вхідних параметрів і побудови моделі електроспоживання, адаптованої до режиму водоподачі, а також визначення типових робочих діапазонів його характеристик. Використання отриманих результатів забезпечує формування базового рівня електроспоживання, унормованого до визначальних змінних для конкретного часового проміжку та диференційованого до сезону року і характеру дня тижня.

Ключові слова: ефективність електроспоживання, планування електроспоживання, базовий рівень електроспоживання, модель електроспоживання, насосна станція водопостачання.

Вступ

В умовах скорочення запасів енергоносіїв і зростання їх ринкової вартості питання підвищення рівня енергоефективності (РЕЕ) є одним з пріоритетних завдань. До ключових моментів у сфері енергоефективності належать: розробка та впровадження систем енергетичного менеджменту (СЕМ); оцінка та вдосконалення показників енергоефективності (ПЕЕ); розробка та впровадження заходів підвищення РЕЕ, включаючи моніторинг і контроль [1].

Система комунального водопостачання (СКВ) складається з великої кількості елементів, що знаходяться на різних ієрархічних рівнях, характеризуються певними вихідними умовами, мають свої особливості функціонування. Забезпечення підвищення РЕЕ складної виробничої системи можливе за умови забезпечення енергоефективності її об'єктів та управління енергоспоживанням. Проблема управління енергоспоживанням має цілісний характер і потребує врахування явних та прихованих причинно-наслідкових зв'язків. Це вимагає проведення моніторингу функціонування об'єктів СКВ, подання даних моніторингу у зручній формі, розробки моделей електроспоживання та підтримки прийняття рішень, використання яких забезпечить ефективність управління. Тому, актуальним напрямком підвищення РЕЕ СКВ поряд з модернізацією обладнання насосних станцій (НС), узгодженням характеристик насосних агрегатів та мережі, управління режимом водоподачі тощо є розвиток систем моніторингу енергоефективності [2] (які є важливою складовою частиною СЕМ підприємства), принципів організації процедур моніторингу, які б враховували особливості функціонування об'єктів водопостачання [3], а також вплив зовнішніх чинників. В сучасних дослідженнях в сфері водопостачання та водовідведення акцент ставиться на необхідності мати надійну та «інтелектуальну» систему управління об'єктами водопостачання, систему збору енергетичних і технологічних параметрів об'єктів [2, 4] та характеристик зовнішніх чинників [3, 4], створення великих баз ретроспективних даних для ефективного планування режимів водоподачі та електроспоживання з метою подальшого їх контролю [4] та управління енергоспоживання в СКВ.

Метою роботи є удосконалення процедури планування ефективного електроспоживання об'єктів водопостачання, яка б забезпечувала формування базового рівня електроспоживання (БРЕ), адаптованого до змін режиму водоподачі.

Результати дослідження

СЕМ підприємства — це частина системи управління підприємством, основним завданням якої є управління ефективністю енергоспоживання. Згідно з [5] основним принципом під час формування змісту функції управління енергоспоживання є логічно послідовна інтегрована замкнутість її базових функцій: вимірювання та облік; унормування та планування; контроль та аналіз; керування. При цьому функції вимірювання та обліку передбачають забезпечення процесу управління реальними і достовірними даними про стан об'єкта управління. Функції унормування та планування — отримання основних, відносно постійних характеристик електроспоживання. Функція контролю передбачає визначення в роботі керованого об'єкта факту виникнення та величини фактичного відхилення від запланованих характеристик, а функція аналізу — причини цього відхилення. За результатами контролю здійснюються управлінські впливи на об'єкт для коригування його функціонування. Обов'язковим елементом є урахування випадкових впливів та чинників зовнішнього середовища. Слід зазначити, що функція контролю здійснює інформаційне забезпечення ухвалення рішень для використання наявних можливостей підвищення РЕЕ. Здійснення контролю ефективності використання ПЕР покликана забезпечити система контролю і планування енергоспоживання, яка є складовою системи моніторингу енергоефективності та підсистемою оперативного управління ефективністю енергоспоживання в СЕМ підприємства.

Слід зазначити, що планування режиму ефективного електроспоживання передбачає: планування режиму водоподачі з урахуванням очікуваної витрати води з мережі та формування графіка подачі води; визначення ПЕЕ з урахуванням режиму водоподачі; планування електроспоживання з урахуванням характеристик режиму водоподачі та ПЕЕ.

Енергетичне планування є частиною планування циклу Демінга «Plan-Do-Check-Act», що є основою енергоменеджменту [6], та передбачає проведення енергетичного аналізу для оцінки споживання енергії, виявлення тенденцій, сезонних коливань та інших змінних чинників, від яких залежить енергоспоживання. Результатом енергетичного аналізу є інформація та дані, необхідні для встановлення базового рівня енергоспоживання — опорної величини для вимірювання та порівняння рівня досягнутої/досяжної енергоефективності [6]. Причому, 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.

Енергоефективність режиму роботи НС водопостачання залежить від експлуатаційних характеристик обладнання, виду їх заводських напірно-витратних і енергетичних характеристик, числа і схеми включення одночасно працюючих насосних агрегатів (НА), способу управління електроμηχανічними і технологічними параметрами, а також графіків водоспоживання [7, 8], що змінюються в часі та суттєво відрізняються один від одного за днями тижня, порами року тощо. Причому, водоспоживання є одним з головних чинників, що визначає витрату води з мережі, а отже ефективність режиму водоподачі та разом з іншими технічними та технологічними чинниками — на ефективність електроспоживання. Сумарні витрати електроенергії НС залежать від обсягу води, що перекачується, і створюваного напору. Необхідний тиск залежить від втрат напору і необхідного вільного напору в місцях водорозбору, а витрати води — від обсягів водоспоживання, що має випадковий характер і залежить від низки соціальних та кліматичних чинників [8]. Саме водоспоживання є зовнішнім чинником, який ускладнює оцінку ефективності роботи НА та споживання електроенергії. Крім того, зміна об'ємів витрати води з мережі зумовлює зміну режиму роботи НА, а отже й значення технологічних параметрів та інших змінних, що впливають на ефективність електроспоживання, та часових періодів для їх отримання.

Зважаючи на значну кількість чинників, що впливають на електроспоживання, взаємозв'язки між ними та складність математичного опису, актуальним є використання підходів, що базуються на використанні методів інтелектуального аналізу даних (ІАД), які б враховували основні закономірності режиму водоподачі та електроспоживання, а також вплив зовнішніх чинників.

Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про режими роботи об'єктів СКВ та їх електроспоживання (рис. 1). Використання методів ІАД дозволяє виявити приховані закономірності формування технологічних режимів об'єктів водопостачання, та отримати залежності з невеликою кількістю вхідних і вихідних змінних [2]. Основою системи управління енергоефективністю СКВ є база даних, що складається з технічних, технологічних, енергетичних показників, містить характеристики зовнішнього середовища.

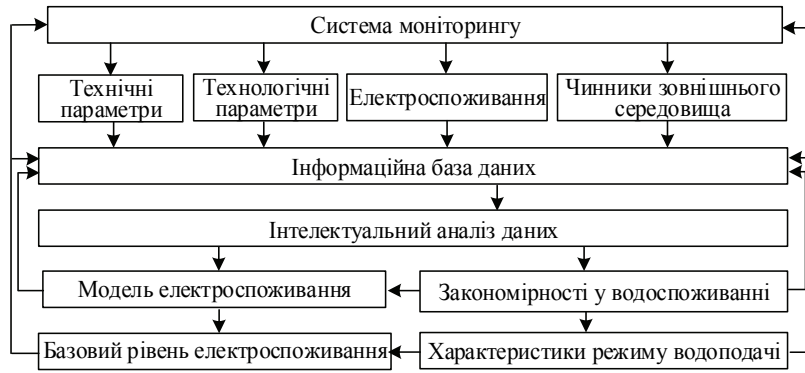


Рис. 1. Структура процедури планування електроспоживання

ву зовнішніх чинників, що визначають процес водоспоживання. Задача може бути розв'язана шляхом формування класів ГВВ, що мають однакові властивості, з використанням теорії розпізнавання образів. Об'єктами класифікації є добові ГВВ, ознаками — параметри добового ГВВ [6]. Кластером подібних ГВВ — сімейством графіків характерного дня — є група ГВВ, що мають подібні риси. Зважаючи на відсутність інформації щодо можливих класів, процедура виявлення спільних рис у добових ГВВ містить два етапи: 1) автоматична класифікація «без учителя» — кластерний аналіз (КА); класифікація «з учителем» — дисперсійний аналіз (ДА) (рис. 2).

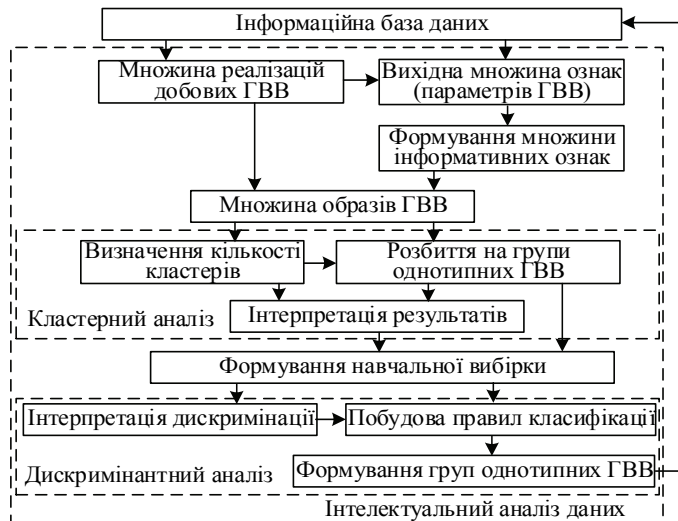


Рис. 2. Блок «Закономірності у водоспоживанні»

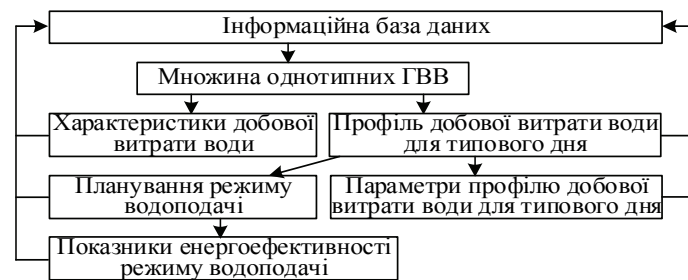


Рис. 3. Блок «Характеристики режиму водоподачі»

Першим етапом процедури планування ефективного режиму електроспоживання є аналіз режимів водоспоживання, виявлення тенденцій його зміни залежно від сезону, кліматичних умов тощо. Основним режимним показником процесу водоспоживання є добовий графік витрати води (ГВВ) з мережі [8]. На основі створеної бази даних можливе дослідження ГВВ для пошуку спільних рис з урахуванням впливу

Використання КА забезпечило виявлення прихованих закономірностей у ГВВ та їх розбиття на групи, тобто формування навчальної вибірки. Це дало змогу застосувати ДА для уточнення класифікації та обґрунтованого розподілу ГВВ між типовими класами. Утворені кластери є диференційованими відповідно до сезонів року і відображають специфіку водоспоживання в робочий, вихідний та святковий дні. Урахування впливу соціальних та кліматичних чинників на характер добового водоспоживання є необхідною умовою реалізації процедур-алгоритмів планування ефективних режимів водоподачі та електроспоживання для кожного з типових днів.

Виявлення прихованих закономірностей у добових ГВВ та формування їх однотипних груп забезпечує можливість формалізованого опису режиму водоподачі (рис. 3), зокрема, формування усереднених характеристик витрати води з мережі та профілю її добового графіка для отриманих класів з метою їх використання для планування режиму водоподачі; визначення параметрів профілю ГВВ типового дня; визначення ПЕЕ, які відображають

енергоефективність технічного стану об'єкта та організації технологічного процесу.

Організація моніторингу ефективності роботи об'єктів водопостачання на постійній основі сприятиме уточненню профілів витрати води з мережі для типового дня та їх параметрів.

Комплексний підхід до управління ефективністю електроспоживання в СКВ заснований на моделі електроспоживання, якою в загальному випадку є функція $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, що відображає залежність між вихідною та вхідними змінними. Процес споживання електроенергії в СКВ належить до класу моделей, структура і механізм взаємодії змінних, що спостерігаються, є невідомим.

За таких умов надійним засобом моделювання є заснований на принципі самоорганізації метод групового урахування аргументів [9] як один з ефективних методів структурно-параметричної ідентифікації моделей складних об'єктів та моделювання за експериментальними даними в умовах невизначеності та неповноти інформації.

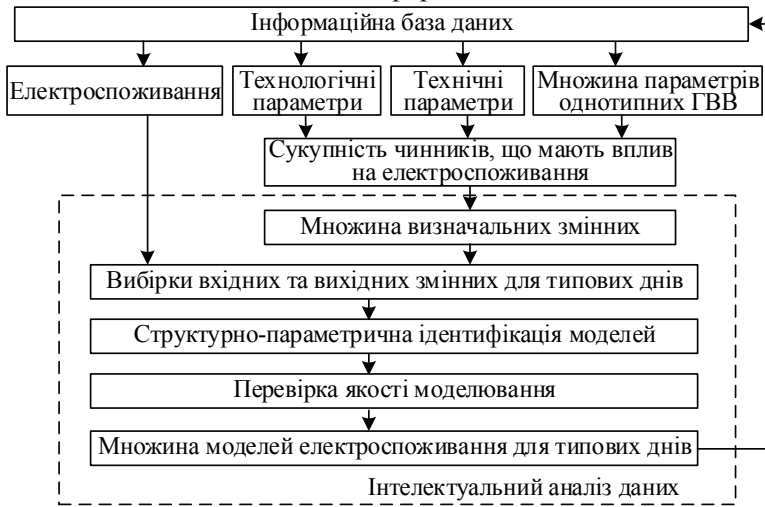


Рис. 4. Блок «Модель електроспоживання»

дня кожного сезону:

$$W_{Q_i, K_{\text{дн.}j}} = a_0^{i,j} + a_1^{i,j} x_1 + a_2^{i,j} x_2 + \dots + a_n^{i,j} x_n, \quad Q_i \in [Q_{\min i}, Q_{\max i}]; \quad i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, m, \quad (1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n — вхідні змінні, що впливають на електроспоживання; $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ — коефіцієнти рівняння; Q_{\min}, Q_{\max} — мінімальне та максимальне значення водоподачі для відповідного сезону; i — номер сезону; k — кількість кластерів за сезоном; $K_{\text{дн}}$ — ознака характеру дня (робочий, вихідний); j — номер кластеру характерного дня; m — кількість кластерів характерних днів.

Сфера використання кожної моделі обмежується визначенням для сезону максимальним та мінімальним значенням об'єму поданої в мережу води та режимом роботи насосних агрегатів для типового дня, який визначатиме показники енергоефективності насосної станції водоподачі.



Рис. 5. Блок «Базовий рівень енергоспоживання»

Завершальним етапом процедури планування електроспоживання є визначення БРЕ на основі даних щодо вхідних змінних, визначених з урахуванням режиму водоподачі протягом певної доби (рис. 5). Реалізація попередніх етапів дозволяє отримати значення визначальних змінних для певного типу дня, а також модель електроспоживання. Результатом процедури є визначення БРЕ, характерного для конкретного часового проміжку та запланованого режиму водоподачі.

Результати розрахункових процедур кожного етапу передаються в інформаційну базу даних, де вони разом з результатами спостереження параметрів технологічного режиму та електроспоживання об'єктів водопостачання зберігаються та консолідуються з метою подальшого використання в процедурі контролю енергоефективності, а також їх аналізу та уточнення.

Висновки

Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про об'єми добової витрати води з мережі, та урахування випадкового характеру водоспоживання як збурюючого зовнішнього чинника під час формування ефективних режимів водоподачі та планування електроспоживання. Аналіз добових ГВВ та використання процедур класифікації дозволяє виявити приховані закономірності у водоспоживанні, зумовлені кліматичними і соціальними чинниками, та сформувати сімейства однотипних ГВВ. Їх врахування забезпечує можливість: 1) побудови профілів ГВВ для характерних днів та планування на їх основі ефективного режиму водоподачі, а також опису режиму водоподачі, зокрема, визначення типових

Модель електроспоживання повинна бути адаптованою до збурюючих впливів, тобто до режиму водоподачі у характерні дні: робочі, вихідні. Процедура побудови моделі електроспоживання (рис. 4) передбачає формування множини визначальних змінних, вибірки вхідних та вихідних змінних з урахуванням результатів кластеризації, здійснення структурно-параметричної ідентифікації моделі (отримання моделі оптимальної складності) та перевірки її адекватності. Результатом виконання процедури є набір моделей електроспоживання, побудованих для кожного типового

Завершальним етапом процедури планування електроспоживання є визначення БРЕ на основі даних щодо вхідних змінних, визначених з урахуванням режиму водоподачі протягом певної доби (рис. 5). Реалізація попередніх етапів дозволяє отримати значення визначальних змінних для певного типу дня, а

робочих діапазонів визначальних змінних; 2) визначення часового періоду для збору даних щодо визначальних змінних і фактичного електроспоживання та побудови моделі електроспоживання, яка враховуватиме особливості режиму водоподачі для характерного дня. Отримані результати є основою для визначення БРЕ для конкретного часового проміжку (добі). Використання запропонованої процедури планування електроспоживання забезпечує урахування нерівномірності витрати води з мережі, зумовленої впливом зовнішніх чинників, та сприяє формуванню БРЕ об'єктів водопостачання, унормованого до визначальних змінних для репрезентативних часових інтервалів (для яких, власне, й встановлено їх типові робочі діапазони) та диференційованого до сезону року і характеру дня тижня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. European Commission (2009) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency [Электронный ресурс] // Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau, 2008. — 430 p. Режим доступа: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html> .
2. Романчук С. М. Мониторинг и анализ данных в процессе управления водоснабжением города Донецка / С. М. Романчук // Системний аналіз у науках про природу та суспільство. — 2011. — Вип. 1. — С. 133—143.
3. Давиденко Л.В. Принципи побудови інтегрованої системи моніторингу енергоефективності для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства / Л.В. Давиденко // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2015. — № 3. — С. 107—115
4. Davydenko L. Formalization of Energy Efficiency Control Procedures of Public Water-Supply Facilities / L. Davydenko, V. Rozen, V. Davydenko, N. Davydenko // Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2017. — Vol. 543. — Pp. 196—202.
5. Энергетический менеджмент / [А. В. Праховник, А. И. Соловей и др.] — К.: ИЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. — 472 с.
6. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту. (ISO 50004:2014, IDT): ДСТУ ISO 50004:2016 — К.: ДП «УкрНДНЦ, 2016. — 38 с.
7. Алексеева Ю. А. Техническое состояние и технологии управления насосными комплексами коммунального хозяйства / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова // Вісник КДПУ : Зб. наук. пр. КДПУ. — Вип. 3/2008 (50), ч. 1. — Кременчук: КДПУ, 2008. — С. 135—141.
8. Розен В. П. Формування множини характеристик фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання / В. П. Розен, Н. В. Давиденко // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2015. — № 3 (41). — С. 85—92.
9. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский. — М.: Радио и связь, 1987. — 120 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.12.2017

Давиденко Людмила Валеріївна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання, e-mail: L.Davydenko033@gmail.com .

Луцький національний технічний університет, Луцьк;

Давиденко Ніна Володимирівна — асистент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, e-mail: ninadavydenko1992@gmail.com .

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

L. V. Davydenko¹
N. V. Davydenko²

Power Consumption Planning Procedure Of Water Supply Facilities

¹Lutsk National Technical University;

²National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne

The article deals with planning of power consumption of water supply facilities as a component of the Monitoring and Targeting system. The influence of water consumption as an external factor on power consumption efficiency has been substantiated. The procedure of power consumption planning, based on the intellectual analysis of the monitoring system data, and allows to take into consideration change of the power consumption energy performance depending on external factors, has been proposed. The realization of its stages ensures the determination of the period for collecting data on power consumption and input parameters and for construction a power consumption model adapted to the water supply regime, as well as determination the typical operating ranges of its characteristics. The use of the obtained results ensures the for-

mation of the energy baseline, normalized to the determining variables for a specific time interval and differentiated to the season of the year and the day of the week.

Keywords: power consumption efficiency, power consumption planning, energy baseline, power consumption model, pump station of water supply.

Davydenko Liudmyla V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Power Consumption, e-mail: L.Davydenko033@gmail.com ;

Davydenko Nina V. — Post-Graduate Student of the Chair of Automation, Electrotechnical and Computer-Integrated Technologies, e-mail: ninadavydenko1992@gmail.com

Л. В. Давыденко¹
Н. В. Давыденко²

Процедура планирования электропотребления объектов водоснабжения

¹Луцкий национальный технический университет;

²Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно

Рассмотрены вопросы планирования электропотребления объектов водоснабжения как составляющей системы контроля и планирования. Обосновано влияние водопотребления как внешнего фактора на эффективность электропотребления. Предложена процедура планирования электропотребления, которая опирается на интеллектуальный анализ данных системы мониторинга и позволяет учесть изменение уровня эффективности электропотребления в зависимости от внешних факторов. Выполнение ее этапов обеспечивает определение временного периода для сбора данных об электропотреблении и входных параметров и построение модели электропотребления, адаптированной к режиму водоподачи, а также определение типовых рабочих диапазонов его характеристик. Использование полученных результатов способствует формированию базового уровня электропотребления, нормированного к определяющим переменным для конкретного временного промежутка и дифференцированного к сезону года и дню недели.

Ключевые слова: эффективность электропотребления, планирование электропотребления, базовый уровень электропотребления, модель электропотребления, насосная станция водоснабжения.

Давыденко Людмила Валериевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения, e-mail: L.Davydenko033@gmail.com ;

Давыденко Нина Владимировна — ассистент кафедры автоматизации, электротехнических и компьютерно-интегрированных технологий, e-mail: ninadavydenko1992@gmail.com