

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-0440-4251
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Л.В. Давиденко, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-0176-2045
Луцький національний технічний університет
Н.В. Давиденко, асистент, ORCID 0000-0002-9722-745X
Національний університет водного господарства та природокористування

УРАХУВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ ЗМІН ПРОЦЕСУ ВОДОПОДАЧІ ПІД ЧАС КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

Розглянуто питання удосконалення контролю ефективності електроспоживання об'єктів водопостачання шляхом урахування впливу циклічних змін зовнішнього середовища. Обґрунтовано взаємозв'язок ефективності електроспоживання та водоспоживання, на яке впливають сезонні та соціальні чинники. Запропоновано процедуру виявлення циклічних змін процесу водоподачі, яка передбачає пошук подібності у добових графіках витрати води з мережі водопостачання та формування груп однотипних графіків за допомогою методів кластерного та дискримінантного аналізу. Її реалізація дозволяє визначити часовий період для збору даних щодо визначальних змінних, а також здійснити формалізований опис режиму водоподачі для планування технологічних параметрів та визначення базового рівня енергоспоживання. Для забезпечення коректного контролю ефективності електроспоживання запропоновано процедуру розпізнавання приналежності добових графіків витрати води до одного з типових класів. Використання запропонованих процедур дозволяє враховувати зміну фактичних умов функціонування насосних станцій, зумовлену впливом сезонних та соціальних чинників.

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

Вступ. Основним принципом під час формування змісту функції управління енергоспоживання є логічно послідовна інтегрована замкнутість її базових функцій [1]: вимірювання та облік; унормування та планування; контроль та аналіз; керування. Розробка керуючих впливів на об'єкт з метою коригування його функціонування для підвищення рівня енергоефективності здійснюється за результатами контролю. В основу контролю покладено зіставлення результатів вимірювань із завданням - запланованими показниками, базовим рівнем енергоспоживання (БРЕ) [2]. 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 [3]. Тобто, проблема управління енергоспоживанням будь-якого виробничого об'єкту, в тому числі, об'єктів водопостачання, має цілісний характер і вимагає урахування як явних, так і прихованих причинно-наслідкових зв'язків.

Система комунального водопостачання (СКВ) під час експлуатації піддається впливу багатьох чинників. Формування режиму електроспоживання здійснюється під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів, які потребують урахування під час визначення БРЕ та організації контролю ефективності електроспоживання об'єктів водопостачання. Одним з таких чинників є водоспоживання, що визначає витрату води з мережі, а отже ефективність режиму водоподачі та разом з технічними та технологічними чинниками – ефективність електроспоживання. Саме водоспоживання є зовнішнім чинником, який ускладнює оцінку ефективності роботи насосних станцій (НС) водоподачі та споживання електроенергії. Крім того, зміна об'ємів витрати води з мережі зумовлює зміну режиму роботи насосних агрегатів НС, значень технологічних параметрів та часових періодів для їх отримання. Отже, обов'язковим елементом під час організації контролю є урахування випадкових впливів та чинників зовнішнього середовища.

Мета статті. Удосконалення контролю ефективності електроспоживання об'єктів водопостачання шляхом розробки принципів урахування циклічних змін технологічного процесу водоподачі, зумовленого впливом чинників зовнішнього середовища.

Основні матеріали дослідження. Забезпечення ефективного електроспоживання вимагає оптимізації режиму електроспоживання об'єктів водопостачання, а також оптимізації технологічного процесу водоподачі. Для забезпечення ефективного режиму водопостачання водоподача повинна максимально відповідати водоспоживанню. Але водоспоживання – випадковий процес.

На нього впливають кліматичні (залежність водоспоживання від погодних явищ: температура повітря, опади) та соціальні чинники (залежність водоспоживання від соціального укладу життєдіяльності: типу дня - робочий, вихідний, святковий; час доби). Зовнішнє середовище представляє собою сукупність факторів прямої та непрямої дії, які потребують врахування під час планування добової водоподачі та визначають організацію технологічного процесу водопостачання, а отже мають безпосередній вплив на ефективність режиму електроспоживання (рис. 1). Не врахування впливу чинників зовнішнього середовища зумовлює зниження ефективності організації режиму водоподачі, а значить споживання електроенергії.

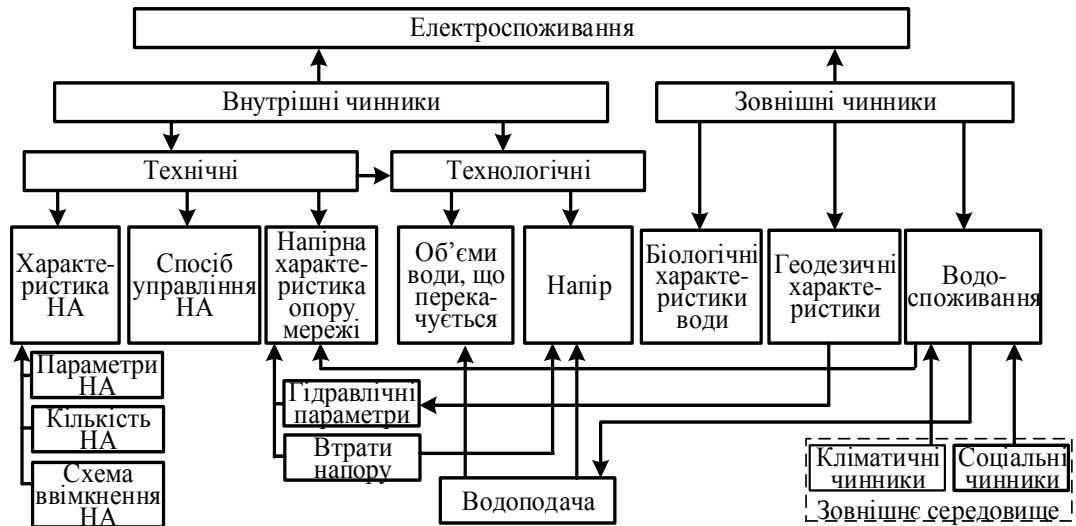


Рисунок 1 – Взаємозв'язок електроспоживання об'єктів водопостачання та внутрішніх і зовнішніх чинників

Основним режимним показником процесу водопостачання є добовий графік витрати води (ГВВ) з мережі. Зміни водоспоживання в часі відображають циклічність щоденного способу життя: робочий час, час відпочинку. Добові ГВВ відрізняються один від одного за порами року (рис. 2). Аналіз ГВВ дозволяє стверджувати: витрата води є нерівномірною не лише протягом доби, але й відрізняється залежно від дня тижня. Спостерігається добова циклічність, циклічність протягом тижня і річна повторюваність графіків.

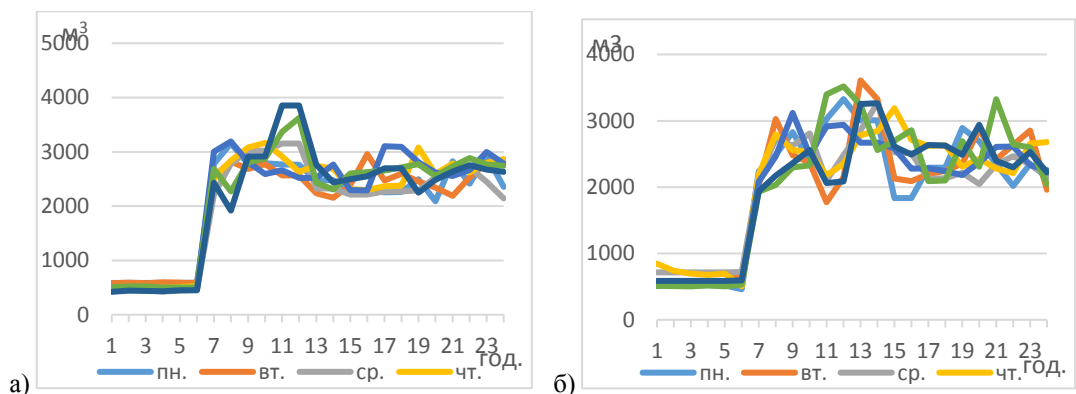


Рисунок 2 - Добові графіки витрати води з мережі водопостачання: а) – червень; б) грудень

Одним з завдань системи контролю енергоефективності є планування електроспоживання (визначення БРЕ), а також встановлення нормативів для контрольованих технологічних параметрів та показників енергоефективності. Для здійснення коректного контролю ефективності електроспоживання часовий період дії БРЕ повинен відображати циклічні зміни технологічного процесу [3]. Для врахування реальних умов функціонування об'єкту контролю та уникнення завищення (заниження) нормативів їх доцільно встановлювати на базі накопиченої статистики про обсяги споживання електроенергії, показники енергоефективності та технологічні параметри процесу водопостачання. Тобто, передумовою процедури моделювання електроспоживання та визначення БРЕ є отримання інформації щодо електроспоживання та технологічних параметрів режиму роботи НС для створення інформаційної бази даних (БД) та статистичний аналіз отриманих даних.

Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про режими роботи об'єктів СКВ та їх електроспоживання, інтелектуальний аналіз якої забезпечує можливість поетапного вирішення низки задач, що передують формуванню БРЕ, унормованого до визначальних змінних для репрезентативних часових інтервалів, зокрема:

- аналіз режимів водоспоживання та виявлення тенденцій його зміни залежно від сезону, соціальних чинників тощо;

- опис режиму водоподачі з урахуванням виявлених тенденцій;

- побудова математичної моделі електроспоживання, адаптованої до збурюючих впливів [4].

На першому етапі аналізу слід ідентифікувати ключові фактори впливу чинників зовнішнього середовища та виконати їх формалізацію.

На основі створеної БД можливе дослідження ГВВ для пошуку їх подібності з урахуванням впливу 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 [5]. Кластер - група ГВВ з подібними рисами. Системи автоматизованого управління та системи моніторингу дозволяють накопичити достатній об'єм адекватного статистичного матеріалу для виконання такого розбиття.

Зважаючи на відсутність інформації щодо можливих класів на початковому етапі доцільним є використання процедур розпізнавання образів «без учителя» (автоматичної класифікації), зокрема, кластерного аналізу (КА). Доцільність використання КА для аналізу ГВВ пояснюється тим, що він дозволяє розглядати великий об'єм даних і будувати науково обґрунтовані класифікації, виявляючи внутрішні зв'язки між одиницями спостереженої сукупності, а отже виявити раніше невідомі закономірності і представити їх у зручній формі. КА не потребує апріорних припущень про набір даних, не накладає обмежень на вигляд об'єктів класифікації, дозволяє аналізувати показники різних типів даних. Класифікація будується у багатовимірному ознаковому просторі шляхом багатокрокового об'єднання об'єктів в кластери з урахуванням принципу найбільшої подібності в групах і найбільшої різниці між групами [6]. Результатом кластеризації є розбиття об'єктів на групи, що задовольняють деякому критерію оптимальності [7].

Таким чином, використання методів КА дозволить виявити приховані закономірності та виділити групи однотипних ГВВ за рівнем впливу зовнішніх чинників. Однак КА не дає ні правил, ні чітких критеріїв оцінки якості класифікації, тому результати класифікації можуть бути неоднозначними.

Наступний крок – формування правил для розпізнавання належності добового ГВВ до одного з кластерів та перевірка якості отриманих результатів кластеризації. Для цього є доцільним використання дискримінантного аналізу (ДА) - одного з методів розпізнавання образів «із учителем», який дає можливість класифікувати (прогнозувати імовірність належності до класу) нові об'єкти й події на основі "навчання" за емпіричними даними (навчальними вибірками). При цьому передбачається, що вихідні дані поряд з ознаками об'єктів містять групуючу змінну, яка визначає приналежність об'єкта до певної групи.

Мета ДА полягає в тому, щоб на основі вимірювання різних ознак об'єкта віднести його до однієї з декількох заданих груп (класифікувати) деяким оптимальним способом, під яким розуміється або мінімум математичного сподівання втрат, або мінімум ймовірності помилкової класифікації [8]. Суть ДА полягає у визначенні правил, яке дає змогу відрізнити один клас об'єктів від інших, тобто провести розпізнавання належності об'єкта до класу. Зазвичай в завданні розрізнення переходять від вектора ознак, що характеризують об'єкт, до лінійної функції від них - дискримінантної функції (ДФ), яка інтерпритується як гіперплощина, що найкраще розділяє сукупність вибірових точок [7, 8].

Метод ДА дає змогу визначити кількісні змінні, значення яких істотно відрізняються для різних рівнів групуючої змінної, та оцінити можливість індикації належності до класів. Якщо зв'язок є суттєвим, можна отримати правило, за яким знаходять імовірність належності об'єкту до класу за значеннями індикаторних змінних. Крім того, передбачено перевірку несуперечності класифікації, проведеної на вихідних емпіричних даних.

Застосування ДА забезпечує можливість інтерпретації міжгрупових відмінностей, що враховує багатовимірність досліджуваного явища (визначення способу дискримінації наявних груп); пошуку найбільш інформативних змінних (змінних, які найкраще відрізняють (дискримінують) об'єкти, що належать до різних груп); класифікації спостережень у різні групи (прогнозування імовірності належності до класу); перевірку якості (результатів) кластеризації.

З вищевказаного слідує, процедура виявлення подібності у добових ГВВ містить два етапи та полягає у вирішенні низки завдань шляхом послідовного використання методів КА та ДА (рис. 3).

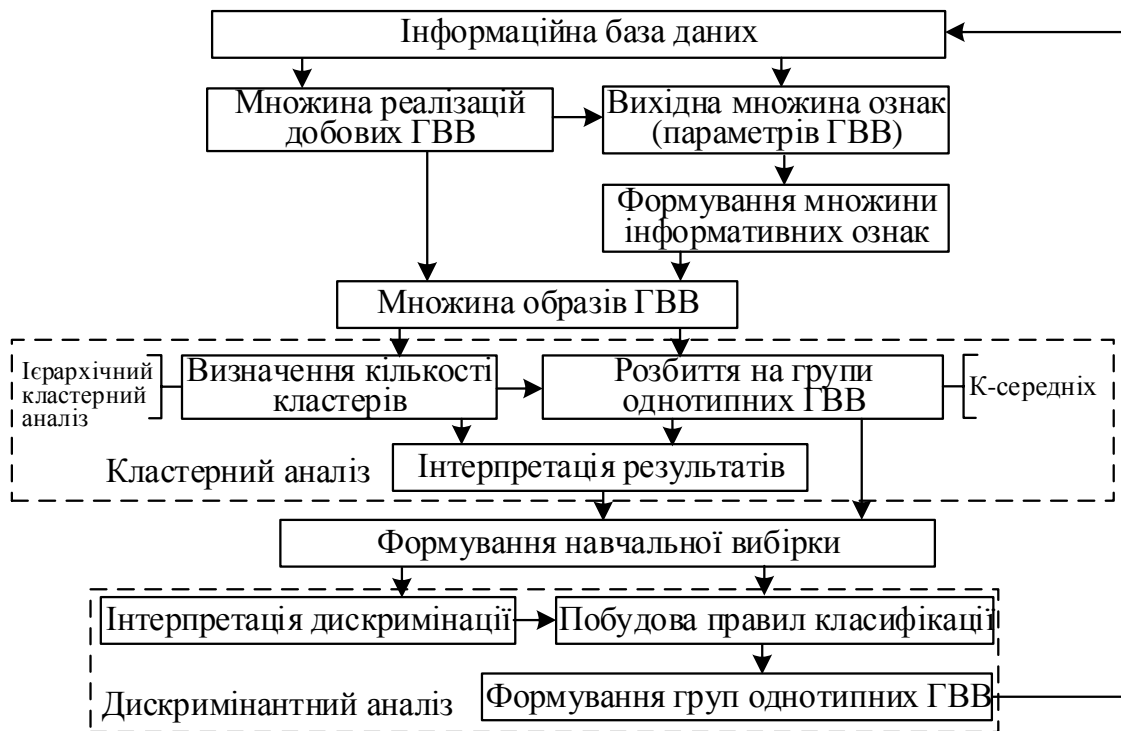


Рисунок 3 – Послідовність використання процедур КА та ДА для класифікації ГВВ

Таким чином, використання методів КА забезпечить можливість виявлення прихованих закономірностей у добових ГВВ та їх розбиття на групи, тобто формування навчальної вибірки. Це дасть змогу застосувати ДА для уточнення класифікації та розподілу ГВВ між типовими класами. Результатом такого розподілу є формування груп однотипних ГВВ.

Формування груп однотипних ГВВ забезпечує можливість не лише виявлення циклічних змін технологічного процесу водоподачі та встановлення часових проміжків для визначення БРЕ, а й формування статистичних вибірок даних щодо електроспоживання, технологічних параметрів для кожного типового дня кожного сезону. Аналіз отриманих вибірок щодо витрат води з мережі водопостачання дозволяє виконати формалізований опис режиму водоподачі [4]: формування усереднених характеристик витрати води з мережі залежно від сезону, профілю її добового графіка для типового дня та визначення його параметрів, а також ПЕЕ, які відображають енергоефективність технічного стану об'єкту та організації технологічного процесу водоподачі, запланованого з урахуванням профілю ГВВ. Результати такого опису виступатимуть основою для планування визначальних змінних з метою їх використання для подальшого моделювання електроспоживання, а також встановлення контрольних меж визначальних змінних для організації процедури контролю технологічних параметрів.

Формалізований опис режиму водоподачі для типового дня кожного сезону забезпечує формування нормативів для визначальних змінних, зокрема: середніх значень для кожної змінної, а також допустимих меж їх зміни, встановлених як довірчий інтервал для вибіркового математичного сподівання нормально розподіленої величини з довірчою імовірністю $p=0,997$. Середні значення визначальних змінних слід приймати як планові для визначення БРЕ, що характеризуватиме рівень досяжної енергоефективності. Встановлені межі зміни визначальних змінних використовуються як граничні контрольні для аналізу відповідності технологічного процесу водоподачі запланованому та правильності вибору моделі електроспоживання для побудови БРЕ.

Для забезпечення коректного контролю ефективності електроспоживання необхідно передбачити перевірку відповідності фактичного ГВВ запланованому ГВВ, з урахуванням якого здійснювалось планування режиму водоподачі та планування електроспоживання.

Використання ДА забезпечує можливість побудови функцій класифікації, які використовуються для класифікації ГВВ. Класифікаційні функції забезпечують можливість розпізнавання приналежності нових спостережень ГВВ до одного з типових класів (рис. 4).

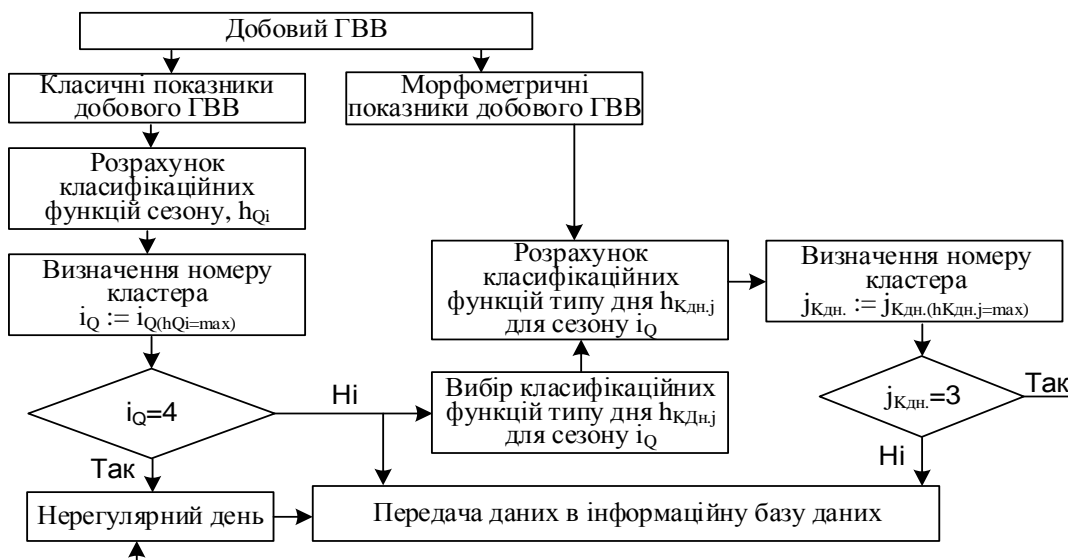


Рисунок 4 – Алгоритм ідентифікації належності ГВВ до типових кластерів

Процедура ідентифікації здійснюється у два етапи: спочатку перевіряється належність ГВВ до відповідного кластеру за сезоном; за умови не відповідності ГВВ класу нерегулярних днів здійснюється процедура ідентифікації належності ГВВ до одного з класів за типом дня.

Кількість кластерів прийнято: для першого етапу 4: 1 клас – «літо» – ГВВ, що відповідають періоду профілактичних робіт у системі тепло- та гарячого водопостачання; 2 клас – «зима» – ГВВ, що відповідають опалювальному періоду; 3 клас – «весна-літо-осінь» – ГВВ, що відповідають весняно-літньо-осінньому періоду; 4 клас – «нерегулярні дні» – ГВВ різних місяців та сезонів, для другого – 3: 1 клас – «робочі дні» - ГВВ, що відповідають робочим дням; 2 клас – «вихідні дні» - ГВВ, що відповідають вихідним та святковим дням; 3 клас – «нерегулярні дні» - ГВВ днів різного типу [4].

Перевірка умови не належності ГВВ до класу нерегулярних днів зумовлена необхідністю коректного формування БРЕ та подальшого контролю електроспоживання. У випадку встановлення факту належності ГВВ до класу нерегулярних днів проведення процедури контролю є недоречним.

Висновки. Одним із чинників, що визначає витрату води з мережі водопостачання, а отже ефективність режиму водоподачі та електроспоживання, є водоспоживання, яке має випадковий характер та формується під впливом кліматичних та соціальних чинників. 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 контролю ефективності електроспоживання. Послідовне використання процедур кластерного та дискримінантного аналізу дозволяє виявити приховані закономірності у ГВВ, зумовлені сезонними змінами та змінами ритму життя населення у робочі та вихідні дні, та сформувати групи однотипних графіків. Результати такого розбиття не лише забезпечують можливість визначення часового періоду для збору даних щодо визначальних чинників і фактичного електроспоживання, а й дають змогу виконати формалізований опис режиму водоподачі з урахуванням виявлених тенденцій та визначити базовий рівень енергоефективності для конкретного часового проміжку, що є основою коректного контролю ефективності електроспоживання. Використання запропонованої процедури розпізнавання приналежності ГВВ до одного з типових класів дозволяє врахувати фактичні умови роботи насосної станції під час планування електроспоживання та контролю його ефективності.

Список використаної літератури

1. Праховник А.В., Соловей А.И. и др. Энергетический менеджмент. Київ: ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. 472 с.
2. Півняк Г.Г., Випанасенко С.У., Хованська О.І. та ін. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. 214 с.
3. ДСТУ ISO 50004:2016 (ISO 50004: 2014, IDT) Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту. Київ, 2016. 38 с.

4. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Процедура побудови базового рівня електроспоживання об'єктів водопостачання з урахуванням впливу зовнішніх чинників. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. №3 (49). С. 31-37.

5. 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.

6. Пістунов І.М., Антонюк О.П. Кластерний аналіз в економіці. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 84 с.

7. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. Москва: Финансы и статистика, 2003. 352 с.

8. Халафян А.А. STATISTICA. Статистический анализ данных. Москва: Бинوم-Пресс, 2007. 512 с.

V. Rozen, Dr. Eng. Sc., Prof., ORCID 0000-0002-0440-4251
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
L. Davydenko, Cand. Eng. Sc., Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-0176-2045
Lutsk National Technical University
N. Davydenko, Assist, ORCID 0000-0002-9722-745X
National University of Water and Environmental Engineering

TAKING INTO CONSIDERATION OF CYCLIC CHANGES IN THE WATER SUPPLY PROCESS DURING CONTROL OF THE POWER CONSUMPTION EFFICIENCY OF PUMPING STATIONS

The article deals with the issues of improvement the power consumption efficiency control of municipal water supply systems objects by taking into consideration the influence of external environment cyclic changes. The interconnection of the power consumption efficiency of pumping stations and water consumption, which is influenced by climatic and social factors, has been substantiated. A set of tasks preceding the formation of the energy baseline to ensure the correct control of the power consumption efficiency has been formulated.

The procedure of cyclic changes detection of the water supply process has been proposed. It involves search of similarities in the daily graphs of water consumption from the water supply network. The expediency of successive use for such search of methods of cluster and discriminant analysis has been substantiated. The procedure result is the formation of groups of the same type graphs. Its implementation allows determining the time period for collecting data on the relevant variables and performing a formalized description of the pumping station water supply mode, in particular, determining the mean values of the relevant variables and their change limits. These results are the basis of the formation of technological parameters norms for controlling the conformity of the water supply technological process to the previously planned. The mean values have been proposed to be used as planned values of the relevant variables for determining the energy baseline.

In order to ensure the correct control of the power consumption efficiency, the implement recognition procedure of the water supply daily graphs to one of the typical classes has been proposed. The classification functions built on the final stage of discriminant analysis is its basis. Identification of the appliance of the graph to the typical groups is carried out first by season, and then by day type. The fact of implement of the graph to irregular days is fixed. The use of the proposed procedures allows taking into consideration the change in the actual conditions of the pumping stations functioning, due to seasonal changes and changes in the life rhythm of the population at workdays and weekends.

Keywords: power consumption efficiency, power consumption control, energy baseline, water supply pumping station.

References

1. A.V. Prakhovnik, Solovey A. I. et al., *Energeticheskij menedzhment*. Kyiv: IEE NTUU "KPI", 2001.
2. G. G.Pivniak, S. U. Vypanasenko, O. I. Khovanska et al., *Systemy enerhomenedzhmentu ta yich matematychnе zabezpechennia*. Dnipropetrovsk, natsionalnyi Hirnychyi Universytet, 2013.
3. DSTU ISO 50004:2016 (ISO 50004: 2014, IDT) Nastanova shchodo vprovadzhennia, suprovid ta polipshennia systemy enerhetychnoho menedzhmentu. Kyiv, 2016.
4. V. P. Rozen, L. V. Davydenko, and N. V. Davydenko, «Procedure of construction the energy baseline of water supply facilities with taking into consideration the external factors influence», *Power engineering: economics, technologies, ecology*, no. 3 (49), pp. 31-37, 2017.

5. V. P. Rozen, and N. V. Davydenko, «Formation of the characteristics set of the actual regime of water consumption in public water supply systems», *Power engineering: economics, technologies, ecology*, no. 3, pp. 85-92, 2015.
6. I. M. Pistunov, *Clusternyi analiz v ekonomitsi*. Dnipropetrovsk, National Mining University, 2008.
7. A. M. Dubrov, V. S. Mkhitarian, and L. I. Troshin, *Mnogomernye statisticheskie metody*. Moskwa, Financy i Statistika, 2003.
8. A. A. Khalafyan, *STATISTICA. Statisticheski analiz dannykh*. Moskwa: Binom-Press, 2007.

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-0440-4251
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Л.В. Давыденко, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-0176-2045
Луцкий национальный технический университет
Н.В. Давыденко, асист., ORCID 0000-0002-9722-745X
Национальный университет водного хозяйства и природопользования

УЧЕТ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОЦЕССА ВОДОПОДАЧИ ВО ВРЕМЯ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Рассмотрены вопросы совершенствования контроля эффективности электропотребления объектов водоснабжения путем учета влияния циклических изменений внешней среды. Обоснованно взаимосвязь эффективности электропотребления и водопотребления, на которое влияют сезонные и социальные факторы. Предложена процедура выявления циклических изменений процесса водоподачи, которая предусматривает поиск сходства в суточных графиках расходы воды из сети водоснабжения и формирования групп однотипных графиков с помощью методов кластерного и дискриминантного анализа. Ее реализация позволяет определить временной период для сбора данных по определяющих переменных, а также осуществить формализованное описание режима водоподачи для планирования технологических параметров и определения базового уровня энергопотребления. Для обеспечения корректного контроля эффективности электропотребления предложена процедура распознавания принадлежности суточных графиков расхода воды в один из типичных классов. Использование предложенных процедур позволяет учитывать изменение фактических условий функционирования насосных станций, обусловленную влиянием сезонных и социальных факторов.

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

Надійшла 17.04.2018

Received 17.04.2018