

ПРИНЦИПИ УРАХУВАННЯ ДОБОВОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ ВОДОСПОЖИВАННЯ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Давиденко Н. В.

Луцький національний технічний університет

Запропоновано набір параметрів для опису нерівномірності водоспоживання, які дозволяють виявити спільні риси у добовому водоспоживанні та на основі кластеризації сформуванню сімейство типових графіків.

Постановка проблеми. Питання підвищення енергоефективності функціонування систем комунального водопостачання (СКВ) є одним із пріоритетних напрямків досліджень з енергоресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві (ЖКГ). При цьому, задача підвищення енергоефективності систем водопостачання не може стосуватися вдосконалення лише конструкцій та режимів роботи окремих його елементів - вона повинна вирішуватись комплексно, з урахуванням усіх особливостей функціонування елементів даної систем. Вирішення цих проблем вимагає впровадження інтегрованих систем енергетичного моніторингу та дієвого управління енерговикористанням на всіх рівнях системи водопостачання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасна СКВ, що має складну, територіально розосереджену структуру, в процесі експлуатації піддається впливу багатьох факторів. Один з головних чинників, що визначають режим роботи водопровідних споруд, - це водоспоживання міста, яке є змінною величиною [1]. Оскільки процеси водоспоживання в мережі мають випадковий характер, то часто виникають такі ситуації, за яких режими роботи насосних станцій не є оптимальними. Одним з критеріїв оптимізації діяльності будь-якого підприємства є зменшення витрати електроенергії в процесі виробництва. Отже, ціллювою функцією оптимізації технологічних режимів насосної станції є мінімізація її енергетичних витрат за умови забезпечення безперебійної подачі води споживачу і дотримання заданого напору в контрольних точках водопровідної мережі відповідно до реального режиму водоспоживання [2]. Тому, одним з напрямків вирішення проблеми підвищення енергоефективності СКВ є розробка підходів та методів, які б дозволяли враховувати випадковий характер водоспоживання, виявити вплив на нерівномірність водоспоживання соціальних, кліматичних, сезонних чинників та на його основі здійснювати ефективне планування водоподачі та витрат електроенергії об'єктів СКВ.

Мета статті. Створення передумов для підвищення результативності процедур моніторингу енергоефективності СКВ шляхом виявлення спільних рис в характері добового водоспоживання для формування ефективного режиму водоподачі.

Основні матеріали дослідження. Забезпечення надійності та ефективності функціонування СКВ є головною вимогою, що висувається до міських інженерних систем. Найбільш важливими є завдання оперативного управління підсистемами водопостачання за фактом підтримки ефективних і оптимальних режи-

мів, що дозволяють забезпечити економію електроенергії та води, а також задачі розпізнавання позаштатних режимів і аварійних ситуацій. Важливим елементом управління водопостачанням є встановлення оптимальних експлуатаційних режимів по кожному об'єкту СКВ. Оскільки подача води в місто безпосередньо визначається поточною потребою у величині водорозбору, наявним є безпосередній зв'язок між плануванням витрат електроенергії та прогнозом міського водоспоживання. Визначення ефективної витрати електроенергії, необхідної для функціонування СКВ міста, повинне бути виконане з урахуванням прогнозного значення водоспоживання, яке є основою для планування подачі води в мережу та відіграє важливу роль в управлінні ефективністю електроспоживання. Важливою складовою системи енергоменеджменту багатьох підприємств, які забезпечують водопостачання міст, є сучасні системи моніторингу. Їх впровадження забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про режими роботи об'єктів СКВ та їх параметри, використання методів інтелектуального аналізу даних для вивчення постійно зростаючих обсягів інформації та виявлення прихованих закономірностей, що визначають формування технологічних режимів елементів СКВ. [3]. Основним режимним показником процесу водопостачання є графік водоспоживання (ГВС). Тому, одним із можливих підходів до формування графіка характерних режимів для багаторежимної оптимізації режиму роботи об'єктів СКВ є попереднє створення бази даних добового водоспоживання в межах системи моніторингу режимів системи водопостачання. На основі створеної бази даних можливе здійснення аналізу добового ГВС, тобто дослідження основних параметрів графіка для пошуку спільних рис у водоспоживанні та побудови сімейства типових ГВС, які мають стати основою для побудови сімейства графіків характерних режимів водоподачі. Системи автоматизованого управління та системи моніторингу дозволяють накопичити достатній об'єм адекватного статистичного матеріалу для виконання такого розбиття.

Задача пошуку спільних рис у водоспоживанні на основі дослідження параметрів добового ГВС може бути розв'язана з використанням теорії розпізнавання образів, до якої належить кластерний аналіз. Кластерний аналіз як загальнонауковий метод дозволяє побудувати науково обґрунтовану багатовимірну ієрархічну класифікацію об'єктів за комплексом ознак. Класифікація будується у багатовимірному ознаковому просторі [4] шляхом багатокрокового об'єднання

об'єктів в кластери з урахуванням принципу найбільшої подібності в групах і найбільшої різниці між групами. Кластерний аналіз дозволяє виявити в даних раніше невідомі закономірності і представити їх у зручній формі. Крім того, кластерний аналіз не накладає обмежень на характеристики об'єктів і дозволяє аналізувати велику кількість початкових даних.

Об'єктами для проведення кластерного аналізу виступатимуть добові ГВС. Ознаками, за якими доцільно оцінювати схожість у характері водоспоживання є параметри ГВС. Для опису добового ГВС слід враховувати такі параметри: середнє водоспоживання, максимальне (мінімальне) водоспоживання протягом доби та дня, час, який відповідає максимальному (мініимальному) водоспоживанню, різницю між максимальним та мінімальним водоспоживанням протягом денних годин, а також середньоквадратичне значення, дисперсію та середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт форми, коефіцієнт максимуму, коефіцієнт заповнення та коефіцієнт нерівномірності графіка водоспоживання, які вважаються класичними показниками нерівномірності добових графіків. Кластер типових ГВС - графіків характерного дня – група графіків водоспоживання, що мають подібні риси. Сімейство типових ГВС повинне бути диференційованим відповідно до сезонів року і відображати специфіку водоспоживання в робочий, вихідний та святковий дні.

Необхідно дотримуватися певної послідовності проведення кластерного аналізу, яка містить такі етапи: відбір вибірки для кластерного аналізу; визначення множини критеріїв (ознак) за якими проводиться кластеризація; визначення відстані та міри подібності - критеріїв оптимальності групування (метрики); проведення кластер-процедури для створення груп подібних об'єктів, використовуючи відповідні стратегії об'єднання; перевірка достовірності отриманих результатів кластерного аналізу, яка полягає у проведенні порівняльного аналізу якості можливих способів розподілу обраної сукупності об'єктів на кластери.

Вихідною інформацією для кластеризації є параметри добового ГВС з яких формується матриця спостережень. Кожний її рядок є значеннями ознак одного з об'єктів кластеризації. Кластерний аналіз повинен здійснюватися на основі співвимірних та односпрямованих показників. Вхідні дані відображають різні властивості об'єктів і є неспівставними. Тому, виконується процедура стандартизації початкових даних.

У метричному просторі "схожість" зазвичай визначають через відстань. Відстань може розраховуватися як між вихідними об'єктами-рядками матриці, так і від цих об'єктів до прототипів центрів кластерів. Часто координати прототипів заздалегідь невідомі, їх знаходять одночасно з розбиттям даних на кластери.

Вирішенням задачі кластерного аналізу є розбиття об'єктів, що задовольняє деякому критерію оптимальності. Вибір критерію оптимальності є вузловим моментом, від якого залежить остаточний варіант групування при заданому алгоритмі розбиття. Використовують чотири групи критеріїв оптимальності групування (метрики): коефіцієнти кореляції; міри відстані (відстань Махаланобіса, Евкладова відстань, зважена евклідова відстань, Хеммінгова відстань), коефіцієнт асоціативності, імовірнісні коефіцієнти поді-

бності. Кожний з цих видів має свої переваги і недоліки, які слід розглядати перш, ніж буде ухвалено рішення про використання одного з них [4].

Після визначення критерію кластеризації обирають стратегію групування об'єктів у кластери, тобто метод кластерного аналізу. Різні кластерні методи характеризуються різними підходами до створення кластерів, тому результати застосування різних методів до одних і тих же даних можуть істотно різнитися.

Ієрархічні методи припускають або послідовне об'єднання об'єктів в кластери за ступенем їх близькості один до одного, або послідовне розбиття сукупності об'єктів на більш дрібні кластери. Кластерне рішення є ієрархічною структурою вкладених кластерів. Неієрархічні методи дозволяють знаходити й ідентифікувати "згущування" об'єктів у просторі змінних.

Зазвичай, використовують ієрархічний агломеративний метод кластерного аналізу, який дозволяє будувати дерево класифікації n об'єктів за допомогою ієрархічного об'єднання їх у групи, або кластери, дедалі більш високої схожості на основі заданого критерію [4]. У результаті виробляється розбиття деякої множини об'єктів на природне число кластерів.

Важливим моментом при кластеризації об'єктів є визначення відстані між кластерами. Методи ієрархічного кластерного аналізу розрізняють за стратегією об'єднання (стратегією перерахунку відстаней). Існують такі методи об'єднання кластерів: відстань "найближчого сусіда" (одиничний зв'язок), відстань "дальнього сусіда" (повний зв'язок), незважене та зважене попарне середнє (середній зв'язок), незважений та зважений центроїдний методи, метод Варда [5].

Зазвичай, використовують стратегію "групового середнього", яка не змінює простір, а класи об'єднуються за відстанню до центру класу. Якщо досліджувана група достатньо різномірна, то використовують стратегію "найближчого сусіда", що звужує простір, а класи об'єднуються по найближчій межі. Якщо ж група досить гомогенна, тоді для виокремлення підгруп серед дуже схожих за характеристиками об'єктів використовують стратегію "далекого сусіда", що розтягує простір, а класи об'єднуються по дальній межі [4].

Метод Варда використовує методи дисперсійного аналізу для оцінки відстаней між кластерами, в якості яких приймають приріст суми квадратів відстаней об'єктів до центрів кластерів, що отримані в результаті об'єднання. На кожному кроці алгоритму об'єднуються такі два кластери, які призводять до мінімального збільшення цільової функції, тобто внутрішньогрупової суми квадратів. Цей метод направлений на об'єднання близько розташованих кластерів і "прагне" створювати кластери малого розміру [5].

Результатом ієрархічних процедур є побудова дендрограми, яка у формі дерева об'єднання відображає структуру зв'язків між об'єктами.

Використання різних алгоритмів об'єднання призводить до різних кластерних структур і впливає на якість проведення кластеризації. Тому, алгоритм повинен вибиратися з урахуванням наявних відомостей про існуючу структуру сукупності об'єктів або з урахуванням вимог оптимізації математичних критеріїв.

Одним з актуальних питань кластерного аналізу є оцінювання результатів та пошук розбиття, що най-

краще відповідає структурі даних, тобто перевірка обґрунтованості кластерного рішення. Найбільш доцільну розбивку, зазвичай, вибирає дослідник за дендрограмою, що відображає результати групування об'єктів на всіх кроках алгоритму. Одночасно можуть використовуватися і математичні критерії якості групування. Методами перевірки достовірності рішень кластерного аналізу є: тести значимості для ознак, що використовуються для створення кластерів; повторна вибірка; тести значимості для незалежних ознак; методи Монте-Карло [4]. Однак, в стандартних статистичних пакетах оцінка результатів розбиття на класи не проводиться, тому алгоритм ієрархічного кластерного аналізу використовують як попередній для визначення числа класів, а потім використовують метод k-means або дискримінантний аналіз.

На основі інформації про водоспоживання в системі водопостачання КП "Луцькводоканал" було визначено параметри добових ГВС та отримано вихідну матрицю спостережень. Кластерний аналіз виконано за допомогою прикладного пакету програм статистичної обробки інформації Statistica 6.0. (StatSoft, Inc., 2001), зокрема, за допомогою стандартного модулю "Cluster Analysis" проведено ієрархічну агломеративну процедуру класифікації Joining (Tree clustering). Для уточнення класифікації було використано метод k-середніх. Виконання процедури класифікації виконувалось з використанням різних метрик та стратегій об'єднання. Незважаючи на те, що кластерний аналіз має певні недоліки, зокрема, склад і кількість кластерів залежить від методів об'єднання і оцінки дистанційних коефіцієнтів, аналіз отриманих результатів розбиття дозволив отримати такі висновки:

- чітко проглядається тенденція об'єднання в один кластер добових ГВС, характерних для певної пори року, що підтверджує вплив сезонності на характер водоспоживання;

- характерним є наявність певного кластеру (рис. 1), названого як кластер "Нерегулярні дні", який об'єднує різні дні тижня різних сезонів. Його наявність може бути обумовлена: соціальними чинниками (релігійними святами та підготовкою населення до них); погодними умовами (посуха, спека); аварійними ситуаціями в мережі, що не були вчасно виявлені.

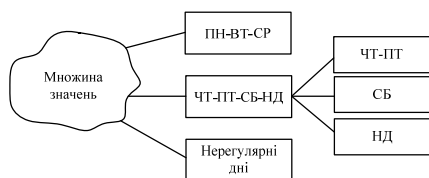


Рисунок 1 – Принцип розбиття на кластери

Уточнення причини появи нерегулярного дня вимагає додаткового урахування в процесі кластеризації характеристики погодних умов.

Висновки. Для комплексного моніторингу ефективності енерговикористання в СКВ, формування ефективних режимів водоподачі та планування енерговикористання необхідним є урахування випадкового характеру водоспоживання. Використання процедури кластеризації дозволяє на основі аналізу показни-

ків добових ГВС виявити спільні риси у водоспоживанні, що дає змогу отримати сімейство типових графіків водоспоживання, які повинні стати основою планування ефективних режимів водопостачання.

Список використаних джерел

1. Шушкевич Е. В. Эффективное управление системой подачи и распределения воды Московского мегаполиса / Е. В. Шушкевич // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 1. – С. 24-30.
2. Романчук С. М. Алгоритмы управления технологическими режимами водоснабжения городов / С. М. Романчук // Вісник Донецького національного університету. Сер. А: Природничі науки. – 2014. – № 1. С. 103-110.
3. 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
4. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / [Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др.]. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
5. Бурева Н. Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП "STATISTICA" : учеб.-метод. материал по прогр. повыш. квалиф. "Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики" / Н. Н. Бурева. – Нижний Новгород, 2007. – 112 с.

Аннотация

ПРИНЦИПЫ УЧЕТА СУТОЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Давыденко Н. В.

Предложен набор параметров для описания неравномерности водопотребления, позволяющих выявить общие черты в суточном водопотреблении и на основе кластеризации сформировать семейство типовых графиков.

Abstract

PRINCIPLES OF ACCOUNTING THE DAILY UNEVENNESS OF WATER CONSUMPTION IN THE TASKS OF ENERGY USE EFFICIENCY MONITORING IN MUNICIPAL WATER SUPPLY SYSTEMS

N. Davydenko

The set of parameters to describe the unevenness of water consumption, which allows to identify common features in daily water consumption and based on clustering to form a family of typical graphs, is proposed.