

УДК 621.65

А.О. Євтушенко, канд. техн. наук,
М.І. Сотник, канд. техн. наук,
О.В. Алексенко, канд. техн. наук,
Л.В. Ганич

Сумський державний університет, м. Суми

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГІДРАВЛІЧНИХ МЕРЕЖАХ — ПОДАЛЬША РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТА КОМУНАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Рассмотрены пути решения проблемы экономного использования энергии в системах водоснабжения жилищно-коммунального и промышленного комплекса Украины. Проведен анализ существующей методики энергетического обследования систем водоснабжения промышленных и коммунальных предприятий. Предложены уточнения и дополнения к рассмотренной методике.

In the article the ways of solving the problem of economical using of energy in water supply systems of Housing and Communal and industrial complex of Ukraine are considered. The analysis of the existing methods of energy audit of water supply systems of industrial and municipal companies is carried out. Refinements and additions to the considered methods are suggested.

Вступ

За світовою статистикою, витрати енергії у гідравлічних мережах та насосних станціях, що працюють на такі мережі, становлять близько 20% всієї електроенергії, що виробляється у світі.

Саме тому раціональне використання енергії у згаданих мережах є нагальною потребою.

Основна частина

Проблеми економного використання енергії у системах водопостачання житлово-комунального комплексу України, її промислового комплексу, з огляду на існуючий фізичний стан та втрати у мережах, є одними з найактуальніших. Їх вирішують двома шляхами:

1. Повною заміною мереж та обладнання з розробкою нових проектних рішень, що враховують особливості сучасного водоспоживання населенням та промисловими підприємствами населених пунктів.

2. Впровадженням енергозберігаючих заходів у існуючих мережах після їх ретельного енергетичного обстеження, враховуючи:

- дійсний стан мереж;
- особливості режимів водопостачання;
- розміщення мереж, джерел водопостачання та електропостачання;
- наявний парк насосного обладнання;
- можливості його модернізації та подальшого використання.

Враховуючи економічну ситуацію в країні, втілення в життя першого шляху є утопічною ідеєю. А більш реальним є саме другий шлях. Для його реалізації необхідно ретельно обстежити стан існуючих мереж та насосних станцій, базуючись на науково-обґрунтованій методиці.

На замовлення Державного комітету України з питань житлово-комунального господарства науковцями Сумського державного університету за погодженням з ВАТ «Науково-дослідний інститут атомного та енергетичного насособудування» (ВНДІАЕН, м. Суми) і Науково-дослідним та конструкторсько-технологічним інститутом міського господарства м. Київ було розроблено методику енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств, яка є основним алгоритмом організації проведення енергообстеження у згаданих системах.

На даний час аналогічних розробок не існує, крім тих, які стосуються технологічного та комерційного водообліку на меліоративних насосних станціях, розроблених Інститутом гідротехніки і меліорації [1].

Дана методика описує алгоритм та методи аудиту системи водопостачання промислових та комунальних підприємств. Вона базується на математичному моделюванні гідравлічної системи з подальшим розрахунково-теоретичним і експериментальним визначенням потрібних параметрів. Методика підходить для проведення енергетичних обстежень як спеціалізованими організаціями, так і працівниками самих підприємств.

Невід'ємною частиною методики енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств є комп'ютерна програма, яку було створено спеціально під цей нормативний документ і яка дозволяє проводити розрахунки гідравлічної мережі за допомогою комп'ютера. Це значно спрощує розрахункові роботи [2].

Загалом методика включає такі основні етапи енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств:

- знайомство з підприємством, збирання первинної технічної і економічної інформації;
- аналіз первинної інформації, складання приблизних енергобалансів;
- оцінка технічного стану гідравлічних мереж, насосного обладнання, трубопровідної арматури, приладів обліку і контролю;
- перевірка відповідності діючої гідравлічної мережі проектній;
- вибір вимірювальної апаратури, приладів, проведення необхідних вимірів;
- прогнозування енерговитрат у системі водопостачання за допомогою комп'ютерного моделювання гідравлічної мережі;
- зняття зовнішніх енергетичних характеристик насосного устаткування, визначення напрямів енергозбереження;
- розробка первинного переліку енергозберігаючих заходів, рекомендованих до реалізації;
- обґрунтування та розробка проектів енергозберігаючих заходів, рекомендованих до реалізації;
- остаточний вибір і узгодження проектів енергозберігаючих заходів, що підлягають реалізації, з керівництвом підприємства;
- підготовка розгорнутого звіту про проведення енергетичного обстеження та узгодження з керівництвом підприємства;
- участь у реалізації енергозберігаючих заходів і забезпечення авторського нагляду.

Зазначені етапи досить повно відображають процедуру та основні моменти проведення енергетичного обстеження. Однак деякі моменти потребують уточнення і доповнення.

1. Режими водоспоживання

Протягом року і доби вода для господарчо-питних потреб у населених пунктах і для виробничих цілей на промислових підприємствах витрачається нерівномірно. Тому точне встановлення режиму водопостачання є однією з найбільш відповідальних задач при розрахунках систем водопостачання.

Режим витрати води на виробничі потреби визначається графіком водоспоживання у відповідності до технології виробництва і кількості робочих змін.

Більш складно встановити режим водоспоживання для населення, тому що він визначається цілою низкою факторів побутового характеру, що пов'язані з режимом життя і трудовою діяльністю населення. Методом вирішення задачі є вивчення і аналіз режиму витрати води в існуючих водоводах і виявлення основних факторів, що впливають на характер режиму водоспоживання міста. Для цього необхідно широко застосовувати статистичні дані про фактичні режими роботи систем водопостачання.

Досвід показує, що на господарчо-питні потреби влітку витрачається води більше, ніж взимку, а в денні години більше, ніж у нічні.

Нерівномірність споживання води на промисловому підприємстві пояснюється циклічністю виробництва і цілою низкою особливостей роботи підприємств.

Нерівномірність господарчо-питного водоспоживання протягом року характеризується двома коефіцієнтами добової нерівномірності:

$$K_{\text{доб.макс}} = Q_{\text{доб.макс}} / Q_{\text{доб.сер}}, \quad (1)$$

$$K_{\text{доб.мін}} = Q_{\text{доб.мін}} / Q_{\text{доб.сер}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{доб.макс}}$, $Q_{\text{доб.сер}}$, $Q_{\text{доб.мін}}$ — відповідно максимальна, середня і мінімальна витрати на добу.

Коефіцієнти добової нерівномірності рекомендовано приймати:

$$K_{\text{доб.макс}} = 1,1-1,3,$$

$$K_{\text{доб.мін}} = 0,7-0,9. \quad (3)$$

Нерівномірність господарчо-питного і виробничого споживання води протягом доби чи зміни роботи підприємства характеризується коефіцієнтами годинної нерівномірності:

$$K_{\text{год.макс}} = Q_{\text{год.макс}} / Q_{\text{год.сер}}, \quad (4)$$

$$K_{\text{год.мін}} = Q'_{\text{год.мін}} / Q'_{\text{год.сер}}, \quad (5)$$

де $Q_{\text{год.макс}}$ і $Q_{\text{год.сер}}$ — відповідно максимальна і середня витрати за годину протягом доби з максимальним водоспоживанням (для підприємств протягом зміни);

$Q'_{\text{год.мін}}$, $Q'_{\text{год.сер}}$ — відповідно мінімальна і середня витрати за годину протягом доби з мінімальним водоспоживанням.

Коефіцієнти годинної нерівномірності господарчо-питного водоспоживання слід розраховувати за формулами:

$$K_{\text{год.макс}} = \alpha_{\text{макс}} \cdot \beta_{\text{макс}},$$

$$K_{\text{год.мін}} = \alpha_{\text{мін}} \cdot \beta_{\text{мін}}, \quad (6)$$

де α — коефіцієнт для врахування ступеня впорядкування будівлі, режиму роботи підприємства та інших місцевих умов, приймається:

$$\alpha_{\text{макс}} = 1,2-1,4,$$

$$\alpha_{\text{мін}} = 0,4-0,6;$$

β — коефіцієнт для врахування кількості жителів у населеному пункті, приймається за таблицею в залежності від кількості жителів і може складати:

$$\beta_{\text{макс}} = 1-2,$$

$$\beta_{\text{мін}} = 0,1-1.$$

Коефіцієнти годинної нерівномірності виробничого водоспоживання повинні прийматися на підставі технологічних даних.

Враховуючи вищевказане розрахункові витрати води можна визначати за наступними формулами.

На господарчо-питні потреби:

середньодобова, $\text{м}^3/\text{добу}$,

$$Q_{\text{доб.сер}} = q_{\text{нас}} \cdot N / 1000; \quad (7)$$

максимальна годинна, $m^3/год$,

$$Q_{год.макс} = K_{год.макс} \cdot \frac{K_{доб.макс} \cdot Q_{доб.сер}}{24} \quad (8)$$

На виробничі потреби:
добова, $m^3/добу$,

$$Q_{доб.} = q_{вир} \cdot \Pi; \quad (9)$$

максимальна годинна, $m^3/год$,

$$Q_{год.макс} = K_{год.макс} \cdot \frac{q_{вир} \cdot \Pi_{зм}}{T} \quad (10)$$

У цих формулах N — кількість жителів; $q_{нас}$ і $q_{вир}$ — відповідно норми господарчо-питного і виробничого водоспоживання; Π і $\Pi_{зм}$ — кількість виробленої продукції відповідно за добу і зміну тривалістю T , год [3].

Щоб найбільш правильно і економічно спроектувати режим роботи системи, необхідно прийняти ймовірний графік водоспоживання протягом доби, тобто ймовірні коливання годинних витрат.

На рис. 1 показано приклад ступінчастого графіка добового водоспоживання для середнього міста. По осі ординат відкладено витрати води за кожну годину у відсотках від добової витрати, а по осі абсцис — години доби.

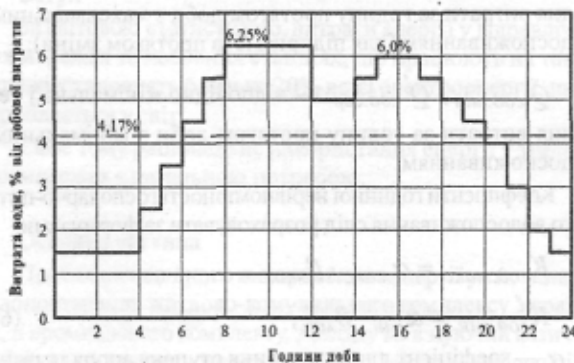


Рис. 1. Ступінчастий графік добового водоспоживання для середнього міста.

З графіка видно, що найбільше водоспоживання відповідає періоду з 8 до 12 години і протягом кожної години дорівнює 6,25% добової витрати. Якщо б водоспоживання було рівномірним, то середня годинна витрата дорівнювала б 4,17%.

Відбір води протягом години також коливається. Однак врахування цього коливання є занадто складним і зазвичай не представляє практичної цікавості, тому що не може суттєво вплинути на точність розрахунку. Тому умовно приймають, що витрата протягом години є незмінною.

На рис. 2 представлений реальний графік добового водопостачання досліджуваного в роботі [4] ЦТП-17 м. Суми за 13.02.2008 року, що демонструє добове коливання споживання питної води.

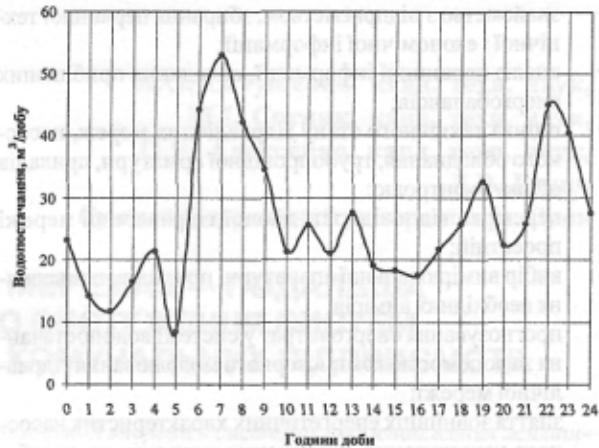


Рис. 2. Графік водопостачання на ЦТП-17 м. Суми за 13.02.2008 року.

Розрахунки за формулами (1) і (2) показали, що у реальних умовах експлуатації системи водопостачання м. Суми коефіцієнти добової нерівномірності відрізняються від значень (3).

Для графіка на рис. 2 коефіцієнти становлять:

$$K_{доб.макс} = 2,02;$$

$$K_{доб.мін} = 0,32.$$

Враховуючи вищевикладене, можна стверджувати, що рекомендовані літературою значення коефіцієнтів добової нерівномірності, суттєво відрізняються від отриманих у реальних умовах експлуатації систем водопостачання. Такі значення коефіцієнтів можна приймати не тільки для м. Суми, але й для міст, які за своєю кількістю населення близькі до нього.

2. Аналіз мереж водоспоживання потрібно проводити з урахуванням їх:

- п'єзометрії;
- геодезичних відміток;
- фактичного фізичного стану трубопроводів та запірної арматури мереж;
- фактичного розподілу тиску в мережах;
- фактичних швидкостей транспортування води, які не повинні бути меншими за 3 м/с;
- можливостей зонування мереж за критерієм визначення однаковості тиску в зонах мереж з огляду на геодезичні дані, поверховість забудови, обсяги водоспоживання.

При визначенні топографічних умов у цілій низці випадків є доцільним розподіл єдиної централізованої системи водопостачання на декілька «висотних зон».

Зонування водопроводу може бути викликано як технічними, так і економічними міркуваннями. Саме зонування дозволяє знизити тиск у трубах водопровідних мереж і зменшити кількість енергії, що витрачається на підняття води.

Частіш за все зонні водопроводи влаштовують у випадку значної різниці геодезичних відміток у межах тери-

торії, що обслуговується водопроводом. Але іноді зонування застосовується і за великої різниці значень вільних напорів, що потребують окремі користувачі (наприклад, у водогонях деяких промислових підприємств).

Коли окремі точки території, на яку подається вода, мають значну різницю відміток, то в нижчих точках водопровідної мережі можуть виникнути тиски, що перевищують допустимі для використовуваних типів труб і умов експлуатації водопроводу.

Якщо в найбільш високо розташованій точці мережі повинен бути забезпечений вільний напір $H_{віль}$, то в її нижчій точці при незонірованій системі напір складатиме:

$$H_{макс} = (z_{макс} - z_{мін}) + H_{віль} - h_{макс}, \quad (11)$$

$$\text{або } H_{макс} = \Delta z + H_{віль} - h_{макс}, \quad (12)$$

де $z_{макс} - z_{мін} = \Delta z$ — максимальна різниця відміток місцевості у межах території, що обслуговується; $h_{макс}$ — максимальні втрати напору в мережі.

Якщо отримане значення $H_{макс}$ перевищує допустимий напір, то необхідно розділити мережу на зони з таким розрахунком, щоб у межах кожної із них напір не перевищував допустимий [5].

Слід враховувати, що максимальний гідростатичний напір у мережі не повинен перевищувати меж, що визначені матеріалом труб і умовами експлуатації.

Гідростатичний напір у зовнішній мережі господарчо-питного водопроводу в споживачів не повинен перевищувати 60 м [6].

Зонування може бути виконано за «послідовною» чи «паралельною» схемою.

Влаштування зонної системи водопостачання сприяє скороченню споживання електроенергії, що витрачається на підняття води. Зі збільшенням кількості зон витрата електроенергії скорочується.

Однак зонування, як правило, призводить до збільшення вартості спорудження водопроводу і зростання чисельності обслуговуючого персоналу. Зростання вартості спорудження пов'язано з необхідністю встановлювати широкий спектр насосного обладнання, що буде працювати в групах на кожну окрему зону. Тобто експлуатаційні витрати в цьому випадку зростають.

Очевидно, що зонування буде економічно доцільним, якщо отримане зниження вартості енергії, що витрачається, перевищує збільшення експлуатаційних витрат.

3. Аналіз «видового» складу насосного та електричного обладнання водонасосних станцій з огляду на можливість їх роботи при:

- визначеному зонуванні;
- забезпеченні необхідного напору та витрат води;
- існуючих та пропонованих графіках водоподачі та водоспоживання;
- максимальній енергоефективності;
- можливості модернізації з можливою заміною роторних деталей проточної частини.

4. Аналіз можливостей насосного обладнання водонасосних станцій в організації режимів водоподачі, які відповідають змінним потребам мережі:

- можливість організації режимів водоподачі ступінчастим регулюванням кількістю працюючих насосів;
- необхідність застосування безступінчастого регулювання гідравлічних параметрів насосного обладнання шляхом впровадження електричного регулювання швидкості обертання роторів електродвигунів.

Висновки

З метою уточнення методики енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств пропонується:

1. Враховуючи реальні графіки водоспоживання при розрахунках водоспоживання для міст з населенням 300–400 тис. мешканців використовувати осереднений графік добового водоспоживання. Коефіцієнти добової нерівномірності приймати близькими до розрахованих за фактичними даними, тобто:

$$K_{доб.макс} = 2,02, \quad K_{доб.мін} = 0,32.$$

2. Для більшості міст України у 300–400 тис. мешканців, що розташовані у зонах «спокійного» рельєфу з «перепадом» геодезичних позначок до 30 м, застосовувати зонування подачі води при розробці енергозберігаючих заходів, здебільшого по трьох зонах.

3. Максимально використовувати наявний парк насосного обладнання при організації «зонної» водоподачі водонасосними станціями, враховуючи можливість його модернізації.

4. Розподілення обсягів водоподачі по зонах мереж проводити з урахуванням:

- фізичного стану трубопроводів;
- існуючої конфігурації мереж;
- можливих перемикачів та обмежень при формуванні зон з урахуванням енергоефективності використання водонасосних станцій та обладнання на них.

Література

1. Антоненко, С.С., Сапожніков, С.В., Смертяк, С.Ю. Методика енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств // Вісник СумДУ. — 2006. — № 5 (89). — С. 5—9.
2. Алексенко, О.В. Розробка методів розрахунку та дослідження робочого процесу лопатевих насосів [Текст]: Автореферат. — Суми: Сум. держ. ун-т, 2006. — 20 с.
3. Калицун, В.И. Основы водоснабжения и канализации. Учеб. пособие для техникумов. — 2-е изд, перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1977. — 207 с.
4. Євтушенко, А.О., Неня, В.Г., Сотник, М.І., Хованський, С.О. Визначення оптимального складу насосної станції системи комунального водопостачання // Вісник Кременчуцького держ. ун-ту ім. М. Остроградського. — 2008. — № 4 (51). — Ч. 1. — С. 158—162.
5. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1974. — 480 с.
6. Водоснабжение. Техничко-економические расчёты / Под ред. Г.М. Басса. — К.: Вища школа, 1977. — 152 с.

Надійшла 28.09.2010 р.