

УДК 691.263

### МЕТОДИКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТА КОМУНАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

*С.С. Антоненко, канд. техн. наук; С.В. Сапожніков, канд. техн. наук;  
С.Ю. Смертяк*

*Представлена методика установлює алгоритм обстеження системи водопостачання промислових та комунальних підприємств. Методика базується на математичному моделюванні гідросистеми з подальшим розрахунково-теоретичним і експериментальним визначенням необхідних її параметрів.*

Головною метою проведення енергетичного аудиту систем водопостачання є підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, технічного та організаційного рівня експлуатаційних, технологічних та технічних заходів з енергозбереження, визначення об'єктивних норм питомих витрат електроенергії на перекачування води, узгодження робочих характеристик гідравлічної мережі та насосної станції, яка оснащена насосами динамічного типу.

Розроблення методики енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств здійснювалось для підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, технічного та організаційного рівня експлуатації систем водопостачання. Авторам невідомі аналогічні розробки, крім тих, які стосуються технологічного та комерційного водообліку на меліоративних насосних станціях, розроблених Інститутом гідротехніки і меліорації [1]. Вказані документи не реалізують мети даного проекту як визначення середньоексплуатаційного ККД насосної станції, що оснащена насосами динамічного типу, при роботі з існуючою гідравлічною мережею.

Необхідність розроблення вказаної методики характеризується техніко-економічними даними, за якими згідно з даними в минулому головного інституту Радянського Союзу в галузі насособудування "ВНДІГідромаш" (м.Москва) на привід насосного обладнання в країні витрачалось до 20% електроенергії, що вироблялась. При цьому до 80% насосного парку країни складали насоси динамічного типу. Ці цифри можуть бути розповсюджені на існуючу ситуацію в Україні сьогодні. Розбіжність між середньоексплуатаційним ККД працюючих насосних агрегатів динамічного типу та їх максимальним паспортним ККД в середньому складає 19% [2].

Розроблена методика включає вимоги до складу робіт з енергетичного обстеження, засоби та прилади, що рекомендуються для вимірювання параметрів насосного обладнання, порядок виконання вимірювання, порядок проведення аналізу результатів аудиту, енергозбережні заходи в системах водопостачання, вимоги до звітної документації про енергетичне обстеження і установлює алгоритм (процедуру) і методи обстеження системи водопостачання промислових та комунальних підприємств, які можуть класифікуватись за типами: водозабор, водорозподіл,

водопідготовка, водоподача, водовідведення. Призначається, головним чином, для машинобудівних, хімічних, металургійних, нафтохімічних та інших підприємств суспільного виробництва, а також агропромислового комплексу, комунальних підприємств, у структуру яких входить система водопостачання. Вказана методика є складовою частиною комплексу нормативних документів з енергозбереження. Реалізація проекту дозволяє мати методику, яка забезпечує можливість для працівників промислових та комунальних господарств власними силами визначити енергоефективність існуючої на підприємстві системи водозабезпечення технічною і (або) питною водою, доцільність (недоцільність) її модернізації для зниження енерговитрат на її функціонування. Вона також може бути використана для енергетичної оптимізації систем водопостачання на стадії проектування.

Методика базується на математичному моделюванні гідросистеми з подальшим розрахунково-теоретичним і експериментальним визначенням необхідних її параметрів (характеристик). Розроблене програмне забезпечення, яке дозволить за параметрами (тиску, подачі, величини геометричних відміток) кінцевих споживачів визначити параметри насосної станції, її робочу точку та порівняти з паспортними даними, розрахувати величину надлишку використання електричної енергії, а також визначити відсутність чи наявність кавітації в насосі.

Пропонована методика визначення параметрів складних трубопровідних систем реалізована у вигляді програмного продукту. Програма розроблена за об'єктно-орієнтованою технологією на мові програмування Паскаль для ПЕОМ в операційній системі Windows і попередньо випробувана в ОС версій Windows 95, 98, ME, NT та 2000. У програмі не використовуються системозалежні функції. Функціонування програмного продукту передбачено лише на окремому комп'ютері. Спеціальних засобів для роботи у комп'ютерних мережах (перевірка ресурсів, черги, запити, тощо) в межах даної розробки не передбачено.

За структурою пропонована методика включає такі характерні розділи, за якими виконавець може самостійно проводити енергоаудит системи водопостачання встановленого об'єкта.

Перший етап розкриває план робіт зі збирання первинної технічної і економічної інформації на об'єкті, де проводиться енергоаудит. А саме, цей етап має на меті знайомство з керівництвом підприємства, основними технологічними процесами та лініями, виробничими потужностями, виготовлюваною продукцією збирання даних про підпорядкованість підприємства, форму власності, вид діяльності (галузь), кількість працюючих, рік заснування тощо.

Встановлюється, чи не передбачалось раніше на даному підприємстві заходів відносно енергозбереження, що було зроблено. Обговорюється нормативно-правова база енергозбереження (постанови, накази, положення, рішення та ін.), керівництво підприємства інформується про можливі напрямки енергетичного аудиту та очікувані результати. Все це дозволяє закласти фундамент для майбутнього співробітництва. На цьому етапі при встановленні об'єкта енергетичного обстеження попередньо визначається об'єм робіт, терміни їх виконання, розміри фінансування.

Вивчаються питання особливостей технологічних процесів, а також систем, що діють у його складі. Визначається: буде обстеження комплексним чи локальним, тобто вузько направленим. Виявляються ті елементи системи, модернізація або заміна яких у даний час неможлива. Попереднє ознайомлення з інфраструктурою підприємства допоможе установити її зв'язок з діючою системою водопостачання, а також оцінити масштаб і складність існуючих. Наступним етапом є проведення аналізу первинної інформації та складання приблизних енергобалансів.

Аналіз первинної інформації необхідний для обґрунтування доцільності (недоцільності) проведення енергетичного аудиту системи водопостачання а також для визначення пріоритетних шляхів і напрямків енергозбереження. Як що необхідно, складається технічне завдання, яке базується на аналізі первинної інформації. Даний етап повинен ілюструвати якісну картину заходів і приблизний кількісний розрахунок економічного ефекту від їх впровадження. Також у разі необхідності потрібно зробити приблизний підрахунок капітальних вкладень підприємства в енергозбережні заходи. Цим етапом закінчуються всі підготовчі роботи, що виконуються перед проведенням Виконавцем власних вимірів. За умови, що вся первинна інформація зібрана, проведені всі необхідні виміри, завдання підготовчих етапів енергетичного обстеження можна вважати виконаною.

Подальшим етапом розробленої методики розкривається питання оцінення технічного стану гідравлічних мереж, насосного обладнання, трубопровідної арматури, приладів обліку і контролю.

На цьому етапі завданням Виконавця є детальне ознайомлення з усіма складовими системи гідравлічних комунікацій підприємства. Необхідно встановити фактичний стан всіх елементів гідравлічної системи (по можливості). Встановлюється фізичний стан елементів гідросистеми (ступінь зносу, пориви, втрати води через елементи вентилів, засувок, через фланцеві з'єднання і т.п.) та ступінь зносу самого насосного обладнання.

Особливої уваги на даному етапі проведення енергетичного обстеження заслуговують контрольно-вимірвальні прилади. Тому Виконавець повинен візуально перевірити їх цілісність і справність, а також визначити достовірність їх показів за відомими параметрами насосного обладнання. При цьому Виконавець повинен переконатися в наявності на контрольно-вимірвальних приладах пломб і штампів Центру стандартизації і метрології (ЦСМ).

На підставі робіт цього етапу і проведених спостережень робляться попередні висновки про можливість економії енергії шляхом незначного ремонту елементів гідравлічної системи, а також висновки про можливість впровадження енергозбережних заходів.

Завданням наступного етапу енергообстеження є порівняння реальної схеми гідравлічної системи з проектною схемою. За отриманими результатами вимірів складається фактична схема гідравлічної системи. При виявленні розбіжностей між проектною і реальною схемами встановлюється мотивація внесення змін у проектну гідравлічну мережу. Після ознайомлення з паспортними характеристиками насосних агрегатів потрібно за поточними показаннями приладів (манометрів і витратомірів) попередньо оцінити відповідність фактичного режиму роботи розрахунковому (із технічного паспорта). За наявності розбіжностей робиться висновок про невідповідність працюючого насосного агрегату його паспортній характеристиці.

Після цього етапу уточнюється попередній енергетичний баланс системи водопостачання і вибираються шляхи зменшення втрат гідравлічної енергії для найбільш гідравлічнонавантаженої частини системи водопостачання.

Черговим етапом, зміст якого розкривається у наведеній методиці, є проведення необхідних вимірів та вибору вимірвальної апаратури і приладів. На цьому етапі найбільш важливим є проведення вимірів витрат води та електроенергії на всіх відповідальних ділянках системи.

Далі прогнозуються енерговитрати в системі водопостачання за допомогою розробленої програми комп'ютерного моделювання гідравлічної мережі.

У складній системі простими методами важко виділити ділянки посиленого енергоспоживання. Для цього існують методи теорії систем та макромодельовання складних систем. У відповідності до них і розглядається обстежувана гідравлічна система водопостачання.

З точки зору енергоаудитора найбільш доцільно мати інструмент виявлення вузького ланцюга системи, тобто такого, який споживає найбільшу частку енергії.

Джерела і системи водопостачання промислових та комунальних підприємств являють собою складні гідравлічні системи послідовно та паралельно з'єднаних між собою трубопроводів та джерел гідравлічної енергії і рідини. При цьому виникає ряд проблем визначення витрат рідини та втрат енергії в елементах трубопровідної системи, оскільки витрата рідини в кожній конкретній гілці визначається цілим набором факторів: сумарним опором елементів цієї гілки; опором всіх інших гілок і способом їх з'єднання в мережу; режимами роботи динамічних насосів.

У цих умовах використання ручних чи вузько спеціалізованих комп'ютерних методів розрахунку для одержання інформації про поточкорозподілення не є можливим. Необхідно мати програмні засоби, що дозволяють проводити розрахунок поточкорозподілення при довільному складі гідравлічної мережі і довільному наборі елементів кожної із гілок.

У рамках даної методики енергетичного аудиту розроблена програма для ПЕОМ, яка дозволяє вирішити окреслене коло питань. Основою програмного продукту є чисельна реалізація законів збереження маси та енергії у їх специфічному застосуванні до функціонування складних гідравлічних трубопровідних систем та матричного опису структури таких систем. Програма виконує усі необхідні обчислення при заданих початкових даних.

Для використання програми під час проведення енергоаудиту системи водопостачання необхідно зібрати про неї (систему) такі реальні або принаймні проектні дані:

- відомості про структуру: кількість вузлів (точок), у яких потоки води поєднуються або розгалужуються; кількість гілок (трубопроводів), які з'єднують вузли;
- геометричні параметри труб, елементів трубопроводів;
- характеристики насосного обладнання та запірно-регулюючої арматури;
- відомості про вузлове водоспоживання та водопостачання.

Послідовність формування початкових даних для роботи програми, структура відповідних файлів наведені в інструкції користувача програми. Керування програмою здійснюється за допомогою меню. Програма має дружній до користувача інтерфейс, що спрощує її освоєння і використання.

Результатами обчислень, що виконуються у програмі, є розміри витрат води у кожній із гілок гідравлічної мережі, а також втрати напору (енергії одиниці ваги рідини). Важливими результатами є також параметри насосів у їх робочих точках. Ці дані дозволяють за повними характеристиками насосів визначати кількість енергії (потужності), яка споживається насосами для переміщення води по гідравлічній системі заданої структури з фіксованими параметрами її елементів.

Результати роботи програми енергоаудитор може використовувати для реалізації декількох напрямків:

- для розроблення першочергових енергозберіжних заходів. При цьому необхідно вибрати ті елементи системи водопостачання (один або декілька), на яких виникають найбільші втрати енергії. Така ситуація можлива у тому випадку, коли елемент системи було неправильно спроектовано, або тоді, коли замість штатного елемента використано той,

що не відповідає встановленим вимогам. Невиправдані витрати енергії можуть бути пов'язані із неправильним регулюванням режимів роботи системи водопостачання. Виявлення та усунення таких ситуацій відповідає першому етапу стратегії енергозбереження, коли значних втрат енергії можна уникнути при незначних капітальних затратах, пов'язаних із модернізацією малої частки системи;

– результати обчислень за програмою можна використовувати для розроблення довготривалих заходів, направлених на суттєву модернізацію системи водопостачання. Для цього необхідно вибрати усі елементи системи водопостачання, на яких втрати енергії більші за середні, і підібрати такі їх параметри (шляхом проведення варіантного розрахунку параметрів гідравлічної мережі), які б призвели до зменшення енергоспоживання.

– проведення експертного оцінювання проектів нових систем водопостачання або створення систем раціонального оперативного керування режимами роботи шляхом прогнозування енергоспоживання.

Після того, як виконано необхідні розрахунки на основі зібраної економічної і технічної інформації, проведеного аналізу приблизних енергобалансів даних обстежень та вимірювань, розробляється первинний перелік можливих енергозберігальних заходів. Початковий список базується на досвіді та науковій базі Виконавця. Енергозберігальні заходи, перелік яких в остаточному вигляді рекомендує Виконавець, повинні базуватись на врахуванні і використанні існуючих можливостей Замовника, його обладнання і фінансового стану.

На підставі складених енергобалансів системи водопостачання Виконавець розробляє комплекс заходів, спрямованих на зниження втрат енергії в системі. Запропоновані заходи повинні враховувати фінансові можливості підприємства і готовність його керівництва здійснити капіталовкладення в енергозберігальні проекти.

Останнім етапом виконання енергоаудиту систем водопостачання є остаточний вибір і узгодження проектів енергозберігальних заходів, що підлягають реалізації, з керівництвом підприємства. Метою даного етапу енергетичного дослідження є вибір пріоритетних енергозберігальних проектів. Останні містять в собі більш детальний опис заходів та техніко-економічне обґрунтування витрат на їх реалізацію порівняно з нормативами в даній галузі. З урахуванням цього Виконавець та Замовник спільно обговорюють питання про реалізацію запропонованих енергозберігальних проектів. У результаті складаються угоди за термінами і оплатою робіт щодо впровадження узгоджених проектів.

Доцільно реалізацію енергозберігальних заходів проводити в двох напрямках. Перший: малозатратні заходи, які можуть бути реалізовані в найкоротші строки. Другий: довготермінові заходи щодо раціонального водопостачання, реалізація яких можлива за рахунок суттєвих техніко-економічних і фінансових вкладів.

## **SUMMARY**

*The presented technique suggests an algorithm for monitoring of a water supplying system for industrial enterprises. The technique is based on mathematic modelling of a hydrosystem with subsequent calculational-theoretical and experimental determination of its required parameters.*

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Відомчий нормативний документ ВНД 33-3.1-08-2004 "Нормування питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями" (Методичні вказівки)
2. Евтушенко А.А., Твердохлеб И.Б. О целесообразности применения гидрофицированных погружных насосных установок в системе водоснабжения //Химическое машиностроение. Расчет, конструирование, технология: Сб. научн. трудов. - К.: УМК ВО, 1992. - С. 78 - 89.

*Надійшла до редакції 6 грудня 2005 р.*