

ФОРМУВАННЯ КОРТЕЖУ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ЗМІННИХ БАЗОВОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Давиденко Н. В.

Луцький національний технічний університет

Сформовано кортеж визначальних змінних базового рівня електроспоживання, що характеризує режим водоподачі, придатний для моделювання електроспоживання на основі інтелектуального аналізу даних.

Постановка проблеми. Енергетична ефективність є одним із пріоритетів в сучасних умовах. Ключовими моментами у цій сфері є: впровадження систем енергетичного менеджменту, а також моніторингу та контролю ефективності енергоспоживання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Контроль енергоефективності здійснюють на основі базового рівня енергоспоживання (БРЕ), унормованого до визначальних змінних, що впливають на енергоспоживання. Отже, об'єктивність контролю залежить від повноти врахування під час побудови математичної моделі електроспоживання всіх чинників, що суттєво впливають на витрату електроенергії на об'єкті.

Електроспоживання насосної станції (НС) водопостачання залежить від багатьох взаємопов'язаних чинників, основними з яких є: обсяги поданої споживачеві води; напір, створюваний насосними агрегатами (НА); надлишковий напір в диктуючих точках водопровідної мережі; технічні параметри елементів НС: продуктивність, ККД, експлуатаційні характеристики, вид заводських напірно-витратних і енергетичних характеристик НА; число і схеми включення одночасно працюючих НА та спосіб управління електромеханічними і технологічними параметрами [1-3]; а також водоспоживання, яке має випадковий характер [4]. Більшість параметрів технологічного процесу водопостачання мають ймовірнісний характер, оскільки напряму залежать від водоспоживання.

Зважаючи на значну кількість чинників, що впливають на витрату електроенергії, взаємозв'язки між ними та складність математичного опису [1,3], для вирішення задач контролю ефективності електроспоживання НС актуальним є використання підходів, що базуються на використанні методів математичного моделювання на основі натурних вимірів значень електроспоживання та визначальних змінних, що характеризують технологічний процес водоподачі, зареєстрованих у відповідні моменти часу. Впровадження системи моніторингу ефективності функціонування об'єктів водопостачання забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про об'єми добового водоспоживання, електроспоживання, режими роботи НС та НА, їх технічні та технологічні параметри, показники енергоефективності. Це створює передумови для інтелектуального аналізу даних і вивчення значних об'ємів інформації, встановлення прихованих закономірностей та отримання залежності вихідної змінної від невеликої кількості вхідних змінних, тобто, так званих нефізичних моделей.

При цьому, виникає необхідність формування такого набору визначальних змінних, що впливають на

електроспоживання, які б відображали особливості технологічного процесу водоподачі та нерівномірність водоспоживання протягом доби, забезпечували можливість створення активної інформаційної бази даних для визначення БРЕ для конкретного часового проміжку, а також сприяли виявленню причин неефективного електроспоживання.

Мета статті. Підвищення ефективності процедур контролю енергоефективності НС шляхом формування кортежу визначальних змінних БРЕ, які мають суттєвий вплив на електроспоживання, придатного для моделювання електроспоживання на основі інтелектуального аналізу даних.

Основні матеріали дослідження. В загальному випадку електроспоживання НС, на якій паралельно працює n НА, залежать від обсягу води, що перекачується НА, створеного напору, ККД НА [1]

$$W_{nc} = \sum_{i=1}^n \frac{\rho \cdot g \cdot Q_i \cdot H_i(Q_i) \cdot t_i}{\eta_i(Q_i)}, \quad (1)$$

де t_i , Q_i – час роботи та продуктивність i -го НА;

n – кількість працюючих агрегатів;

$H_i(Q_i)$ – напірна характеристика i -го НА;

$\eta_i(Q_i)$ – ККД i -го НА при витраті Q_i .

При цьому, крім енергетичних характеристик НА, двигунів і передач, необхідно знати характеристики трубопроводів, принципи включення насосів, керування гідравлічними параметрами потоку рідини [2].

Подача насосів визначає подачу НС. Напірні характеристики НА та спосіб їх регулювання визначають напірну характеристику НС, а ККД НА формують ККД НС. Тобто, можна стверджувати

$$W_{nc} = f\{Q_{nc}, H_{nc}, \eta_{nc}\}. \quad (2)$$

Об'єм поданої в мережу води є однією з головних характеристик під час дослідження енергоефективності НС. Необхідний тиск на виході НС залежить від втрат напору і необхідного вільного напору в місцях водорозбору, а витрати води - від обсягів водоспоживання, що змінюється в часі.

Важливим моментом під час побудови БРЕ є вибір періоду дискретизації для збору та обробки статистичної інформації. Зважаючи на сучасні вимоги щодо побудови систем енергоменеджменту та необхідність організації щодобового контролю ефективності електроспоживання, найбільш зручною є добова вибі-

рка, яка відображає зміни параметрів протягом доби та дозволяє врахувати сезонність [5].

Для контролю значень технологічних параметрів, які повинна забезпечити система управління режимом водоподачі, за допомогою пристроїв вимірювання тиску та витратомірів визначають значення тиску води на виході НС і подачі НС (витрати води), які представляють у вигляді добових графіків $Q(t)$, $H(t)$.

У випадку добової дискретизації ретроспективних даних щодо технологічних показників режиму водоподачі НС нерівномірність погодинної витрати води з мережі усереднюється. При цьому має місце добове усереднення графіків тиску в системі водопостачання. Це дозволяє не враховувати погодинний графік тиску НС, який сильно корелює з витратою води. Середньодобовий тиск НС не змінюється, або змінюється незначно, що дозволяє виключити його з моделі та спростити математичний опис електроспоживання [5].

Для НС, що складається з кількох насосів і забезпечує подачу в межах від Q_{\min} до Q_{\max} , графік ККД можна розглядати залежно від її подачі [2]

$$\eta_{nc} = F(Q). \quad (3)$$

За умови організації ефективного режиму водоподачі, передбачається, що в кожен момент роботи НС забезпечується включення мінімально необхідної кількості НА. При вдалому підборі типу і кількості насосів в межах області витрат води, що перекачується, ККД НС має значення, близькі до максимальних, тобто величина ККД також мало змінна [2].

В ідеалі, за умови правильного підбору насосів і вибору з урахуванням мінімізації витрат електроенергії оптимального режиму їх сумісної роботи з водопровідною мережею, повинен забезпечуватися необхідний вільний напір в диктуючій точці мережі (напір НС в даний момент часу повинен відповідати розрахунковому значенню, тобто, надлишковий напір $\Delta H=0$), а також подача води НС у мережу відповідати величині витрат води з мережі в даний момент часу. Проте, на практиці ці вимоги виконати досить складно, оскільки графік витрати води з мережі, який має випадковий характер, відрізняється від графіка подачі води в мережу. Як наслідок, виникають надлишкові $\Delta H > 0$ або недостатні $\Delta H < 0$ напори води.

Ефективність режиму водоподачі можна охарактеризувати згідно [2] коефіцієнтом раціонального використання електроенергії НС за деякий проміжок часу, яке істотно залежить від графіка водоспоживання

$$K_{ef}^{HC} = \frac{\sum_i Q_i H_{необх} t_i}{\sum_i Q_i H_{нас} t_i \eta_{НАi}}, \quad (4)$$

де i – індекс дискретизації по часу t ;

Q – подача НС;

$H_{необх}$ – необхідний тиск (напір);

$H_{нас}$ – фактичний напір насосу;

$\eta_{НА}$ – ККД НА, який залежить від ККД насосу, двигуна та передачі від двигуна до насосу

$$\eta_{НА} = \eta_{нас} \cdot \eta_n \cdot \eta_{де} \cdot \frac{H_{необх}}{H_{нас}}. \quad (5)$$

Енергія, що витрачається на створення надлишкових напорів $\Delta H = H_{необх} - H_{нас}$ не є корисною [2].

Отже, можна стверджувати, що для НС з фіксованим складом НА, які працюють у експлуатаційному діапазоні згідно попередньо визначеного режиму

$$K_{ef}^{HC} = F(\Delta H), \quad (6)$$

Для характеристики ефективності організації технологічного процесу та ефективності регулювання водоподачі в умовах змінного водоспоживання у випадку НС з нерегульованими НА (ННА) доцільно ввести коефіцієнт енергоефективності режиму водоподачі, що враховує нераціональні витрати електроенергії за рахунок регулювання водоподачі на вихідній лінії насосу засувкою (дроселювання) або байпасуванням

$$K_{ef}^{HNA} = \frac{Q_{факт}}{\sum_{i=1}^n Q_{ном.i} \cdot T_{факт.i}}, \quad (7)$$

де $Q_{факт}$ – фактична подача насосної станції;
 $Q_{ном.i}$ – номінальна продуктивність i -го насосу;
 $T_{факт.i}$ – фактичний час роботи i -го насосу – загальне число годин роботи протягом доби;
 n – кількість працюючих насосів.

З урахуванням викладених міркувань, електроспоживання НС з ННА можна представити у вигляді

$$W_{nc} = f\{Q, K_{ef}^{HNA}, \Delta H\} \quad (8)$$

В сучасних умовах для забезпечення енергоефективного режиму водоподачі передбачається використання частотно-регульованих насосів (зазвичай, одного на групу з 3–4 нерегульованих [3]).

Із зміною частоти обертання робочого колеса РНА шляхом зміни частоти обертів електродвигуна забезпечується плавна зміна подачі та напору в широкому діапазоні, що дозволяє реагувати на випадкову зміну витрати води.

Електроспоживання НС водопостачання, що містить ННА та регульовані насосні агрегати (РНА) [3]

$$W_{nc} = W_{HNA} + W_{PNA}. \quad (9)$$

Споживана електроенергія ННА залежить від його водоподачі, а також тиску та ККД насосу, що протягом доби мають, як вказано вище, постійні значення, і часу його роботи.

Споживана електроенергія РНА в режимі мінімізації надлишкових тисків залежить від часу його роботи, водоподачі, тиску і ККД залежного від подачі. Загальна величина електроспоживання [3]:

$$W_{nc} = \sum_i^m \frac{\rho \cdot g \cdot H_i(q) \cdot Q_i \cdot t_i}{\eta_i(Q_i)} + t \cdot \sum_{j=0}^n \frac{\rho \cdot g \cdot H(q_j) \cdot q_{vj}}{\eta_{PNA}(q_j)} \cdot f_j(q_{vj}) \quad (10)$$

де t_i, Q_i – час роботи та подача води i -го ННА;

m – кількість працюючих ННА;

f – густина розподілу випадкової величини витрати q_n через РНА;

$q_{vj+1} - q_{vj} = \delta q$ – крок ітерації;

n – кількість кроків в інтервалі $[0; Q_{\max}]$;

$\eta_{PNA}(q_{vi})$ – ККД частотно-регульованого НА,

t – інтервал часу, за який визначається енергоспоживання;

q_{vj} – миттєве значення випадкової складової потоку водоспоживання, що припадає на РНА

$$q_{vj} = q_j - \sum_i^m Q_{iNNA} \quad (11)$$

де q_j – миттєве значення загального водоспоживання в мережі.

Оскільки графіки водоспоживання суттєво відрізняються один від одного за днями тижня, порами року тощо, то під час дослідження енергоефективності режимів роботи НА за тривалий проміжок часу та контролю ефективності електроспоживання використання добових графіків водоспоживання в імовірнісному вираженні не є зручним. Для спрощення вирішення даної проблеми доцільним є використання підходів, заснованих на описі нерівномірності добового графіка водоспоживання [4] та з урахуванням його результатів пошуку на основі інтелектуального аналізу даних закономірностей у електроспоживанні.

Найбільш повно нерівномірність добового графіка водоспоживання дозволяє описати використання морфометричного підходу. Тоді, електроспоживання НС з n ННА та m РНА з урахуванням нерівномірності добового ГВВ, описаної морфометричними показниками [4], можемо представити кортежем

$$W_{nc} = f\{Q, K_{ef}^{HNA}, \Delta H, M_1, M_2, \dots, M_n\} \quad (12)$$

де M_1, \dots, M_n – морфометричні параметри добового графіка витрати води з мережі.

Морфометричні показники покликані врахувати витрати електроенергії РНА відповідно до нерівномірності водоподачі: чим більш нерівномірний добовий графік водоспоживання, тим більш істотними є миттєві відхилення об'ємів витрати води від значень водоподачі згідно запланованого режиму роботи ННА, отже, тим більшою є частка електроспоживання РНА в загальному електроспоживанні НС.

Висновки. Сформований кортеж визначальних змінних, відображає основні технологічні параметри процесу водопостачання, ефективність роботи НА в межах запланованого режиму водоподачі, а також нерівномірність графіка водоспоживання. Значення

змінних кортежу можуть бути отримані на основі даних моніторингу ефективності функціонування об'єктів водопостачання, що забезпечує можливість створення активної інформаційної бази даних, аналізу отриманої інформації, виявлення прихованих закономірностей та побудови моделі електроспоживання для визначення БРЕ для конкретного часового проміжку.

Список використаних джерел

1. Неня В. Г. Забезпечення закону регулювання параметрів насосної станції за допомогою дроселюючих елементів / В. Г. Неня [та ін.] // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 53. – С. 128-133.

2. Залуцкий Э. В. Критерии рационального использования энергии в насосных станциях / Э. В. Залуцкий // САНТЕХНИКА. – 2003 – № 6. – С. 34-35.

3. Селепина Р. О. Алгоритм регулювання енергоефективними режимами роботи насосного обладнання на основі дворівневого прогнозу водоспоживання / Р. О. Селепина, Н. М. Якимчук // Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2010. - № 666. – С. 92-974.

4. Розен В. П. Формування множини характеристик фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання / В. П. Розен, Н. В. Давиденко // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – № 3 (41). С. 85-92.

5. Капанский А. А. Моделирование электропотребления в технологической системе водоснабжения / А. А. Капанский // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – № 2. – 2016. – С. 74-85

Аннотация

ФОРМИРОВАНИЕ КОРТЕЖА ВЛИЯЮЩИХ ПЕРЕМЕННЫХ БАЗОВОГО УРОВНЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Давыденко Н. В.

Сформирован кортеж влияющих переменных базового уровня электропотребления, учитывающий особенности режима водоподачи и пригодный для моделирования электропотребления на основе интеллектуального анализа данных.

Abstract

FORMING OF THE TOTALITY RELEVANT VARIABLES OF ENERGY BASELINE OF THE WATER SUPPLY PUMPING STATION

N. Davydenko

Totality relevant variables of energy baseline has been formed. It characterizes the water supply mode that is suitable for power consumption modeling, which is based on the intellectual data analysis.