

УДК 658.264

А.О.БОБУХ, канд. техн. наук, О.М.ГЕРАСИМОВА
 Харківська державна академія міського господарства

КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА ОПАЛЕННЯ

Наведено формулу множинної регресії, яку можна використовувати як математичну модель, що адекватна реальному об'єктові в комбінованих системах автоматичного керування.

Системи автоматичного керування (САК) будь-якими об'єктами можна розділити на дві характерні групи, що відрізняються як принципом керування, так і особливостями функціонування. Перша – це розімкнуті САК відносно керованої величини, що базуються на принципі керування за збуренням, їх іноді називають компенсаційними. Друга – замкнуті САК відносно тієї ж величини, що діють на основі принципу керування за відхиленням керованої величини.

На практиці використовують САК із комбінованим принципом керування. Структурна схема такої САК має не менше двох каналів керування. Один з них діє за принципом керування за збуренням і має розімкнутий контур відносно керованої величини об'єкта, а другий – за принципом керування за відхиленням цієї ж величини від заданого значення і має замкнутий контур. Основною перевагою комбінованого принципу керування є можливість дістати високу точність керованої (друга назва – вихідної) величини. Тому важливим є дослідження поведінки комбінованих САК у стані рівноваги, тобто у статичі, при цьому вивчаються питання статичної точності – відхилення керованої величини від заданого значення після закінчення перехідного процесу. Для перебування комбінованої САК у стані рівноваги повинні одночасно виконуватись такі умови:

відхилення керованої величини від заданого значення має дорівнювати нулю або деякій сталій величині;

надходження керованої величини до об'єкта мусить дорівнювати її витратам;

положення регулюючого органу і виконавчого механізму САК мають бути нерухомими;

значення керованої величини повинно відповідати нерухомому стану виконавчого механізму.

Основною характеристикою статички комбінованих САК є керувальна характеристика, що показує залежність керованої величини (Y) від зовнішніх збурень (X_j):

$$Y = f(X_i), \quad (1)$$

де $i = \overline{1, n}$, тобто на практиці можуть бути декілька збурень.

Важливим показником статистики комбінованих САК є статичний коефіцієнт передачі (K):

$$K = Y / X_i. \quad (2)$$

З позиції статистики залежно від того, яким чином підтримується керована величина, визначають два основних види комбінованих САК: статичні й астатичні. Статичною називають систему, в якій керована величина при зміні зовнішніх збурень на об'єкті змінюється в деяких допустимих межах, а після закінчення перехідного процесу має інше значення. Тоді керувальна характеристика такої системи в загальному випадку має вигляд (Y)

$$Y = \bar{Y} + \Delta(Y), \quad (3)$$

де \bar{Y} – середнє значення керованої величини Y; $\Delta(Y)$ – функція збурення, що визначає відхилення керованої величини від її середнього значення залежно від величини збурення в межах зони керування.

Слід пам'ятати, що умовою якісного керування має бути

$$\bar{Y} \gg \Delta(Y). \quad (4)$$

Точність підтримання заданого значення керованої величини в статичних комбінованих САК встановлюється за коефіцієнтом нерівномірності, або статизмом δ . Величина останнього визначається відношенням відхилення керованої величини в межах ($Y_{\max} - Y_{\min}$) до її середнього значення \bar{Y} :

$$\delta = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{\bar{Y}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Астатичною комбінованою САК називають систему, в якій керована величина Y при зміні зовнішніх збурень після завершення перехідного процесу набуває строго сталого значення при різних величинах зовнішніх збурень.

На практиці комбіновані САК мають більше одного збурення. Тоді аналіз процесів у статистиці, які відбуваються в такій системі, виконують за допомогою математичної моделі статистики з урахуванням основних допущень та обмежень. Але для багатьох комбінованих САК об'єктами теплопостачання та опалення на сьогодні відсутні достовірні математичні моделі. Щоб отримати їх, доцільно використовувати численні експериментально-аналітичні методи, серед яких найбільш ужи-

вані методи парної кореляції та множинної регресії. Для випадку, коли комбінована САК має зв'язок між трьома змінними, з яких дві X_1 і X_2 – незалежні, а третя – функція від перших двох, тобто коли

$$Y = f(X_1, X_2),$$

алгоритм передбачає:

розрахунок простих середніх арифметичних значень \bar{Y}, \bar{X}_1 і \bar{X}_2 за експериментальними даними ($i = \bar{1}, \bar{N}$);

розрахунок відхилень змінних від їх простих середніх арифметичних значень:

$$y_i = Y_i - \bar{Y}; \quad x_{1i} = X_{1i} - \bar{X}_1; \quad x_{2i} = X_{2i} - \bar{X}_2; \quad (6)$$

розрахунок середніх квадратичних відхилень тих же змінних:

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^N y_i^2 / N}; \quad \sigma_{x_1} = \sqrt{\sum_{i=1}^N x_{1i}^2 / N}; \quad \sigma_{x_2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N x_{2i}^2 / N}; \quad (7)$$

розрахунок коефіцієнтів парної кореляції між змінними, які характеризують ступінь лінійного зв'язку між ними:

$$r_{yx_1} = \sum_{i=1}^N y_i x_{1i} / N \sigma_y \sigma_{x_1}; \quad r_{yx_2} = \sum_{i=1}^N y_i x_{2i} / N \sigma_y \sigma_{x_2}; \quad (8)$$

$$r_{x_1 x_2} = \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} / N \sigma_{x_1} \sigma_{x_2};$$

розрахунок формули множинної регресії:

$$Y - \bar{Y} = a_1 (X_{1i} - \bar{X}_1) + a_2 (X_{2i} - \bar{X}_2); \quad (9)$$

при цьому коефіцієнти a_1 і a_2 знаходять із системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} a_1 \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 + a_2 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} &= \sum_{i=1}^N x_{1i} y_i \\ a_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} + a_2 \sum_{i=1}^N x_{2i}^2 &= \sum_{i=1}^N x_{2i} y_i \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

$$\text{де } \sum_{i=1}^N x_1^2 = \sum_{i=1}^N (X_{1i} - \bar{X}_1)^2; \quad \sum_{i=1}^N x_2^2 = \sum_{i=1}^N (X_{2i} - \bar{X}_2)^2;$$

$$\sum_{i=1}^N x_1 x_2 = \sum_{i=1}^N (X_{1i} - \bar{X}_1)(X_{2i} - \bar{X}_2);$$

$$\sum_{i=1}^N x_1 y = \sum_{i=1}^N (X_{1i} - \bar{X}_1)(Y_i - \bar{Y});$$

$$\sum_{i=1}^N x_2 y = \sum_{i=1}^N (X_{2i} - \bar{X}_2)(Y_i - \bar{Y}),$$

розрахунок коефіцієнта множинної кореляції:

$$R = \sqrt{(r_{yx_1}^2 + r_{yx_2}^2 - 2r_{yx_1} \times r_{yx_2} \times r_{x_1x_2}) / (1 - r_{x_1x_2}^2)}. \quad (11)$$

Коефіцієнт множинної кореляції R показує оцінку тісноти зв'язку поміж змінними Y , X_1 та X_2 і є своєрідним критерієм адекватності математичної моделі і реального об'єкта керування.

За наведеним алгоритмом розрахована залежність множинної регресії з трьома змінними:

$$Y_i - \bar{Y} = a_1(X_{1i} - \bar{X}_1) + a_2(X_{2i} - \bar{X}_2), \quad (12)$$

де Y_i , X_{1i} , X_{2i} – фактичні експериментальні дані відповідно температури теплоносія після елеватора, °С, температури зовнішнього повітря, °С та тиску теплоносія в подавальному теплопроводі, отримані працівниками ТРС 2/1 ЖЕК-32 Дзержинського району м.Харкова за грудень 1999р.

За цими даними при розрахунках одержано такі значення:

$$\bar{Y} = 75,1 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \bar{X}_1 = -5,3 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \bar{X}_2 = 5,9 \text{ кгс/см}^2; \quad \sigma_y = 4,84; \quad \sigma_{x_1} = 8,4;$$

$$\sigma_{x_2} = 0,224; \quad r_{yx_1} = -0,46; \quad r_{yx_2} = 0,57; \quad r_{x_1x_2} = 0,79; \quad R = 1,59;$$

$$a_1 = -0,265; \quad a_2 = 12,23.$$

Формула множинної регресії з трьома змінними має вигляд

$$Y - 75,1 = -0,265(X_1 + 5,3) + 12,23(X_2 - 5,9). \quad (13)$$

Оскільки $R > r_{yx_1}$; $R > r_{yx_2}$; $R > r_{x_1x_2}$, отриману формулу множинної регресії можна використовувати як математичну модель, що адекватна реальному об'єкту в комбінованих системах автоматич-

ного керування. Коефіцієнти a_1 і a_2 та прості середні арифметичні значення \bar{Y} , \bar{X}_1 , \bar{X}_2 треба уточнювати в процесі функціонування об'єкта керування.

Отримано 02.07.2001

УДК 622.27:695.115

А.Н.МЕНАЙЛОВ

*Харьковский государственный технический университет
строительства и архитектуры*

СПОСОБ ЗАКРЫТОЙ БЕСФУТЛЯРНОЙ ПРОКЛАДКИ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Предлагается способ бесфутлярной прокладки теплопроводов в водонасыщенных неустойчивых грунтах с использованием известных микропроходческих комплексов.

Закрытый способ прокладки теплопроводов разного назначения с использованием управляемых микропроходческих механизированных комплексов экономически и экологически эффективнее открытого способа [1]. Микропроходческие комплексы обеспечивают прокладку теплопроводов методом продавливания на длину 300 м и более, пригодны для работы в разнообразных инженерно-геологических и гидро-геологических условиях, включая грунты с сильным течением и высоким уровнем грунтовых вод.

Управляемые микропроходческие механизированные комплексы применяют за рубежом более 20 лет. Они обеспечивают высокую скорость (25 м/сут) и точность прокладки трубопроводов благодаря автоматизированной системе управления. Широко известны микропроходческие комплексы, изготавливаемые фирмами Японии, Германии и США. Например, немецкая фирма "Герренкнехт" за 22 года своего существования выпустила несколько сотен микропроходческих комплексов, которые находятся в действии на строительных площадках во многих странах мира. Вместе с тем прокладка трубопроводов теплосети осуществляется традиционно (как и неуправляемыми комплексами) в защитные трубы-футляры.

С нашим участием разработан способ бесфутлярной прокладки теплопроводов в водонасыщенных неустойчивых грунтах с применением известных микропроходческих комплексов.

Используя способ бесфутлярной прокладки трубопровода тепловой сети, сначала раскрывают котлованы 1, 2 (рис.1). Из начального котлована 2 (рис.1, а) с помощью проходческого механизированного комплекса 3, 4 разрабатывают и транспортируют грунт, одновременно