

*Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідин і газів за допомогою стандартних звужуючих пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги. 3. ДСТУ ГОСТ 8.586.3–2008 (ИСО 5167–3:2003). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідин і газів за допомогою стандартних звужуючих пристроїв. Частина 3. Сопла і сопла Вентурі. Технічні вимоги. 4. ДСТУ ГОСТ 8.586.4–2008 (ИСО 5167–4:2003). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідин і газів за допомогою стандартних звужуючих пристроїв. Частина 4. Труби Вентурі. Технічні вимоги. 5. ДСТУ ГОСТ 8.586.5–2008 (ИСО 5167). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідин і газів за допомогою стандартних звужуючих пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань. 6. РД 50-213–80 Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. – М.: Изд-во стандартов, 1982. 7. Изменение №1 к РД 50-213–80 Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. – М.: Изд-во стандартов, 1985. 8. Wunderlich, W.O. Heat and Mass Transfer Between a Water Surface and the Atmosphere. Water Resources Research. Laboratory Report N14. Report N 0–6803. Tennessee Valley Authority, Norris, 1972. 9. Steve C. Mc Cutcheon. Water Quality Modeling: Transport and surface exchange in rivers. CRC Press. 1989. P. 344. 10. Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam, IAPWS Secretariat 1997. 11. Release on the Pressure along the Melting and the Sublimation Curves of Ordinary Water Substance, IAPWS Secretariat 1993. 12. ГОСТ 20060–83. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги.*

УДК 628.1/3.519.2

Є.П. Пістун, Н.М. Якимчук

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ ЗНАЧЕНЬ ВИТРАТИ ВОДИ НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ

© Пістун Є.П., Якимчук Н.М., 2009

**Запропоновано метод регулювання витрати води на насосних станціях на основі прогнозування параметрів витрати води з використанням принципу експоненційного згладжування в умовах коливань значення подачі води насосних станцій. Запропоновано методику вибору коефіцієнтів, що визначають точність і швидкість прогнозування витрат води в системі.**

**In the article the method of water expense adjusting on the basis of prognostication of parameters of water expense is offered, with the use of principle of the exponential smoothing in the conditions of change value of serve on the pumps stations. The method of coefficients choice, which determine exactness and speed of prognostication of water charges in the system is offered.**

**Постановка проблеми.** Поширення застосування частотно-регульованого електроприводу насосних станцій сьогодні дозволяє регулювати роботу насосних агрегатів (НА) залежно від витрати води, проте в таких системах регулювання здійснюється практично за контрольованою величиною тиску води в системі. Аналіз типових погодинних графіків витрати води по вибраній одній з насосних станцій для міст з населенням до 200 тис. ос. [1] свідчить, що споживання води характеризується випадковим розподілом витрати води і має післяобідній провал, ранковий та вечірній піки витрати.

Гранично великі значення розсіювання характеризують екстремальні режими роботи насосної станції, що зумовлені переважно аварійними ситуаціями, що супроводжуються великими втратами води або іншими технологічними чи метеорологічними умовами. Очевидно, що такі режими необхідно відслідковувати для здійснення швидкого реагування зі стабілізації роботи насосів. Регулювання витрат

води доцільно здійснювати за статистичними критеріями [2], що дає можливість застосувати для оброблення вимірних значень витрат води принцип експоненційного згладжування.

Ці параметри необхідно визначити з допустимим запізненням в часі, щоб їх можна було використати в системі регулювання або прогнозування витрат води.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сьогодні прогнозування даних є важливим завданням багатьох фахівців, метою яких є отримання майбутніх значень процесів, що мають певну динаміку. Саме тому велика увага приділяється класам методів прогнозування часових рядів, тобто процесів, зображених упорядкованою в часі послідовністю спостережень. Сучасні методи статистичного прогнозування дають змогу з високою точністю прогнозувати практично всі можливі часові ряди [4, 5]. До того ж оцінка специфіки інформації про об'єкт вимагає вибору адекватного методу прогнозування. Так, наприклад, багато монотонних часових рядів можна адекватно наблизити лінійною функцією. Якщо ж є явна монотонна нелінійна компонента, то дані спочатку перетворюють, використовуючи логарифмічне, експоненційне чи поліноміальне перетворення даних. Якщо статистично встановлено наявність змінних складових у вибірці даних, то вибираються спектральні чи адаптивні методи з врахуванням сезонності. У разі істотної автокореляції використовують методи авторегресії. За наявності значних відхилень від нормального закону розподілу вибірки застосовують робастні процедури оцінювання.

Здебільшого такий аналіз вимагає попередньої роботи з ідентифікації моделі. У цих випадках альтернативою виступає експоненційне згладжування, що є легшою процедурою і дає прогноз порівняно високої якості. Основний метод згладжування – ковзаюче середнє, в якому кожен член ряду замінюється середнім  $n$  сусідніх членів, де  $n$  – ширина вікна. Основна перевага в тому, що результати стають стійкішими до викидів. Отже, згладжування зазвичай приводить до більш гладких та надійних кривих. Експоненційне згладжування дозволяє врахувати вагу компонентів даних спостережень в часі і дає змогу впливати на швидкість реакції і точність прогнозу реакції системи.

**Формулювання цілі статті.** Метою роботи є розробити метод визначення та алгоритм регулювання витрат води, який би враховував технологічні особливості і параметри, що контролюють роботу НА станції водопостачання.

**Виклад основного матеріалу.** Під час застосування комбінованої системи електроприводів насосної станції, в якій один з насосів є регульованим, інший з нерегульованими електроприводами, що є найекономічніше доцільно [2], закон введення в роботу електроприводів насосів можна записати:

$$q_v = \begin{cases} q, & \text{при } 0 < q < q_p \\ q + \Sigma Q_{\text{нер}}, & \text{при } q > q_p \end{cases} \quad (1)$$

де  $q_v$  – регульоване значення витрати на виході насосної станції;  $q_p$  – регульоване значення одного регульованого насоса з перетворювачем частоти і асинхронним електроприводом;  $Q_{\text{нер}}$  – сумарне значення витрат, що забезпечується введенням в роботу декількох насосів з нерегульованим електроприводом.

Тиск води в системі не повинен перевищувати допустимий і визначається умовою:

$$H \leq H_{\text{дон}} = H_c + R_c \cdot q_v \quad (2)$$

де  $H_c$  – статичний тиск води;  $R_c$  – гідродинамічний опір системи;  $q_v$  – витрата води в системі.

Апаратно визначити такі параметри та застосування в системі регулювання можна способом, запропонованим в [3], тобто для його визначення раціональніше застосовувати принцип експоненційного згладжування [4].

Принцип експоненційного згладжування дає змогу прогнозувати характеристики параметрів контрольованих процесів у разі допущення незмінності їх моделей як на ділянці спостереження за цими процесами, так і на ділянці прогнозування. Обчислення оцінки невідомих параметрів моделей дозволяють отримати залежності, які відповідають однаково добре (з погляду вибраного критерію) всім даним, які є про процес. По мірі надходження нової інформації про процес, отримані оцінки уточнюються. У разі прийнятого допущення вся інформація про процес (як поточна, так і отримана в минулому) має однаково цінність і використовується в розрахунках однаковою мірою.

Ідея експоненційного згладжування заснована на припущенні, що прогнозоване значення функції  $X(t)$  може бути виражене рядом Тейлора:

$$X'_{t+\Delta t} = x_t + \frac{dx}{dt} \Delta t + \frac{1}{2!} \frac{d^2x}{dt^2} (\Delta t)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^n x}{dt^n} (\Delta t)^n \quad (3)$$

Використовуючи формулу (1) для двох членів ряду, отримаємо

$$X'_{t+\Delta t} = x_t + \frac{dx}{dt} \Delta t \quad (4)$$

де  $X'_{t+\Delta t}$  – прогнозоване значення величини  $X(t)$ ;  $\Delta t$  – тривалість часу, на який здійснюється прогноз;  $x(t)$  – поточне значення спостережуваного сигналу.

Зважаючи на інерційність процесу і для підвищення точності результатів вимірювань за вихідну величину для отримання дискретних значень згладжених результатів функції беремо усереднене значення витрати за певний короткий проміжок часу  $[T_i; T_i+\Delta T]$ :  $\bar{q}_i = \frac{q_1 + \dots + q_k}{k}$ , де  $\Delta T$  – час усереднення.

Тоді

$$q'_{i+\Delta t} = \bar{q}_i + \frac{dq}{dt} \Delta t, \quad (5)$$

Члени ряду Тейлора виразимо формулами експоненційного згладжування

$$\begin{aligned} \bar{q}_i &= 2S_i^{(1)} - S_i^{(2)} \\ \frac{dq}{dt} \Delta t &= \frac{a}{1-a} (S_i^{(1)} - S_i^{(2)}) \end{aligned} \quad (6)$$

де  $S_i^{(1)}$  і  $S_i^{(2)}$  – експоненційно згладжені величини першого і другого порядків;  $a$  – вага поточного спостереження.

Функції спостережень визначаються:

$$\begin{aligned} S_i^{(1)} &= a\bar{q}_i + (1-a)S_{i-1}^{(1)}, \\ S_i^{(2)} &= aS_i^{(1)} + (1-a)S_{i-1}^{(2)}, \end{aligned} \quad (7)$$

Очевидно, що  $S_t$  є лінійною комбінацією всіх спостережень, вага яких зменшується в геометричній прогресії. Поточне спостереження  $\bar{q}_i$  має вагу  $a$ , що лежить в межах від 0 до 1, граничне значення  $a=1$  означає, що ми абсолютно не довіряємо попереднім даним про процес і за згладжене значення приймаємо поточну величину  $\bar{q}_i$ . При  $a=0$  значення  $S_t$  є настільки стабільним, що ми не використовуємо нову інформацію про процес, див рис. 1:

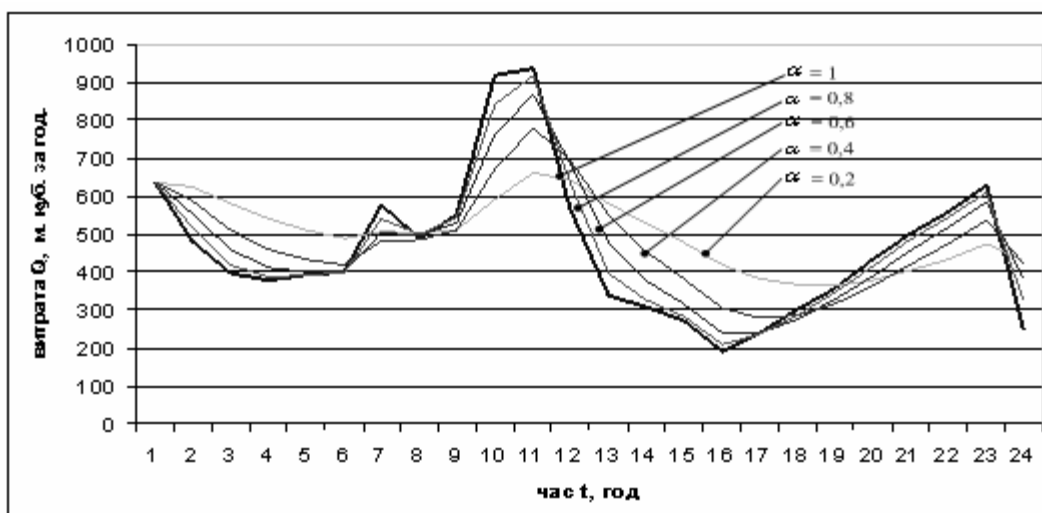


Рис. 1. Експоненційне згладжування витрат води з різними коефіцієнтами згладжування  $\alpha$

Отже, точність і швидкість прогнозування системи залежить від вибору коефіцієнта  $\alpha$ . Це можна здійснити безпосереднім оцінюванням швидкості зміни  $V$  контрольованого сигналу  $q_t$ .

$$V = \frac{dq}{dt} = \frac{\Sigma \Delta q_i}{\Delta T_i} \quad (8)$$

Коефіцієнт  $\alpha$  можна визначити за розрахунковими значеннями  $\frac{\Sigma \Delta q_i}{\Delta T_i}$  з графіка  $a = f(V(t))$ ,

рис. 2. У разі зростання швидкості зміни процесу  $V(t)$  значення  $\alpha$  збільшуватиметься і навпаки.

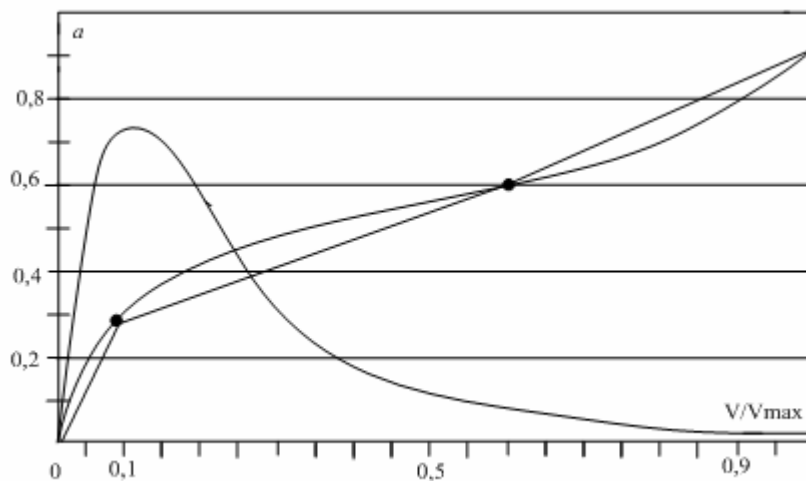


Рис. 2. Визначення коефіцієнта  $\alpha$  для експоненційного згладжування

Тоді алгоритм визначення прогнозованих величин витрати методом експоненційного згладження матиме вигляд:

1) для дискретного контрольованого значення витрат води  $q_v$  на виході системи водопостачання визначається кількість нерегульованих та регульованих електронаносів (1), що мають забезпечити цю витрату. Визначається тиск  $H_{\max}$  на виході системи і забезпечується умова  $H \leq H_{\text{дон}}$  для конкретної системи;

2) визначення усередненого значення витрати  $\bar{q}_i$  і швидкості її зміни  $V(t)$  на проміжку часу  $[T_i; T_i + \Delta T]$ ;

3) з графіка  $a = f(V(t))$  (рис. 2) визначаємо поточне значення  $a$ ;

4) на основі отриманих  $\bar{q}_i$  і  $a$  за формулами (7) визначаємо згладжені функції спостережень  $S_i^{(1)}$  і  $S_i^{(2)}$ . У початковий момент часу за значення параметрів  $S_{i-1}$  можна прийняти перше спостереження  $\bar{q}_{i0}$ ;

5) обраховуємо члени ряду Тейлора через знайдені згладжені величини (6) і підставляємо в формулу (5), отримаємо прогнозоване значення витрати води на наступний період  $\Delta t$ .

На основі отриманого значення величини регулюють роботу насосів, збільшуючи чи зменшуючи частоту обертання двигуна.

Для визначення похибки прогнозування здійснюємо обрахунок середнього значення процесу на проміжку вимірювання  $[T_i + \Delta T; T_i + 2\Delta T]$  і порівнюємо з розрахованим значенням  $q'_{i+\Delta t}$ .

$$\varepsilon = \frac{\bar{q}_{i+\Delta t} - q'_{i+\Delta t}}{q_{i+\Delta t}} \quad (9)$$

Введення системи передбачення параметрів контрольованих процесів забезпечує значне поліпшення показників якості перехідних процесів, зменшує час перебігу перехідних процесів та величини перерегулювання, що супроводжують ці перехідні процеси.

Отримані значення витрат води використовуються для регулювання частоти обертання асинхронного двигуна насоса, або для комутації (ввімкнення, вимкнення) нерегульованих двигунів за зворотними зв'язками заведених в регулятор.

**Висновки.** Регулювання параметрів системи водопостачання за величинами, пропорційними статистичним параметрам, зменшує видатки на регулювання і регулювальні пристрої, зменшує збитки під час роботи споживачів електричної енергії від неякісних параметрів електричної енергії, що приводить до економії витрат на експлуатацію елементів та системи водопостачання і економію коштів як у споживачів, так і в самій системі.

1. Якимчук Н.М. Ймовірно-статистичний підхід при виборі параметрів регулювання систем водопостачання // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Теплоенергетика. Інженерія докілья. Автоматизація». – Львів, 2008. – № 617. – С. 118–122. 2. Гришин А.А., Гришин А.П. Обоснование оценки экономической эффективности энергосберегающих технологий водоснабжения // Энергетика и электротехнологии в сельском хозяйстве. Весник ГНУ ВИЭСХ. – Вып. 1(2), 2006. – 10 с. 3. Регулювання параметрів системи електропостачання за статистичними критеріями. Р. Селепина, Б. Іванков, М. Лябук, А. Гадай // Доп. 2-ї Міжнар. наук.-практ. конфер. «Управління енерговикористанням». – Львів, 1997. – С. 80–81. 64. Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузьмин В.И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. – М.: Сов. радио, 1975. – 256 с. 5. Гейлер З.Ш. Самонастраивание системы активного контроля. – М.: Машиностроение, 1972, – 174 с. 6. Селепина Р., Лябук М. Принцип експоненційного згладжування, як засіб мінімізації при енергозберігаючих заходах // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Електроенергетичні та електромеханічні системи». – Львів, 2001. – № 421. – С. 188–192.