

## ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ ПІДХІД ПІД ЧАС ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

© Якимчук Н.М., 2008

**Розглянуто нестабільний характер витрати води на прикладі насосної станції і зображення його як центрованого стаціонарного процесу, виконано розрахунок статистичних параметрів для організації енергозберігаючого управління режимами роботи технологічного обладнання в умовах коливань значення подачі насосних станцій.**

**Unstable character of water expense on the example of the pump station and presentation him as the centered stationary process is considered, the calculation of statistical parameters is carried out for organization of energy keeping management by the work modes of technological equipment in the conditions of change value of serve on the pumps stations.**

**Постановка проблеми.** Системи водопостачання (СВ) належать до числа найбільше ресурсоємних технологічних об'єктів у комунальному господарстві та промисловості нашої країни. Найбільшою складовою ресурсоємності є енергоспоживання. Другою складовою ресурсоємності є витрата води, природні запаси якої обмежені. Третьою складовою є витрати на ремонт і обслуговування мереж водопостачання, строк служби яких залежить від частоти виникнення перевантажень. Зазначені проблеми вирішують використанням досконалішого технологічного і електротехнічного обладнання, та завдяки впровадженню нових методів аналізу і контролю параметрів водоспоживання, які дозволять оптимізувати роботу насосних станцій, підвищити контроль за витратою води, знизити ризик перевантажень і аварійних ситуацій у мережах водопостачання.

Одночасно розвиток інформаційних систем автоматизації насосних станцій (НС) передбачає необхідність збору і обробки великої кількості статистичної інформації, визначення її характеристик, визначення і оцінки параметрів керування режимів водоспоживання й розробки на її основі методів оптимального вибору насосного устаткування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Традиційні методи вибору елементів систем водопостачання ґрунтуються на використанні детермінованих значень витрат у мережі, що відбивають потік водоспоживання в конкретний момент часу. Для регулювання роботи насосних станцій здійснюють вимірювання двох основних параметрів – тиску і витрати води в контрольних точках мережі. Так під час проектування насоси вибираються з умови перевищення або рівності їх подачі максимальній годинній витраті води для забезпечення певного рівня тиску в мережі [4]. Проте реально потік водоспоживання не детермінований, він випадково змінюється в часі. Очевидно, що неврахування нерівномірного характеру водоспоживання може призвести до різких коливань тиску в системі, що найчастіше зумовлює аварії на зношених ділянках трубопроводів, постійне підтримування насосами максимального рівня тиску в системі призводить до великих витрат електроенергії і збільшує навантаження на обладнання.

Наприклад, автори А.П.Гришин, Р.М. Славин, А.А. Кемелев пропонують для повноцінного опису потоку водоспоживання використати такі характеристики, як математичне очікування, дисперсію, кореляційну функцію [1, 2]. Крім того, показують методи оптимального вибору насосно-силового устаткування, заснованого на імовірнісному розрахунку споживаної електроенергії [1]. Тут параметри й енергетичні характеристики насосів пов'язані з імовірнісними показниками потоку водоспоживання й виражаються через них.

Використання сучасних вимірювальних приладів та комп'ютерної техніки дає змогу автоматизувати процес вимірювання та створювати електронні бази даних статистичної інформації за великі періоди часу у вигляді часових графіків тиску і витрати. Обробка і аналіз такої інформації

дозволить не тільки визначити основні закономірності зміни витрати води залежно від метеорологічних, економічних та інших чинників, а й здійснювати прогноз водоспоживання населенням та підприємствами.

**Формулювання цілі статті.** Мета роботи – передбачити нестабільний характер водоспоживання абонентів і розрахувати статистичні параметри для організації енергозберігаючого управління режимами роботи технологічного обладнання в умовах коливань потрібного значення подачі насосних станцій та вибір параметрів автоматичного регулювання.

**Виклад основного матеріалу.** Поширення використання частотно-регульованого приводу насосних станцій сьогодні дозволяє регулювати роботу насосів залежно від витрати води, проте в таких системах регулювання здійснюється в двох режимах – ніч і день відповідно щодо підтримання низького рівня тиску вночі і вищого вдень. Проте аналіз типових погодинних графіків витрати води по вибраній одній з насосних станцій для міст з населенням до 200 тис. ос. показує, що споживання води характеризується випадковим розподілом витрати і має післяобідній провал, ранковий та вечірній піки витрати. Необхідно відзначити порівняно високий рівень нічного споживання, що використовується споживачами (в основному виробничими підприємствами) для зниження витрат електроенергії згідно з диференційним тарифом обліку електроенергії. Очевидно, що для максимальної ефективності роботи насосних станцій необхідно врахувати такий характер водоспоживання.

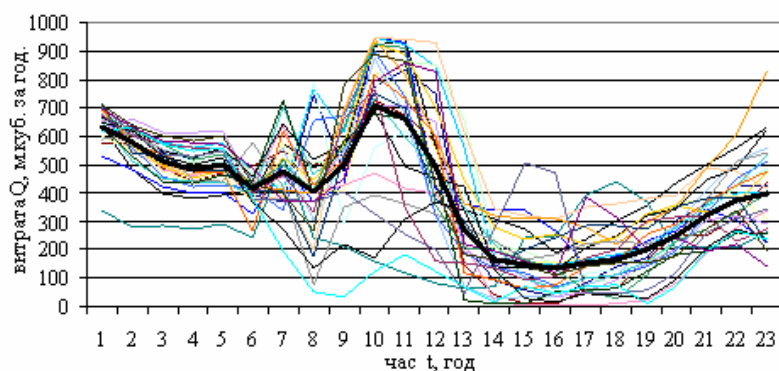


Рис. 1. Сімейство типових погодинних графіків витрати води насосної станції

Оскільки кількісна оцінка витрати є одночасно кількісною оцінкою режимів роботи насосів, звернемо увагу на аналіз цієї інформації з використанням теорій випадкових процесів.

Проаналізувавши графіки подобового споживання води, зрозуміло, що вони описуються як нестационарний процес, для якого середнє значення випадкового процесу, що являє собою деяку середню криву (жирною лінією на рис. 1), біля якої групуються всі можливі окремі реалізації цього процесу, змінюється в часі. Нестационарний характер процесу ускладнює дослідження, оскільки не дозволяє здійснювати усереднення даних як процесу, так і кожної його реалізації.

Тому подамо процес у вигляді суми математичного очікування і центрованого стаціонарного процесу

$$x(t) = m_x(t) + \hat{x}(t) \quad (1)$$

Для знаходження центрованого стаціонарного потоку  $\hat{x}(t)$  необхідно відняти середнє значення витрати  $m_x(t)$  від відповідних значень  $x(t)$  в кожній реалізації. Графік стаціонарної складової показаний на рис.2, очевидно, що математичне очікування тут дорівнює нулю.

Величину розсіювання окремих реалізацій процесу біля цієї середньої кривої характеризують дисперсія  $D(t)$  або середньоквадратичне відхилення  $\sigma(t)$ .

$$D_x = \frac{\sum (x - m_x)^2}{N} \quad (2)$$

$$s_{x=\sqrt{D_x}} \quad (3)$$

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 з стабілізації роботи насосів.

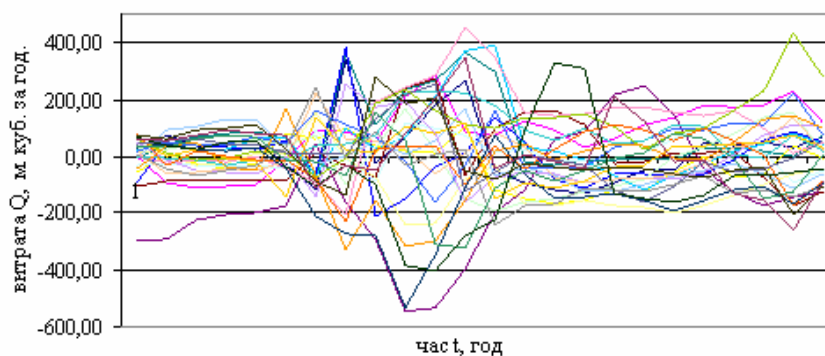


Рис. 2. Центрований процес відхилення випадкової величини витрати води від математичного очікування

Для характеристики випадкових величин витрати необхідно встановити закон розподілу. Тип розподілу і його параметри встановлюються статистичною обробкою експериментальних даних, найчастіше використовується метод групування даних, за якого множини значень випадкової величини ділять на ряд інтервалів, в кожному з яких підраховують частоту появи спостережуваних величин.

Графічно покажемо розподіл частот у вигляді гістограми (рис. 3), висота стовпців на кожному інтервалі пропорційна частоті попадання змінних у цей інтервал. З'єднавши кінці ординат гістограми отримаємо полігон розподілу – згладжену криву, що називається емпіричним розподілом.

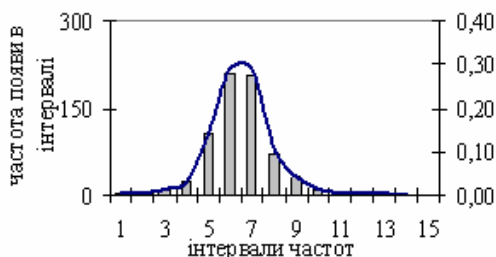


Рис. 3. Гістограма і полігон розподілу витрат

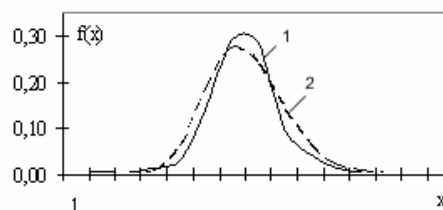


Рис. 4. Експериментальна (1) і теоретична (2) криві розподілу випадкової величини

Отриманий таким чином розподіл апроксимується аналітичним виразом. Апроксимація емпіричних розподілів теоретичним законом дає змогу описати основні закономірності досліджуваного явища. Для цього вибираємо вид теоретичного розподілу, що найкраще відповідає даним, визначаємо числові характеристики розподілу у вигляді моментів.

Вигляд емпіричного розподілу показує, що апроксимуючими теоретичними виразами потрібно вибирати розподіл  $f(x)$ , що швидко зростає до максимального значення та після досягнення плавно спадає. Параметри теоретичного розподілу визначені за методом моментів:

коефіцієнт мінливості  $C_n = \frac{S}{m_x} = 0,145$ , асиметрія  $S = \frac{m_3}{S^3} = 0,40$ , ексцес  $E = \frac{m_4}{S^4} = 4,04$ , де  $m_3$  та

$m_4$  – третій і четвертий центральні моменти. Отже, закон розподілу володіє незначною асиметрією і є більше гостровершинним щодо нормального розподілу.

Враховуючи вищезазначене, перевіримо гіпотезу про відповідність розподілу логарифмічно-нормальному закону. Для логарифмічно-нормального закону розподілу повинні виконуватися співвідношення [3]

$$S = 3C_n + C_n^3, \quad (4)$$

$$E = 16C_n^2 + 15C_n^4 + 6C_n^6 + C_n^8. \quad (5)$$

Отримуємо відповідно  $S=0,43$ ,  $E=3,4$ .

Отже, з деяким наближенням приймаємо логарифмічно-нормальний закон розподілу (рис 4).

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2ps}} e^{-\frac{(\ln x - a)^2}{2s^2}}, \text{ при } & x > 0 \\ 0, \text{ при } & x \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{де } s = \sqrt{\ln(1 + Cn)^2}, \quad a = \ln \frac{m_x}{\sqrt{1 + C^2 n}} \quad (7)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{6,897\sqrt{2p}} e^{-\frac{(\ln x - 0,144)^2}{2(6,897)^2}}, \text{ при } & x > 0 \\ 0, \text{ при } & x \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

Для кількісної оцінки якості апроксимації теоретичного закону розраховуємо суми квадратів відносних відхилень теоретичних і емпіричних частот [3].

$$a^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(\hat{p}_k - p_k)^2}{p_k} \quad (9)$$

Отримане значення  $a^2 = 0,112$  показує достатньо хорошу якість апроксимації.

Для характеристики корисних вхідних сигналів під час синтезу систем регулювання НС враховують, що перебіг процесу в довільний момент часу якоюсь мірою залежить від значень, що відбулися в попередні моменти часу, на відміну від суто випадкових процесів. Так, якщо йдеться про водоспоживання, то, очевидно, що тиск і витрата не можуть як завгодно швидко змінюватись на значну величину. Така зміна є обмеженою параметрами трубопроводу і законами гідравліки, тобто події зміни деяких величин ( $x_1, t_1$ ) і ( $x_2, t_2$ ) не будуть незалежними. Чим інерційніший досліджуваний об'єкт, тим більша ця взаємозалежність, або кореляція.

$$r_{x,y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{(x_j - m_x)(y_j - m_y)}{s_x s_y} \quad (10)$$

Розрахувавши коефіцієнти кореляції (10) для різних реалізацій випадкового процесу водоспоживання, бачимо, що вони лежать в межах 0,61–0,89, що характеризує значну ступінь зв'язку між випадковими величинами процесу.

Цей висновок дозволяє не тільки розраховувати основні параметри імовірнісних характеристик процесу, а й здійснювати його прогнозування, що дасть змогу своєчасно і з мінімальними енерговитратами реагувати на зміни режиму роботи СВ за рахунок правильного вибору оптимального критерію регулювання потужності насосів. А розробку сучасних автоматизованих систем водопостачання здійснювати за точнішою і достовірнішою ймовірнісно-статистичною методикою, що відповідає сучасному науково-технічному рівню.

## Висновки

1. Розподіл споживання води в системі водопостачання має випадковий характер і для їх обробки доцільно застосовувати статистичну модель функціонування системи водопостачання у попередній експлуатаційний період у вигляді інформації про відхилення фактичної подачі насосної станції від заданої.

2. Показана можливість розгляду і аналізу випадкових процесів водоспоживання як стаціонарних процесів центрованих щодо математичного очікування.

3. Встановлено теоретичний закон розподілу випадкової величини на основі обробки експериментальних даних та показано, що параметри кривої розподілу  $m_x$  та  $s_x$  можуть бути використані як параметри регулювання.

1. Гришин А.П. Вероятностно-статистический подход при создании современных автоматизированных систем водоснабжения. // Автоматизация сельскохозяйственного производства. Сборник докладов международной научно-практической конференции. – М.: МСХ РФ, РАСХН. 2004. – С. 130–133. 2. Ивахненко А.Г. Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов. – К.: Наук. думка, 1971. 3. Казакевич Д.И. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. 4. Усаковский В.М. Водоснабжение в сельском хозяйстве. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 280 с.