

## АНАЛІЗ ГРАФІКІВ ДОБОВОГО СПОЖИВАННЯ І ПОДАЧІ ТЕПЛОТИ НА ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

*О Венгльовський В.І., 2008*

**Розглянуто** добові графіки подачі і споживання теплоти на гаряче водопостачання. Такі самі графіки справедливі для побутових і комунальних споживачів газу. Графічні залежності апроксимовані наближеними аналітичними і у вигляді рядів Фур'є.

**Day's diagrams of the heat distribution and consumption for heat supply system are present in this article. Similar diagrams valid for domestic and common gas users. Charts are approximated by Fourier rows.**

**Постановка проблеми.** Нерівномірний розбір води на потреби гарячого водопостачання зумовлює значні теплові навантаження на обладнання систем теплопостачання. Коливання водорозбору приводить до перевантаження pomp, підігрівників, регулюючих і контрольно-вимірювальних пристроїв, трубопроводів, джерел теплоти. Для згладжування таких коливань витрат води потрібні акумулюючі ємності, помпи змінної продуктивності і тиску. Відсутність обладнання зі змінними характеристиками приводить до часткових втрат енергії і ресурсів. Зменшення пікових навантажень підвищує надійність і довговічність систем гарячого водопостачання, трубопроводів систем газопостачання, акумулюючих ємностей обох систем. Вибираючи теплосилове і допоміжне обладнання джерел теплоти, теплових пунктів, будівель треба враховувати динаміку цих систем, що неможливо без математичного моделювання їх роботи. Такі ж вимоги ставляться і до систем газопостачання. Динамічні режими цих систем не повинні знижувати їх роботоздатність. І тут потрібні теоретичні підходи до поставлених задач. Заміна графічних залежностей аналітичними дасть змогу оптимізувати ці задачі, прискорити їх розв'язок.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** У дослідженнях [4–6, 8, 9, 11] розглянуто роботу систем гарячого водопостачання, представлені добові графіки споживання і подачі води до теплових пунктів будівель і споруд, проаналізовано режими споживання газу за годинами доби. Графіки отримані із експериментальних досліджень ілюструють нерівномірний розбір води і теплоти. Їх використовують для підбору основного обладнання компресорних станцій, теплових пунктів, зокрема підкачувальних і циркуляційних pomp, підігрівників систем гарячого водопостачання, баків-акумуляторів гарячої води, регуляторів витрат води і температури. Однак графічна інформація потребує кількісної оцінки процесів, що відбуваються в цих системах. Так, при виборі баків-акумуляторів [4, 5, 11] ведеться лише графічне інтегрування, яке не є достатньо точним, щоб знайти найбільшу різницю між виробленою і спожитою теплотою. Для оптимізації цієї задачі краще мати аналітичні залежності споживання і виробітку теплоти. Нерівномірність газоспоживання розглядується в [12] і пов'язується із міцністю і надійністю газопроводів, обладнання компресорних станцій, самих компресорів.

**Формулювання цілі статті.** Отримати аналітичні залежності споживання і вироблення теплоти на потреби гарячого водопостачання, щоб підвищити точність розрахунків при оптимальному виборі основного обладнання індивідуальних теплових пунктів.

**Виклад основного матеріалу.** Облік витрат теплоти, води і газу в системах тепло- і газопостачання ведеться на усіх можливих рівнях споживання: в окремих квартирах і будинках, у теплових і газорозподільних пунктах та станціях, біля джерел теплоти. Для якісного і надійного

постачання і споживання теплоти і газу, згладжування та покриття пікових навантажень, регулювання й оптимізації режимів роботи не тільки треба знати графіки подачі і споживання за певний проміжок часу (доба, місяць, рік), а й ефективно і економічно формувати їх. Споживання води на гаряче водопостачання і газу в житлово-комунальному секторі є нерівномірним як за годинами доби, так і за днями тижня. Така нерівномірність ускладнює роботу обладнання і трубопроводів систем теплогазопостачання, приводить до виникнення нестационарних режимів [2, 12]. Добова нерівномірність споживання має періодичний характер, причому вона може бути різною як для різних об'єктів споживання, так і в різні дні тижня, місяця чи року [4–6, 8, 9, 11, 12].

Залежно від конкретного добового графіка споживання теплоти чи газу для його апроксимації використовують різні математичні моделі [1–12]. Подачу і споживання теплоти і газу можна розглядати як стаціонарний випадковий процес [1, 9]. Випадковий процес із неперервним часом часто можна подати і проаналізувати у дискретній формі як функцію часу, задану в інтервалі часу від 0 до  $T$ , що неперервно повторюється. Для дискретного представлення вигідно використати ряди Фур'є і швидко перетворення Фур'є в кінцевому діапазоні частот, що визначається величиною основного періоду  $T$  [1]. Тут подачу і споживання теплоти та газу представлено періодичними функціями і рядами Фур'є. Як періодичну функцію можна використати рівняння:

$$Q(t) = Q_{\text{сеп}} + \sum_{i=1}^k Q_i \sin(w_i t + b_i), \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (1)$$

де  $t$  – час споживання теплоти чи газу в розглядуваний період;  $i$  – порядковий номер гармоніки навантаження;  $Q_i$  – амплітуда  $i$ -ї гармоніки навантаження;  $w_i$  – кругова частота;  $b_i$  – фазові зміщення, які визначають при обробці експериментальних даних;  $Q_{\text{сеп}}$  – середнє споживання теплоти або газу за період.

Це саме середнє навантаження можна подати як середньоінтегральне за період:

$$Q_{\text{сеп}} = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t) dt. \quad (2)$$

У випадку, врахування лише першої гармоніки навантаження величину  $Q(t)$  представимо як

$$Q(t) = Q_{\text{сеп}} + B_1 \sin(w_1 t + b_1), \quad (3)$$

де  $B_1$  – амплітуда першої гармоніки навантаження.

Добову нерівномірність навантажень можна оцінити коефіцієнтом годинної нерівномірності:

$$k_n = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{сеп}}} = \frac{Q_{\text{сеп}} + B_1}{Q_{\text{сеп}}} = 1 + \frac{B_1}{Q_{\text{сеп}}}, \quad (4)$$

звідки

$$B_1 = Q_{\text{сеп}} (k_n - 1). \quad (5)$$

Тоді вираз (3) з урахуванням (5) набуде вигляду

$$Q(t) = Q_{\text{сеп}} [1 + (k_n - 1)] \sin(w_1 t + b_1). \quad (6)$$

У випадку коли однієї гармоніки для представлення залежності споживання виразом (3) недостатньо, треба врахувати вищі гармоніки. Для добового графіка, що має  $j$  сходинок навантаження,  $Q(t)$  за період  $T$  можна представити як

$$Q_j = \begin{cases} Q_1, & 0 \leq t \leq t_1; \\ Q_2, & t_1 \leq t \leq t_2; \\ \mathbf{K} \\ Q_j, & t_{j-1} \leq t \leq t_j; \end{cases} \quad (7)$$

де  $j = 1, 2, 3, \dots$

Сума часових проміжків  $t$  у виразі (7) становить період роботи системи  $T$ . У добових графіках період роботи системи споживання теплоти чи газу приймають рівним 24 години. Добові графіки часових навантажень  $Q_j$  розглядаємо як кусково-неперервну на періоді  $T$  функцію, яка може бути замінена тригонометричними функціями, зокрема рядами Фур'є [3, 7, 10]:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left( a_k \cos \frac{2pkt}{T} + b_k \sin \frac{2pkt}{T} \right), \quad (8)$$

де

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{2}{T} \left( \int_0^{t_1} Q_1 dt + \dots + \int_{t_{j-1}}^{t_j} Q_j dt \right), \quad (9)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \frac{2pkt}{T} dt = \frac{2}{T} \left( \int_0^{t_1} Q_1 \cos \frac{2pkt}{T} dt + \dots + \int_{t_{j-1}}^{t_j} Q_j \cos \frac{2pkt}{T} dt \right), \quad (10)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \frac{2pkt}{T} dt = \frac{2}{T} \left( \int_0^{t_1} Q_1 \sin \frac{2pkt}{T} dt + \dots + \int_{t_{j-1}}^{t_j} Q_j \sin \frac{2pkt}{T} dt \right). \quad (11)$$

Оскільки при обробці експериментальних даних завжди можна прийняти навантаження  $Q_j$  постійними, а час дії кожного з них однаковий, то вирази (9)-(11) після перетворень набудуть вигляду:

$$a_0 = \frac{2}{j} \sum_1^j Q_j; \quad (12)$$

$$a_k = \frac{1}{pk} \left[ (Q_i - Q_{i+1}) \sin \frac{2ipk}{j} + Q_j \sin 2pk \right], \quad i = \overline{1, j-1}, \quad k = \overline{1, \infty}; \quad (13)$$

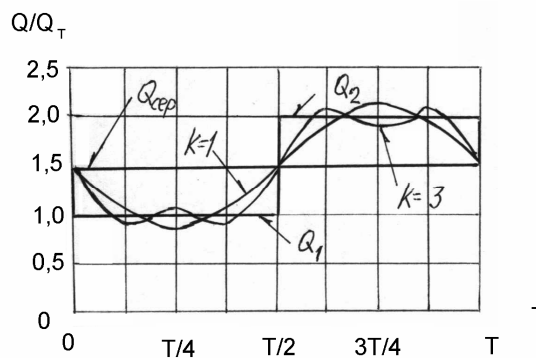
$$b_k = \frac{1}{pk} \left[ Q_1 + (Q_{i+1} - Q_i) \cos \frac{2ipk}{j} - Q_j \cos 2pk \right], \quad i = \overline{1, j-1}, \quad k = \overline{1, \infty}. \quad (14)$$

Як приклад розглянемо графік, що має дві сходинки ( $j=2$ ) навантажень  $Q_1 = Q_T$ ,  $Q_2 = 2Q_T$  з часом використання кожного  $T/2$ , тоді з урахуванням (12)-(14) маємо:

$$a_0 = 3 Q_T, \quad (15)$$

$$a_k = \frac{Q_T}{pk} (2 \sin 2pk - \sin pk), \quad (16)$$

$$b_k = \frac{Q_T}{pk} (1 + \cos pk - 2 \cos 2pk). \quad (17)$$



Графік споживання теплоти на гаряче водопостачання

З урахуванням трьох гармонік із (8) з використанням (15)-(17) отримаємо

$$\text{при } k=1, \quad f(t) = Q_T \left[ \frac{3}{2} - \frac{2}{p} \left( \cos \frac{2pt}{T} + \sin \frac{2pt}{T} \right) \right], \quad (18)$$

$$\text{при } k=2, \quad f(t) = Q_T \left[ \frac{3}{2} - \frac{2}{p} \left( \cos \frac{2pt}{T} + \sin \frac{2pt}{T} \right) \right], \quad (19)$$

$$\text{при } k=3, \quad f(t) = Q_T \left( \frac{3}{2} - \frac{2}{p} \sin \frac{2pt}{T} - \frac{2}{3p} \sin \frac{6pt}{T} \right). \quad (20)$$

Числові значення  $f(t)$  за виразами (18)–(20) обчислені для кратних  $T/8$  значень часу  $t$  від 0 до  $T$ . Результати обчислень зведені в таблицю.

#### Величини функцій, вираховані за формулами (18)–(20)

t	0	T/8	T/4	3T/8	T/2	5T/8	3T/4	7T/8	T
$f(t)$ $\kappa=1, \kappa=2$	1,5000	1,0498	0,8633	1,0498	1,5000	1,9501	2,1366	1,9501	1,5000
$f(t)$ $\kappa=3$	1,5000	0,8998	1,0755	0,8998	1,5000	2,1001	1,9244	2,1001	1,5000

За цими значеннями побудований графік.

**Висновки.** Внаслідок проведених досліджень отримано аналітичні вирази теплових навантажень систем гарячого водопостачання у вигляді періодичних функцій з урахуванням добової нерівномірності і рядів Фур'є. При застосуванні цих залежностей з достатньою для практики точністю необхідно враховувати від однієї до трьох гармонік ряду. Виявлено, що споживання газу в житлово-комунальному секторі має такий самий характер, як і споживання гарячої води у системі тепlopостачання. Такі залежності дають змогу вибрати основне обладнання індивідуальних пунктів, зокрема баки-акумулятори, підвищувальні і циркуляційні помпи.

1. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 464 с.
2. Венгльовський В. Енергозаощадження у вентиляторних установках з асинхронним електроприводом // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2005. – № 537. – С. 68–73.
3. Вища математика: Підручник: У 2 кн. – Кн. 2: Спеціальні розділи / Г.Л. Кулініч, Є.Ю. Таран, В.М. Бурим та ін. – К.: Либідь, 2003. – 368 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства: В 3 ч. Ч. 2: Водопровод и канализация / Ю.Н. Саргин, Л.И. Друскин, И.Б. Покровская и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 247 с.
5. Гаряче водопостачання житлового мікрорайону. Методичні вказівки, приклади виконання і завдання до курсової роботи з курсу “Теплопостачання” для студентів спеціальності 2907, “Теплогазопостачання і вентиляція” / Упор. В.І. Венгльовський. – Львів: ЛПП, 1993. – 72 с.
6. ДБН В.2.5–20–2001. Газопостачання. Держбуд України. – К., 2001. – 286 с.
7. Диткин В.А., Прудников А.П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1974. – 544 с.
8. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.
9. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Н.Н. Чистяков, М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак и др. – М.: Стройиздат. – 1988. – 314 с.
10. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1971. – 192 с.
11. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учеб. для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
12. Тараєвський О.С. Прогнозування нерівномірності газоспоживання // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1. – С. 82–86