

УДК 681.518

Л.М. Любчик, д.т.н., професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Г.Л. Грінберг, к.т.н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТАТИСТИЧНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО МОНІТОРІНГУ ЯКОСТІ ПОБУТОВОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

*Л.М. Любчик, Г.Л. Грінберг.* **Інформаційні технології статистичного комп'ютерного моніторингу якості побутового теплопостачання.** Розроблено інформаційні технології статистичного комп'ютерного моніторингу якості побутового теплопостачання на основі сингулярного спектрального аналізу зміни структури часових рядів енергоспоживання.

*L.M. Lybchuk, G.L. Grinberg.* **Information technologies of statistical computer monitoring of domestic heat-supplying quality.** Information technologies of statistical computer monitoring of domestic users heat-supplying quality is developed on the basis of singular spectrum analysis of energy consumption time-series structure changing.

**Вступ.** Вдосконалення систем централізованого відпуску тепла житловим масивам призводить до необхідності розробки нових інформаційних технологій контролю та керування процесом теплопостачання для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Необхідним етапом модернізації існуючих систем централізованого теплопостачання є створення інформаційної системи моніторингу, що заснована на статистичному аналізі в реальному часі процесу зв'язного споживання енергоресурсів.

Статистичний моніторинг дозволяє здійснити виявлення відхилень фактичного процесу споживання тепла від запланованого, підвищити надійність і якість централізованого теплопостачання за рахунок переходу від попереднього нормування відпуску тепла до оперативного керування в залежності від фактичного рівня забезпечення вимог споживачів. Це дає можливість проведення необхідних заходів для забезпечення потрібної якості обігріву житлових приміщень та економії паливно-енергетичних ресурсів в звичайних та критичних умовах.

Оцінка якості теплопостачання може бути здійснена на основі контролю за надмірним споживанням електроенергії в побутовому секторі, що є індикатором ступеня дискомфорту побутових споживачів внаслідок погіршення якості теплопостачання та дозволяє уникнути складнощів, пов'язаних з технічною неможливістю безпосереднього контролю температури житлових приміщень [1].

У складі комплексу завдань моніторингу якості теплопостачання слід виділити задачу контролю поточного стану процесу на основі збору та аналізу оперативної інформації щодо надмірного споживання електричної енергії з метою підвищення достовірності інформації щодо фактичного рівня задоволення попиту на тепло з боку побутових споживачів, виявлення моментів часу, причин та характеру відхилень від нормативних показників та зниження якості теплопостачання, забезпечення отримання необхідної інформації для прийняття рішень щодо регулювання відпуску тепла [2,3].

Зараз існують різноманітні методики розв'язання теоретичних задач виявлення моментів зміни стану динамічних процесів, але вони ще не знайшли необхідного застосування в інформаційних системах моніторингу якості теплопостачання і не реалізовані як відповідні інформаційні технології. Ефективні методи моніторингу якості теплопостачання мають ґрунтуватись на виявленні змін в структурі часових рядів даних енергоспоживання побутових споживачів з використанням сучасних інформаційних технологій аналізу і діагностики часових рядів, зокрема на основі методики сингулярного спектрального аналізу [4].

**Інформаційна технологія моніторингу на основі структурного спектрального аналізу.** Методика та інформаційна технологія, які використовують сингулярний спектральний аналіз для діагностики структурних змін часових рядів зв'язного споживання енергоресурсів побутовими споживачами, реалізовані наступним чином [5, 6]. Здійснюється діагностика структурних змін часового ряду енергоспоживання  $X_N = \{x_0, \dots, x_t, \dots, x_{N-1}\}$  фіксованої довжини  $N$ , для чого поперше вибирається довжина  $D$  діапазону перегляду часового ряду ( $D < N$ ).

Далі здійснюється побудова так званої траєкторної матриці. З часового ряду  $X_N$  послідовно «вирізаються» вектори вкладення  $X_i$  довжини  $L$ , при цьому  $X_0 = (x_0, x_1, \dots, x_{L-1})^T$ ,  $X_1 = (x_1, x_2, \dots, x_L)^T$  і т.д.

Зі всіх отриманих наборів векторів вкладення  $\{X_i\}$ , як із стовпців, формується траєкторна матриця  $X^*$  розмірністю  $L \times M$ , де  $M$  - кількість стовпців траєкторної матриці, відповідна кількості отриманих векторів вкладення  $M = N - L + 1$ . Кожен вектор  $X_i$  містить інформацію про поведінку ряду протягом деякого часового інтервалу завдовжки  $L$ .

Таким чином, якщо  $x_{ij}$  елемент траєкторної матриці, то це означає, що він є елементом  $x_k$  початкового часового ряду, де  $k = i + j - 2$ .

Далі здійснюється обчислення відповідної коваріаційної матриці  $R = X^* X^{*T}$ , де  $X^*$  - траєкторна матриця фрагмента ряду, після чого за алгоритмом методу сингулярного спектрального аналізу проводиться сингулярне розкладання фрагмента часового ряду, що потрапив у діапазон перегляду, шляхом знаходження набору власних трійок розкладання, а саме сингулярних чисел, лівих та правих (факторних) векторів.

Власні (сингулярні) трійки  $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$  при реалізації процедури сингулярного спектрального аналізу складаються із сингулярних чисел  $\sqrt{\lambda_i}$ , де  $\lambda_i$  - власні числа коваріаційної матриці  $R = X^* X^{*T}$ , лівих сингулярних векторів  $U_i$  і правих сингулярних (факторних) векторів  $V_i$ .

Величина власного числа  $\lambda_i$  визначає рівень значущості відповідних векторів (власного вектора і вектора головних компонент) в подальшому сингулярному розкладанні.

Зміна спектру матриці  $R$  при черговому зсуві діапазону перегляду дає підставу припускати, що у цей момент часу мають місце структурні зміни в часовому ряді  $X_N = \{x_0, \dots, x_{N-1}\}$ .

Далі виконується поетапний зсув діапазону перегляду (застосування «ковзного вікна») з кроком в один елемент часового ряду.

На кожному подальшому етапі межі діапазону перегляду зміщуються праворуч на один елемент часового ряду таким чином: спочатку  $t \in [0; D-1]$ , при першому зсуві  $t \in [1; D]$ , при  $i$ -тому зсуві  $t \in [i; D+i-1]$ . Відповідно до цього виконується сингулярний спектральний аналіз фрагмента часового ряду, що потрапив у діапазон перегляду.

Оскільки кожна власна трійка однозначно визначає компоненту розкладання, то аналіз змін в структурі набору власних трійок сингулярного розкладання фрагмента ряду у діапазоні перегляду при його зсуві дає можливість виявити структурні зміни часового ряду.

Збільшення або зменшення значень сингулярних чисел у власних трійках свідчить про зміну значущості відповідних компонент розкладання. Якщо йдеться про гармонійні структурні складові часового ряду, то зміна значень сингулярних чисел може свідчити про зміну амплітуди коливань (про посилення або зменшення дії фактора, що обумовив появу компоненти в структурі часового ряду).

Таким чином, поява нових власних трійок зі значущими сингулярними числами свідчить про те, що в часовому ряді з'явилися нові структурні складові. Оскільки кожна гармонійна компонента породжує дві власні трійки з близькими сингулярними числами, то про появу нової гармонійної складової в структурі ряду свідчить нова пара власних трійок в сингулярному спектральному розкладанні чергового фрагменту ряду.

Зникнення власних трійок в сингулярному спектральному розкладанні при зсуві меж діапазону перегляду, тобто зменшення значень відповідних сингулярних чисел нізче зазначеного порогу свідчить про те, що відповідні структурні компоненти більш не присутні в часовому ряді.

Зміни у структурі часового ряду енергоспоживання, що діагностуються зазначеним методом, є сигналами появи дискомфорту побутових споживачів внаслідок погіршення якості теплопостачання.

**Інформаційна система комп'ютерного моніторингу.** Методика, алгоритми та інформаційні технології комп'ютерного моніторингу якості централізованого теплопостачання побутових споживачів в режимі реального часу використані при створенні та модернізації автоматизованої інформаційної системи контролю централізованого теплопостачання міст та якості теплопостачання.

На рис. 1 наведено структуру інформаційних потоків, мають місце під час роботи автоматизованої інформаційної системи моніторингу якості теплопостачання побутових споживачів, що реалізує зазначену концепцію.

На рис. 2 наведена структура запропонованої інформаційної системи статистичного моніторингу якості теплопостачання побутових споживачів, що використовує розроблені інформаційні технології діагностики структурних змін часових рядів зв'язного споживання енергоресурсів.

Основні алгоритми статистичного моніторингу якості теплопостачання, що реалізують запропоновану інформаційну технологію, містять зокрема алгоритми виявлення та аналізу структурних змін часових рядів процесів енергоспоживання на основі лінійного та нелінійного сингулярного спектрального аналізу.

Практичну реалізацію розроблених інформаційних технологій статистичного моніторингу якості теплопостачання та її експериментальне дослідження було здійснено з використанням реальних даних споживання електроенергії житловими масивами м. Харкова, що були отримані за допомогою розробленої фахівцями ВАТ "Харківська ТЕЦ-5" системи моніторингу якості теплопостачання (СМЯТ) на базі відомчої автоматизованої системи контролю і управління енергоспоживанням (АСКУЕП) АК «Харківоблэнерго».



Рис. 1. Інформаційні потоки в системі моніторингу якості теплопостачання

З застосуванням розробленого математичного забезпечення та отриманих даних споживання електричної енергії було виконане експериментальне дослідження методики та інформаційних технологій виявлення та аналізу змін в структурі часових рядів зв'язного споживання енергоресурсів стосовно діагностики якості теплопостачання. Дослідження проводились з метою виявлення моментів та характеру змін у структурі часових рядів даних споживання електроенергії, що свідчать про зміни у якості теплопостачання побутових споживачів.

Експериментально доведена працездатність запропонованої методики контролю якості централізованого теплопостачання та можливість здійснювати у реальному часі виявлення моментів та інтервалів часу виникнення температурного дискомфорту побутових споживачів, що проявляється у зміні структури часових рядів енергоспоживання.

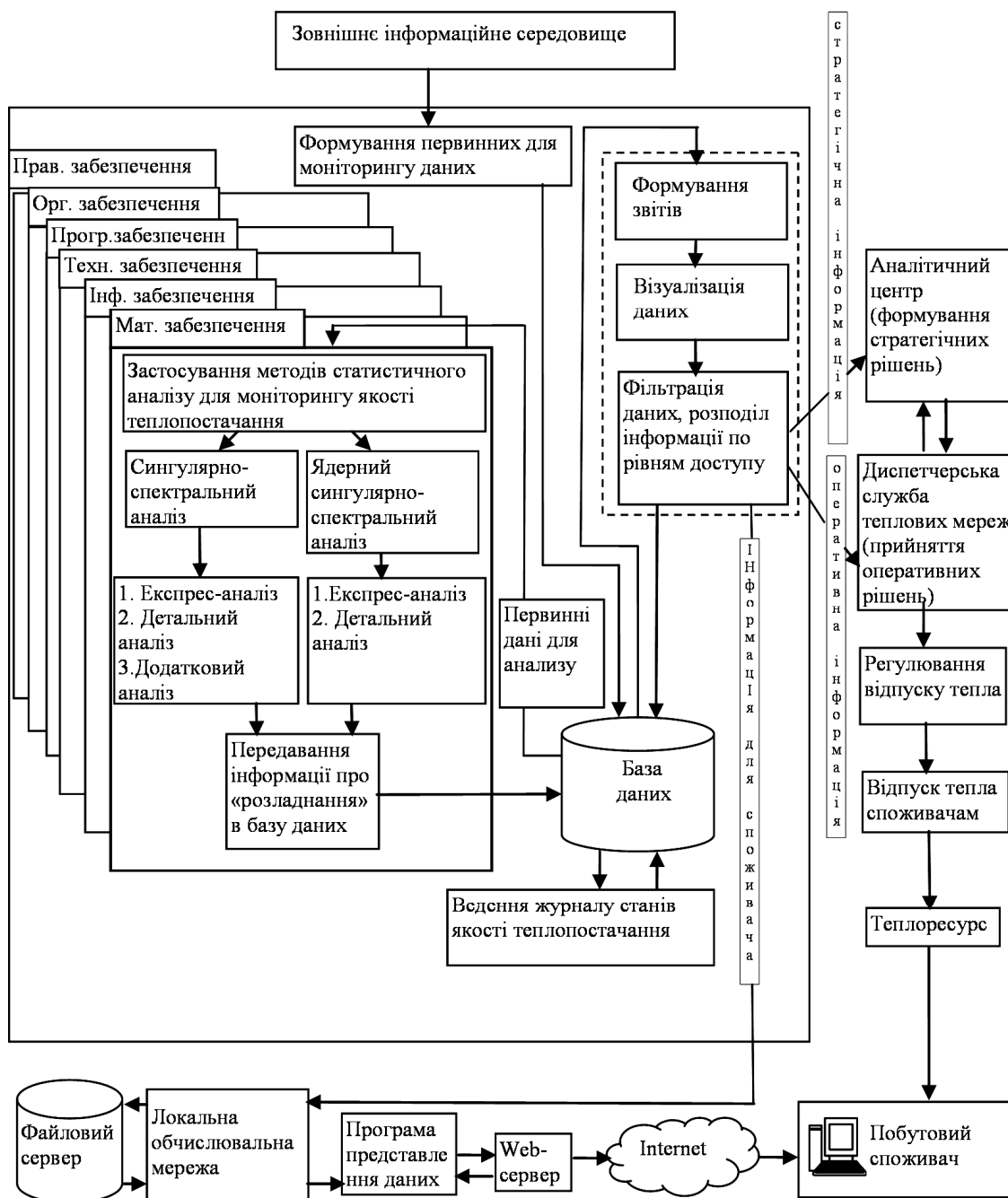


Рис. 2. Структурна схема інформаційної системи моніторингу якості теплопостачання побутових споживачів

**Висновки.** Запропоновано та обґрунтовано концепцію комп'ютерного моніторингу якості теплопостачання побутових споживачів на основі статистичного аналізу зміни структури часових рядів енергоспоживання в реальному часі. Розроблено методи та інформаційні технології виявлення структурних змін часових рядів споживання електричної енергії з застосуванням методу сингулярно-спектрального аналізу, що дозволило підвищити точність виявлення моментів та інтервалів часу зниження якості теплопостачання. Вдосконалено інформаційні технології діагностики структурних змін часових рядів енергоспоживання складної структури на основі модифікації динамічного методу головних компонент з метою підвищення ступеня роздільності компонент ряду.

## Література

1. Вороновский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / Г. К. Вороновский. – Х.: Харьков, 2002. – 240 с.
2. Сергеев С.А. Экспертная система для идентификации качества теплоснабжения бытовых потребителей / С.А. Сергеев, А.А. Гринченко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – №36. – С. 111–118.
3. District heating control system based on indirect estimation of indoor temperature deviations / [Voronovsky G.K., Lyubchik L.M., Machotilo K.V., Sergeev S.A.] // Proceedings of IFAC Workshop on Energy Saving Control in Plants and Buildings. Energy Saving Control. – Bulgaria, 2006. – Vol.1, Part1. [Електронний ресурс] // URL: <http://www.ifac-papersonline.net/cgi-in/links/page.cgi?g=Detailed/25168.html;d=1>.
4. Golyandina N. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques / Golyandina N., Nekrutkin V., and Zhigljavsky A. – London: Chapman & Hall/CRC, 2001. – 305 p.
5. Любчик Л.М. Мониторинг динамических процессов на основе сингулярно-спектрального анализа / Л.М. Любчик, А.А. Мирошниченко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – №59. – С. 3-8.
6. Любчик Л.М. Информационные технологии структурного анализа временных рядов в задачах мониторинга качества теплоснабжения / Л.М. Любчик, А.А. Мирошниченко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. – № 39. – С. 101-105.