

УДК 621.317

А. В. ВОЛОШКО, А. Л. ХАРЧУК, Ю. С. ВИШНЯВСЬКА

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ», м. Київ

ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ КРАТНО-МАСШТАБНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В данной статье представлено использование кратно-масштабного анализа для формирования базы данных АСКУЕ предприятия. В среде MathCAD создан алгоритм реализации КМА и использованы фильтры для уменьшения объема необходимой для хранения в базе данных информации.

В даній статті представлено застосування кратно-масштабного аналізу (КМА) для формування бази даних АСКОЕ підприємства. В середовищі MathCAD створено алгоритм реалізації КМА та застосовано фільтри для зменшення об'єму необхідної для зберігання в базі даних інформації.

Вступ

В даний час спостерігається підвищення інтересу до використання інформації про електроспоживання, яку отримують за допомогою АСКОЕ, не тільки для проведення комерційних розрахунків, але й для підвищення енергоефективності функціонування підприємства. Тобто, на основі інформації з бази даних (БД) АСКОЕ шляхом проведення моніторингу використання електричної енергії на промисловому підприємстві проводиться модернізація енергетичного господарства і різного роду заходи по економії електричної енергії і/або зменшення плати за неї.

Широкомасштабне впровадження автоматизованих систем комерційного обліку і контролю електроспоживання і, як наслідок, збільшений об'єм інформації, яка підлягає зберігання, обробці та передачі, вимагає розробки ефективних алгоритмів попереднього її стиснення з можливістю в подальшому відновлення та обробки.

При застосуванні кратно-масштабного аналізу для стиснення даних графіка навантаження зменшується об'єм пам'яті, необхідний для зберігання інформації з використанням методів граничної фільтрації коефіцієнтів, підвищується пропускна спроможність каналів зв'язку для передачі інформації про графік електричного навантаження, а також у зв'язку зі зменшенням кількості коефіцієнтів при застосуванні методу граничної фільтрації, збільшується швидкість пошуку інформації про електроспоживання в базах даних.

Всі алгоритми стиснення даних поділяються на дві групи: кодування без втрат (коли вихідні дані відновлюються повністю в результаті процедури декодування) і з втратою інформації. В більш загальному застосуванні алгоритми першої групи часто називають архівацією даних. Існують методи стиснення інформації без втрат, які можна застосовувати для архівації необхідних для зберігання даних. Зокрема методи RLE (кодування повторів) [1] та LZW [2] дають можливість стиснення інформації завдяки зменшенню кількості повторюваних даних. В такому випадку зберігається саме значення та кратність повторення цього значення, що допускає відтворення інформації в початковому вигляді. Проте застосування цих методів для стиснення інформації про графік навантаження не є ефективним, оскільки інформація про навантаження не є цілим числом і повторення даних майже не відбувається. Крім того необхідно зберігати не лише кратність повторення даних, а й місце, де відбуваються повтори для збереження інформації про форму графіка навантаження.

Для збереження інформації про електронавантаження необхідне застосування такого алгоритму, який би надавав можливість окрім стиснення інформації проводити відсіювання надлишкових даних відповідно до поставлених перед базою даних задач. Саме таким

методом є кратно-масштабний аналіз [3,4]. При проведенні кратно-масштабного аналізу графік навантаження розбивається на апроксимуючі коефіцієнти та коефіцієнти деталізації. У цьому випадку ми можемо використати методи граничної фільтрації деталізуючих коефіцієнтів, що дозволяє зменшити кількість інформації, необхідної для зберігання в базі даних АСКУЕ.

Постановка задачі

При формуванні БД АСКУЕ існують проблеми, пов'язані з великим об'ємом пам'яті, необхідним для зберігання інформації, значним навантаженням каналів зв'язку для передачі інформації про графік електричного навантаження, невеликою швидкістю пошуку інформації про електроспоживання в базах даних. Вирішити вказані проблеми можна за допомогою застосування кратно-масштабного аналізу для формування БД електричних навантажень.

Метою статті є формування бази даних про електроспоживання підприємства на основі кратно-масштабного аналізу. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні основні задачі:

- Стиснення даних графіка навантаження в БД з використанням кратно-масштабного аналізу із застосуванням м'якої та жорсткої граничних фільтрацій.
- Створення в середовищі Mathcad алгоритмів для стиснення та відновлення даних.
- Застосування кратно-масштабного аналізу для стиснення даних та формування БД реального графіка навантаження підприємства та проведення порівняльного аналізу методів м'якої та жорсткої фільтрації.

Основна частина

Не дивлячись на існування широкого різноманіття методів ієрархічного представлення функцій, розроблена в недавньому минулому теорія вейвлетів містить арсенал корисних засобів, які дозволяють виконати ієрархічний розклад функції ефективним і одночасно теоретично обґрунтованим способом. Якщо говорити в загальному, то вейвлет-представлення функції складається з загального грубого наближення і уточнюючих коефіцієнтів (коефіцієнтів деталізації), які дозволяють працювати з функцією при різних масштабах.

Класична форма кратномасштабного аналізу в тому вигляді, в якому її запропонували Мейер та Мала [3], розбиває сигнали по базису функцій, які називаються вейвлетам, причому кожен вейвлет – не що інше, як масштабована та здвинута копія початкової функції, яка називається материнським вейвлетом. Цей традиційний підхід називається методом, інваріантним відносно здвигу, оскільки всі вейвлети, які лежать на різних місцях безкінечної осі, виглядають однаково.

Кратномасштабний аналіз (multiresolution analysis), або КМА оснований на представленні множини сигналів U у вигляді системи вкладених підмножин U_j , які відрізняються одна від одної лише перемасштабуванням незалежної змінної. При цьому сигнал $s(t)$ може бути представлений у вигляді множини послідовних наближень $s_j(t)$ в субмножинах U_j . Змінна j при цьому називається масштабним коефіцієнтом. Якщо дерево декомпозиції сигналу відраховувати вниз, то можна сказати, що сигнал $s(t)$ є межа апроксимації $s_j(t) \in U_j$ при $j \rightarrow -\infty$. Сума наближеної і деталізуючої складових в кінцевому вигляді і дає вихідний сигнал з тим або іншим наближенням.

Розглянемо застосування КМА для аналізу графіка електричних навантажень із застосуванням функції Хаара.

Функція Хаара відповідає прямокутному ваговому вікну і записується у вигляді (1):

$$\varphi_{j,k}(t) = p \cdot \varphi(2^j \cdot t - k), \quad (1)$$

де $p = 2^j$ – коефіцієнт ортонормування, який забезпечує одиничну норму, яка називається скейлінгом функції.

Як відомо, довільний інформаційний сигнал в теорії цифрових часових рядів звичайно розглядається у вигляді суми різнотипних складових:

- регіональної функції тренду середніх значень по великих інтервалах усереднення;
- циклічних компонент з певним періодом повторення;
- локальних особливостей різного порядку (різкі зміни, коливання, розриви).

При застосуванні кратно-масштабного аналізу для зберігання даних електричних навантажень у БД АСКОЕ є можливість застосування фільтрації для зменшення кількості деталізуючих коефіцієнтів і таким чином зменшення кількості інформації, необхідної для зберігання, а також підвищення швидкості обробки та передачі даних.

Аналізуючи методи граничної фільтрації, можна сказати, що використання граничної фільтрації деталізуючих коефіцієнтів призводить до суттєвого зменшення об'єму пам'яті, яка використовується для зберігання інформації, пов'язаного з фільтрацією коефіцієнтів деталізації. При використанні методу м'якої граничної фільтрації коефіцієнти, абсолютні значення яких менші граничних, обнуляються, інші притягуються до нульового значення на величину границі θ (2). Графічне представлення застосування методу м'якої фільтрації деталізуючих коефіцієнтів зображено на рис. 1.

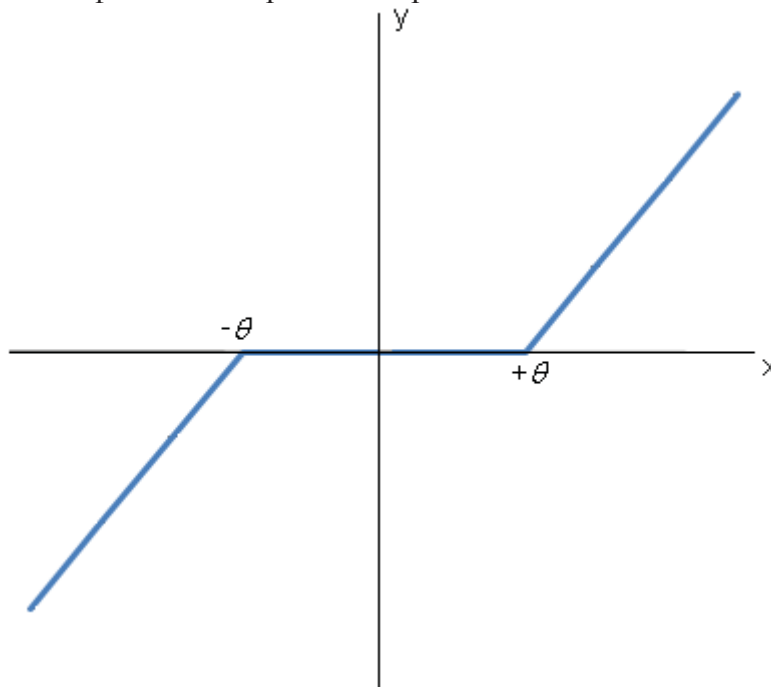


Рис. 1. Застосування методу м'якої граничної фільтрації деталізуючих коефіцієнтів

$$y = \begin{cases} x + \theta, & \text{якщо } x < 0 \text{ і } |x| > \theta \\ x - \theta, & \text{якщо } x > 0 \text{ і } |x| > \theta, \\ 0, & \text{якщо } |x| < \theta \end{cases} \quad (2)$$

де θ – граничне значення коефіцієнта деталізації;

x – значення деталізуючого коефіцієнта до фільтрації;

y – значення деталізуючого коефіцієнта після фільтрації.

До аналогічних результатів призводить і метод жорсткої фільтрації, при якому кількість коефіцієнтів, прирівнених до нуля, така ж, як і при м'якій фільтрації, проте залишені після фільтрації коефіцієнти не притягуються до нульового значення, а залишаються без змін (3). Таким чином виникає різниця в похибці відновлення даних графіка навантаження. Графічне представлення застосування методу м'якої фільтрації деталізуючих коефіцієнтів зображено на рис. 2.

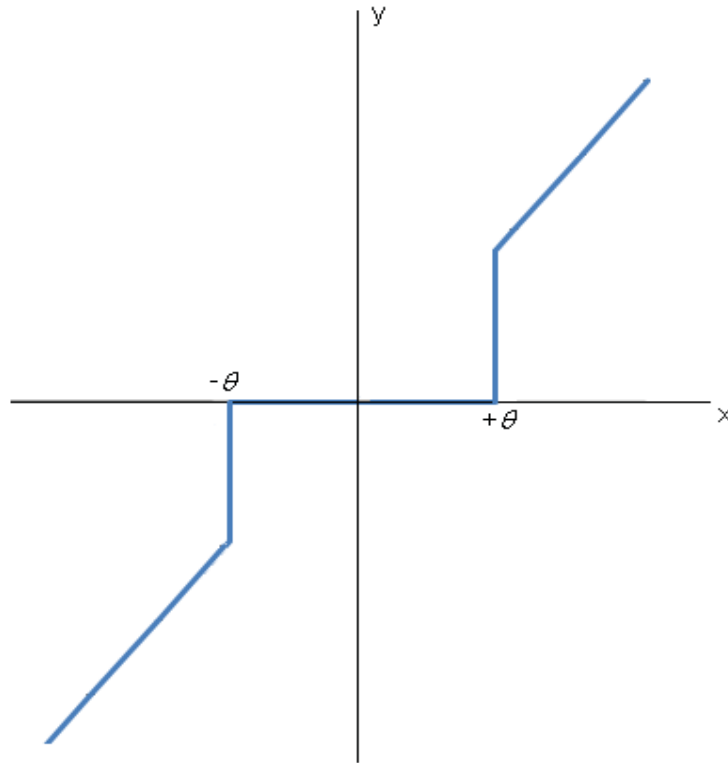


Рис. 2. Застосування методу жорсткої граничної фільтрації деталізуючих коефіцієнтів

$$y = \begin{cases} x, \text{ якщо } |x| > \theta \\ 0, \text{ якщо } |x| < \theta \end{cases} \quad (3)$$

Процес граничної фільтрації та наступного за цим відновлення графіка електричних навантажень проводять в кілька етапів.

Етап 1. Визначення граничного значення θ . На кожному етапі деталізації визначаємо граничне значення коефіцієнтів деталізації і у відповідності до приведеної формули визначаємо їх модифіковані значення.

Етап 2. Відкидаємо нульові значення модифікованих деталізуючих коефіцієнтів, тим самим зменшуючи кількість коефіцієнтів, які необхідно зберігати для відтворення графіка.

Розрахунок похибки значень графіка навантаження проводимо згідно з формулою (4):

$$Dif = \frac{\sum_{k=0}^{23} |graph_k - gl_k|}{\sum_{k=0}^{23} |graph_k|}, \quad (4)$$

де $graph_k$ – початковий графік навантаження;

gl_k – відновлений графік навантаження.

Для порівняння двох методів граничної фільтрації було проведено відповідні розрахунки коефіцієнтів апроксимації та деталізації, відновлено графіки навантаження обома методами та проведено порівняння отриманих даних розрахунків.

Приведемо приклад розрахунку використання кратно-масштабного аналізу для стиснення інформації в БД на основі даних, отриманих системою АСКОЕ підприємства для довільної доби. Графік навантаження обраної доби зображено на рис. 3.

Число ступенів графіка навантаження 24 не відповідає цілому числу степені 2. Тому існуючі елементи доповнюємо елементами з нульовими значеннями. Приймаємо коефіцієнти

апроксимації для нульового рівня декомпозиції графіка згідно формули:

$$C_{0,k} = \frac{P(k)}{\sqrt{2^5}}.$$

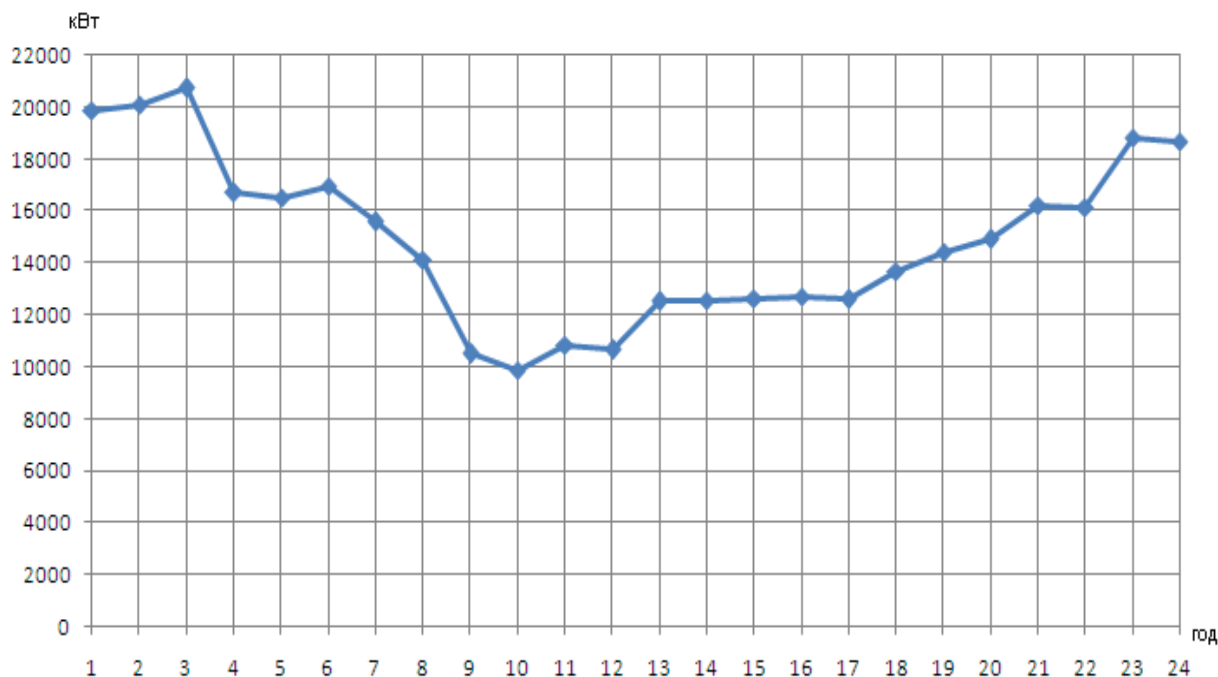


Рис. 3. Добовий графік навантаження

На наступних рівнях декомпозиції графіка навантаження коефіцієнти апроксимації усереднюються по двох сусідніх інтервалах початкового графіку. Кількість коефіцієнтів щоразу зменшується вдвоє. Розрахунок коефіцієнтів на 1 рівні декомпозиції виконується за наступною формулою (5):

$$C1 = \begin{array}{l} iw \leftarrow 0 \\ iq \leftarrow 0 \\ \text{while } iq < 23 \\ \left| \begin{array}{l} C_{iw} \leftarrow \frac{C0_{iq} + C0_{iq+1}}{\sqrt{2}} \\ iq \leftarrow iq + 2 \\ iw \leftarrow iw + 1 \end{array} \right. \\ C \end{array} \quad (5)$$

За аналогічними формулами проводимо розрахунок коефіцієнтів апроксимації до четвертого рівня декомпозиції графіка навантаження. Результати проведених розрахунків представлені на рис.4.

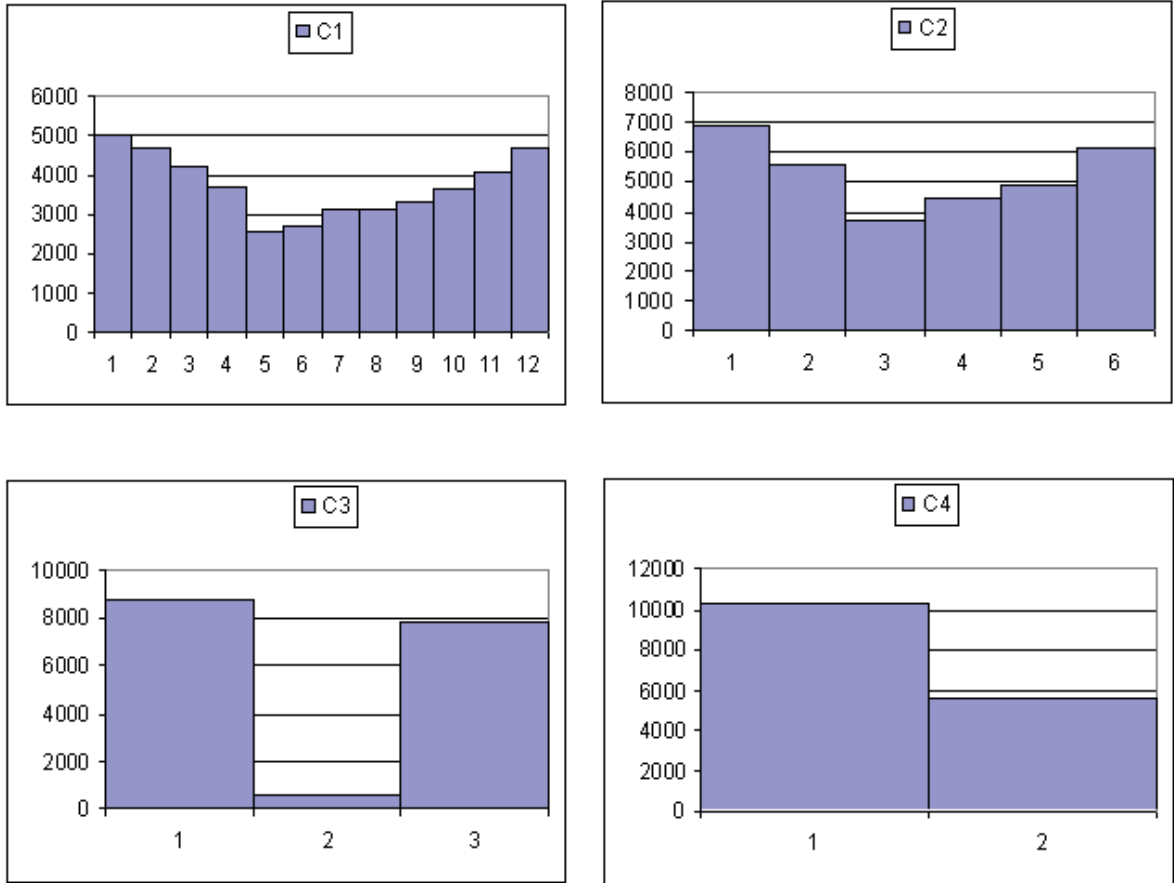


Рис. 4. Графіки коефіцієнтів апроксимації

Виділення з початкового графіка навантаження коефіцієнтів його зміни в межах нового інтервалу усереднення (коефіцієнти деталізації) проводиться згідно з наступною формулою (6):

$$\begin{array}{l}
 iw \leftarrow 0 \\
 iq \leftarrow 0 \\
 \text{while } iq < 23 \\
 \quad D_{iw} \leftarrow \frac{C0_{iq} - C0_{iq+1}}{\sqrt{2}} \\
 \quad iq \leftarrow iq + 2 \\
 \quad iw \leftarrow iw + 1 \\
 D
 \end{array} \tag{6}$$

Аналогічно даній формулі проводимо розрахунок коефіцієнтів деталізації до четвертого рівня декомпозиції графіка навантаження. Графік деталізуючих коефіцієнтів приведений на рис. 5.

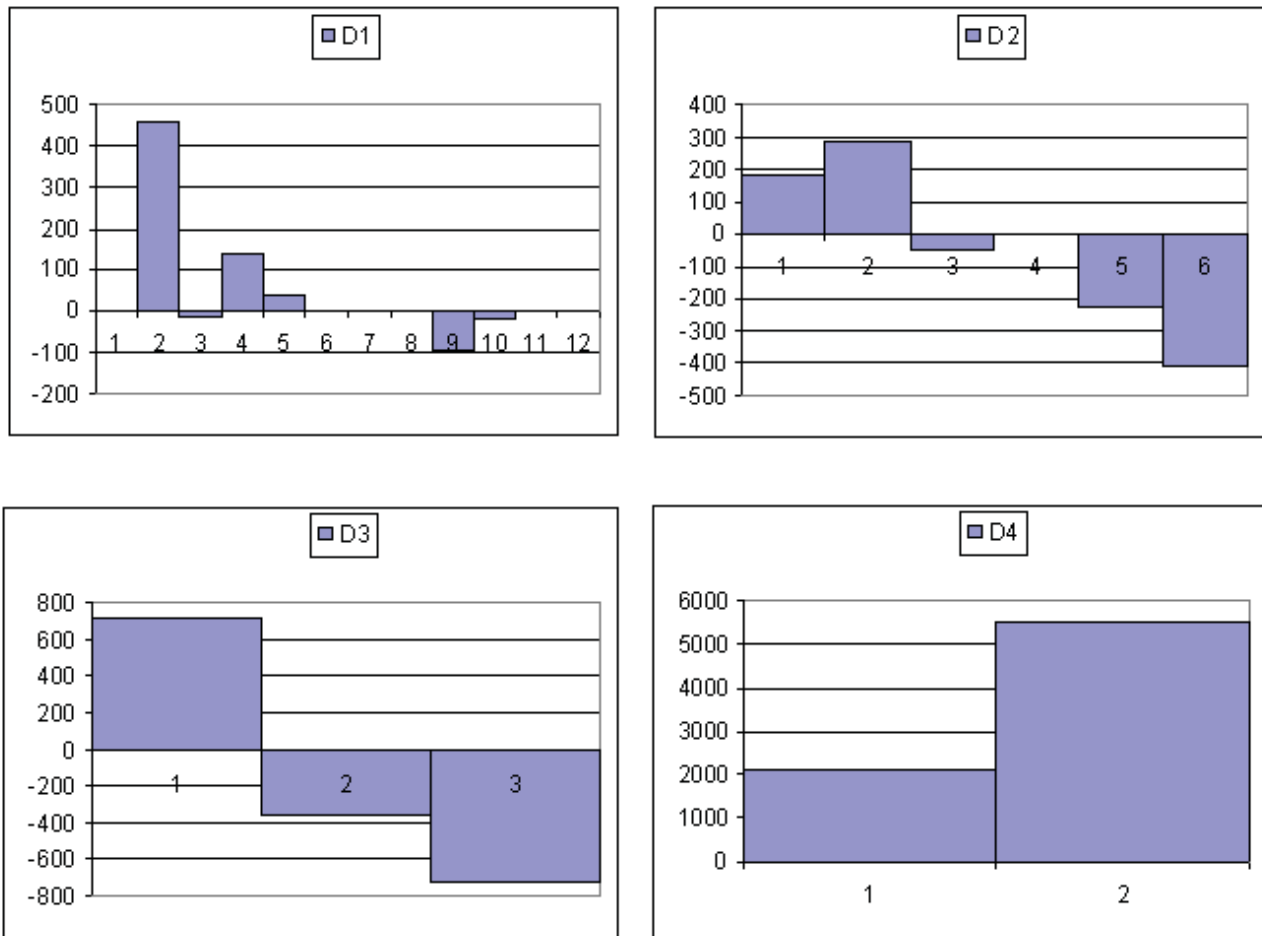


Рис. 5.Графіки коефіцієнтів деталізації

Так як розклад графіка на коефіцієнти виконується до четвертого рівня, то для повного відновлення добового графіка навантаження необхідно зберегти лише вектор апроксимуючих коефіцієнтів на четвертому рівні і коефіцієнтів деталізації на всіх інших рівнях. Значення апроксимуючого коефіцієнту на четвертому рівні відповідає середньому значенню добового графіка електричного навантаження. Розрахувавши значення коефіцієнтів деталізації на кожному рівні, можна розрахувати граничні значення цих коефіцієнтів на відповідних рівнях деталізації графіка та застосувати методи граничної фільтрації коефіцієнтів кратно-масштабного аналізу. Після цього необхідно відновити графік навантаження з використанням КМА та модифікованих в результаті фільтрації коефіцієнтів деталізації.

Застосування методу м'якої граничної фільтрації коефіцієнтів КМА. Як було вказано, при застосуванні даного методу коефіцієнти, абсолютні значення яких менші граничних, порівнюємо до нуля, а інші – підтягуємо до нульового значення на граничну величину. Значення коефіцієнтів деталізації після застосування м'якої граничної фільтрації приведені на рис. 6.

Так, наприклад, при відновленні графіка навантаження з 1-го рівня декомпозиції після проведення м'якої граничної фільтрації коефіцієнтів деталізації, коефіцієнти $d_{1_1}, d_{1_6}, d_{1_7}, d_{1_8}, d_{1_{11}}, d_{1_{12}}, d_{2_4}$ будуть рівні нулю. При цьому розрахунок похибки значень графіка навантаження проведемо у відповідності з (4).

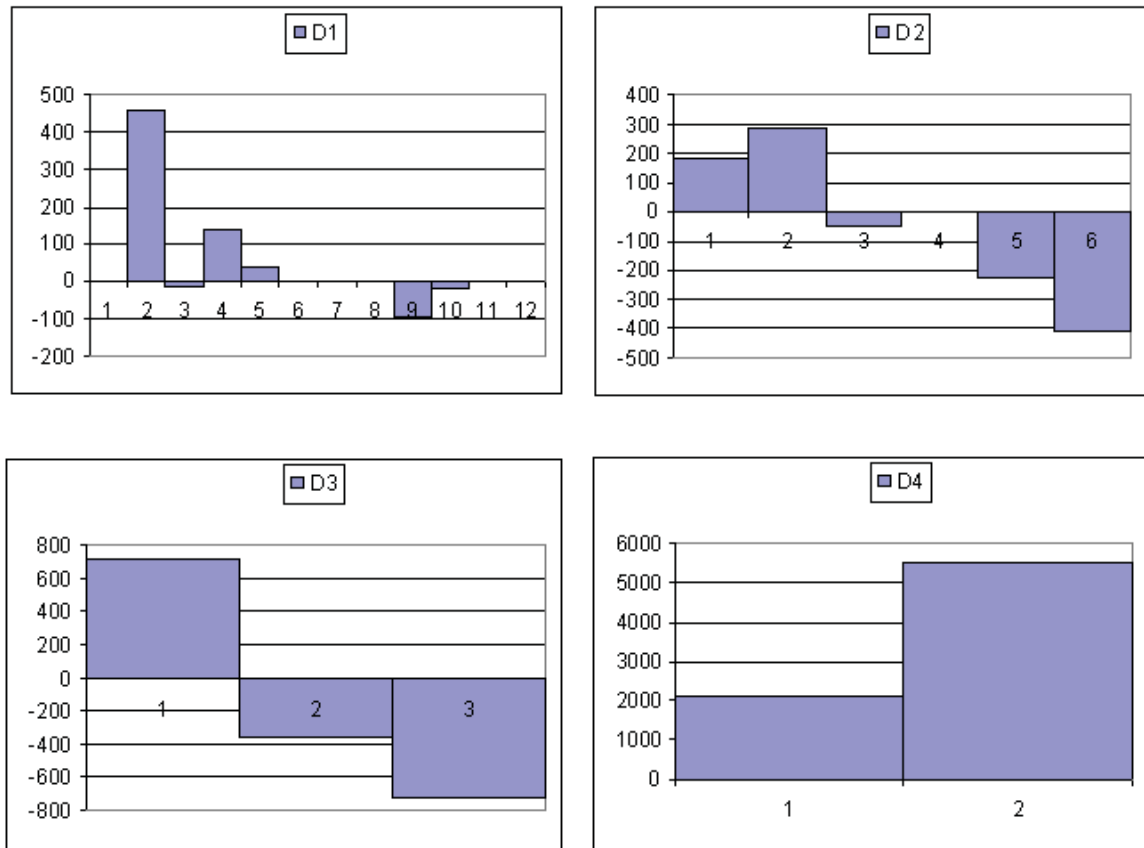


Рис. 6. Значення коефіцієнтів деталізації після м'якої граничної фільтрації

Після всіх розрахунків для порівняння відновлення даних з різних рівнів деталізації зведемо результати розрахунків в табл. 1:

Таблиця 1

Точність відновлення даних навантаження після проведення м'якої граничної фільтрації коефіцієнтів деталізації

Показник відновлення	0 рівень	1 рівень	2 рівень	3 рівень	4 рівень
Похибка відновлення графіка	0,0237	0,0353	0,0582	0,1083	0,312
Економія пам'яті, %	25%	50%	71%	83%	92%
Коефіцієнт стиснення	1,33	2	3,43	6	12
Похибка відновлення енергії, %	0	0	0	0	0

Застосуванням методу жорсткої граничної фільтрації коефіцієнтів КМА. Аналогічним чином при застосуванні даного методу коефіцієнти, абсолютні значення яких менші граничних, прирівнюємо до нуля, а інші – залишаємо без змін на відміну від м'якої фільтрації. Коефіцієнти деталізації після жорсткої граничної фільтрації приведено на рис.7.

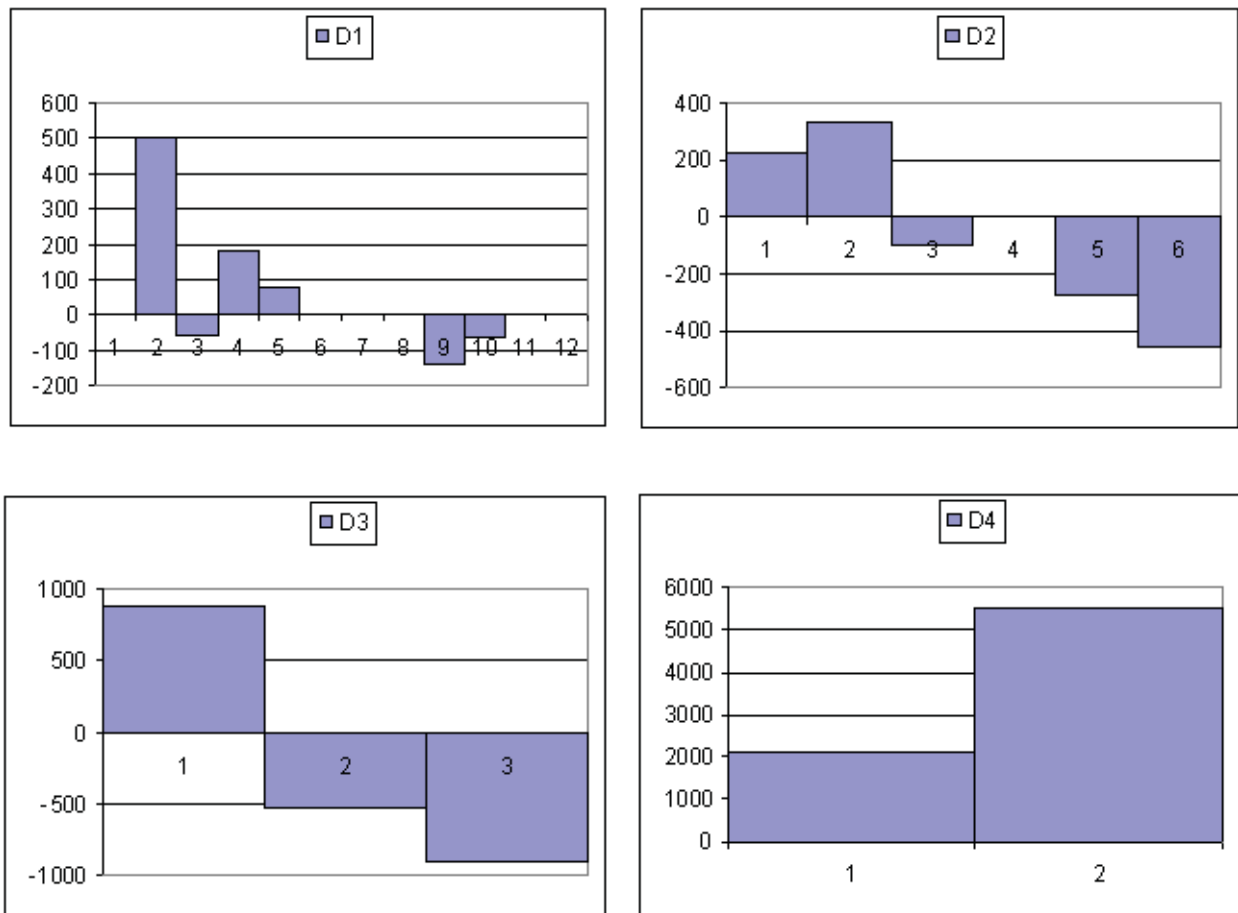


Рис. 7. Значення коефіцієнтів деталізації після жорсткої граничної фільтрації

Для порівняння відновлення даних з різних рівнів деталізації зведемо результати розрахунків в табл. 2.

Таблиця 2

Точність відновлення даних навантаження після проведення жорсткої граничної фільтрації коефіцієнтів деталізації

Показник відновлення	0 рівень	1 рівень	2 рівень	3 рівень	4 рівень
Похибка відновлення графіка	0,0025	0,0251	0,0523	0,1083	0,312
Економія пам'яті, %	25%	50%	71%	83%	92%
Коефіцієнт стиснення	1,33	2	3,43	6	12
Похибка відновлення енергії, %	0	0	0	0	0

Для аналізу використання м'якої та жорсткої граничних фільтрацій складемо порівняльну таблицю 3. При цьому економія пам'яті та коефіцієнти стиснення для відповідних рівнів деталізації будуть однакові як при використанні м'якої фільтрації, так і

при використанні жорсткої деталізації. Похибка відновлення енергії також незмінна, тому в таблиці вказуємо лише порівняння похибок відновлення графіка.

Таблиця 3

Відновлення даних навантаження з використанням КМА та проведенням м'якої та жорсткої граничної фільтрації

Похибка відновлення графіка	0 рівень	1 рівень	2 рівень	3 рівень	4 рівень
М'яка фільтрація	0,0237	0,0354	0,0582	0,1083	0,312
Жорстка фільтрація	0,0025	0,0251	0,0523	0,1083	0,312

Як видно з таблиці, при використанні жорсткої граничної фільтрації значення похибок відновлення даних значно менші у порівнянні з використанням м'якої граничної фільтрації. На 0 рівні деталізації похибка відновлення графіка при жорсткій граничній деталізації майже в 10 разів менша, ніж при м'якій деталізації. Тому більш доцільним є використання саме цього методу фільтрації при застосуванні кратно-масштабного аналізу для стиснення даних навантаження.

Висновки

Аналізуючи отримані результати по стисненню даних з використанням кратно-масштабного аналізу з граничною фільтрацією слід відзначити, що відновлення значення енергії виконується без похибки навіть з четвертого рівня деталізації. В такому випадку можна визначити рівень деталізації згідно з поставленими перед базою даних задачами.

Для фінансових розрахунків з електропередавальною організацією або субабонентами підприємства немає необхідності зберігати графік навантажень електроенергії повністю. В такому випадку достатньо використовувати четвертий рівень деталізації, при якому економія пам'яті складає 92%, а відновлення значення електроенергії виконується з нульовою похибкою. При необхідності графік навантаження може бути відновлений з даного рівня деталізації з похибкою 31,2%.

При необхідності використання саме графіка навантаження, наприклад для моніторингу електроспоживання та аналізу його на предмет енергозбереження, мінімізації витрат на енергоресурси, виявлення місць втрати електроенергії, електроаудиту підприємства можна використовувати 0 рівень деталізації, який дає економію пам'яті 25 %, при цьому похибка відновлення графіка навантаження складає лише 0,25 %, відтворення значення споживання електроенергії проводиться без похибки.

Для задач прогнозування графіка навантаження та величини споживання електроенергії, а також для розгляду можливостей приєднання додаткового обладнання до відповідних цехів підприємства достатньо використовувати 1 рівень деталізації, при використанні якого отримуємо економію пам'яті, яка складає 50 %, при цьому похибка відновлення графіка навантаження складає 2,5 %.

Таким чином слід відзначити, що застосування кратно-масштабного аналізу для формування бази даних АСКОЕ призвело до суттєвого зменшення кількості інформації, необхідної для зберігання, що в умовах широкомасштабного впровадження АСКОЕ є просто необхідним для оптимізації системи зберігання, передачі та обробки інформації про споживання електричної енергії.

У подальших дослідженнях застосування кратно-масштабного аналізу для формування БД рекомендуємо провести оптимізацію алгоритму граничної фільтрації. А саме, на основі даних, отриманих в результаті застосування методу граничної фільтрації для КМА, необхідно переглянути визначення граничного значення θ . Тобто визначення граничного значення коефіцієнта деталізації на кожному рівні декомпозиції виконувати не як середнього значення коефіцієнтів, а шляхом його емпіричного знаходження.

Список літератури

1. Червяков М. И., Подопригора М. Б. Применение RLE-кодирования как основного метода сжатия информации в системах передачи и хранения: Вестник СевКавГТУ Серия «Физико-химическая», 2004, № 1 (8).
2. Terry A. Welch A Technique for High-Performance Data Compression: IEEE Computer, 1984 №17(6) – P. 8–19.
3. Волошко А. В., Іванько Д. О., Гура К. Ю., Міщенко Д. К. К вопросу применения кратно-масштабного анализа для сжатия и восстановления графика электрической нагрузки: Электроника и связь, 2010, № 4 – С. 59–64.
4. Волошко А. В. Вейвлет-анализ в вопросах сжатия и восстановления графика электрических нагрузок: Энергетика: економіка, технології, екологія., 2007, № 2 – С. 60–65.

**THE APPLICATION OF THE MULTIREOLUTION ANALYSIS TO CREATE
A DATABASE OF AUTOMATED SYSTEMS OF COMMERCIAL
ELECTRICITY ACCOUNTING**

A.V. Voloshko, A.L. Kharchuk, Y.S. Vishnyavskaya

This paper presents the use of multiresolution analysis to create a database of industrial automated systems of commercial electricity accounting. Using MathCAD created an algorithm implementing MRA and use filters to reduce the volume required for storage in a database of information.

Поступила в редакцию 22.03 2011 г.