

УДК 621.316.11

А. В. Волошко, Т. М. Лутчин, О. М. Кладько
НТУУ «КПІ» ІЕЕ, м. Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНИХ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

В статті обґрунтовано застосування методу прогнозування вейвлет – перетворених графіків електричного навантаження. Доведена необхідність попереднього групування даних для споживачів з відмінними формами ГЕН.

В статье обоснованно применение метода прогнозирования вейвлет – преобразованных графиков электрической нагрузки. Доведена необходимость предварительного группирования данных для потребителей с отличительными формами ГЭН.

Article justified the application of the method of prediction of the wavelet transformed graphs of electrical load. Communicated the need for pre-group data for consumers with distinctive shapes of graphs of electrical load.

Під час планування режимів електроспоживання одним із важливих інструментів при прийнятті зважених управлінських рішень являється короткострокове прогнозування електричного навантаження. У загальному випадку, спостереження проводяться через однакові короткі проміжки часу (день, година і так далі), проте існують і більш тривалі інтервали (наприклад, місяць, квартал, рік). Прогнози режимів роботи споживачів використовуються для оцінювання графіка навантаження при оптимізації та оперативному керуванні електроспоживанням, заявленого максимуму та витрат електроенергії при формуванні заявок і договорів з енергопостачальною організацією на постачання електроенергії, планування необхідної кількості електроенергії для випуску продукції [4].

Задача прогнозування полягає в тому, щоб за наявними значеннями спостережень ГЕН, визначити значення у наступні моменти часу. Часто при вирішенні практичних задач послідовність $P(t)$ представляється у вигляді суми двох компонент, які прогнозуються з різною стелінню точності.

Враховуючи компоненти, ряд $P(t)$ розкладається:

$$P(t) = S(t) + P_1(t),$$

де $S(t)$ – тренд ряду,

$P_1(t)$ – ряд, який приймається для подальшого прогнозування.

За умов періодичності складової $S(t)$ спостерігаються сезонна декомпозиція початкового ряду $P(t)$. Варто враховувати, що точність декомпозиції сигналу впливає на якість прогнозування.

До спеціальних перетворень часового ряду, які дозволяють зменшити дисперсію (варіацію) значень, відносять логарифмічне приведення [2]: прогнозується не саме значення ряду, а його приріст. Для цього визначають різниці першого порядку:

$$\Delta P(t) = P(t) - P(t-1), \quad t = 2, 3, \dots, N$$

Замість ряду $P(t)$ досліджується ряд перших різниць $\Delta P(t)$. Повторне застосування цієї процедури до ряду $\Delta P(t)$ приводить до появи різниць другого порядку і так далі.

Можливий варіант узагальнювання сезонних різниць заміною одиничного зсуву величиною тривалості сезону s :

$$\Delta_s P(t) = P(t) - P(t-s), \quad t = s+1, s+2, \dots$$

Побудова прогнозів ГЕН здійснювалось програмним комплексом STATISTICA, а саме її модулем Time Series Analysis / Forecasting – Аналіз часових рядів і прогнозування.

Для підвищення точності прогнозування пропонується використовувати попереднє вейвлет-перетворення вхідних даних. Спочатку здійснюється пакетне вейвлет-розкладання рядів на апроксимуючі та деталізуючі коефіцієнти згідно виразів [3]:

$$c_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{2}} (C_{m-1,2n} + C_{m-1,2n+1}),$$

$$d_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{2}} (C_{m-1,2n} - C_{m-1,2n+1}),$$

де $n \in [0; N-1]$ – порядковий номер вейвлет-коефіцієнта на m -ому рівні вейвлет-розкладу сигналу.

Кількість рівнів вейвлет-перетворення відповідає масштабу 2^m . У досліджуваному випадку кожен ряд складається з 24 початкових значень, у відповідності до вимог кратномасштабного аналізу знайдено найближче більше значення кратне 2, тобто 32. До кожної початкової вибірки додали 8 нульових значень. Кількість рівнів вейвлет-розкладу становить $m = 5$.

Далі згідно попереднього підходу прогнозування ряду вейвлет-коефіцієнтів: відокремлюється тренд → будується автокореляційна функція та оцінюються її параметрів → визначається середньоквадратична похибка → логарифмується ряд → визначається часткова автокореляційна функція → усувається лаг → будується прогноз.

На одному з кроків наведеного підходу дані піддаються логарифмуванню, тобто з вейвлет-коефіцієнтів (160 значень = 5 рівнів × 32 початкових значень) відбираються лише додатні значення у такий спосіб, щоб їх позиції співпадали для всіх рядів. У результаті чого отримані вибірки не взаємовиключних даних по 16 значень у кожній.

Аналогічно до прогнозування за дійсними вимірними значеннями прогнози для різних груп визначаються окремо. Враховуючи особливість вейвлет-коефіцієнтів – лінійність відносно початкової вибірки, створюються шаблони для груп вибірок, приведені до середнього значення і пропорційні $k_{5,0}$. Даний коефіцієнт входить у вибірку для прогнозування, за яким відновлюється зарезервований шаблон, а всіма іншими спрогнозованими значеннями – результат уточнюється (рис. 1)

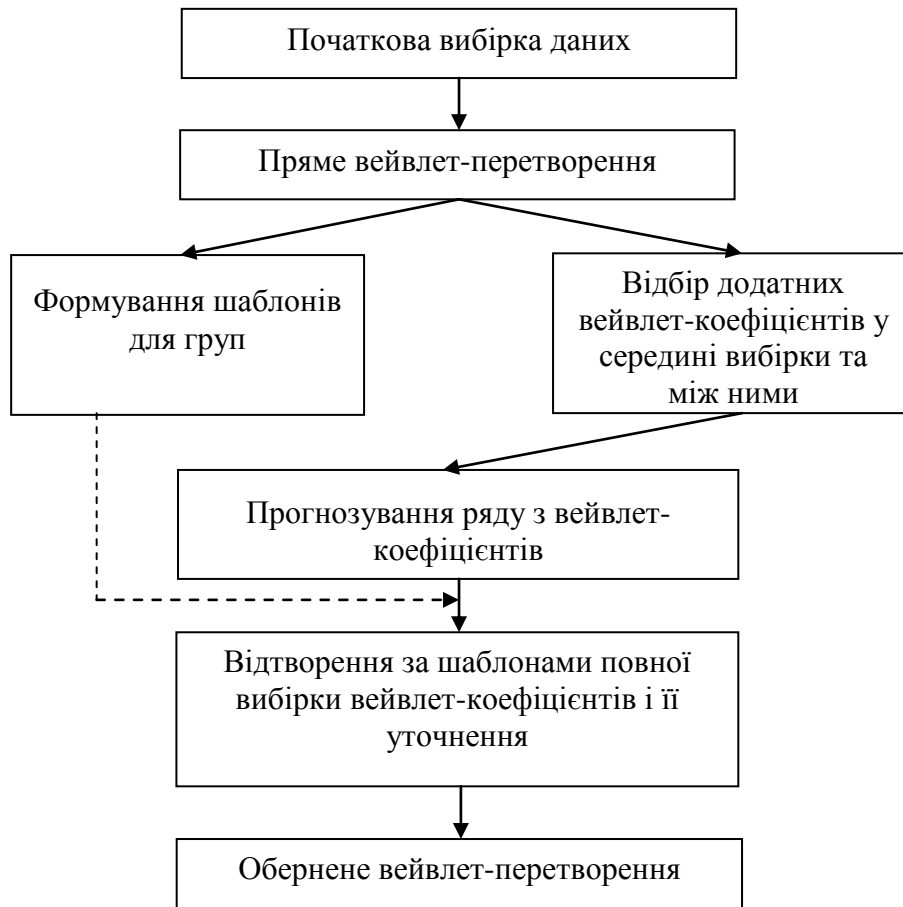


Рисунок 1 – Принцип прогнозування на основі вейвлет-перетворення

Верхня межа довірчих інтервалів розраховується за принципом інтегрування (накопичення) попередніх даних. Таким чином, зростання для кожного наступного значення верхньої межі довірчого інтервалу відбувається за законом геометричної прогресії (згідно якого 5 % відхилення 15-го поточного значення прогнозу перевищить реальне більше, ніж у 2 рази). У даному випадку низька точність прогнозування спостерігається уже наприкінці доби. Корекція довірчих інтервалів – трудомісткий процес, який потребує встановлення додаткових обмежуючих умов. Для спрощення рішення поставленої задачі (підвищення точності прогнозу) використана одна із основних властивостей вейвлет-коефіцієнтів – взаємопов’язаність [3].

Отримана модель відновлювалася оберненим вейвлет-перетворенням згідно виразів:

$$C_{m-1,2n} = 1/\sqrt{2}(c_{m,n} + d_{m,n}),$$

$$C_{m,2n+1} = 1/\sqrt{2}(c_{m,n} - d_{m,n}).$$

Граничні абсолютні похибки прогнозування при попередньому вейвлет-перетворенні даних наведені на рис. 2.

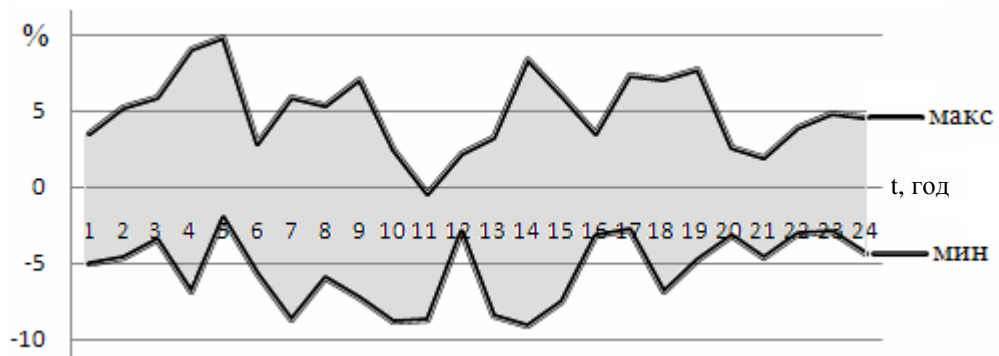


Рисунок 2 – Граничні значення абсолютних похибок прогнозування на основі вейвлет-перетворених даних

Висновок. У результаті проведених досліджень доведена необхідність попереднього групування даних для споживачів з відмінними формами графіків електричних навантажень. При виконанні зазначених дій межі абсолютної похибки прогнозування змінилися від $\pm 30\%$ до $\pm 20\%$. При аналізі загальноприйнятого способу покриття можливих розбіжностей встановленням меж довірчих інтервалів, виявлено значне завищення границь при збільшенні чисельності спрогнозованих значень. Для усунення неточностей при прогнозуванні було запропоновано попередньо вейвлет-перетворювати початкові дані та використовувати їх властивості. При прогнозуванні рядів вейвлет-коефіцієнтів діапазон абсолютних відхилень від реальних значень зменшився до $\pm 10\%$.