

УДК 621.311.246.8

П.О.Черненко, канд.техн.наук., О.В.Мартинюк (Інститут електродинаміки НАН України, Київ)

## УТОЧНЕННЯ ПРОГНОЗУ МІСЯЧНОГО ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЕНЕРГООБ'ЄДНАННЯ

*Наведено метод уточнення прогнозу місячного електроспоживання енергооб'єднання. Уточнення прогнозу проводиться із врахуванням календаря місяця, фактичного електроспоживання, середньобагаторічного внутрішньомісячного тренду температури та короткострокових прогнозів: температури і добового електроспоживання енергоємними підприємствами.*

*Представлен метод уточнення прогноза місячного електропотребления энергообъединения. Уточнение прогноза проводится с учетом календаря месяца, фактического электропотребления, среднесезонного внутримесячного тренда температуры и краткосрочных прогнозов температуры и суточного электропотребления энергоёмкими предприятиями.*

Прогнозування споживання електроенергії на різні часові інтервали є важливою частиною комплексу задач планування режимів роботи енергосистем і оперативного диспетчерського управління ними. Точність прогнозів електроспоживання (ЕС) значною мірою визначає якість та ефективність вирішення цих задач.

Для вирішення задач планування виробництва електроенергії, забезпечення електростанцій паливно-енергетичними ресурсами, створення графіків ремонту їх основного обладнання необхідна інформація про місячне споживання електроенергії на горизонт упередження до одного року, тобто, середньостроковий прогноз ЕС. У зв'язку із світовою фінансовою кризою та зниженням попиту на металургійну та хімічну продукцію різко зменшилося електроспоживання та підвищилася нестабільність роботи енергоємних підприємств. Тому виникає необхідність у частішому коригуванні попередньо спрогнозованого місячного ЕС ОЕС. У даній роботі наведено алгоритм уточнення прогнозу місячного електроспоживання енергосистеми поточного місяця, попередньо виконаного на основі методу прогнозування, описаного в [1].

Математична модель електроспоживання передбачає адитивний розклад ЕС на компоненти

$$\bar{W}_i = W_i^B + W_i^{Tp} + W_i^C + W_i^M + W_i^3, \quad (1)$$

де  $\bar{W}_i$  – електроспоживання, розраховане для середньомісячного робочого, суботнього та недільного днів  $i$ -го місяця передісторії із урахуванням різких змін у роботі енергоємних підприємств;  $W_i^B$  – базова компонента електроспоживання, що визначає середньобагаторічне ЕС на інтервалі передісторії;  $W_i^{Tp}$  – складова помісячного росту/спаду електроспоживання, що розраховується на даних передісторії за допомогою МНК;  $W_i^C$  – сезонна компонента електроспоживання, що характеризує річні циклічні коливання і описується моделлю авторегресії та ковзного середнього сезонного типу;  $W_i^M$  – метеорологічно чутлива компонента електроспоживання, що характеризує вплив метеорологічних чинників (температури та хмарності) і описується за допомогою регресійних моделей;  $W_i^3$  – залишкова компонента електроспоживання, що визначає похибку обраної моделі розкладу.

Даний підхід передбачає створення окремих моделей, що описують динаміку виділених складових математичної моделі електроспоживання на інтервалі передісторії та забезпечують виконання прогнозів на необхідний інтервал упередження.

Для розрахунку прогнозу місячного електроспоживання енергосистеми попередньо виконується прогнозування електроспоживання окремо середньомісячного робочого, суботнього та недільного днів на основі моделі (1). Використовуючи календар місяця, на який здійснюється прогноз, значення сумарного місячного електроспоживання розраховуються відповідно до формули:  $W^N = a_N W_N^{роб} + b_N W_N^{суб} + c_N W_N^{нед}$ , де  $a_N, b_N, c_N$  – кількість робочих, суботніх і недільних днів у  $N$ -му прогнозованому місяці.

Інформація про погодинне електричне навантаження, добове електроспоживання та середньодобову температуру регіональних та об'єднаної енергосистем України надходить в оперативно-інформаційний комплекс ОЕС у режимі реального часу. Щодобово із Держенергонагляду надходить інформація про добове електроспоживання та електричне навантаження в екстремальних точках добового графіку ОЕС по 50-ти потужних енергоємних підприємствах. Також щодобово в базу даних із Гідрометеоцентру та Держенергонагляду додатково поступає інформація щодо прогнозу середньодобової температури на найближчі три дні. Таким чином, інформаційно забезпечено можливість виконувати уточнення прогнозного місячного споживання електроенергії поточного місяця із урахуванням нових фактичних даних.

Уточнення прогнозного місячного електроспоживання виконується у наступній послідовності.

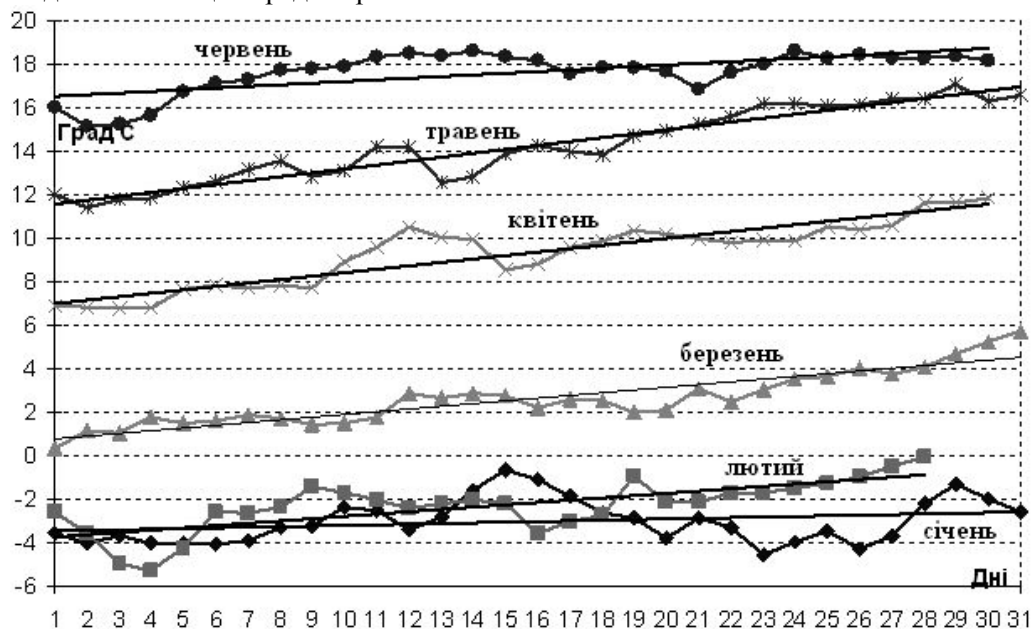
1. За даними про середньодобову температуру, усереднену на інтервалі передісторії (за 5–7 років), на основі однофакторної лінійної регресійної моделі розраховується середньобагаторічний внутрішньомісячний лінійний тренд температури (рис. 1) для кожного місяця року:

$$T = a * j + b, \quad (2)$$

де 
$$a = \frac{n \sum_{j=1}^n (T_i^j * j) - \sum_{j=1}^{j=n} (j) * \sum_{j=1}^{j=n} (T_i^j)}{n \sum_{j=1}^{j=n} (j^2) - \left( \sum_{j=1}^{j=n} (j) \right)^2} = \frac{n * \sum_{j=1}^n (T_i^j * j) - \frac{(1+n)n}{2} * \sum_{j=1}^{j=n} (T_i^j)}{n \sum_{j=1}^{j=n} (j^2) - \left( \frac{(1+n)*n}{2} \right)^2}, \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} T_i^j - \frac{a}{n} \sum_{j=1}^{j=n} j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} T_i^j - \frac{a(1+n)}{2}, \quad (4)$$

$i$  – номер місяця в році;  $j$  – номер доби в місяці;  $n$  – кількість днів в місяці  $i$ ;  $T_i^j$  – середньодобова температура  $j$ -го дня  $i$ -го місяця передісторії.



2. Прогнозування місячного електроспоживання  $i$ -го місяця за розробленим методом здійснюється на основі заданої середньомісячної (або середньобагаторічної) температури  $T_i^{Прогн}$ . Викорис-

товуючи коефіцієнти внутрішньомісячного лінійного тренду  $i$ -го місяця, зазначена середньомісячна температура наступним чином розподіляється по  $n$  днях  $i$ -го місяця:

– коригується значення константи  $b$  лінійної залежності (2) заміщенням у формулі (4)  $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} T_i^j$

на  $T_i^{Прогн}$ , тобто  $b' = T_i^{Прогн} - \frac{a(1+n)}{2}$ ;

– значення середньодобової температури  $T_i^j$  розраховується за формулою  $T_i^j = a * j + b'$  для кожного  $j$ -го ( $j=1..n$ ,  $n=28-31$ ) дня поточного  $i$ -го місяця.

Коригування константи необхідне для забезпечення можливості задавання прогнозів середньомісячної температури, що відмінна від розрахованих середньобагаторічних значень.

3. Відповідно до викладеного вище методу, прогнозування місячного електроспоживання розраховується за допомогою прогнозу електроспоживання середньомісячного робочого, суботнього, недільного днів та календаря  $i$ -го місяця. Таким чином, використовуючи відомий календар  $i$ -го місяця, прогнозне місячне електроспоживання розкладається по всіх його  $n$  днях:  $W_{i,j}^{роб}$ ,  $W_{i,j}^{суб}$ ,  $W_{i,j}^{нед}$ . Використовуючи модель метеорологічної компоненти ЕС, що описує вплив температури на електричне споживання середньомісячного дня кожного типу та попередньо розраховані значення температур  $T_i^j$ , розподілених по днях  $i$ -го місяця, розкладене добове електроспоживання  $W_{i,j}^{роб}$ ,  $W_{i,j}^{суб}$ ,  $W_{i,j}^{нед}$

уточнюються на метеорологічну компоненту  $W_i^M$ .

4. Використовуючи доступну на момент уточнення інформацію, розраховані на перші  $k$  днів прогнозні значення добового електроспоживання поточного місяця заміщуються наявними фактичними. Виконується перерахунок середньобагаторічної температури даного місяця шляхом циклічного заміщення значень вибірки новими даними та їх наступного усереднення. Таким чином, перераховуються і коефіцієнти лінійної залежності відповідно до п.1–2. Також, за наявності прогнозів середньодобової температури на глибину  $L$  та, використовуючи регресійні залежності впливу температури [2] для відповідного типу дня, уточнюється метеорологічна складова  $W_i^M$  електроспоживання зазначених  $L$  днів.

5. Уточнене значення сумарного місячного електроспоживання ОЕС розраховується підсумовуванням фактичних та решти прогнозних, скоригованих відповідно до п.4, значень добового ЕС поточного місяця.

Також прогноз місячного електроспоживання ОЕС уточнюється за рахунок аналізу та прогнозування добового електроспоживання енергоємними підприємствами.

Виявлено, що для електроспоживання промисловістю України характерні неочікувані коливання сумарної потужності [3]. Цей факт обумовлений наявністю в структурі промисловості України 50 великих енергоємних підприємств, що знаходяться на добовому контролі в Держенергонагляді, сумарною потужністю близько 25% загальної потужності ОЕС України.

Аналіз передісторії виявив, що різкі відхилення добового електроспоживання енергоємними підприємствами мають вигляд трикутного (рис. 2), або трапецієподібного (рис. 3) викидів. Такі відхилення спричинені впливом технологічних або економічних факторів (ремонт чи аварійним відключенням потужних енергоємних агрегатів, або кон'юнктурою попиту на продукцію підприємства). Дія зазначених факторів триває від одного дня до кількох місяців.

Для усунення впливу цих відхилень на математичні моделі (1) виділених компонент електроспоживання ОЕС проводиться їхня ідентифікація на основі перевірки екстремальних значень різничевого ряду першого порядку на відповідність критерію Чебишева [4] та заміщення даних відхилень екстрапольованими су-

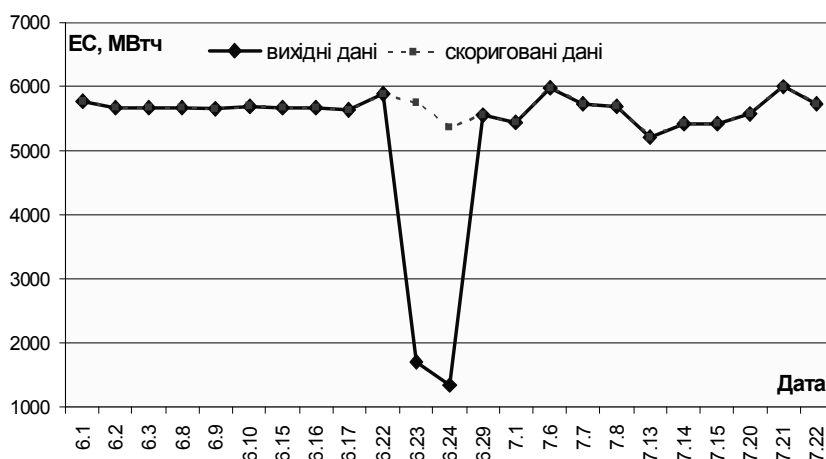


Рис. 2

сідніми значеннями добового електроспоживання відповідного енергоємного підприємства. Таким чином, коригуються архіви електроспоживання середньомісячного робочого, суботнього та недільного днів ( $\bar{W}_i$ ) відповідної енергосистеми, до якої належать зазначені енергоємні підприємства.

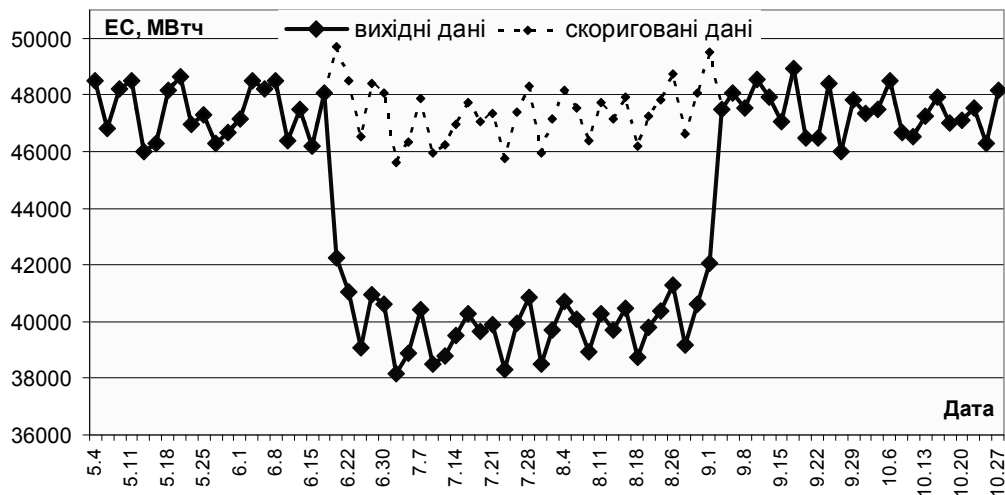


Рис. 3

Однак, в сучасних умовах світової економічної кризи спостерігається тривалий і суттєвий спад електроспоживання по цілому ряду промислових підприємств, особливо гірничо-металургійного комплексу. Графіки добового електроспоживання Нікопольським заводом феросплавів та Інгулецьким гірничозбагачувальним комбінатом за 2008–2009 роки показано на рис. 4. Динаміка електроспоживання даними підприємствами типова і для решти підприємств галузі.

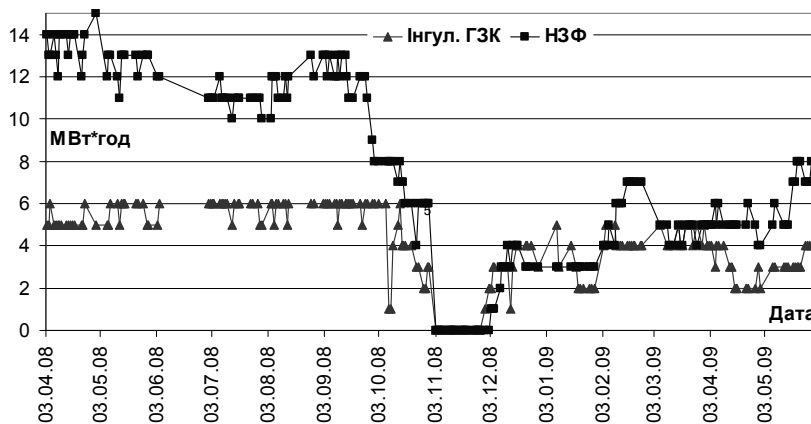


Рис. 4

Отже, в сучасних умовах виконувати заміщення нетипових значень добового споживання електроенергії підприємствами за згаданим алгоритмом не ефективно, оскільки дані відхилення довготривалі та не мають вигляду різких викидів. Тому запропоновано інший підхід щодо використання інформації про добове електроспоживання енергоємними підприємствами для уточнення прогнозу місячного ЕС енергооб'єднання.

В запропонованій моделі (1) місячного ЕС ОЕС електроспоживання енергоємними підприємствами закладено в базовій  $W_i^B$  та сезонній  $W_i^C$  компонентах.

Базова компонента  $W^B$  середньомісячного дня кожного типу розраховується за допомогою формули (5) і представляє собою усереднене значення електроспоживання із вилученим трендом, незмінне на заданому інтервалі передісторії.

$$W^B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{W}_i - W_i^{Tp}). \quad (5)$$

Сезонна компонента ЕС розраховується на даних передісторії вилученням із сумарного електроспоживання базової, трендової та метеорологічної компонент і представляє собою приведений до стаціонарного часовий ряд із незмінними, з ймовірністю  $P=0,95$ , значеннями математичного очікування та кореляційної функції.

Дослідження показали, що сезонні компоненти електроспоживання середньомісячних робочого/суботнього та недільного днів задовільно описуються сезонною моделлю авторегресії й ковзного середнього (АРКС з періодом 12) виду (1.0.0)(2.0.0).

$$\hat{W}_i^C = p_1 W_{i-1}^C + P_1 W_{i-12}^C + P_2 W_{i-24}^C - p P_1 W_{i-13}^C - p P_2 W_{i-25}^C + \Theta, \quad (6)$$

де  $\hat{W}_i^C$  – прогнозне значення сезонної компоненти електроспоживання  $i$ -го місяця;  $p_1, P_1, P_2, \Theta$  – параметри моделі АРКС.

Таким чином, при суттєвих змінах електроспоживання енергоємними підприємствами запропоновано коригувати розподілене по  $n$  днях прогнозне значення місячного електроспоживання ОЕС поточного місяця на величину:

$$\Delta = [(W_i^{EP} - W_{i-12}^{EP}) - p_1 (W_{i-1}^{EP} - W_{i-13}^{EP})] / n,$$

де  $\Delta$  – величина, на яку уточнюється добове електроспоживання ( $W'_{i,j} = W_{i,j} - \Delta$ ) ОЕС у поточному  $i$ -му місяці,  $W_{i-1}^{EP}, W_{i-12}^{EP}, W_{i-13}^{EP}$  – сумарне електроспоживання енергоємними підприємствами у відповідному місяці,  $W_i^{EP}$  – сумарне значення електроспоживання енергоємними підприємствами поточного  $i$ -го місяця, розраховане за формулою  $W_i^{EP} = n * \sum_{j=1}^k W_{i,j}^{EP} / k$ , де  $k$  – кількість днів  $i$ -го місяця перед проведенням уточнення, за які доступна фактична інформація про добове електроспоживання енергоємними підприємствами,  $W_{i,j}^{EP}$  – сумарне добове електроспоживання енергоємними підприємствами  $j$ -го дня.

Таким чином, припускається, що ЕС енергоємними підприємствами за решту днів поточного місяця буде наближено до ЕС за перші  $k$  днів.

Практичне застосування описаного методу дозволяє суттєво уточнити прогноз сумарного електроспоживання поточного місяця. Розглянемо ефективність методу на прикладі уточнення сумарного електроспоживання ОЕС України за березень 2008 року.

На рис. 5 показано результати середньострокового прогнозування місячного електроспоживання ОЕС України, виконаного 1 березня 2008 року на період 5 місяців. Глибина використаної передісторії – 5 років.

Прогнозне (1) та фактичне (2) значення місячного електроспоживання ОЕС України за березень 2008 року за даним розрахунком становить відповідно 16661 ГВт\*год і 17005 ГВт\*год. Зниження на 2,06 % фактичного електроспоживання в порівнянні з прогнозним спричинено аномально теплим березнем 2008 року. Середньомісячна температура повітря становила у цьому місяці  $+5.4^{\circ}\text{C}$  у порівнянні із  $+2.8^{\circ}\text{C}$  – середньобагаторічною температурою березня (за 5 років), що була використана при розрахунку прогнозу ЕС. Проведемо уточнення прогнозу березневого електроспоживання ОЕС після 1-ї декади місяця.

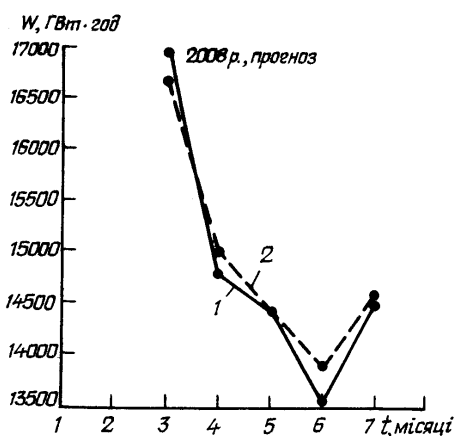


Рис. 5

Розраховані згідно з п.1 вищевказаного алгоритму коефіцієнти лінійної регресії середньобагаторічної внутрішньомісячної температури березня становлять  $a = 0.124$ ,  $b = 0.64$ . Оскільки як прогнозна температура на березень використовувалась  $T_i^{\text{Прогн}} = 2.8^{\circ}\text{C}$ , то скоригований відповідно до формули п.2 вільний член регресійної залежності  $b$  становить:  $b' = T_i^{\text{Прогн}} - a(1+n)/2 = 2.8 - 0.124(31-1)/2 = 0.92$ . Прогнозні значення електроспоживання середньоберезневого робочого, суботнього та недільного днів, за допомогою яких розраховувався прогноз сумарного місячного електроспоживання, становлять:  $W_{\text{роб}} = 555.8$ ,  $W_{\text{суб}} = 5415.7$ ,  $W_{\text{нед}} = 5251.7$  ГВт\*год. Коефіцієнти впливу температури на електроспоживання середньомісячного робочого, суботнього та недільного днів становлять відповідно  $-4.8$ ,  $-4.1$ ,  $-5.8$  ГВт\*год/ $^{\circ}\text{C}$ .

№ дня	ЕС1, ГВт*год	Т, °С	ЕС2, ГВт*год	ЕС3, ГВт*год	Т <sub>ф</sub> , °С
1	542	1,0	549	533	5
2	525	1,2	535	518	6
3	556	1,3	564	556	4
4	556	1,4	563	559	4
5	556	1,5	562	562	2
6	556	1,7	562	563	2
7	556	1,8	561	551	3
8	542	1,9	546	510	5
9	525	2,0	530	504	6
10	556	2,2	559	525	6
11	556	2,3	559 546	551	5
12	556	2,4	558 531	537	8
13	556	2,5	558 536	542	7
14	556	2,7	557	548	6
15	542	2,8	542	525	5
16	525	2,9	525	507	5
17	556	3,0	555	548	7
18	556	3,1	555	543	7
19	556	3,3	554	553	4
20	556	3,4	553	554	3
21	556	3,5	553	561	2
22	542	3,6	539	533	4
23	525	3,8	520	510	8
24	556	3,9	551	538	9
25	556	4,0	550	542	9
26	556	4,1	550	548	3
27	556	4,3	549	548	3
28	556	4,4	549	536	6
29	542	4,5	535	512	8
30	525	4,6	515	490	8
31	556	4,8	547	535	6

Розкладемо сумарне березневе електроспоживання по днях березня, використовуючи календар місяця, скоригований внутрішньомісячний тренд температур та прогнозні значення електроспоживання трьох типів днів – 4-й стовпчик таблиці (у таблиці: ЕС1 – ЕС без врахування внутрішньомісячної температури; ЕС2 – ЕС із врахуванням внутрішньомісячної температури; ЕС3 – фактичне ЕС; Т – внутрішньомісячна температура; Т<sub>ф</sub> – фактична температура).

Як зазначалося вище, із Гідрометеоцентру України в базу даних енергооб'єднання надходить інформація про прогноз середньодобової температури на найближчі три дні. Використовуючи коефіцієнт впливу температури та дані Гідрометеоцентру, проводиться перерахунок прогнозу добового електроспоживання з 11.03 по 13.03. Уточнені значення електроспоживання представлено в таблиці курсивом. Таким чином, заміщуючи прогнозні значення електроспоживання першої декади березня фактичними і підсумовуючи отримане, розраховуємо уточнене значення місячного електроспоживання за березень 2008 року. В результаті отримаємо 16792 ГВт\*год, при цьому відхилення від фактичного електроспоживання становить лише 0.8 % !

**Висновки.** У зв'язку із зниженням електроспоживання та підвищенням нестабільності в роботі енергоємних підприємств виникає необхідність частішого коригування попередньо виконаних прогнозів електроспоживання енергооб'єднання на найближчий місяць. Запропонований алгоритм уточнення місячного електроспоживання енергооб'єднання дозволяє суттєво знизити похибку прогнозу місячного ЕС та підвищити надійність загального методу середньострокового прогнозування.

1. Черненко П.О., Мартинюк О. В. Середньострокове дворівневе прогнозування електричного споживання енергооб'єднання // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 6. – С. 77–81.
2. Черненко П.А., Мартинюк А.В., Заславский А.И. Среднесрочное иерархическое прогнозирование электропотребления энергообъединения // Техн. электродинамика. Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2008. – Ч.4. – С. 25–30.
3. Черненко П.О., Мартинюк О.В. Прогнозування добового графіка сумарного електричного навантаження електроенергетичної системи // Праці ІЕД НАН України. – 2007. – Вип. 18. – С. 57–65.
4. Черненко П.А., Заславский А.И. Методы повышения достоверности телеизмеряемых параметров режима электроэнергетических систем // Праці ІЕД НАН України. Електротехніка. – 2001. – С. 109–114.

Надійшла 22.07.2009