

УДК 621.311.153

С.В. ДУБОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, П.П. КОБРІН (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

## ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОЕС УКРАЇНИ МЕТОДОМ СУПЕРПОЗИЦІЇ ГРАФІКІВ РІЧНОГО ТА ДОБОВОГО ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Обґрунтовано застосування методу суперпозиції графіків річного та добового електроспоживання для прогнозування перспективних графіків електричного навантаження ОЕС України. Приведено алгоритм методу. Визначено та наведено результати розрахунків основних показників графіків електричного навантаження на перспективу.

Економічно обґрунтовані рішення щодо ефективного розвитку електроенергетичних систем вимагають завчасного передбачення електричного навантаження енергосистеми [1].

Основною метою прогнозування графіків електричних навантажень (ГН) є одержання показників, необхідних для визначення вимог до майбутнього складу та сумарної потужності електростанцій [2, 3].

До основних показників перспективних графіків електричного навантаження, що потребують визначення, належать: перспективне споживання електричної енергії внутрішніми споживачами, прогнозні значення максимальної споживаної потужності, характерна кількість годин використання максимальної споживаної потужності та коефіцієнт заповнення ГН енергетичної системи. Для оцінки можливостей управління майбутнім електроспоживанням необхідні також дані щодо зміни форми сезонних та добових графіків електричних навантажень.

Відомо, що надійність прогнозних розрахунків характеристик ГН значною мірою залежить від ступеня репрезентативності ретроспективної інформації та від стійкості основних тенденцій електроспоживання у часі.

Передбачуваність та прогнозованість економічного розвитку в період до 1990 року визначали високу ефективність методів прогнозування характеристик навантажень ОЕС України, заснованих на математичній екстраполяції форм графіків електричних навантажень. На сучасному перехідному етапі економічного розвитку застосування зазначених методів суттєво ускладнюється і навіть унеможливується [4].

Різка зміна основних тенденцій електроспоживання у період 1991–2002 рр. призвела до непридатності для використання ретроспективних даних щодо форм ГН енергосистеми, що були накопичені до 1990 року.

Водночас аналіз характеристик електроспоживання 1991–99 рр., які зазнали змін через нестабільність роботи ОЕС, коливання частоти струму, застосування віялових відключень та адміністративних обмежень електроспоживачів комунально-побутового сектора і промисловості, не дає можливості виявити усталені тенденції електроспоживання у цей період, що унеможливує використання значного обсягу ретроспективних даних за цей період для прогнозування ГН на перспективу.

У разі значного обмеження репрезентативної інформації, яка унеможливує прогнозування параметрів майбутнього електроспоживання традиційними формальними методами екстраполяції динамічних кривих навантаження ОЕС слід використовувати додаткову інформацію та методи, зокрема метод аналогій, що широко використовується у прогнозуванні в умовах неповної інформації щодо ретроспектив та тенденцій розвитку [5]. При цьому за джерело додаткової інформації можуть використовуватися ГН країн з усталеною ринковою економікою, що мають подібну структуру генерації та споживання електричної енергії.

Можливість застосування методу аналогій до прогнозування в Україні підтверджується, зокрема, поступовим наближенням характерної форми ГН ОЕС України до характерних форм ГН країн ЄЕС протягом 1990–2000 рр., що можна бачити з їх співставлення, наведеного на рис. 1.

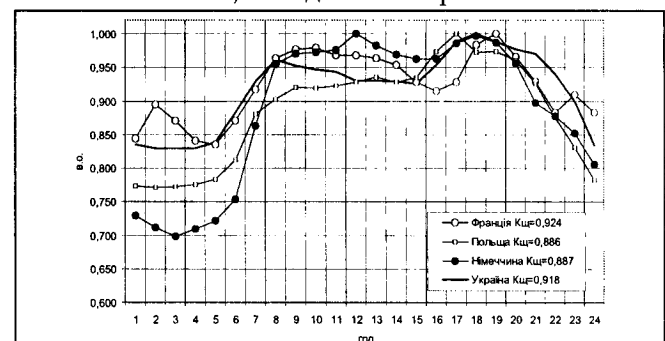


Рис. 1. Порівняння форми зимових ГН країн ЄЕС та України у 2001 році

Крім того, відносно надійну додаткову інформацію для прогнозування може дати аналіз графіків електричних навантажень окремих галузей (секторів) економіки України.

Як показує аналіз, найбільш суттєві зміни ГН ОЕС України у період 1990-2000 рр. зумовлені відповідними змінами частки окремих секторів у структурі електроспоживання в галузях, тоді як суттєвих змін технологічних процесів, які зумовлювали режими електроспоживання кожної з галузей, майже не відбулося. Отже, відносна стійкість галузевих ГН дозволяє використовувати їх форму як джерело додаткової достовірної інформації.

Виходячи з цього, для підвищення надійності прогнозування графіків навантаження ОЕС за рахунок збільшення обсягу репрезентативної інформації можна застосовувати метод суперпозиції графіків річного та добового електроспоживання для окремих укрупнених секторів економіки країни.

Розрахунок перспективних значень максимальної споживаної потужності енергосистеми та коефіцієнтів заповнення ГН виконувався за існуючими перспективними даними прогнозу річного електроспоживання в окремих галузях економіки країни, та додаткових даних, які характеризують нерівномірність галузевих електричних навантажень. Як ключовий параметр використовується коефіцієнт щільності ГН галузі, що характеризує стійкість у часі навантажень і характер електроспоживання галузі, та похідний показник – кількість годин використання максимальної споживаної потужності. Ці показники визначаються за формулами:

$$k_i = \frac{W_i}{P_i^{\max} \cdot T_o}, \quad (1)$$

$$T_i = k_i \cdot T_o = \frac{W_i}{P_i^{\max}}, \quad (2)$$

де  $W_i$  – річне електроспоживання  $i$ -ї галузі;  $P_i^{\max}$  – максимальна споживана потужність у період проходження максимуму електричного навантаження ОЕС;  $k_i$  – галузевий коефіцієнт щільності графіка електричних навантажень;  $T_i$  – галузева кількість годин використання максимальної споживаної потужності, год/рік.

Знання зазначених параметрів кожної галузі дозволяє визначити системний коефіцієнт щільності графіка електричного навантаження енергосистеми за формулою:

$$k_c = \frac{\sum_{i=1}^N W_i}{\sum_{i=1}^N T_i}. \quad (3)$$

При цьому системний максимум електричного навантаження визначається за формулою:

$$P_c^{\max} = \sum_{i=1}^M \frac{W_i}{T_i}. \quad (4)$$

Характерні перспективні значення кількості годин використання максимальної споживаної потужності кожної галузі можуть бути визначені через відповідні значення базового року:

$$T_i = T_{io} \cdot \varphi_i, \quad (5)$$

де  $T_{io}$  – кількість годин використання максимальної споживаної потужності кожної галузі у базовому році;  $\varphi_i$  – коефіцієнт, що враховує зміни характеристик базового року в часі внаслідок вдосконалення технології та запровадження тих чи інших засобів управління електроспоживанням в галузі. У першому наближенні цей коефіцієнт можна вважати рівним одиниці.

З урахуванням наведених визначень можна одержати такі формули для перерахунку системних параметрів електроспоживання у базовому році на майбутні періоди:

$$P_c^{\max}(t) = P_{co}^{\max} \cdot \sum_{i=1}^M \alpha_i(t) \cdot \frac{\gamma_{io}}{\varphi_i}, \quad (6)$$

$$k_c(t) = k_{co} \cdot \frac{\sum_{i=1}^M \alpha_i(t) \cdot \frac{\beta_{io}}{\varphi_i}}{\sum_{i=1}^M \alpha_i(t) \cdot \frac{\gamma_i}{\varphi_i}}, \quad (7)$$

де  $\alpha_i(t)$  – прогнозний індекс змін річного електроспоживання в галузі по відношенню до базового року;  $\gamma_{io}$  – частка галузі у формуванні річного максимуму електронавантаження енергосистеми у базовому році;  $k_c$  – коефіцієнт щільності системи;  $k_{co}$  – коефіцієнт щільності системи в базовому році;  $\beta_{io}$  – частка галузі у загальному річному електроспоживанні базового року.

Аналогічно (6) можна провести розрахунки форми ГН галузей економіки.

Достепенність прогнозів за наведеним алгоритмом залежить як від ступеня достепенності прогнозування галузевих індексів електроспоживання, так і від якості репрезентативних даних електроспоживання у базовому році.

Використовуючи метод суперпозиції графіків річного та добового електроспоживання проведено ряд розрахунків із визначення перспективних ГН

ОЕС України. Отримано основні характеристики та форми перспективних ГН з розрізом у 2005-му та 2010 роках для різних варіантів розвитку економіки держави, а також з моделюванням змін процесів споживання окремих галузей економіки.

За базовий прийнято 2001 рік, оскільки він характеризується відносною стабільністю роботи ОЕС України та незначними коливаннями частоти струму в мережі. Найбільш інформативним добовим графіком електричного навантаження ОЕС є ГН доби з максимальним піковим навантаженням енергосистеми. У 2001 році ця доба припадає на 19 грудня. Протягом цієї доби оперативне обмеження споживачів було відсутнім, а частота струму трималась на позначці 50 Гц. Усталеність форми ГН підтверджується порівнянням ГН доби максимального навантаження 2000 року та 2001, що наведено на рис. 2.

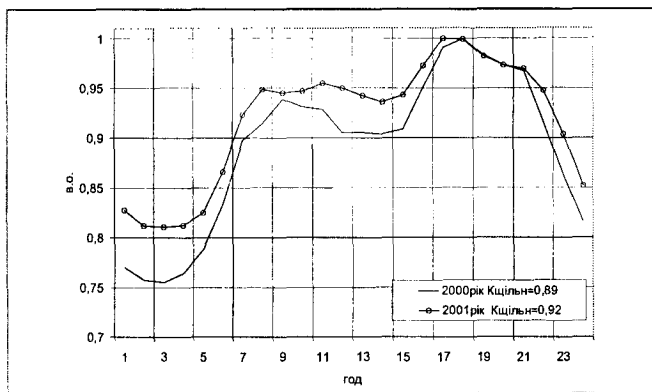


Рис. 2. Форма добових ГН на день зимового максимуму ОЕС України у 2000 та 2001 рр.

Незважаючи на загальне збільшення електроспоживання у 2001 році порівняно з 2000-м (відповідно 169160,2 та 166914,4 млн кВт.год.)

форма ГН за добу проходження максимуму навантаження 2001 та 2000 рр. збереглась майже незмінною (незначні відхилення є співставними з випадковими коливаннями електроспоживання). Це дозволяє використовувати форму ГН 2001 року як базову для подальших розрахунків.

Розрахунки перспективних ГН проводились за існуючими прогнозами річного електроспоживання галузей економіки, виконаних в ІЗЕ НАН України за трьома сценаріями економічного розвитку – вірогідним, оптимістичним, песимістичним.

У табл. 1 подано два варіанти розрахунку перспективних ГН. За першим, базовим варіантом, перспективні форми ГН галузей економіки вважались незмінними. У другому варіанті враховано можливі зміни форми ГН комунально-побутового електроспоживання, виходячи з наведених нижче міркувань.

Порівняльний аналіз форм ГН побутового електроспоживання в регіонах України дає підстави вважати, що форма ГН комунально-побутового сектору більшості регіонів наразі не відображає реальний попит через примусові обмеження електроспоживачів. Тому надалі, в міру скасування будь-яких обмежень попиту, форми регіональних ГН поступово наблизяться до форми ГН Києва, де обмеження комунально-побутового електроспоживання майже не застосовувалися.

Результати розрахунків показують, що в перспективі до 2010 року слід очікувати на певне розуцілення ГН ОЕС України. Це пояснюється, головним чином, прогнозованим зростанням частки комунального побутового сектору в загальному електроспоживанні ОЕС (до 27% в структурі

Таблиця 1. Результати розрахунку параметрів перспективних ГН ОЕС України

		Варіанти розрахунку	за рік, млн кВт.год.	за добу, тис. кВт.год.	$P_{\max}$ , тис. кВт	$T_{\text{річне}}$ , год.	$K_3$ доб.
2001	факт		122 559 800	442 516	20 075	6 105	0,918
	вірогідний	1	138 461 950	516 725	23 449	5 905	0.877
2		138 461 950	516 356	24 521	5 647	0.919	
2005	песимістичний	1	134 669 620	501 669	22 743	5 921	0.877
		2	134 669 620	501 307	23 810	5 656	0.918
	оптимістичний	1	144 266 700	537 618	24 400	5 913	0.830
		2	144 266 700	520 224	26 122	5 523	0.913
2010	вірогідний	1	158 837 620	602 270	27 483	5 779	0.884
		2	158 837 620	601 831	28 663	5 541	0.875
	песимістичний	1	148 143 260	555 656	25 267	5 863	0.916
		2	148 143 260	555 259	26 403	5 611	0.876
	оптимістичний	1	170 768 190	639 161	29 074	5 874	0.916
		2	170 768 190	638 721	30 335	5 629	0.877

річного електроспоживання та до 46% – у добу зимового максимуму), при тому, що ГН комунально-побутових навантажень характеризується суттєво більшою нерівномірністю, ніж промислових навантажень (див. рис. 3).

Для компенсації можливого розуцілення ГН слід застосувати відомі економічні засоби стимулювання рівномірного електроспоживання у побутовому секторі (організація автоматичного поточного обліку електроспоживання за зонами доби з введенням системи відповідних стимулюючих зонних тарифів).

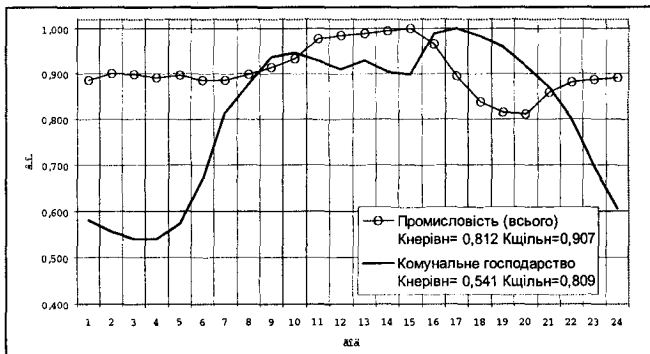


Рис. 3. Порівняння форм ГН промисловості та комунально-побутового секторів (осінне-зимовий максимум навантажень 2010 року)

Коефіцієнти щільності ГН деяких країн Європи, що входять до енергетичних систем UCTE та Centrel, розраховані за даними [7], наведено в табл. 2.

З наведених даних можна бачити, що перспективні розрахункові значення коефіцієнта щільності добових ГН ОЕС України близькі до реальних Німеччини та Польщі, що підтверджує надійність

Таблиця 2. Характеристика зимових ГН країн ЄЕС за 2001 рік

Рік	параметр	Німеччина	Франція	Польща
2001 (факт)	К <sub>щільн</sub>	0,887	0,924	0,886

прогнозів. Більш високі, ніж існують та прогнозуються в Україні, значення коефіцієнтів заповнення ГН Франції пояснюються успішним застосуванням у цій країні гнучкого економічного стимулювання споживачів за рахунок диференційованих за часом тарифних систем, з огляду на значну питому вагу генерації АЕС, які не здатні підтримувати змінні електричні навантаження. Досвід цієї країни дає підставу вважати, що введення оплати за диференційованими тарифами в Україні, особливо в комунально-побутовому секторі, призведе до ущільнення ГН ОЕС України.

### Висновки

Прогнозування основних параметрів електричних навантажень ОЕС можливе на підставі існуючих прогнозів індексів річного електроспоживання галузей економіки України та ретроспективного аналізу галузевої структури споживаної потужності у базовому році.

Прогнозоване збільшення частки комунально-побутового сектора в структурі електроспоживання призведе до певного розуцілення добового ГН ОЕС України на 2010 рік.

Найбільш ефективними заходами щодо ущільнення ГН ОЕС є економічне стимулювання споживачів комунально-побутового сектора за рахунок переходу на зонний принцип обліку та тарифікації побутового електроспоживання.

1. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем: Учебн. для электроэнерг. спец. вузов / Под ред. Арзамасцева Д.А. – М.: Высшая школа. – 1987. – 272 с.

2. Гуревич Б.А. Методические вопросы определения перспективных режимов нагрузки ЭС. – "Общая энергетика". Вып. 1. АН СССР. – М. – 1959. – С. 20-33.

3. Шлимович В.А. Прогнозирование и управление электропотреблением в электроэнергетических системах. – М.: Энергоатомиздат. – 1988. – 216 с.

4. Кобрін П.П., Крисанов Д.В. Аналіз методів прогнозування графіків електричного навантаження об'єднаної енергосистеми та можливості їх вдосконалення // Проблеми загальної енергетики. – 2001. – №4. – С. 24-29.

5. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. – М.: Прогрес. -1977. – 256 с.

6. Рабочая книга по прогнозированию. – М.: Мысль. – 1982.

7. UCTE. Statistical Yearbook 2001. – 2001.