

ПРОГНОСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО, ЕКОНОМІЧНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ ВИРІВНЮВАННЯ ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МІСТА

А.С. Бондарчук, В.В. Поносов. Прогностичне оцінювання енергетичного, економічного та екологічного ефекту вирівнювання графіка електричного навантаження міста. Запропоновано метод комплексного оцінювання ефективності вирівнювання графіка електричного навантаження. На прикладі реальних даних Одеської міської електричної мережі продемонстровано енергетичну, економічну та екологічну ефективність вирівнювання добового графіка.

А.С. Бондарчук, В.В. Поносов. Прогностическое оценивание энергетического, экономического и экологического эффекта выравнивания графика электрической нагрузки города. Предложен метод комплексной оценки эффективности выравнивания графика электрической нагрузки. На примере реальных данных Одесской городской электрической сети продемонстрирована энергетическая, экономическая и экологическая эффективность выравнивания суточного графика.

A.S. Bondarchuk, V.V. Ponomov. Prognostic evaluation of power, economic and ecological effect of a city's electric load leveling. The method of integrated assessment of efficiency of electric load leveling is offered. On the example of the real information of the Odessa city electric network, the power, economic and ecological efficiency of a daily schedule leveling is shown.

Актуальність проблеми вирівнювання графіків навантаження, з точки зору енергетичного, економічного та екологічного ефекту, є очевидною для всіх країн світу, де є значна нерівномірність споживання електричної енергії протягом доби, а також при нестачі маневрових енергогенерувальних потужностей [1...3]. Здійснення заходів щодо вирівнювання графіків навантаження потребує значно менших коштів, ніж введення у дію нових енергоблоків. Необхідність регулювання графіків навантаження обґрунтована ще в 30-ті роки ХХ ст. в роботах С.А. Кукель-Краєвського. Відтоді вирішенню цих питань присвячені праці багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених [4, 5].

Як відомо, графіки навантаження енергосистеми формуються в залежності від складу і режиму роботи електроприймачів промисловості, транспорту, будівництва, сільського господарства, комунально-побутових споживачів тощо. Сукупність всіх наведених чинників формування конфігурації графіка не завжди відповідає ефективному варіантові, тому виникає необхідність у їх регулюванні, а саме — їх вирівнюванні шляхом перенесення частини електричного споживання з годин максимуму (денного часу) на інший час (нічні години) протягом доби, коли навантаження менше.

Прогностичне оцінювання енергетичного, економічного і екологічного ефекту вирівнювання графіків навантаження розглядається на прикладі реальних даних електроспоживання міста Одеси.

Динаміка навантаження Одеської міської електричної мережі за режимну зимову добу характеризується провалом у нічні години (див. рисунок, крива 1).

Коефіцієнт нерівномірності добового графіка електричного навантаження визначається за формулою

$$\alpha = \frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{мін}}$, $P_{\text{макс}}$ — мінімальне і максимальне електричне навантаження за добу (див. рисунок, крива 1).

За формулою (1) реальний коефіцієнт нерівномірності складає 0,63. Така нерівномірність навантаження негативно відбивається на використанні устаткування електричних станцій, зменшує їх коефіцієнт корисної дії, особливо у літній період. Звідси низький ступінь використання капітальних вкладень, низька ефективність використання енергоресурсів. З цього випливає необхідність у вирівнюванні графіка навантаження протягом доби шляхом упорядкування режиму роботи потужних споживачів міста, основні характеристики яких подані в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика основних споживачів міста

Найменування споживачів	Значення максимуму відносно максимуму енергосистеми, %	
	Ранковий	Вечірній
Промисловість	19,5	10,6
Чорна металургія	1,7	1,9
Кольорова металургія	1,5	1,3
Хімічна та нафтохімічна промисловість	0,6	0,5
Машинобудування і металооброблення	9,1	4,6
Лісова, деревообробна, целюлозова промисловість	0,3	0,2
Промисловість будівельних матеріалів	1,0	0,9
Скляна та порцеляно-фаянсова промисловість	0,1	0,1
Легка промисловість	1,1	0,9
Харчова промисловість	3,2	2,9
Інші промислові виробництва	2,1	1,9
Сільгоспспоживачі	0,1	0,1
Транспорт	3,0	2,9
Будівництво	1,0	1,0
Комунальне господарство	6,7	4,5
Світло, побут та інші невиробничі споживачі	48,8	61,0

Аналіз наведених даних свідчить про те, що найбільший вплив на формування ранкового і вечірнього максимумів виявляють, в першу чергу, такі споживачі міста, як електричне освітлення, побут (48,8 і 61 %), промислові підприємства (19,5 і 10,6 %), підприємства машинобудування і металооброблення (9,1 і 4,6 %), комунальне господарство (6,7 і 4,5 %) та харчова промисловість і транспорт (біля 3 %).

Завданням поглибленого енергетичного аудиту зазначених споживачів є виявлення і реалізація потенціалу енергозбереження [1, 3, 4], прагнучі досягнути, на першому етапі, цільового (на відміну від ідеального, рис.1, пряма 3) вирівнювання добового графіка електроспоживання міста (рис. 1, крива 2) і отримання енергетичного, економічного і екологічного ефекту від запровадження розроблених організаційно-технічних заходів, які дадуть такі прогностичні результати.

Зменшення втрат електроенергії в електричній мережі за рахунок цільового вирівнювання графіка навантаження [3]

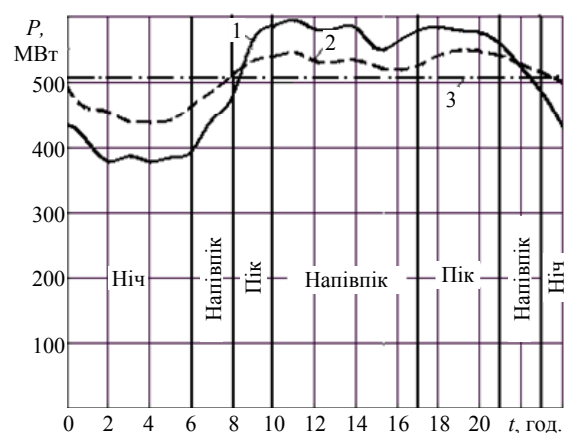
$$\delta W = \Delta W_n \left(1 - \frac{k_{\phi 2}^2}{k_{\phi 1}^2} \right), \quad (2)$$

де ΔW_n — електричні втрати в мережі при коефіцієнті форми $k_{\phi 1}$ до запровадження заходів із вирівнювання графіка навантаження;

$k_{\phi 1}$, $k_{\phi 2}$ — коефіцієнти форми графіка відповідно до і після запровадження заходів із вирівнювання графіка навантаження.

Коефіцієнт форми графіка визначається за відомою формулою [3]

$$k_{\phi} = \frac{1}{P_{\text{сеп}}} \sqrt{\frac{\sum_i p_i^2 t_i}{T}}$$



Графіки навантаження Одеської міської електричної мережі за зимову режимну добу 2008 р.: 1 — реальний; 2 — цільовий за вирівнюванням; 3 — ідеальний за вирівнюванням

(3)

де $P_{\text{сер}}$ — середньодобове електричне навантаження за час T ;

$p_i^2 t_i$ — середньоквадратичне електричне навантаження за час t_i ;

T — період часу дії електричного навантаження.

Припускається, що заходи з цільового вирівнювання привели до форми добового графіка навантаження, що наведений на рисунку 1, крива 2. Визначивши значення коефіцієнта форми до і після запровадження цих заходів за формулою (3) і приймаючи середню величину втрат електроенергії 20,4 % від усієї споживаної електроенергії, отримаємо величину зменшення втрат електроенергії в міській електричній мережі за рахунок цільового вирівнювання графіка навантаження близько 29 МВт·год.

Величина споживаної електричної енергії міста Одеси за зимову режимну добу (рис. 1, крива 1) обчислюється інтерполяванням кубічними сплайнами дискретних значень навантаження за виразом [6]

$$W_{\text{доб}} = \int_0^{24} p l(t) dt . \quad (4)$$

За формулою (4) добове споживання електроенергії складає 12150 МВт·год.

Витрата палива на теплових електричних станціях із урахуванням нерівномірності графіка електричного навантаження визначається за формулою [3]

$$\Delta G = \frac{P_{\text{мін}} T_{\text{макс}} q_0}{\alpha} , \quad (5)$$

де $P_{\text{мін}}$ — мінімальне навантаження за добу;

q_0 — питома витрата палива на вироблення 1 кВт·год;

α — коефіцієнт нерівномірності графіка електричного навантаження.

За попередніми розрахунками за (4) зменшення витрати палива на теплових електричних станціях за рахунок цільового вирівнювання графіка складатиме близько 29,5 т у.п.

Одним із ефективних заходів щодо вирівнювання добових графіків навантаження є диференціювання за зонами доби тарифів за електроенергію. В 1995 р. НКРЕ ввела в практику розрахунків зі споживачами зонні тарифи на електроенергію [7], які формуються шляхом множення на тарифні коефіцієнти (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти до тарифу на електроенергію за зонами

Зона	Січень, лютий, листопад, грудень, год	Березень, квітень, вересень, жовтень, год	Травень, серпень, год.	Коефіцієнт до тарифу
Пік	з 8.00 до 10.00 з 17.00 до 21.00	з 8.00 до 10.00 з 8.00 до 22.00	з 8.00 до 11.00 з 20.00 до 23.00	1,68 з 01.12.2009 р.
Напівпік	з 6.00 до 8.00 з 10.00 до 17.00 з 21.00 до 23.00	з 6.00 до 8.00 з 10.00 до 18.00 з 22.00 до 23.00	з 7.00 до 8.00 з 11.00 до 20.00 з 23.00 до 24.00	1,02
Ніч	з 23.00 до 6.00	з 23.00 до 6.00	з 24.00 до 7.00	0,35 з 01.12.2009 р.

Така система оплати за електроенергію направлена на зацікавленість споживачів у споживанні позапікової електроенергії з метою вирівнювання навантаження в енергосистемі.

Світова практика і реальні витрати підтверджують той факт, що тарифи для побутових споживачів повинні перевищувати рівень промислових не менше ніж на 40 %.

Враховуючи наведене, перенесення частини електричного навантаження на позапіковий час, за який тарифи нижчі порівняно з тарифом у піковий час, економічний ефект складатиме різницю вартості C_1 споживаної електроенергії до цільового вирівнювання і вартості C_2 після цільового вирівнювання графіка, які визначаються за виразами:

$$C_1 = c_{\text{нч}} \left(\int_0^6 p1(t)dt + \int_{23}^{24} p1(t)dt \right) + c_{\text{нп}} \left(\int_6^8 p1(t)dt + \int_{10}^{17} p1(t)dt + \int_{21}^{23} p1(t)dt \right) + c_{\text{п}} \left(\int_8^{10} p1(t)dt + \int_{17}^{21} p1(t)dt \right), \quad (6)$$

$$C_2 = c_{\text{нч}} \left(\int_0^6 p2(t)dt + \int_{23}^{24} p2(t)dt \right) + c_{\text{нп}} \left(\int_6^8 p2(t)dt + \int_{10}^{17} p2(t)dt + \int_{21}^{23} p2(t)dt \right) + c_{\text{п}} \left(\int_8^{10} p2(t)dt + \int_{17}^{21} p2(t)dt \right), \quad (7)$$

де $c_{\text{нч}}$, $c_{\text{нп}}$, $c_{\text{п}}$ — вартість електроенергії з ПДВ за тарифними зонами “ніч”, “напівпік”, “пік”.

За попередніми розрахунками економічний ефект від цільового вирівнювання графіка складатиме близько 276 тис. грн.

Зменшення втрат електроенергії в електричних мережах та економія витрати палива на електричних станціях від цільового вирівнювання графіка навантаження приведе до позитивного екологічного ефекту — зменшенню шкідливих викидів у навколишнє середовище.

За попередніми розрахунками щодобові викиди парникових газів зменшаться на 78,7 т за рахунок зменшення втрат електроенергії в електричних мережах від цільового вирівнювання графіка навантаження.

Зменшення витрати палива на теплових електричних станціях від цільового вирівнювання графіка навантаження приведе до зменшення викидів парникових газів на 80,1 т.

Енергетичний, економічний і екологічний ефекти від цільового вирівнювання графіка електричного навантаження міста за режимну зимову добу подані в табл. 3.

Таблиця 3

Ефекти від цільового вирівнювання графіка електричного навантаження

Енергетичний ефект	Економічний ефект	Екологічний ефект
Економія 58,5 т у.п.	276 тис. грн	Зменшення викидів парникових газів на 158,8 т

Отримані результати попередніх розрахунків за запропонованим методом переконливо свідчать про необхідність розробки і запровадження заходів із вирівнювання графіків електричного навантаження міста, які дають суттєвий енергетичний, економічний і екологічний ефект.

Література

1. Прокопенко, В.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: навч. посіб. / В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний. — К.: Освіта України, 2008. — 438 с.
2. Праховник, А.В. Енергетический менеджмент / А.В. Праховник, О.І. Соловей, В.В. Прокопенко. — К.: ІЕЕ НТУУ “КПІ”, 2001. — 472 с.
3. Розумний, Ю.Т. Енергозбереження: навч. посіб. / Ю.Т. Розумний, В.Т. Заїка, Ю.В. Степаненко. — Дніпропетровськ: НГУ, 2005. — 166 с.
4. Енергетичний аудит об'єктів житлово-комунального господарства / В.П. Розен, О.І. Соловей, С.В. Бржестовський та ін. — К.: ПП ВКФ “Дельта Фокс”, 2007. — 224 с.
5. Bunn, D.W. Comparative models for electrical load forecasting / D.W. Bunn, E.D. Farmer. — Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Jone & Sons, 1985. — 200 p.
6. Алгоритмізація, програмування, числові та символічні обчислення в пакеті MathCAD: навч. посіб. / Я.С. Паранчук, А.В. Маляр, Р.Я. Паранчук, І.Р. Головач. — Львів: Львів. політехніка, 2008. — 164 с.
7. Ціни та тарифи [Електронний ресурс] / НКРЕ. — К., 1995. — www.nerc.gov.ua. — 23.12.09.

Рецензент канд. техн. наук, Інженер. акад. України Ніколенко В.О.

Надійшла до редакції 28 вересня 2009 р.