

## ВРАХУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕНЕРГОЄМНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ ПРИ КОРОТКОСТРОКОВОМУ ПРОГНОЗУВАННІ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

П.О.Черненко, О.В.Мартинюк, В.О.Мірошник

Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

e-mail: [cher@ied.org.ua](mailto:cher@ied.org.ua)

*Показано переваги врахування споживання електроенергії енергоємними підприємствами (ЕП) при розв'язанні задачі короткострокового прогнозування сумарного електричного навантаження (СЕН) енергосистеми (ЕЕС). Проведено моделювання і прогнозування СЕН ЕЕС на основі ансамблю штучних нейронних мереж. Виділення в окрему компоненту електричного навантаження ЕП дозволило вдосконалити математичні моделі впливу на СЕН метеорологічних факторів та підвищити точність результатів короткострокового прогнозування СЕН ЕЕС із переважно промисловим навантаженням. Бібл. 3, табл. 2, рис. 2.*

**Ключові слова:** енергосистема, електричне навантаження, короткострокове прогнозування, енергоємні підприємства, штучна нейронна мережа.

У практиці електроенергетичних систем найбільш часто розв'язується задача короткострокового (з упередженням від однієї до семи діб) прогнозування сумарного електричного навантаження, за результатами якого вирішується багато технологічних задач планування режимів ЕЕС. Актуальність цієї задачі посилюється у зв'язку з переходом об'єднаної електроенергетичної системи України від ринку єдиного покупця до ринку двосторонніх договорів та балансуєного ринку електричної енергії. Так, на відміну від існуючої, в перспективній моделі короткострокові прогнози СЕН є вихідною інформацією для формування заявок щодо об'єму електроенергії при укладанні договорів між суб'єктами енергоринку – енергогенеруючими та електропостачальними компаніями (а також потужними електроспоживачами). Таким чином одночасно із підвищенням вимог щодо точності та надійності короткострокових прогнозів СЕН розширюється коло суб'єктів прогнозування [2].

У більшості опублікованих робіт, присвячених короткостроковому прогнозуванню СЕН, враховується вплив лише метеорологічних факторів (температури повітря, хмарності тощо) [1]. Проведені в даній роботі дослідження показали, що неврахування таких технологічних факторів як режим роботи енергоємних підприємств призводить до виникнення аномальних похибок у результатах короткострокового прогнозування.

Незважаючи на тенденцію до зменшення, що спостерігається в останні роки, частка споживання електроенергії промисловістю України становить понад 42% від загального електроспоживання. Особливістю промисловості України є наявність у ній 51 енергоємного підприємства (металургійного, гірничо-збагачувального та нафтохімічного комплексів), що споживають близько половини електроенергії всієї галузі промисловості. Переважна більшість (40) цих підприємств розташована на сході країни у двох регіональних енергосистемах (Дніпровській та Донбаській ЕЕС). На Дніпропетровську область припадає 16 енергоємних підприємств, що знаходяться на добовому контролі в Держенергонагляді. Це такі металургійні гіганти як Нікопольський феросплавний завод, Північний, Південний та Центральний ГЗК, Арселор Міттал. Частка споживання електроенергії 16-ти енергоємних підприємств становить 48% від усього електроспоживання області. Таким чином, процеси споживання електроенергії енергоємними підприємствами суттєво впливають на форму добового графіка СЕН

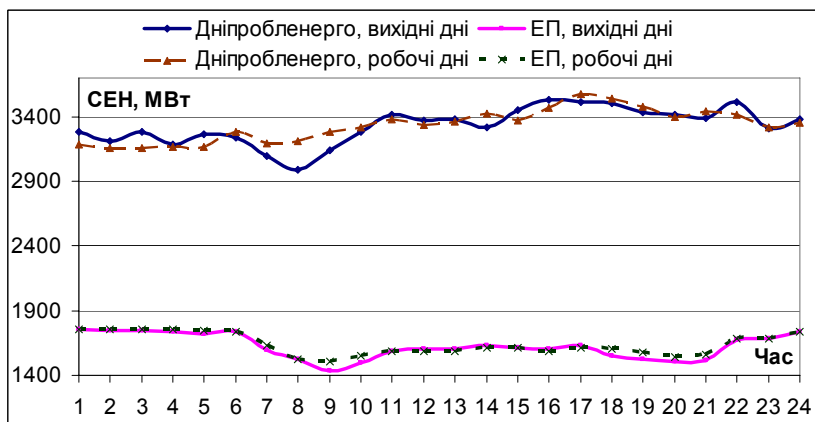


Рис. 1

ПАТ «Дніпрообленерго». Безперервний робочий цикл цих ЕП та інтенсивне використання багатотарифного обліку спожитої електроенергії призводять до вирівнювання добового графіка обленерго та нівелювання різниці між СЕН за робочі і неробочі дні (рис. 1).

Короткострокове прогнозування СЕН ПАТ «Дніпрообленерго» проводилося за двома алгоритмами: безпосереднього моделювання сумарного електричного навантаження обленерго, а також шляхом побудови окремих моделей для промислової (енергоємні підприємства) та умовно комунально-побутової (решта споживачів)

вачів) складових СЕН. Як вихідна інформація використовувалися:

- добові графіки погодинних значень СЕН ПАТ «Дніпрообленерго» за період 21.10.13–29.12.13;
- добові графіки погодинних значень суми електричних навантажень 16-ти підприємств області за аналогічний період;
- погодинні значення температури повітря по м. Дніпропетровськ;
- погодинні значення хмарності в балах (1–10).

Встановлено, що метеорологічні фактори на електричне навантаження енергоємних підприємств впливають несуттєво. Навіть із урахуванням ефекту інерційності впливу, коефіцієнт кореляції між температурою повітря і сумою електричних навантажень енергоємних підприємств не перевищує (-)0,42. При цьому, коефіцієнт кореляції між комунально-побутовою частиною електричного навантаження ПАТ «Дніпрообленерго» та температурою повітря перевищує (-)0,64, що свідчить про можливість більш коректного врахування впливу метеофакторів у математичній моделі СЕН.

Таблиця 1

Вхідні дані	Умовно ком.- побутове навантаження	Навантаження ЕП	СЕН Дніпробл.
Ретроспективні значення навантаження, МВт	P(t-24)	P(t-24)	P(t-24)
	P(t-25)	P(t-25)	P(t-25)
	P(t-26)	P(t-48)	P(t-26)
	P(t-47)	P(t-72)	P(t-27)
	P(t-48)	P(t-96)	P(t-47)
	P(t-49)	P(t-120)	P(t-48)
	P(t-72)	P(t-144)	P(t-49)
		P(t-168)	P(t-71)
		P(t-72)	

Як оператор прогнозування використовувався ансамбль штучних нейронних мереж типу багат шаровий перцептрон. У результаті проведеного кореляційного аналізу вихідних даних сформовано навчальну вибірку для трьох груп нейронних мереж, що складається із трьох наступних блоків: ретроспективні дані про електричне навантаження (табл. 1), календарні та метеорологічні фактори. До блоку календарних факторів включено номер години та порядок дня в тижні. Вплив метеорологічних факторів враховувався двома метеопараметрами: хмарністю (в балах) та ефективною температурою повітря ( $T_{\text{эф}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), що враховувала затримку реакції

споживання потужності при зміні температури [3].

Для кожного варіанту прогнозування було обрано 10 мереж з різним числом нейронів у прихованому шарі. Мережі вибиралися в процесі навчання на основі критерію мінімуму похибки узагальнення. Кожна мережа представляє собою багат шаровий перцептрон з одним прихованим шаром нейронів. За активаційну функцію як для прихованого, так і вихідного шарів було вибрано експоненційну функцію. Навчання мереж відбувалося за допомогою алгоритму Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно. Результатом прогнозування є медіанне значення прогнозів цих мереж. Прогнозування здійснювалося щодобово на тижневий інтервал з 16.12.13 р. по 22.12.13 р., який не був включений у навчальну вибірку. Відносні похибки прогнозування СЕН ПАТ «Дніпрообленерго» за двома підходами показані на рис. 2 та в табл. 2.

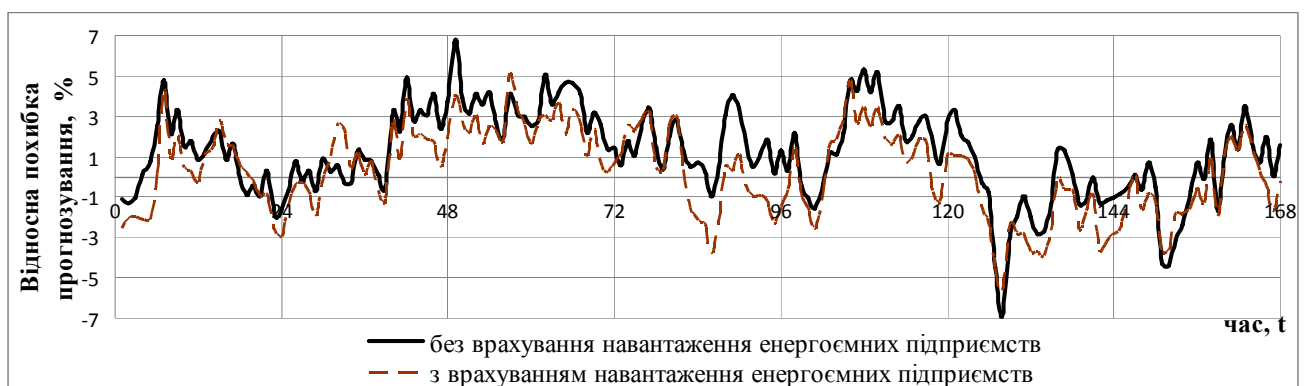


Рис. 2

Відповідно до наведених результатів врахування електричного навантаження енергоємних підприємств дозволило зменшити середню похибку прогнозування СЕН ПАТ «Дніпрообленерго» на 8% і забезпечило зниження екстремальної похибки з 7% до 5,6%.

Зменшення середньоквадратичного відхилення похибки прогнозування та наближення до нуля її середнього значення свідчить про підвищення стабільності результатів прогнозування при такому підході.

Таблиця 2

Характеристики точності прогнозування	Без урахування навантаження ЕП, %	З урахуванням навантаження ЕП, %	Відносне зменшення похибки прогнозування, %
Середня абсолютна відсоткова похибка (МАРЕ)	1,98	1,82	-7,99
Максимальна похибка	6,95	5,60	-19,47
Середньоквадратичне відхилення похибки	1,46	1,14	-22,25
Середнє значення похибки	1,16	0,21	-81,90

**Висновки**

1. У структурі промисловості України знаходиться 51 енергоємне підприємство, які споживають близько 20% всієї електроенергії, що виробляється в енергооб'єднанні України. Споживання електроенергії цими підприємствами, в першу чергу, залежить від

економічних і, практично, не залежить від метеорологічних факторів. Наявність інформації про добові графіки електричного навантаження цих підприємств дозволяє виділити умовно комунально-побутову складову СЕН енергосистеми.

2. Виділення в окрему компоненту електричного навантаження ЕП дозволяє вдосконалити математичні моделі впливу метеорологічних факторів на СЕН комунально-побутового сектору та підвищити точність і стабільність результатів короткострокового прогнозування СЕН ЕЕС із перевагою промислового навантаження.

УДК 621.311:681.3

**УЧЕТ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭНЕРГОЕМКИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ПРИ КРАТКОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

**П.А. Черненко, А.В. Мартынюк, В.О. Мирошник**

**Институт электродинамики НАН Украины,**

**пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.**

**e-mail: cher@ied.org.ua.**

*В работе показаны преимущества учета потребления электроэнергии энергоемкими предприятиями (ЭП) при решении задачи краткосрочного прогнозирования суммарной электрической нагрузки (СЭН) энергосистемы (ЕЭС). Проведено моделирование и прогнозирование СЭН ЕЭС на основе ансамбля искусственных нейронных сетей. Выделение в отдельную компоненту электрической нагрузки ЭП позволило усовершенствовать математические модели влияния на СЭН метеорологических факторов и повысить точность результатов краткосрочного прогнозирования СЭН в ЕЭС с преобладанием промышленной нагрузки. Библи. 3, табл. 2, рис. 2.*

**Ключевые слова:** энергосистема, электрическая нагрузка, краткосрочное прогнозирование, энергоемкие предприятия, искусственная нейронная сеть.

**ACCOUNTING FOR ELECTRICITY CONSUMPTION OF ENERGY ENTERPRISES FOR SHORT – TERM FORECASTING OF ELECTRICAL LOAD OF POWER SYSTEM**

**Chernenko P., Martyniuk O., Miroshnyk V.**

**Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,**

**pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.**

**e-mail: [cher@ied.org.ua](mailto:cher@ied.org.ua).**

*The paper demonstrates the benefits of metering electricity of intensive enterprises (IE) in solving the problem of short-term forecasting of the total electrical load (TEL) of power system (PS). The modeling and forecasting of TEL PS based on using of artificial neural networks. The correctness of preparation of original data for the network training was provided preliminary statistical analysis of information. Decomposition of the total electrical load with the release in a separate component the loads of intensive enterprises allowed to improve mathematical models of influence on TEL of meteorological factors and improve the accuracy of the short-term forecasting TEL in the PS with a predominance of industrial load. References 3, tables 2, figures 2.*

**Keywords:** power system, electrical load, short-term forecasting, energy-intensive industries, artificial neural network.

1. Bansal R.C., Pandey J.C. Load forecasting using artificial intelligence techniques: a literature survey // International Journal of Computer Applications in Technology. – Vol. 22. – 2005. – Pp. 109 – 119. (Eng)

2. Martyniuk O., Chernenko P. Algorithms and software for three-level short-term electric load forecasting of united power system of Ukraine // Enerhetyka ta Elektryfikatsiia. – № 7. – 2012. – Pp. 3 – 8. (Ukr)

3. Chernenko P., Martyniuk O., Popov S., Bodyanskiy Ye. Comparative analysis of two approaches to solving the problem of short-term forecasting of the total electrical load of power system // Tekhnichna elektrodynamika. – № 3. – 2013. – Pp. 61–72. (Ukr)

Надійшла 17.02.2014