

УДК 621.311

П.П. КОБРІН, кандидат технічних наук (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРОГНОЗНИХ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ ТА ПОКАЗНИКІВ ЇХ ФОРМИ

Наведено дослідження та аналіз перспективних графіків електричного навантаження Об'єднаної енергосистеми України, отримані за методом формових відображень.

На сьогодні актуальність вирішення питань щодо визначення та оцінки перспективних режимів роботи Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України зумовлено її сучасним станом та неоптимальною структурою генеруючих потужностей [1]. Відомо, що переважна більшість генеруючого блочного обладнання ОЕС України перевищила гарантований експлуатаційний ресурс, є фізично та морально застарілою, а якість виробленої електричної енергії не завжди відповідає європейським нормам і стандартам.

Як ніколи гостро, постає проблема розробки оптимальної структури генеруючих потужностей ОЕС України, яка б не лише забезпечувала надійне та якісне енергоспоживання економіки держави, а й враховувала експортний потенціал енергосистеми, що сприятиме її входженню до потужного Європейського енергетичного об'єднання UCTE<sup>1</sup>. Все це визначає необхідність і доцільність проведення системних досліджень з формування перспективних графіків електричного споживання економікою держави та графіків електричного навантаження (ГЕН) ОЕС (з урахуванням втрат і графіків навантаження експорту), які є вихідною інформацією для розробки структури генеруючих потужностей, проведення оптимізаційних розрахунків з розвитку енергосистеми тощо. Враховуючи велику інерційність і капіталомісткість розвитку паливно-енергетичного комплексу, значні терміни будівництва нових та реконструкції діючих енергетичних об'єктів, постає необхідність перспективного прогнозування на період не менш як 25-30 років [2].

У роботах фахівців Інституту загальної енергетики (ІЗЕ) НАН України висвітлювались питання з аналізу тенденцій зміни режимів електроспоживання в Україні [3] та деяких країн Європи [4]. Крім того, показано недоцільність використання існуючих методів прогнозування [5] та запропоновано принципово новий метод прогно-

зування на довгострокову перспективу графіків електричного навантаження ОЕС [6], який враховує наявність перехідного періоду економіки. Для України цей період характеризувався різкою зміною основних тенденцій електроспоживання та структури і тривав з 1991-го по 1999 рр.

Дослідження та аналіз перспективних графіків електричного навантаження (рис. 1 і рис. 2), отриманих за допомогою методу формових відображень (МФВ) та програмно-інформаційного комплексу (ПК) "ПРОГНОЗ"<sup>2</sup>, дають вичерпну інформацію щодо очікуваних у перспективі показників навантаження енергосистеми та показників енергоспоживання економікою України.

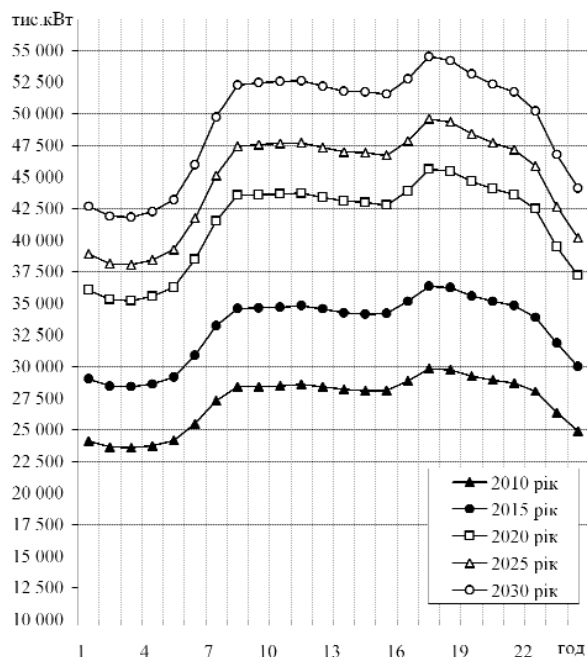
З огляду на інформативність, найбільшу зацікавленість викликає довгостроковий прогноз зміни зимового ГЕН ОЕС та його основних показників, хоча без літнього ГЕН та його показників загальна картина річного навантаження ОЕС буде неповною.

Результати розрахунків перспективних параметрів і форми ГЕН ОЕС України нетто (споживання галузями економіки) у добу зимового максимуму, отримані за допомогою розробленого методу МФВ і ПК "ПРОГНОЗ" (табл. 1), свідчать про те, що на період до 2030 року за базовим варіантом розвитку економіки ріст максимуму навантаження на 2030 рік становитиме 2,72 разу, за песимістичним сценарієм – 2,21 разу, за оптимістичним – 3,07 разу. Розуцільнення добового ГЕН становить за базовим сценарієм – 1,42%, за песимістичним – 0,76%, за оптимістичним – 1,53%.

Результати розрахунків перспективних параметрів і форми ГЕН ОЕС України брутто в добу зимового максимуму, свідчать про те, що на період до 2030 року за базовим сценарієм розвитку економіки ріст максимуму навантаження на 2030 рік становитиме 2,17 разу, за песимістичним сценарієм – 2,43 разу, за оптимістичним – 1,8 разу.

<sup>1</sup> Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity.

<sup>2</sup> Програмно-інформаційний комплекс "ПРОГНОЗ" розроблений в ІЗЕ НАН України та орієнтований на використання фахівцями ОЕС країни з проблематики прогнозування розвитку енергосистем як на регіональному, так і на рівні об'єднаних енергосистем. Комплекс забезпечує вибірку, збереження та обіг інформації, що спрямована на вирішення задач довгострокового прогнозування ГЕН ОЕС, до його складу входить база даних режимів електроспоживання ОЕС України за період 1991-2002 рр.



**Рис. 1.** Графіки електричного навантаження нетто ОЕС України на період до 2030 року за базовим сценарієм розвитку (доба зимового максимуму)

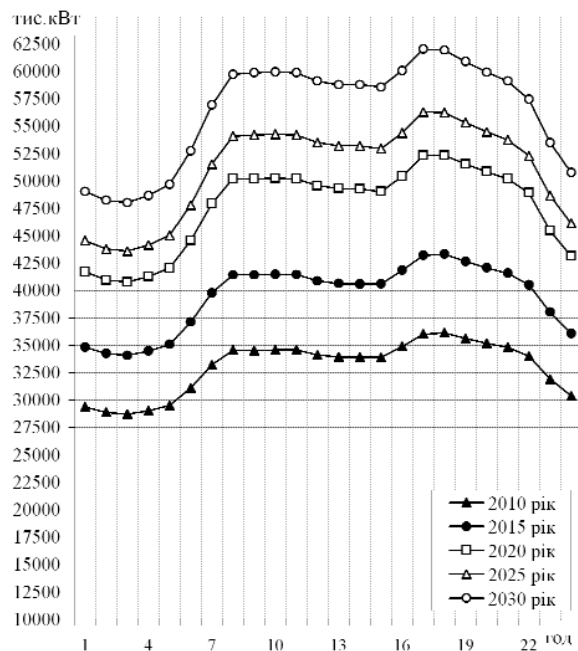
Розуцільнення добового ГЕН становить: за базовим сценарієм – 1,09%, за песимістичним – 0,76%, за оптимістичним – 0,44%.

Загалом за результатами прогнозу очікується поступове зменшення річного числа годин використання максимуму навантаження ОЕС за базовим сценарієм з 5917 до 5562 год (6%), за песимістичним – до 5537 год (6,42%), за оптимістичним – до 5744 год (2,92%).

Згідно з отриманими прогнозними даними для літнього періоду (табл. 2) ріст максимуму навантаження нетто на 2030 рік становитиме: за базовим сценарієм – 2,29 разу, за песимістичним – 1,98 разу, за оптимістичним – 3,09 разу. Розуцільнення форми добового ГЕН становитиме за базовим сценарієм – 1,61%, за песимістичним – 1,4%, за оптимістичним – 1,83 %.

Згідно з отриманими прогнозними даними для літнього періоду ріст максимуму навантаження нетто на 2030 рік становитиме: за базовим сценарієм – 2,31 разу, за песимістичним – 2,63 разу, за оптимістичним – 1,93 разу. Розуцільнення форми добового ГЕН становитиме: за базовим сценарієм – 1,71%, за песимістичним – 1,82%, за оптимістичним сценарієм – 1,6%.

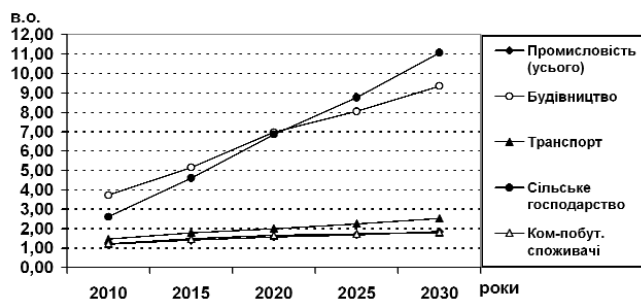
З наведених даних можна бачити, що структурні зміни в електроспоживанні галузей економіки на перспективу, найвірогідніше, суттєво не впливатимуть на режими роботи ОЕС України, якщо супроводжуватимуться адекватними заходами тарифного регулювання, яке б стимулювало



**Рис. 2.** Графіки електричного навантаження бруutto ОЕС України на період до 2030 року за базовим сценарієм розвитку (доба зимового максимуму)

споживачів, особливо комунально-побутового сектору, до перенесення навантаження з годин максимальних навантажень у зони напівпікового навантаження та на нічні години.

Незначні зміни в структурі електроспоживання зумовлено тим, що більшість галузей у структурі становлять незначну частку, хоча мають найвищі темпи розвитку (рис. 3). Це такі галузі, як сільське господарство та будівництво (відповідно річне електроспоживання зростає в 11,1 та 9,4 разу на період до 2030 року). В перспективі їх частка у структурі електроспоживання залишатиметься незначною порівняно з такими галузями, як промисловість і комунально-побутові споживачі (КПС) – ключові галузі економіки. Динаміка росту електроспоживання ключових галузей є майже однаковою (рис. 4). Відносно базового (2001) року електроспоживання промисловості зростає у 1,86 разу, а КПС у 1,8 разу.



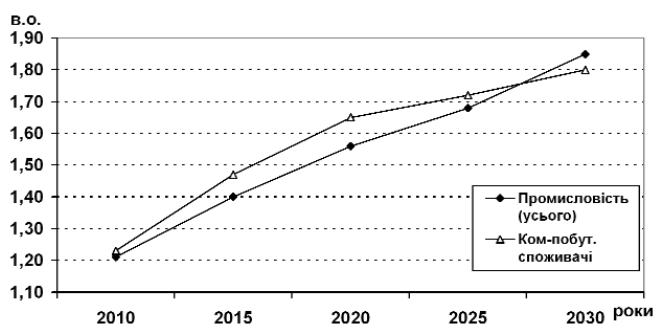
**Рис. 3.** Динаміка зміни індексів росту електроспоживання галузей національної економіки на період до 2030 року

**Таблиця 1.** Параметри електроспоживання та форми суміщених графіків електричного навантаження ОЕС України на період до 2030 року за сценаріями розвитку (доба зимового максимуму)

рік	Сценарій розвитку	$W_{\text{нетто доб}}$ , тис.кВт·год	$P_{\text{макс}}$ , тис.кВт	$P_{\text{баз}}$ , тис.кВт	$P_{\text{пік}}$ , тис.кВт	$P_{\text{пік}}$ , тис.кВт	$T_{\text{макс.рік}}$ , год	$k_{\text{зап}}$ в.о.	$k_{\text{нер}}$ в.о.
<b>Навантаження нетто</b>									
2010	базовий	653 464	29 841	23 586	4 511	1 745	5 323	0.912	0.790
	песимістичний	581 253	26 446	21 120	3 862	1 464	5 602	0.916	0.799
	оптимістичний	690 355	31 432	25 012	4 770	1 650	5 433	0.915	0.796
2015	базовий	792 860	36 347	28 410	5 728	2 210	5 335	0.909	0.782
	песимістичний	678 752	30 959	24 520	4 743	1 697	5 496	0.914	0.792
	оптимістичний	833 312	38 204	29 813	6 226	2 165	5 378	0.909	0.780
2020	базовий	991 516	45 622	35 209	7 772	2 640	4 918	0.906	0.772
	песимістичний	781 975	35 807	28 007	5 919	1 880	5 398	0.910	0.782
	оптимістичний	1 055 685	48 644	37 361	8 496	2 787	4 948	0.904	0.768
2025	базовий	1 076 798	49 596	38 053	8 867	2 676	4 963	0.905	0.767
	песимістичний	869 815	39 826	31 068	6 861	1 897	5 360	0.910	0.780
	оптимістичний	1 172 926	54 071	41 320	9 948	2 804	4 887	0.904	0.764
2030	базовий	1 184 464	54 530	41 814	9 913	2 803	5 034	0.905	0.767
	песимістичний	970 336	44 382	34 646	7 765	1 971	5 352	0.911	0.781
	оптимістичний	1 337 661	61 628	47 061	11 565	3 002	4 881	0.904	0.764
<b>Навантаження бруто</b>									
2010	базовий	793 027	36 133	28 716	5 184	2 233	5 713	0.914	0.795
	песимістичний	844 388	38 056	30 744	5 337	1 974	5 834	0.925	0.808
	оптимістичний	726 618	32 991	26 460	4 568	1 962	5 831	0.918	0.802
2015	базовий	947 282	43 305	34 088	6 492	2 725	5 669	0.911	0.787
	песимістичний	999 748	45 354	36 011	6 849	2 494	5 734	0.918	0.794
	оптимістичний	829 672	37 723	30 064	5 475	2 184	5 788	0.916	0.797
2020	базовий	1 142 243	52 338	40 749	8 256	3 332	5 540	0.909	0.779
	песимістичний	1 213 830	55 433	43 249	8 963	3 222	5 558	0.912	0.780
	оптимістичний	936 876	42 690	33 698	6 667	2 324	5 738	0.914	0.789
2025	базовий	1 227 525	56 284	43 593	9 607	3 084	5 596	0.909	0.775
	песимістичний	1 343 781	61 413	47 684	10 586	3 143	5 537	0.912	0.776
	оптимістичний	1 024 077	46 676	36 737	7 583	2 356	5 729	0.914	0.787
2030	базовий	1 353 287	62 018	48 020	10 724	3 274	5 562	0.909	0.774
	песимістичний	1 521 432	69 525	53 907	12 224	3 394	5 537	0.912	0.775
	оптимістичний	1 127 860	51 369	40 436	8 499	2 434	5 744	0.915	0.787

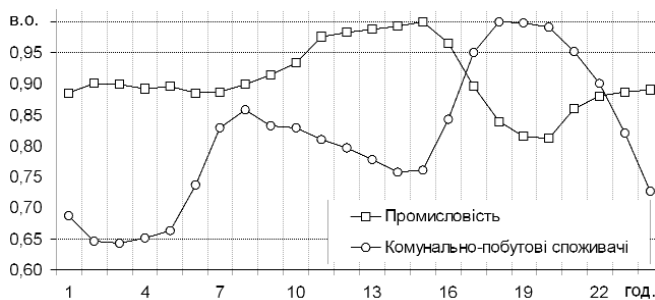
**Таблиця 2.** Параметри електроспоживання та форми суміщених графіків електричного навантаження ОЕС України на період до 2030 року за сценаріями розвитку (літній період)

рік	Сценарій розвитку	$W_{\text{нетто доб}}$ , тис.кВт·год	$P_{\text{макс}}$ , тис.кВт	$P_{\text{баз}}$ , тис.кВт	$P_{\text{пік}}$ , тис.кВт	$P_{\text{пк}}$ , тис.кВт	$k_{\text{зап}}$ в.о.	$k_{\text{нер}}$ в.о.
<b>Навантаження нетто</b>								
2010	базовий	418 158	18 769	14 925	2 900	944	0.928	0.795
	песимістичний	390 013	17 451	14 030	2 526	896	0.931	0.804
	оптимістичний	500 916	22 476	17 962	3 113	1 402	0.929	0.799
2015	базовий	511 265	22 971	18 032	3 757	1 182	0.927	0.785
	песимістичний	449 246	20 150	16 053	3 041	1 056	0.929	0.797
	оптимістичний	593 645	26 785	20 904	3 970	1 912	0.923	0.78
2020	базовий	591 961	26 698	20 658	4 422	1 618	0.924	0.774
	песимістичний	510 736	23 078	18 033	3 487	1 558	0.922	0.781
	оптимістичний	764 965	34 617	26 547	5 062	3 008	0.921	0.767
2025	базовий	651 556	29 597	22 555	4 814	2 227	0.917	0.762
	песимістичний	565 510	25 671	19 906	3 764	2 002	0.918	0.775
	оптимістичний	854 524	38 909	29 467	5 571	3 871	0.915	0.757
2030	базовий	728 520	33 171	25 182	5 236	2 754	0.915	0.759
	песимістичний	630 502	28 662	22 204	4 059	2 399	0.917	0.775
	оптимістичний	978 656	44 667	33 680	6 271	4 716	0.913	0.754
<b>Навантаження бруто</b>								
2010	базовий	542 299	24 633	19 358	3 622	1 653	0.917	0.786
	песимістичний	580 866	26 000	20 854	4 045	1 101	0.931	0.802
	оптимістичний	490 358	22 194	17 614	3 269	1 310	0.921	0.794
2015	базовий	644 106	29 235	22 789	4 436	2 010	0.918	0.780
	песимістичний	681 561	30 554	24 085	4 969	1 500	0.929	0.788
	оптимістичний	565 211	25 504	20 188	3 708	1 608	0.923	0.792
2020	базовий	798 766	36 267	28 004	5 271	2 992	0.918	0.772
	песимістичний	847 850	38 177	29 533	6 030	2 614	0.925	0.774
	оптимістичний	641 645	28 904	22 696	4 196	2 012	0.925	0.785
2025	базовий	858 361	38 868	29 901	5 663	3 304	0.920	0.769
	песимістичний	945 519	42 794	32 765	6 586	3 443	0.921	0.766
	оптимістичний	709 489	32 088	25 036	4 491	2 561	0.921	0.780
2030	базовий	945 323	42 878	32 897	6 142	3 838	0.919	0.767
	песимістичний	1 076 487	48 844	37 225	7 364	4 256	0.918	0.762
	оптимістичний	790 024	35 775	27 895	4 813	3 067	0.920	0.780



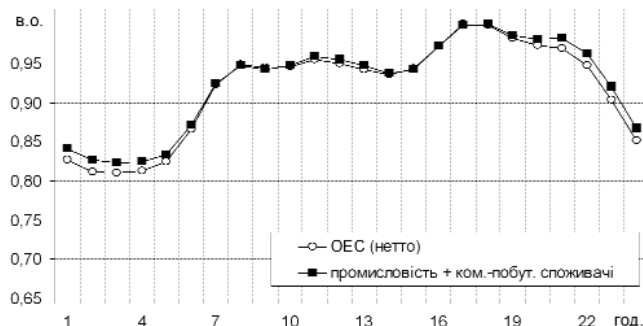
**Рис. 4.** Динаміка зміни індексів росту електроспоживання промисловості та комунально-побутових споживачів на період до 2030 року

Зі співставлення форми добових ГЕН промисловості та КПС у зимовий період (рис. 5) можна бачити, що росту максимуму навантаження комунально-побутових споживачів відповідають провали навантаження промисловості.



**Рис. 5.** Співставлення форми ГЕН промисловості та комунально-побутових споживачів у добу зимового максимуму навантаження, 2001 рік

Втім, з рис. 6 можна бачити, що форми суміщеного ГЕН ОЕС України і суміщеного ГЕН промисловості та комунально-побутових споживачів є майже однаковими. Взаємокомпенсація таких коливань відбувається завдяки суперпозиції їх ГЕН, оскільки вони займають приблизно рівні частки в структурі електроспоживання.



**Рис. 6.** Співставлення форми суміщеного ГЕН ОЕС України і суміщеної форми ГЕН промисловості та комунально-побутових споживачів (доба зимового максимуму, 2000 рік)

Отже, можна підсумувати, що вплив решти галузей національної економіки на формування суміщеного ГЕН ОЕС України є мінімальним.

При проведенні корекції прогнозних ГЕН (за винятком ГЕН експорту) коефіцієнти еластичності попиту  $\epsilon$  обрано в межах 0,005-0,015, що відповідають показникам деяких європейських країн. Відповідно до рекомендацій НКРЕ України співвідношення для тарифів відносно середньодобового споживання становить 0,25, 1 та 2 відповідно для базової, напівпікової та пікової зон навантажень. Результати розрахунків свідчать, що за  $\epsilon = 0,015$  форма прогнозного добового ГЕН ОЕС України нетто ущільнюється з 0,905 до 0,912 (доба зимового максимуму навантаження 2030 року) за рахунок збільшення навантаження в базовій частині на 1,1% і зменшення на 1,5% у піковій.

У зв'язку з наведеним вище, особливої ваги набувають питання введення до складу ОЕС України потужних споживачів-регуляторів (СР), розосереджених територією України, з можливістю централізованого управління. Працюючи на "вирівнювання" форми ГЕН КПС саме в години провалу навантаження (глибокий нічний провал споживання КПС) і в години напівпікового навантаження ОЕС, споживачі-регулятори змогли б забезпечити суттєву економію палива, яке втрачається на регулювання потужності, включаючи пуск-зупинку вугільних енергоблоків у нічний провал, економію водного ресурсу гідроелектростанцій тощо. Необхідність розосередження СР зумовлена різними рівнями та особливостями споживання електричної енергії регіонами України (промисловий характер або сільськогосподарський, особливості та стан теплостачання, наявність потужних електричних станцій тощо). Зосередження СР у регіонах з найбільш нерівномірним навантаженням протягом доби сприятиме зменшенню технологічних втрат електричної енергії на перетоках потужності в лініях електропередач, так само і для потужних електричних станцій.

Результати дослідження було використано як вихідну інформацію при розробці перспективної структури генеруючих потужностей ОЕС України на період до 2030 року, що ввійшла до складу Енергетичної стратегії України на період до 2030 року і подальшу перспективу.

## Висновки

1. З використанням методу формових відображень отримано та обґрунтовано графіки електричних навантажень ОЕС України та їх пара-

метри за трьома сценаріями (базовий, оптимістичний, песимістичний) розвитку економіки України на період до 2030 року.

2. Результати перспективних розрахунків ГЕН ОЕС України дозволяють стверджувати, що в перспективі слід очікувати на певне розуцільнення річних ГЕН ОЕС України.

3. Результати проведених досліджень з коригування прогнозних ГЕН ОЕС України дозволяють зробити висновок про те, що врахування та-

рифного фактору та коефіцієнтів еластичності попиту споживачів сприятиме ущільненню прогнозних ГЕН. Це дозволяє стверджувати про доцільність введення диференційованих тарифів на електричну енергію.

4. Особливої ваги набувають питання введення до складу ОЕС України потужних споживачів-регуляторів. Працюючи на ущільнення форми ГЕН ОЕС, вони змогли б забезпечити суттєву економію палива, особливо вугільних електростанцій.

---

1. Паливно-енергетичний комплекс України / Під ред. А.К. Шидловського, Є.І. Удода. – Київ: Всеукраїнський енергетичний комітет, 2000. – 48 с.

2. Енергетична безпека України: чинники впливу, тенденції розвитку / Під ред. М.П. Ковалка, А.К. Шидловського, В.П. Кухаря. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 1998. – 160 с.

3. Дубовський С.В., Кобрін П.П. Аналіз тенденцій зміни режимів електроспоживання в Україні // Технічна електродинаміка. – 2003. – №3. – С. 73-77.

4. КОБРІН П.П. Основні показники графіків електричного навантаження країн Європи // Проблеми загальної енергетики. – 2002. – №7. – С. 69-70.

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

6. Кулик М.М., Дубовський С.В., Кобрін П.П. Прогнозування графіків електричних навантажень Об'єднаної енергосистеми на довгострокову перспективу // Проблеми загальної енергетики. – 2004. – №10. – С. 7-11.