

# ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗВИТКУ ТА УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

УДК 621.311

**В.Д. БІЛОДІД**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**В.О. ДЕРІЙ**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
Інститут загальної енергетики НАН України,  
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

## ОЦІНКА ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЯК РЕГУЛЯТОРІВ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

*В роботі зроблена оцінка величин потужностей електричних теплогенераторів (ЕТ) на основі електродіодів та теплонасосних установок для систем централізованого теплопостачання (СЦТ), які використовуються для регулювання навантаження електроенергетичної системи (ЕС). Для СЦТ на основі АЕС, ТЕС, та опалювальних котельень визначені типи ЕТ та умови їх використання. Показано, що для СЦТ, утворених на основі АЕС та ТЕС, потенціал електричної маневреної потужності ЕТ становить 19,8 МВт, а при акумуляції теплової енергії в тепломережах – 59,4 МВт. Цей потенціал доцільно реалізувати встановлюючи у ролі ЕТ теплонасосні установки (ТНУ). Для СЦТ на основі опалювальних котельень потенціал електричної маневреної потужності ЕТ становить 2,25–2,8 ГВт. Реалізувати цей потенціал доцільно з використанням електродіодів та за наявності джерел низькопотенційної теплоти ТНУ.*

*Ключові слова:* ОЕС України, АЕС, ТЕС, електричні теплогенератори, теплові насоси, електричні котли, теплове навантаження.

Дефіцит маневрових потужностей об'єднаної енергосистеми України (ОЕС України) є однією із суттєвих її проблем. В роботі [1] відзначено, що в силу об'єктивних факторів, які склалися в економіці України (зміна структури виробництва, зростання споживання електроенергії населенням та інше), з часом ця проблема буде тільки загострюватися. Особливо відчутним для енергосистеми (ЕС) є дефіцит маневреної потужності в години «нічного провалу» ( $23^{00}-7^{00}$ ) добового графіка електричних навантажень (ДГЕН), який призводить до вимушеної зупинки вугільних енергоблоків ТЕС, які використовуються для регулювання. Циклічна робота цих енергоблоків призводить до зменшення їх ресурсу,

перевитрат палива, збільшення витрат на експлуатацію (поточні та капітальні ремонти). За оцінками різних експертів втрати ОЕС України від дефіциту маневрових потужностей сягають 2,2 млрд грн на рік.

Метою роботи є висвітлення результатів досліджень, спрямованих на повне чи часткове вирішення проблеми регулювання добових графіків електричного навантаження в ОЕС України.

Одним із можливих варіантів вирішення проблеми може бути використання електричних теплогенераторів (ЕТ) у системах централізованого теплопостачання (СЦТ), які б служили для вирівнювання ДГЕН в ОЕС України. У ролі ЕТ пропонується використання електродіодів (ЕК) та теплонасосних установок (ТНУ). Пропонується залучити СЦТ, утворені АЕС, ТЕС, та опалювальними

© В.Д. БІЛОДІД, В.О. ДЕРІЙ, 2016

котельними (ОК) для надання системних послуг ОЕС України.

Відомі публікації, в яких пропонувалося використання СЦТ на основі ТЕЦ для надання системних послуг шляхом встановлення на них ТНУ [2–4] та ЕК [5].

В роботі [2] розглянута ефективність використання ТНУ на українських ТЕЦ, проведено аналіз зміни електричних потужностей паротурбінних установок в залежності від потужності ТНУ. Зроблена оцінка теоретичного потенціалу регулювання електричних навантажень в ОЕС України на основі встановлених ТНУ на ТЕЦ.

В роботі [3] розглянута техніко-економічна ефективність використання ТНУ на ТЕЦ при утилізації теплоти вихідних газів парогенераторів без врахування енергії конденсації водяної пари. Проаналізовано два варіанти використання ТНУ – варіант з регулюванням електричної потужності та варіант, який має найбільший економічний ефект. Для першого варіанта визначено можливий діапазон зміни електричних потужностей ТЕЦ і показано, що він буде економічно доцільний тільки при отриманні платежів за надання ТЕЦ системних послуг. Другий варіант передбачає роботу ТЕЦ у базовому режимі, а регулювання навантаження ЕС відбувається за рахунок використання ТНУ, які забезпечать теплотою нових споживачів, або замість існуючі теплогенератори.

В роботі [4] визначено можливі обсяги утилізації теплоти відхідних газів (із врахуванням частини енергії конденсації водяної пари в них) на ТЕЦ при застосуванні ТНУ. Наведено методику розрахунку оптимальної потужності ТНУ для ТЕЦ за рівнем тиску пари, визначена оптимальна потужність ТНУ для крупних ТЕЦ України, оцінено можливу економію палива.

В роботі [5] аналізується використання потужних ЕК на ТЕЦ для покриття нічного провалу в ЕС Республіки Білорусь. Оцінено перевитрати палива, які при цьому виникають, та вигоди від участі ТЕЦ в системному регулюванні.

Разом з тим, у згаданих вище роботах не оцінювалася величина можливої маневрової потужності ЕТ різного типу в СЦТ, утвореними на основі АЕС, ТЕС та ОК. Результати

таких досліджень є предметом даної статті.

Загальновідомо, що для отримання максимального прибутку від впровадження інвестиційного проекту, він має експлуатуватися максимально можливою кількістю годин в році. В нашому випадку це означає, що ЕТ доцільно встановлювати на теплових джерелах СЦТ, які працюють цілий рік, а їх потужність повинна дорівнювати середньому навантаженню систем гарячого водопостачання (ГВП).

Визначимо потужності та типи ЕТ для СЦТ в такій послідовності – для АЕС, для ТЕС, для ОК.

У відповідності з розрахунками [6] опалювальний коефіцієнт ТНУ визначається формулами:

$$\varphi = \eta_{tn} \cdot \varphi_k, \text{ або } \varphi = \eta_{tn} \cdot \frac{T_1}{T_1 - T_2}, \quad (1)$$

де  $\varphi$  – реальний опалювальний коефіцієнт ТНУ;  $\eta_{tn}$  – ККД ТНУ, значення якого реально визначено у [6] величиною 0,5–0,75;  $\varphi_k$  – опалювальний коефіцієнт ідеальної ТНУ, що працює за циклом Карно;  $T_1$  – температура теплоносія на вході в тепломережу, К;  $T_2$  – температура низькотемпературного джерела, звідки ТНУ відбирає теплоту, К.

При питомих витратах палива на вугільних ТЕС України 420 г/(кВт·год) [7] ККД ТЕС  $\eta_s$  буде:

$$\eta_s = \frac{0,123}{b^e} = 0,293. \quad (2)$$

Таким чином, мінімально необхідним значення опалювального коефіцієнта, за загальноприйнятими правилами, визначається таким чином:

$$\varphi \geq \frac{1}{\eta_s} = 3,41. \quad (3)$$

Однак у цю формулу слід внести деякі корективи. Як відомо, використана електроенергія для роботи ТНУ в Україні виробляється кількома групами електростанцій. Так, наприклад, у 2012 р. було вироблено всього 198,1 млрд кВт·год електроенергії, в т.ч.: на АЕС – 90,1 (45,5%), на ТЕС та ТЕЦ –

88,6 (44,7%), на ГЕС та ГАЕС – 10,8 (5,45%), блок-станціями та іншими джерелами – 8,6 (4,34%) [8]. Співвідношення для цих груп по роках змінюються мало. Отже приблизно 90% електроенергії виробляється на АЕС, ТЕС та ТЕЦ.

Отже, при використанні ТНУ для вироблення теплоти з ОК (які переважно використовують природний газ) витісняється саме природний газ і заміщується ядерним паливом та вугіллям (оскільки на ТЕС, за даним [7], до 98% у 2007–2012 рр. використовувалося вугілля). На вугільних енергоблоках питомі витрати палива становлять, як зазначено вище, до 420 г у.п./ (кВт·год). Цей же показник для газомазутних енергоблоків не перевищує 340 г у.п./ (кВт·год). Таким чином, 1 кВт·год вугільної електроенергії витісняє 340 г у.п. у вигляді природного газу. З цього природного газу в ОК, з питомими витратами 168,6 кг у.п./Гкал [9], у 2012 р. вироблялося 2,02 Мкал теплової енергії. Середня теплотворна здатність природного газу за даними [10], дорівнює 45 МДж/кг (10,75 Мкал/кг, або 7,52 Мкал/м<sup>3</sup>). Отже, на вироблення 2,02 Мкал теплоти для ОК необхідно 0,269 м<sup>3</sup> природного газу. ТНУ, споживаючи 1 кВт·год електроенергії, має подати у мережу (відпустити) саме таку кількість теплоти, тобто 2,02 Мкал. У цьому випадку ми матимемо нульові втрати енергії від роботи ТНУ.

Виходячи з наведених міркувань мінімальне значення опалювального коефіцієнта має бути дещо іншим, а саме:

$$\varphi \geq \frac{Q}{N_m \tau} = \frac{2,02 \cdot 10^3 \cdot 4,1868}{1 \cdot 1 \cdot 3,6 \cdot 10^3} = 2,35. \quad (4)$$

Таким чином, мінімальним значенням опалювального коефіцієнта є не 3,41, що випливає з формули (3), а 2,35, як це визначено формулою (4).

При середніх значеннях температур  $T_1 = 330\text{--}358\text{ К}$  (60–85 °С), середній температурі  $T_2 = 280\text{--}303\text{ К}$  (8–30 °С),  $\eta_m = 0,7$  (для ТНУ найсучаснішого типу) при розрахунках за формулами (1), значення опалювального коефіцієнта буде в межах  $\varphi = 3,21\text{--}8,55$ .

Оскільки на АЕС та ТЕС знаходиться значна кількість скидної низькопотенційної теп-

лоти з температурою близькою до 303 К, то застосування в ролі ЕТ ТНУ найбільш доцільно. При цьому цілком реальним є значення  $\varphi = 4,5\text{--}5$ .

В [11] наведена інформація про місячний відпуск теплової енергії від АЕС України у 2014 р., причому в неопалювальний період тепла енергія для систем ГВП від усіх АЕС подавалася постійно.

Величину навантаження систем ГВП визначатимемо за формулою

$$q_{gvp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\tau_i}, \quad (5)$$

де  $q_{gvp}$  – середнє навантаження системи ГВП;  $n$  – кількість місяців неопалювального періоду, за які беруться покази;  $Q_i$ ,  $\tau_i$  – відпуск теплової енергії АЕС в  $i$ -й місяць та кількість годин в ньому.

Результати розрахунків за формулою (5) стосовно СЦТ на основі АЕС наведені в табл. 1 при значенні  $\varphi = 4,5$ .

Якщо магістральні теплові мережі мають достатні об'єми заповнення, то при акумуляції теплової енергії в них в неопалювальний період потужності електричного навантаження ТНУ збільшиться (максимум в три рази). Обмеження потужності ТНУ трикратним збільшенням зумовлено тим, що акумульована тепла енергія в мережах СЦТ повинна повністю бути спожита по закінченню нічного провалу. Граничні значення потужностей ТНУ при цьому наведено в останньому стовпчику табл. 1.

В [11] наведена також інформація про щомісячний відпуск теплової енергії від ТЕС України у 2013–2015 рр. Було встановлено, що тепла енергія на ГВП подається не від усіх ТЕС. Тому, для аналізу були відібрані тільки ті ТЕС, які подають теплоту для ГВП цілий рік. Визначення величини навантаження систем ГВП проводилося за формулою (5), результати розрахунків наведені в табл. 2. Там же показані величини потужностей ТНУ при акумулюванні теплової енергії в мережах СЦТ в неопалювальний період (якщо є така можливість).

Для оцінки потенціалу маневреної потужності ЕТ, які можуть бути встановлені в ОК

**Таблиця 1 – Потужності ЕТ на базі ТНУ для АЕС**

АЕС	Навантаження ГВП		Електрична потужність ТНУ, МВт	Електрична потужність ТНУ, при акумулюванні, МВт
	Гкал/год	МВт		
ЗАЕС	17,63	20,51	4,56	13,7
ПУАЕС	10,30	11,98	2,66	8
РАЕС	10,81	12,57	2,79	8,4
ХАЕС	10,08	11,72	2,60	7,8
<b>Всього</b>	<b>48,82</b>	<b>56,78</b>	<b>12,62</b>	<b>37,9</b>

**Таблиця 2 – Навантаження систем ГВП ТЕС та потужності ЕТ на базі ТНУ**

№ з/п	ТЕС	Навантаження ГВП		Електрична потужність ТНУ, МВт	
		Гкал/год	МВт	без акумуляції	з акумуляцією
1	Криворізька	2,16	2,51	0,56	1,68
2	Придніпровська	4,38	5,09	1,13	3,39
3	Бурштинська	1,18	1,38	0,31	0,93
4	Добротвірська	0,82	0,95	0,21	0,63
5	Ладижинська	5,12	5,96	1,32	3,96
6	Вуглегірська	3,65	4,24	0,94	2,83
7	Трипільська	3,71	4,32	0,96	2,88
8	Зміївська	3,04	3,53	0,78	2,35
9	Курахівська	3,77	4,38	0,97	2,92
	<b>Всього</b>	<b>28,54</b>	<b>33,19</b>	<b>7,18</b>	<b>21,57</b>

СЦТ, обмежимося аналізом ОК, потужність яких перевищує 20 Гкал/год. Таке обмеження прийнято тому, що ЕТ технології ефективно працюють з акумулюванням всієї теплової енергії, яке можливе тільки за наявності магістральних мереж [12]. А згідно з Законом України «Про тепlopостачання» магістральні мережі мають тільки СЦТ потужністю понад 20 Гкал/год.

Теплове навантаження системи ГВП може бути визначене виходячи із такої системи рівнянь:

$$Q_{np} - Q_{vp} = q_{\Sigma} \cdot \tau_1 + q_{gvp} \cdot \tau_2, \quad (6)$$

$$q_{gvp} = 0,25 \cdot q_{\Sigma}, \quad (7)$$

де  $Q_{np}$  – загальна кількість виробленої теплової енергії в нормативному році;  $Q_{vp}$  – кількість теплової енергії, витраченої на власні потреби;  $q_{\Sigma}$  – сумарне середнє теплове навантаження;  $q_{gvp}$  – середнє навантаження системи ГВП;  $\tau_1, \tau_2$  – тривалість опалювального та

Таблиця 3 – Результати розрахунків показників нормативного року

Регіон України	Кількість градусо-днів		Вироблено теплової енергії, тис. Гкал		Відносне відхилення тепlopостачання, %	Власні потреби котельні
	норматив-ний рік	2014 р.	2014 р.	норматив-ний рік		
Вінницька обл.	3610	2883	865,8	1084,1	25,2	70,4
Волинська обл.	3403	2386	479	683,2	42,6	20,0
Дніпропетровська обл.	3325	2686	6365,6	7880,0	23,8	237,9
Донецька обл.	3623	2943	1907,9	2348,7	23,1	119,5
Житомирська обл.	3610	2756	393,9	516,0	31,0	26,2
Закарпатська обл.	2657	1655	0	0,0		0,0
Запорізька обл.	3202	2677	3104,5	3713,3	19,6	97,4
Івано-Франківська обл.	3330	2314	317,9	457,5	43,9	10,1
Київська обл.	3572	2724	1431,5	1877,1	31,1	413,2
Кіровоградська обл.	3515	2648	519,9	690,1	32,7	12,3
Луганська обл.	3528	2954	637,5	761,4	19,4	91,3
Львівська обл.	3476	2332	1987,2	2962,1	49,1	134,4
Миколаївська обл.	2904	2172	736	984,0	33,7	11,0
Одеська обл.	2805	2118	2234,1	2958,8	32,4	66,8
Полтавська обл.	3721	2891	1035,1	1332,3	28,7	37,2
Рівненська обл.	3555	2752	678,6	876,6	29,2	25,3
Сумська обл.	3997	3126	1483,1	1896,3	27,9	31,1
Тернопільська обл.	3515	2592	421,4	571,5	35,6	13,4
Харківська обл.*	3799	3037	3876,6	4849,3	25,1	229,1
Херсонська обл.	2906	2303	551,3	695,6	26,2	22,6
Хмельницька обл.	3553	2887	846,1	1041,3	23,1	86,8
Черкаська обл.	3591	2806	1329,1	1700,9	28,0	18,8
Чернівецька обл.	3228	2425	237,9	316,7	33,1	7,3
Чернігівська обл.	3763	2954	1093,2	1392,59	27,4	34,8
м. Київ*	3572	2781	12119,5	15566,7	28,4	432,8
<b>Всього</b>			<b>44652,7</b>	<b>57156,0</b>	<b>30,0</b>	<b>2250,3</b>

Примітка. \* Без урахування навантаження систем подачі гарячої води ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 «Київенерго» та Харківських ТЕЦ-3 і ТЕЦ-5.

неопалювального періодів, відповідно.

Загальну кількість виробленої теплової енергії в нормативному році в першому наближенні можна визначити виходячи із такого виразу:

$$Q_{np} = Q_o \frac{S_{np}}{S_{zp}}, \quad (8)$$

де  $Q_o$  – загальна кількість виробленої тепло-

вої енергії в заданому році;  $S_{np}$  – кількість градусо-днів опалювального періоду нормативного року;  $S_{zp}$  – кількість градусо-днів опалювального періоду заданого року.

Кількість градусо-днів 2014 р. (як і будь-якого іншого року) визначається згідно з виразом:

$$S_{zp} = \sum_1^n t_j^{\circ} \cdot k_j, \quad (9)$$

**Таблиця 4 – Регіональний розподіл потужності ЕТ**

Регіон України	Навантаження системи ГВП	Потужність ЕТ, МВт	
	Гкал/год	ЕК	ТНУ
Вінницька обл.	48,9	56,9	12,6
Волинська обл.	33,3	38,7	8,6
Дніпропетровська обл.	361,4	420,3	93,4
Донецька обл.	106,5	123,9	27,5
Житомирська обл.	23,7	27,6	6,1
Закарпатська обл.	0,0	0,0	0,0
Запорізька обл.	172,8	200,9	44,7
Івано-Франківська обл.	22,7	26,4	5,9
Київська обл.	69,7	81,1	18,0
Кіровоградська обл.	32,7	38,1	8,5
Луганська обл.	32,0	37,2	8,3
Львівська обл.	141,4	164,5	36,6
Миколаївська обл.	48,8	56,8	12,6
Одеська обл.	144,7	168,2	37,4
Полтавська обл.	61,7	71,7	15,9
Рівненська обл.	41,2	48,0	10,7
Сумська обл.	88,8	103,3	23,0
Тернопільська обл.	26,9	31,3	7,0
Харківська обл.*	220,8	256,7	57,1
Херсонська обл.	33,1	38,5	8,5
Хмельницька обл.	45,5	52,9	11,7
Черкаська обл.	80,1	93,2	20,7
Чернівецька обл.	16,8	19,5	4,3
Чернігівська обл.	64,9	75,5	16,8
м. Київ*	483,7	562,5	125,0
<b>Всього</b>	<b>2402,3</b>	<b>2793,8</b>	<b>620,8</b>

Примітка. \* Без урахування навантаження систем подачі гарячої води ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 «Київенерго» та Харківських ТЕЦ-3 і ТЕЦ-5. Опалювальний коефіцієнт теплових насосів прийнятий 4,5.

де  $t_j^{\circ}$  – середня температура за  $j$ -й місяць опалювального періоду;  $k_j$  – кількість днів  $j$ -го місяця опалювального періоду;  $n$  – кількість місяців опалювального періоду.

Температури опалювального періоду 2014 р. були знайдені для кожного дня місяця по всіх областях України. Добова температура визначалася як середня величина денної та вечірньої температур, а середньомісячна – як середнє значення за опалювальні доби даного місяця. Оскільки 2014 р. був аномально теплим, то з метою визначення фактичної кількості опалювальних днів були детально проаналізовані температури повітря у весняні та осінні місяці. Згідно з отриманими даними були розраховані градусо-доби для кожної області. Результати розрахунків наведено в табл. 3. В цій таблиці виробництво теплової енергії в 2014 р. та її витрати на власні потреби були взяті із [13], кількість градусо-днів в нормативному році та тривалість опалювального періоду для різних регіонів взято із [14], а кількість виробленої теплової енергії в нормативному році визначалася згідно з виразом (7).

Як видно із табл. 3, у 2014 р. в середньому було на 30% менше градусо-днів і відповідно менше відпущеної теплової енергії споживачам.

Розв'язуючи систему рівнянь (5)–(7) відносно  $q_{гвр}$  та використовуючи дані табл. 3, знайдемо для кожної області середнє навантаження систем ГВП, а відповідно і потужність ЕТ. Результати розрахунків наведені в табл. 4.

При цьому слід зазначити, що використовувати ТНУ доцільно тільки в тих випадках, коли поблизу котельні є джерело низькопо-

тенційної теплоти техногенного походження, в інших випадках – це будуть електрокотли.

Для перевірки отриманих результатів були побудовані та проаналізовані сумарні річні графіки теплових навантажень за 2014–2015 рр. Основною проблемою при їх побудові є те, що офіційно статистична інформація про виробництво та відпуск теплової енергії опалювальними котельними [13] представлена не по місяцях, а тільки річна. В результаті проведених досліджень про відпуск теплової енергії тепловими та атомними електростанціями України [11] було визначено їх щомісячний та річний обсяг відпуску теплової енергії, що дало можливість встановити їх дольовий внесок в річне теплопостачання. Результати наведені в табл. 5.

Як видно із табл. 5, відносний розподіл внеску теплових джерел в 2014–2015 рр. дещо змінився в порівнянні із середнім розподілом за попередні 6 років, що зумовлено тимчасовою окупацією частини території України. На діаграмі (рис. 1) наведений відносний розподіл внеску теплових джерел у загальне теплопостачання в 2014 р., який практично аналогічний розподілу в 2015 р., що і буде враховано в подальшому аналізі.

Для визначення щомісячного відпуску теплової енергії опалювальними котельними було зроблено припущення, що відносний внесок цих теплових джерел у теплопостачання міст є незмінний протягом року. Тоді щомісячний відпуск теплової енергії споживачам можна визначити за формулою

$$Q_j = \frac{100 * Q_{jES}}{\lambda}, \quad (10)$$

Таблиця 5 – Відносний внесок різних джерел в теплопостачання міст України, %

Рік	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Середня величина за 6 років	2014	2015
ОК	71,3	73,0	72,5	72,6	70,6	69,1	71,5	71,5	71,5
ТЕС	2,0	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,6	2,2
ТЕЦ	24,9	24,9	25,6	25,5	25,7	27,1	25,6	23,1	23,7
АЕС	1,8	0,0	0,0	0,0	1,8	1,9	1,8	2,8	2,6
Всього ел. ст.	28,7	27,0	27,5	27,4	29,4	30,9	29,4	28,5	28,5

де  $Q_j$  – загальний відпуск теплової енергії споживачам в  $j$ -й місяць;  $Q_{jES}$  – відпуск теплової енергії споживачам від електростанцій в  $j$ -й місяць;  $\lambda$  – відносний дольовий внесок електростанцій у відпуск теплової енергії (згідно з табл. 5).

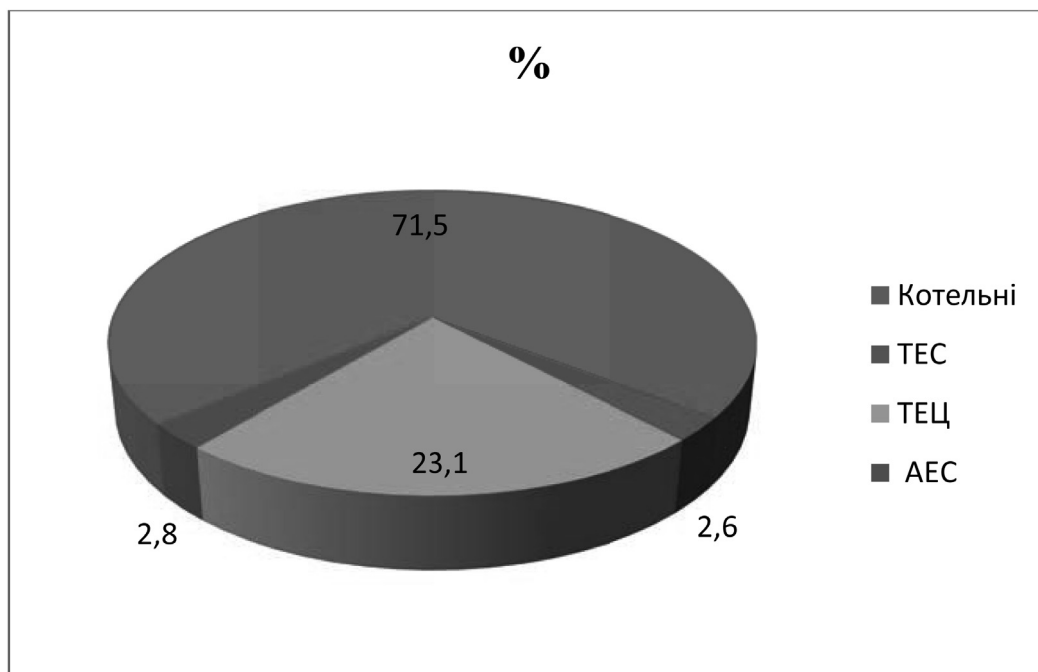


Рис. 1. Відносний внесок теплових джерел у теплопостачання міст України в 2014 р.

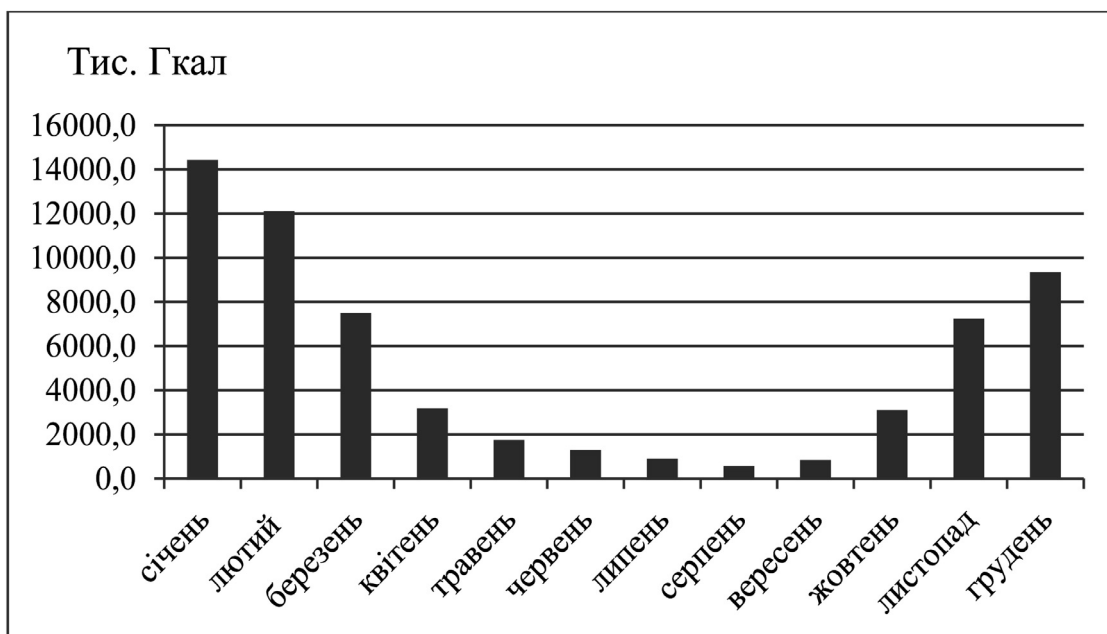


Рис. 2. Відпуск теплової енергії міським поселенням у 2014 р.



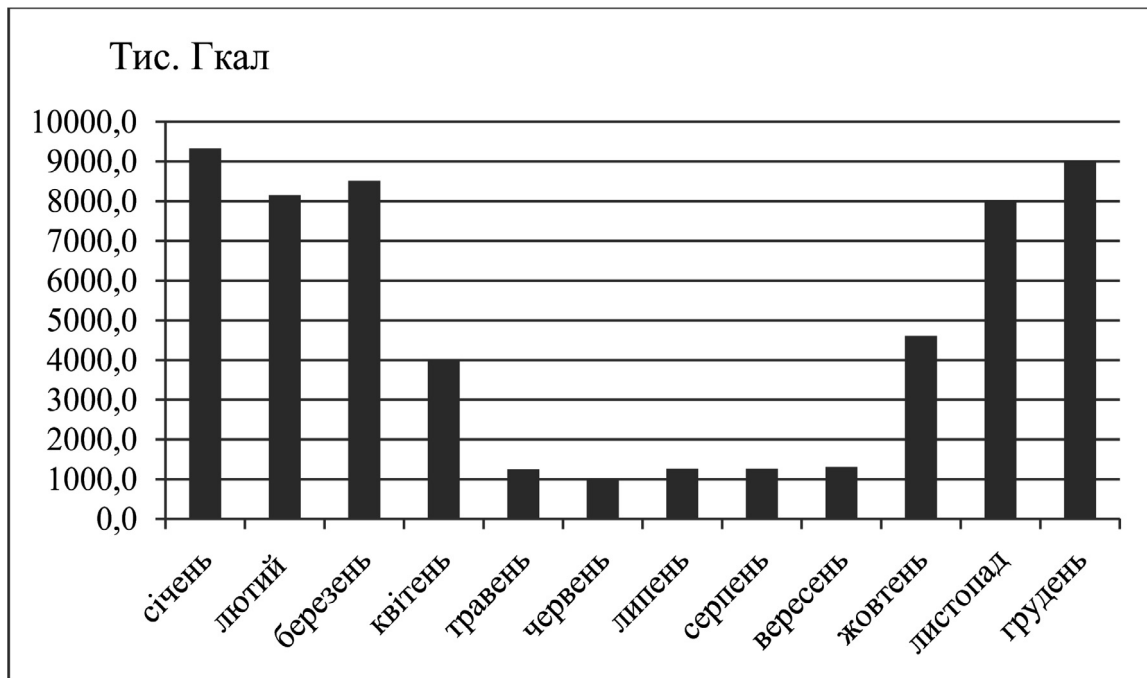


Рис. 3. Відпуск теплової енергії міським поселенням у 2015 р.

Результати розрахунків відпуску теплової енергії згідно з формулою (10) за 2014 – 2015 рр. наведено на рис. 2 та рис. 3.

Як видно із наведених вище діаграм, в неопалювальний період спостерігається значна нерівномірність споживання теплової енергії системами постачання гарячої води (ГВП). Це зумовлено двома факторами – проведення ремонтних робіт в системах теплопостачання та значним підвищенням температури навколишнього повітря. Зазвичай, фактор ремонтних робіт впливає більше, ніж температурний. Із рис. 2 та рис. 3 видно, що ремонтні роботи у 2014 р. переважно виконувалися у липні–вересні, а у 2015 р. у – травні–липні. Середнє навантаження системи ГВП, яке зумовлює потужність ЕТ, визначимо як середню величину споживання теплової енергії за травень 2014 р. та липень, серпень, вересень 2015 р. Такий підхід дозволить врахувати вплив навколишньої температури та реальні умови експлуатації систем теплопостачання. Розрахунки показали, що сумарне середнє теплове навантаження систем ГВП становить 2,25 ГВт. Порівнюючи отриману величину із сумарним навантаженням систем ГВП, яке наведено в табл. 5 (2,4 тис. Гкал/год, або

2,8 МВт) можна бачити, що розбіжність між ними не перевищує 19,4%, що є допустимим при проведенні оціночних розрахунків.

## ВИСНОВКИ

Проведені дослідження показали що:

1. Потенціал електричної маневреної потужності ЕТ в СЦТ, утвореними АЕС та ТЕС, становить 19,8 МВт, а при застосуванні акумуляції теплової енергії в тепломережах СЦТ – 59,4 МВт. Цей потенціал доцільно реалізувати шляхом використання ТНУ.

2. Потенціал електричної маневреної потужності ЕТ в СЦТ, утвореними ОК, становить 2,25–2,8 ГВт (сумарне теплове навантаження систем ГВП). Реалізувати цей потенціал доцільно з використанням ЕК та ТНУ (за наявності поблизу ОК низькопотенційних джерел теплоти).

1. Кулик М.М. Співставний аналіз техніко-економічних характеристик Канівської ГАЕС та комплексу споживачів-регуляторів для покриття графіків електричних навантажень //

Проблеми загальної енергетики. – 2014. – Вип. 4(39). – С.5–10.

2. *Дубовський С.В.* Підвищення маневрених можливостей енергетичної системи шляхом впровадження теплових насосів-регуляторів у складі ТЕЦ / С.В. Дубовський, А.П. Левчук, М.Я. Каденський // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – Вип. 4(35). – С. 16–23.

3. *Kulyk M.M.* Operational conditions of combined heat-and-power plants with heat pumps and the attainable utilization capacities of heat pumps at such plants in the Integrated Power System of Ukraine / M.M.Kulyk, V.D.Bilodid // The Problems of General Energy. – 2014. – Issue 1(36). – P.33–38.

4. *Білодід В.Д.* Оцінка можливості підвищення енергетичної ефективності ТЕЦ шляхом використання теплонасосних установок / В.Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2015. – Вип. 2(41). – С.48–56.

5. *Трутаев В.И.* Применение электродеталей на ТЭЦ как эффективный способ получения маневренной электрической мощности в энергосистеме Беларуси с вводом АЭС / В.И. Трутаев, В.М. Сыропушинский // Энергетическая стратегия. – 2010. – №4 (16). – С. 19–24.

6. *Кулик М.М.* Проблеми і перспективи розвитку в Україні теплонасосних технологій / М.М. Кулик, В.Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – №14. – С. 7–12.

7. *Чернявский Н.В.* Основные направления повышения эффективности топливоиспользования на ТЭС Украины / Н.В. Чернявский, А.Ю. Провалов, А.В. Косячков // Сб. научн. ст. «СОВРЕМЕННАЯ НАУКА». – 2012. – №3 (11). – С. 114–121.

8. *Паливно-енергетичний комплекс України.* Брошура Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – 80 с. <http://mpe.kmu.gov.ua>.

9. *Про основні* показники роботи опалювальних котельень і теплових мереж в Україні за 2012 рік. Статистичний бюлетень. – Київ: Державна служба статистики, 2013. – 21 с.

10. *Питома теплота згорання.* Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0\\_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0\\_%D0%B7%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0_%D0%B7%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F).

11. *Журнали* Энергобизнес за 2012–2015 роки.

12. *Інженерне* обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. ДБН В.2.5-39:2008. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 55 с.

13. *Про основні* показники роботи опалювальних котельень і теплових мереж в Україні за 2014 р. Статистичний бюлетень. Державна служба статистики України. – Київ, 2015.

14. *Отопление, вентиляция и кондиционирование.* СНиП 2.04.05-91\*У [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye\\_dokumenty/snip\\_otoplenie\\_ventilyac\\_kv.pdf](http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye_dokumenty/snip_otoplenie_ventilyac_kv.pdf).

*Надійшла до редколегії: 19.10.2016.*