

# ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗВИТКУ ТА УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

УДК 621.311., 661.51

**В.О. ДЕРІЙ**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., **А.П. ЛЕВЧУК**, канд. техн. наук,  
Інститут загальної енергетики НАН України,  
вул. Антоновича, 172, 03680 Київ, Україна

## РЕАЛЬНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МАНЕВРНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЕЦ УКРАЇНИ З ВПРОВАДЖЕНИМИ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

*В роботі визначено ТЕЦ, які найбільш доцільно залучати для надання системних послуг з вирівнювання графіка електричних навантажень шляхом впровадження в них електротеплових регуляторів. Проаналізовано можливе впровадження в ролі електротеплових регуляторів електрокотлів та теплових насосів. Вперше запропоновано одночасне впровадження електрокотлів та теплових насосів на одній і тій самій ТЕЦ. Для кожного варіанта визначено реальний потенціал маневреної потужності та показники ефективності.*

*Ключові слова:* ОЕС України, ТЕЦ, електротеплові регулятори, електричні котли, теплові насоси, маневрова потужність, баланс, теплота, електроенергія.

Однією із суттєвих проблем об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України є дефіцит маневрових потужностей. В силу об'єктивних факторів, які склалися в економіці України (зміна структури виробництва, зростання споживання електроенергії населенням та інше), з часом ця проблема тільки загострюється [1]. Особливо відчутним для енергосистеми є дефіцит маневреної потужності в години «нічного провалу» ( $23^{00}-7^{00}$ ) графіка електричних навантажень (ГЕН), який призводить до вимушеної зупинки вугільних енергоблоків ТЕС 200–300 МВт, які використовуються для регулювання. Циклічна робота цих маневрових блоків призводить до зменшення їх ресурсу, перевитрат палива, збільшення витрат на експлуатацію, поточний та капітальні ремонти.

© В.О. ДЕРІЙ, А.П. ЛЕВЧУК, 2016

Загалом втрати ОЕС України від дефіциту маневрових потужностей за різними оцінками сягають 2,2 млрд грн в рік. Тому, дослідження, спрямовані на повне чи часткове вирішення вище зазначеної проблеми, є актуальним в даний час.

Нижче описується один із можливих варіантів вирішення проблеми зменшення дефіциту маневрових потужностей – залучення ТЕЦ до надання системних послуг шляхом впровадження в них електротеплових регуляторів (ЕТР). Відомі роботи, в яких досліджується використання ТЕЦ для надання системних послуг шляхом впровадження теплових насосів [2–4] та електрокотлів [5].

В роботі [2] розглянута ефективність впровадження ЕТР у вигляді теплових насосів (ТН) на українських ТЕЦ, приведено аналіз зміни електричних потужностей паротурбінних гене-

раторів в залежності від потужності ТН. Зроблена оцінка теоретичного потенціалу регулювання навантажень в ОЕС України на основі встановлених ТН на ТЕЦ.

В роботі [3] розглянута техніко-економічна ефективність впровадження ТН на ТЕЦ при утилізації ними теплоти вихідних газів парогенераторів ТЕЦ без врахування енергії конденсації водяної пари. Проаналізовано два варіанти використання ТН – 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 доцільним тільки при отриманні платежів за надання ТЕЦ системних послуг. Другий варіант передбачає роботу ТЕЦ у базовому режимі, а регулювання навантаження енергосистеми відбувається за рахунок впроваджених ТН, які забезпечать теплом нових споживачів, або замість існуючі теплогенератори.

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

В роботі [5] аналізується використання потужних електродкотлів на ТЕЦ для покриття нічного провалу енергосистеми Білорусі. Оцінено перевитрати палива, які при цьому виникають, та вигоди від участі ТЕЦ у системному регулюванні.

Але у згаданих вище роботах не оцінювався реальний потенціал маневреної потужності, який можна отримати від впровадження ЕТР на українських ТЕЦ, що працюють цілий рік, не аналізувалося також одночасне впровадження ТН та електродкотлів на одній і тій самій ТЕЦ.

Тому, метою даної статті є оцінка реального потенціалу маневреної потужності ТЕЦ України при впровадженні в них ЕТР та визначення оптимальної їх структури.

Загальновідомо, що для отримання максимального прибутку від впровадження інвестиційного проекту він має експлуатуватися максимально можливою кількістю годин в році. В нашому випадку це свідчить про те, що ЕТР

доцільно впроваджувати на ТЕЦ, які працюють цілий рік. Аналіз інформації про щомісячний відпуск теплової та електричної енергії від ТЕЦ України за 2012–2015 рр. [6] показав, що у неопалювальний період гарячу воду споживачам подають тільки шість ТЕЦ, а саме: ТЕЦ-5, ТЕЦ-6 «Київенерго», Дарницька ТЕЦ, Харківська ТЕЦ-5, Кременчуцька ТЕЦ, яка входить до складу компанії «Полтаваобленерго» та Криворізьська ТЕЦ. Інші ТЕЦ в цей період гарячу воду не подавали і не виробляли електроенергію [6]. А це говорить про те, що споживачі змушені були шукати альтернативні шляхи для задоволення своїх потреб у гарячій воді (бойлери, газові колонки та інше). Тоді можна зробити висновок, що системи централізованого постачання гарячої води існують (або працюють влітку) тільки у шести зазначених вище ТЕЦ і відповідно впроваджувати ЕТР доцільно тільки в них. Для визначення їх потужності необхідно перш за все визначити навантаження ТЕЦ в неопалювальний період (навантаження систем ГВП). Навантаження систем ГВП ТЕЦ-5, ТЕЦ-6 «Київенерго» були знайдені в літературі [7], з якої також в першому наближенні було визначено навантаження ГВП Дарницької ТЕЦ. Для неопалювального сезону згідно з [8] ці навантаження були зменшені на 20%. Для харківської ТЕЦ-5 навантаження системи ГВП були визначені із фактичних даних, які знаходяться у вихідних матеріалах [9]. Для решти ТЕЦ навантаження їх систем ГВП були визначені по результатах аналізу інформації [6] за 2012–2015 рр. Результати розрахунків наведені в табл. 1, там же показана гранична електрична потужність ЕТР (теоретичний потенціал), які можуть бути використані для вирівнювання графіка електричних навантажень енергосистеми України, де при розрахунку для ТН прийнято, що їх коефіцієнти опалення рівні –  $\phi = 4,5$ .

Для визначення досяжності цих граничних потужностей необхідно проаналізувати роботу ТЕЦ в міжопалювальний період з використанням ЕТР, оцінити доступність джерел низькопотенційної теплоти та можливості їх утилізації. Для подальшого аналізу було зроблено такі припущення:

– ТЕЦ будуть брати участь у системному регулюванні;

**Таблиця 1 – Навантаження систем ГВП ТЕЦ та граничні потужності ЕТР на базі електричних котлів та теплових насосів**

№ з/п	Назва ТЕЦ	Навантаження ГВП	Електрична потужність ЕТР, МВт	
		Гкал/год	Електродкотли	Теплові насоси
1	Київенерго, ТЕЦ-5	254,6	296,1	<b>65,8</b>
2	Київенерго ТЕЦ-6	203	236,1	<b>52,5</b>
3	Дарницька ТЕЦ	109	126,8	<b>28,2</b>
4	Харківська ТЕЦ-5	177	205,9	<b>45,7</b>
5	Полтаваобленерго (Кременчуцька ТЕЦ)	86	100,0	<b>22,2</b>
6	Криворізька ТЕЦ	67,4	78,4	<b>17,4</b>
<b>Всього</b>		<b>824,9</b>	<b>1043,3</b>	<b>231,8</b>

– в неопалювальний період ТЕЦ будуть працювати в теплофікаційному режимі;

– при використанні в ролі ЕТР електродкотлів, під час нічного провалу ОЕС, енергетичні котли ТЕЦ будуть розвантажені до мінімально допустимого рівня – 40 %.

Методичні підходи для визначення показників ТЕЦ при впровадженні в них ЕТР такі. Виходячи із встановлених турбін на ТЕЦ, для кожної з них були визначені згідно з [4] кутові коефіцієнти енергетичної характеристики в теплофікаційному режимі ( $k$ ), за допомогою яких і визначалася супутня їх електрична потужність при повному тепловому навантаженні  $N_E$  у відповідності з виразом:

$$N_T = k k_{пер} Q_T, \text{ МВт}, \quad (1)$$

де  $k_{пер} = 1,163$  МВт/Гкал/г. – перевідний коефіцієнт видів енергії.

Значення теплового навантаження та генерації ТЕЦ при 40 % навантаженні енергетичних котлів –  $Q_T^{min}$ ,  $N_T^{min}$  знаходились наступним чином. Теплова потужність, що надходить на турбіну  $Q_0$  для кожного турбоагрегатів ТЕЦ, приведених в табл.1, знаходилась з виразу згідно з [10–15]:

$$Q_0 = f(N_T; Q_T; P_T), \text{ Гкал/г.} \quad (2)$$

При цьому тиск пару  $P_T$ , в виразі (2), що надходить в мережевий теплообмінник з відбору знаходимо з виразу [16]:

$$P_T = \left( \frac{t_{np} + 4}{100} \right)^4 \text{ ата}, \quad (3)$$

де  $t_{np}$  – температура прямої мережевої води, в даному випадку  $t_{np} = 70$  °С.

Співвідношення для мінімального виробітку теплоти котлоагрегатом при цьому для кожної з турбоустановок, що розглядається, запишеться в вигляді:

$$\begin{aligned} Q_0^{min} &= 0,4 Q_0^{nom} = \\ &= 0,4 f_1(N_T^{nom}; Q_T^{nom}; P_T), \text{ Гкал/г.} \end{aligned} \quad (4)$$

де  $Q_0^{nom}$ ,  $N_T^{nom}$ ,  $Q_T^{nom}$  – номінальні параметри ТЕЦ в теплофікаційному режимі для відповідного турбоагрегату. Змінюючи величину  $Q_T$  з врахуванням співвідношень (1)–(4) знаходимо значення  $Q_T^{min}$ , та  $N_T^{min}$  для кожного з розглядуваних турбоагрегатів.

Дефіцит теплової потужності  $P_{ЕТР}$  при розвантаженні енергетичних котлів під час нічного провалу компенсується ЕТР. Сумарна маневрова потужність ТЕЦ визначалася як зменшення електричної її потужності, так і додатковим навантаженням ЕТР, згідно з нижче приведе-

ною формулою:

$$\Delta N = N_E - N_T^{min} + P_{ETP}, \text{ МВт}, \quad (5)$$

де  $\Delta N$  – сумарна маневрова потужність ТЕЦ;  $N_E$  – потужність ТЕЦ при тепловому навантаженні  $Q_{ГВП}$ ;  $N_T^{min}$  – потужність ТЕЦ під час нічного провалу;  $P_{ETP}$  – навантаження ЕТР.

При впровадженні електрокотлів на ТЕЦ передбачалося, що під час нічного провалу її енергетичні котли будуть розвантажені до мінімально стійкого рівня – 40 %. Відповідно до цього, ТЕЦ зменшать виробництво електричної та теплової енергії. Включення електричних котлів у технологічну схему ТЕЦ показано на рис. 1.

Тепловий баланс при цьому будуть забезпечувати електрокотли:

$$Q_{ГВП} = Q_{min} + P_{ЕК}, \text{ МВт}, \quad (6)$$

де  $Q_{ГВП}$  – теплове навантаження системи ГВП;  $Q_{min}$  – мінімальна теплова потужність ТЕЦ;  $P_{ЕК}$  – потужність електрокотлів.

Результати розрахунків впровадження електрокотлів наведені в табл. 2.

Як видно із табл. 2, під час нічного провалу вся вироблена електроенергія ТЕЦ буде спожита електрокотлами. Крім того, вони спричиняють додаткове навантаження на ОЕС близько 170 МВт. Сумарна маневрова потужність ТЕЦ із електрокотлами, яка визначена згідно з (6), буде становити 763,7 МВт.

При впровадженні на ТЕЦ в ролі ЕТР теплових насосів джерелами теплоти для них можуть бути вихідні гази енергетичних котлів та технічна вода. При цьому передбачається, що енергія конденсації димових газів не використовується, оскільки конденсат це кислота (вугільна, якщо використовується в ролі палива ТЕЦ природний газ та суміш вугільної і сірчаної –

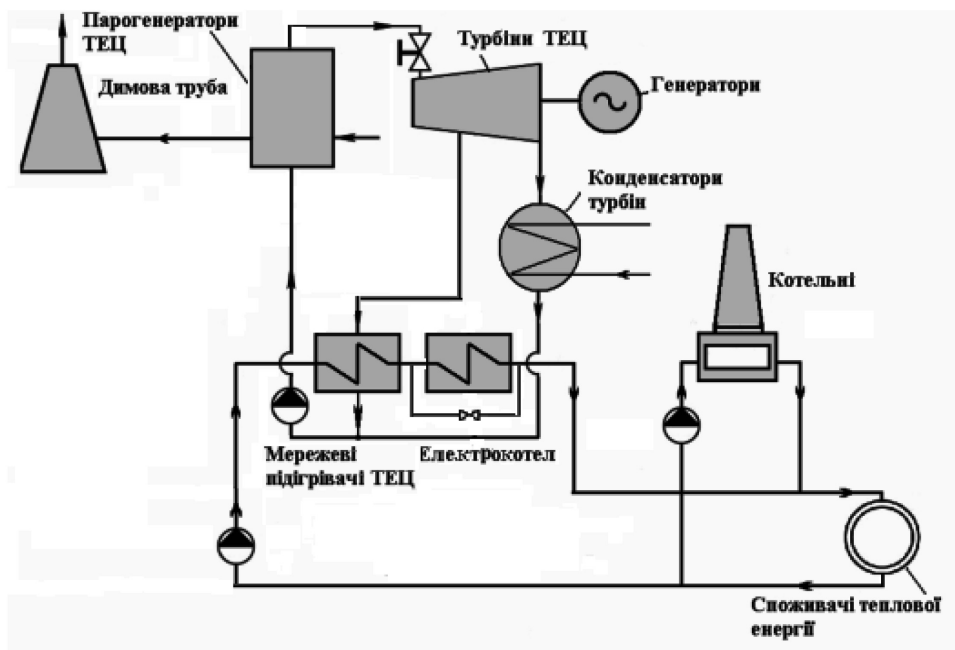


Рис. 1. Включення електрокотла у технологічну схему ТЕЦ

Таблиця 2 – Результати розрахунків показників ТЕЦ при впровадженні електротеплових регуляторів

Назва ТЕЦ	$k$	Потужність ТЕЦ, МВт				$P_{ЕК}$	$\Delta N_E$ , МВт
		$Q_{звп}$	$N_E$	$Q_{min}$	$N_T^{min}$		
Київенерго, ТЕЦ-5	0,6	296,1	177,7	136,8	90,0	159,3	247,0
Київенерго, ТЕЦ-6	0,6	236,1	141,7	136,8	90,0	99,3	150,9
Дарницька ТЕЦ	0,47	126,8	59,6	33,0	15,7	93,8	137,6
Харківська ТЕЦ-5	0,6	205,9	123,5	136,8	90,0	69,1	102,6
Кременчуцька ТЕЦ	0,55	100,0	55,0	60,4	35,6	39,6	59,0
Криворізька ТЕЦ	0,47	78,4	36,8	33,0	15,7	45,4	66,5
<b>Всього</b>		<b>1043,2</b>	<b>594,3</b>	<b>536,8</b>	<b>337,0</b>	<b>506,4</b>	<b>763,7</b>

якщо використовується вугілля). А згідно з [17] такий конденсат не дозволяється скидати в каналізацію. Іншими словами, при розрахунках використовувалася нижча теплотворна здатність палива. Включення теплового насоса у технологічну схему ТЕЦ показано на рис. 2.

Методологічні підходи до визначення потужності теплових насосів та величини маневрової потужності ТЕЦ такі. Кількість теплоти, яка міститься в вихідних газах (без

утилізації), згідно з [18] становить близько 4,5 %, інші складові втрат теплоти не будуть перевищувати 1,5 % від теплоти, що виділяється на ТЕЦ при спалюванні палива. Тоді, ККД котла бруто буде становити  $\eta_k^{бр} = 94 \%$ .

Відносну (в %) кількість теплоти, що знаходиться у технічній воді, в першому наближенні можна визначити виходячи із виразу

$$q_{тв} = \eta_k^{бр} - \eta_{вп}, \quad (7)$$

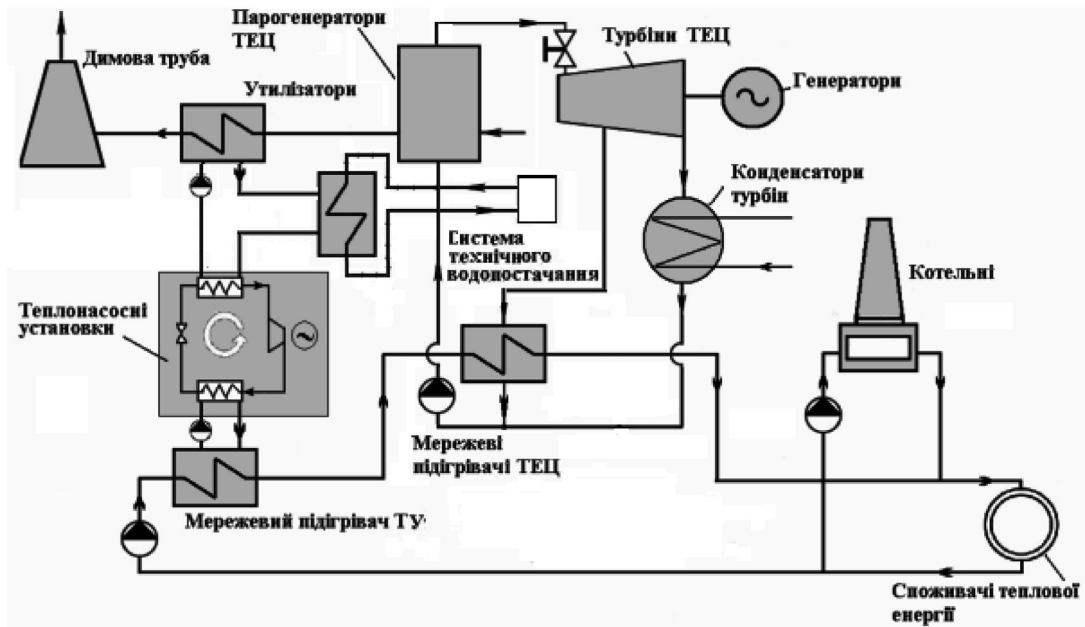


Рис. 2. Технологічна схема ТЕЦ з використанням теплового насоса

де  $\eta_{en}$  – ККД використання палива, який для турбоустановок ТЕЦ, приведених у табл. 1, 2, приймаємо рівним 80 %.

Підставивши у вираз (7) значення складових, отримаємо відносну кількість теплоти у технічній воді, яка становить 14 %. Сумарна відносна кількість теплоти, яка підлягає утилізації, буде становити  $q_{ym} = 18$  %. Абсолютне значення теплоти  $Q_{ym}$ , яка може бути утилізована, знаходимо із такого виразу:

$$Q_{ym} = (k_{em} Q_0 / \eta_k^{bp}) q_{ym} \eta_{ym}, \text{ Гкал/г}, \quad (8)$$

де  $k_{em} = 1,04$  – коефіцієнт, що враховує втрати в паропроводах ТЕЦ;  $Q_0$  – теплова потужність, що надходить на турбіну;  $\eta_{ym} = 0,6$  – ККД теплообмінника утилізатора.

Споживану електричну потужність ТН  $P_{ТН}$  знаходимо з виразу:

$$P_{ТН} = Q_{ym} k_{nep} / (\phi - 1) \text{ МВт}. \quad (9)$$

Теплову потужність ТН  $Q_{ТН}$  знаходимо з виразу:

$$Q_{ТН} = \frac{P_{ТН}}{k_{nep}} + Q_{ym}, \text{ Гкал/г}. \quad (10)$$

Змінюючи значення  $Q_T$ , теплової потужності турбоагрегатів ТЕЦ, знаходимо значення  $Q_{ТН}$ , які задовольняють такий вираз:

$$Q_{sen} = Q_T + Q_{ТН} \text{ Гкал/г}. \quad (11)$$

Використовуючи отримане значення  $Q_T$ , знаходимо відповідне значення  $N_T$ , з врахуванням (1) для теплофікаційного режиму.

Величину маневреної потужності ТЕЦ при використанні в ролі ЕТР теплових насосів знаходимо із виразу (5). Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Було також проаналізовано варіант роботи ТЕЦ під час нічного провалу, коли їх енергетичні котли розвантажувалися до рівня 40%, теплота вихідних газів та технічної води утилізувалася тепловими насосами, а тепловий баланс для кожної ТЕЦ забезпечувався відповідною потужністю електрокотлів. Включення теплового насоса та електрокотлів у технологічну схему ТЕЦ показано на рис. 3.

Розрахунки велися по методології, наведеної вище. Результати наведені в табл. 4.

Для оцінки ефективності впровадження різних типів ЕТР були прийняті такі критерії:

- величина маневреної потужності  $\Delta N$  – визначалася для кожного варіанта і наведена в табл. 2–4;

- питомі витрати палива – визначалися як відношення кількості палива, витраченого на створення одиниці маневреної потужності. Кількість витраченого палива визначалася як добуток спожитої електричної енергії ЕТР на середні питомі витрати на її виробництво (0,3882 г/кВт·год);

- питомі інвестиційні витрати – відношення повних інвестиційних витрат до величини маневреної потужності. Повні інвестиційні витрати оцінювалися по питомих величинах. Результати розрахунків наведені в табл. 5.

**Таблиця 3 – Результати розрахунків показників ТЕЦ при впровадженні на них ТН**

Назва ТЕЦ	Теплова потужність ТЕЦ, Гкал/год	Електрична потужність ТЕЦ, МВт	$Q_{ТН}$ Гкал/год	$P_{ТН}$ , МВт	$\Delta N_E$ , МВт
Київенерго, ТЕЦ-5	203,2	146,4	51,4	13,3	44,6
Київенерго, ТЕЦ-6	162,5	111,8	40,5	10,5	40,4
Дарницька ТЕЦ	86,2	48	22,8	5,9	17,5
Харківська ТЕЦ-5	142	49,4	35	9,1	38,2
Кременчуцька ТЕЦ	69,5	42,5	16,5	4,3	16,8
Криворізька ТЕЦ	52,2	27,4	15,2	3,9	13,3
<b>Всього</b>	<b>715,6</b>	<b>470,5</b>	<b>181,4</b>	<b>47</b>	<b>170,8</b>

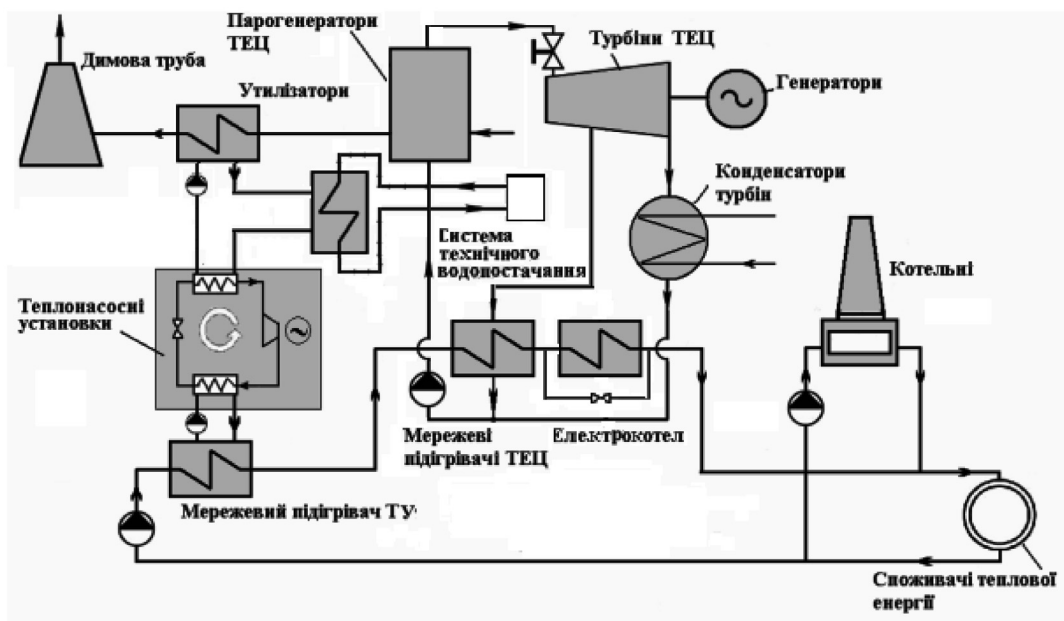


Рис. 3. Технологічна схема ТЕЦ з використанням теплових насосів та електрокотлів

Таблиця 4 – Показники при впровадженні на ТЕЦ електрокотлів та теплових насосів

№ з/п	Назва ТЕЦ	Потужність ТЕЦ		Потужність ТН		Потужність ел. котлів, МВт	Маневрова потужність, МВт
		теплова, Гкал/год	електрична, МВт	теплова, Гкал/год	електрична, МВт		
1	Київенерго ТЕЦ-5	136,8	90,0	35,0	9,0	96,3	193,0
2	Київенерго ТЕЦ-6	136,8	90,0	33,6	8,7	37,9	98,2
3	Дарницька ТЕЦ	33,0	15,7	11,9	3,1	74,5	121,5
4	Харківська ТЕЦ-5	136,8	90,0	33,6	8,7	7,6	49,8
5	Кременчуцька ТЕЦ	60,4	35,6	14,8	3,8	12,6	35,8
6	Криворізька ТЕЦ	33,0	15,7	10,9	2,8	27,4	51,3
	<b>Всього</b>	<b>536,8</b>	<b>337,0</b>	<b>139,9</b>	<b>36,1</b>	<b>256,3</b>	<b>549,7</b>

Таблиця 5 – Показники ефективності впровадження ЕТР на ТЕЦ

Назва заходу	Показник ефективності		
	Маневрова потужність $\Delta N$ , МВт	Питомі витрати палива, г. у.п./кВт	Питомі інвестиційні витрати, дол. США/кВт
Впровадження електрокотлів	763,7	0,241	23,1*
Впровадження теплових насосів	170,8	0,111	432,3**
Впровадження електрокотлів теплових насосів	549,7	0,207	119,8

Питомі інвестиційні витрати на впровадження: \* електрокотлів взяті згідно з [5], \*\*теплових насосів – дол. США 350/кВт (експертна оцінка).

## ВИСНОВКИ

1. Реальний технічний потенціал маневрної потужності ТЕЦ України, які працюють цілий рік, становить 763,7 МВт. Цей потенціал можна повністю реалізувати тільки при використанні в ролі ЕТР електрокотлів.

2. Найменші питомі витрати палива на створення одиниці маневрної потужності будуть при використанні в ролі ЕТР теплових насосів, але при цьому буде і найменша маневрена потужність.

3. Найменші питомі інвестиційні витрати будуть при використанні в ролі ЕТР електрокотлів.

4. Найбільш доцільним варіантом впровадження ЕТР на ТЕЦ є впровадження електрокотлів разом з тепловими насосами, які забезпечують порівняно велику маневрену потужність при помірних інвестиційних витратах та витратах палива.

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., Левчук А.П., Каденський М.Я. Підвищення маневрних можливостей енергетичної системи шляхом впровадження теплових насосів-регуляторів у складі ТЕЦ // 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 // Проблеми загальної енергетики. – 2015. – Вип. 2(41). – С.48–56.

5. Трутаев В.И., Сыропушинский В.М. Применение электрокотлов на ТЭЦ как эффек-

тивный способ получения маневренной электрической мощности в энергосистеме Беларуси с вводом АЭС // Энергетическая стратегия. – 2010. – №4 (16). – С 19–24.

6. Журнали Энергобизнес за 2012–2015 роки.

7. Муніципальний енергетичний план //концепція/Реформа міського теплозабезпечення. – USID. – 2011 р.

8. Державний комітет України по житлово-комунальному господарству. Норми та вказівки по нормування витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. КТМ 204 Україна 244-94. – Київ, 2001.

9. Техніко-економічне обґрунтування підвищення ефективності системи теплопостачання м. Харкова та дослідження можливості організаційної реструктуризації // Агентство США з торгівлі та розвитку (USTDA), Компанія Parsons E&C, компанія Tysak Engineering (США), Агентство з раціонального використання енергії та екології (Україна). – 2004 р.

10. Гиршфельд В.Я. Тепловые электрические станции / В.Я. Гиршфельд, Г.Н. Морозов – М.: Энергия, 1973. – 240 с.

11. РД 34.30.716. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата Т-100-130-3 ТМЗ.– Москва: Спец. центр научн-техн. инф., 1971.

12. РД 34.30.734-86. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата Т-42/50–90-3 ПО ЛМЗ: ТХ 34-70-020–86. – М.: Союзтехэнерго, 1986.

13. Смирнов А.Д., Антипов К.М. Справочная книжка энергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 440 с.

14. Бененсон Е.И., Иоффе Л.С. Теплофикационные паровые турбины / Под ред. Д.П. Бузина. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 271 с.

15. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата ПТ-60-90/13 (ВПТ-50-2) ЛМЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200044598>

16. ГКД 34.09.108.2003: Витрати палива на відпущену електричну та теплову енергію при їх комбінованому виробництві на теплових електростанціях. Методика визначення. – К.: М-во палива та енергетики України, 2003. – 12 с.

17. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та



відомчі системи каналізації населених пунктів України. – Київ, 2002.

18. *Проектирование* тепловой электрической станции для обеспечения города с населением 190 тысяч жителей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fan-5.ru/better/article-169600.php>.

*Надійшла до редколегії 06.09.2016 року*