

Є.А. ЛЕНЧЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНИМИ ЕЛЕКТРОКОТЛАМИ ЯК ДІЄВИЙ ЗАСІБ ЗНИЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

В роботі розглянуто перспективну можливість впровадження на ТЕЦ м. Києва потужних електрокотлів, що будуть використані як технологічно, так і у процесах автоматизованого диспетчерського керування режимом навантаження. Проведені дослідження показали, що за умови впровадження на ТЕЦ комплексу потужних електрокотлів стане можливим досягнути збільшення базової складової графіка електричного навантаження Київського енерговузла і відповідного зменшення змінної його частини, що надасть певний економічний ефект.

Ключові слова: Об'єднана енергосистема України, електротеплові комплекси (ЕТК), автоматизована система диспетчерського керування (АСДК), графік електричного навантаження (ГЕН).

За останні роки відбулися певні зміни в структурі споживання електричної енергії в Об'єднаній енергосистемі України, причиною цього стало поступове зменшення електричного навантаження в промисловості та збільшення електроспоживання населенням (рис.1) [1].

Зокрема, в Центральній електроенергетичній системі (ЕС) у період 2008 – 2011 рр. питома вага електроспоживання населенням змінилась від 24,9 % до 27,9 %, що також призвело до збільшення змінної частини добових навантажень [2].

Крім того, за даними [3], в період осінньо - зимового міжсезоння (ОЗМ) 2012 – 2013 рр. споживання Київського енерговузла, до якого входять підстанції 330 кВ Північна, Ново-Київська, Жовтнева, Броварська, а також станції ТЕЦ–5, ТЕЦ–6, Дарницька ТЕЦ і каскад Київської ГЕС та ГАЕС, зросло до 3152 МВт

(на 17⁰⁰ – 19.12.2012 р.). При цьому, незважаючи на максимальний рівень генерації Київських ТЕЦ-5 та ТЕЦ-6 до Київського енерговузла через перетин Центральна ЕС – м. Київ надходила додаткова потужність, порядку 1650 МВт (припустиме значення 1800 МВт). У такій ситуації у разі, наприклад, аварійного відключення однієї із ліній ПЛ 330 кВ Київського енерговузла величина потужності в цьому перетині може перевищити максимально припустиму. Загальний дефіцит генеруючих потужностей в Центральній ЕС в опалювальний період (в неопалювальний період) 2012 – 2013 рр. становив [4]:

- маневрових потужностей: 1079 МВт (848 МВт);
- базових потужностей: 715 МВт (1131 МВт).

На сьогодні питання щодо зменшення дефіциту маневрових генеруючих потужностей в Центральній ЕС є достатньо актуальним і сто-



Рис.1. Структура споживання електроенергії в Україні за 2008 – 2013 рр.

сується подальшого розвитку всієї ОЕС України. За останні роки для вирішення цього питання були збудовані нові лінії ВЛ-750 кВ від Рівненської і Хмельницької АЕС, а також продовжена реалізація будівництва Канівської ГАЕС. Проект побудови Канівської ГАЕС передбачає щорічне введення в експлуатацію по 250 МВт турбінної електричної потужності починаючи з 2017 р. із досягненням у 2020 р. проектної потужності 1000 МВт [5,6]. Однак проект будівництва Канівської ГАЕС є достатньо витратним.

Так, на період 2012 р. загальна вартість цього проекту дорівнювала порядку 12 млрд грн.

Сучасні перспективні напрямки щодо вирішення питання зменшення в енергосистемі дефіциту маневрових генеруючих потужностей передбачають можливість досягнення поставленої мети вже за значно менших витрат [7,8]. Так, проведений в [7] співставний аналіз техніко-економічних характеристик Канівської ГАЕС та комплексу електротеплових споживачів-регуляторів, на основі використання теплонасосних установок, показав, що за умови його впровадження останній матиме низку суттєвих переваг як у термінах окупності: 1,55 років, у порівнянні з 24,6 роками за проектом, так і за величиною отриманого прибутку. В контексті вирішення цієї проблеми цікавим став і сучасний досвід Білоруських спеціалістів [8], котрі, при розробці проекту введення в експлуатацію нових потужностей АЕС та відсутності в енер-

госистемі належної кількості маневрових енергоблоків ГК ТЕС, запропонували застосувати одну із технологічних схем реалізації маневрових ТЕЦ. Ця схема передбачає застосування потужних електродкотлів (ЕК) в системі розвантаження відборів турбоагрегату ТЕЦ, що надає можливість регулювати виробіток електроенергії на тепловому споживанні. Можливість регулювання потужностей ЕК з боку автоматизованої системи диспетчерського керування (АСДК) станції дозволить забезпечувати у години нічного спаду графіка електричного навантаження (ГЕН) енергосистеми маневровий режим роботи енергоблоків ТЕЦ.

Однак, розглянутий вище спосіб регулювання потужностей ТЕЦ має низку суттєвих недоліків, головні з яких:

- в Україні на енергоринку ціна електроенергії ТЕЦ є суттєво вищою за ціну електроенергії маневрових енергоблоків ГК ТЕС [9]. Використання блоків ТЕЦ в маневровому режимі ще підвищить цю ціну. Тобто, використання блоків ТЕЦ в маневровому режимі у порівнянні з аналогічними маневровими блоками ГК ТЕС буде економічно невиправдане;

- режим навантаження турбоагрегатів на потужні електродкотли слід розглядати як процес регулювання, за якого відповідна частина генеруючих потужностей ТЕЦ виводиться із енергосистеми. Це зменшує загальний потенціал діючих в енергосистемі генеруючих потужностей, що негативно

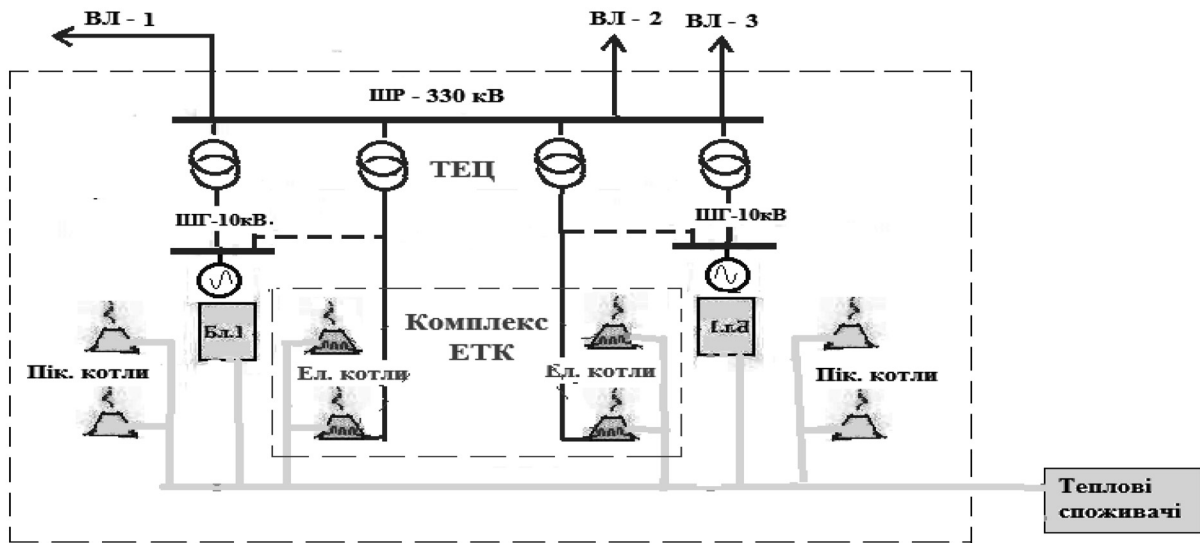


Рис. 2. Схема підключення ЕТК на ТЕЦ

позначається на головних показниках її роботи.

Метою статті є розгляд нового більш ефективного способу використання ЕК, за якого пропонується створити потужний електротепловий комплекс (ЕТК), регулювання навантаженням якого буде виконувати діюча автоматизована система диспетчерського керування (АСДК) енергосистеми, за допомогою автоматики системи керування потужності цього ж комплексу (АСК – ЕТК). Передбачається, що завдяки процесам регулювання навантаженням комплексу ЕТК стане можливим усунути нічні провали навантаження ГЕН енерговузла ЕС, до якого він буде під'єднаний. Для виконання поставленої задачі пропонується виконати схему електроживлення комплексу ЕТК від розподільчих шин (ШР – 330 кВ) ТЕЦ, а технологічне використання цього комплексу забезпечити в системі зворотної води теплоцентралі, як це умовно показано на рис.2.

Перспективу розширення функціональних можливостей діючої системи АСДК в процесах керування режимом навантаження розглянемо на прикладі можливості використання комплексу ЕТК на станціях ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 Київського енерговузла Центральної ЕС. Для цього на рис. 3 наведена функціональна схема Київського енерговузла, в якому на станціях ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 передбачається можливим впровадити електрокотли комплексу ЕТК.

Виконання системою АСДК процесів керування навантаженням комплексу ЕТК направлено на створення в Київському енерговузлі нового більш високого рівня мінімального навантаження (P_{min}^*), як це показано на добовому графіку навантаження (ГЕН) цього ж енерговузла, наведеному на рис.4. Процеси регулювання навантаженням комплексу ЕТК повинні будуть виконуватись таким чином, щоб забезпечити в Київському енерговузлі стабільність утримання нового рівня мінімального навантаження (P_{min}^*), впродовж заданого інтервалу: $\Delta t = (t_1 - t_2)$ (див. рис.4).

Послідовність виконання процесів керування режимом навантаження Київського енерговузла, за використання комплексу ЕТК полягатиме в тому, що в діючій системі АСДК «Верхнього рівня» за прогнозними розрахунками режиму навантаження ЕС на кожен наступну добу буде врахована можливість забезпечення нового більш високого рівня мінімального навантаження (P_{min}^*) (див. рис.4). Для цього на прогнозованому ГЕН Київського енерговузла буде визначено момент (t_1) (рис.4), коли на подальше зменшення поточного навантаження буде реагувати система АСДК станцій та вводити в енергосистему відповідну величину навантаження комплексу ЕТК. Це означає, що зафіксований на момент (t_1) новий мінімальний рівень навантаження (P_{min}^*) повинен буде підтримуватись в Київському енерговузлі

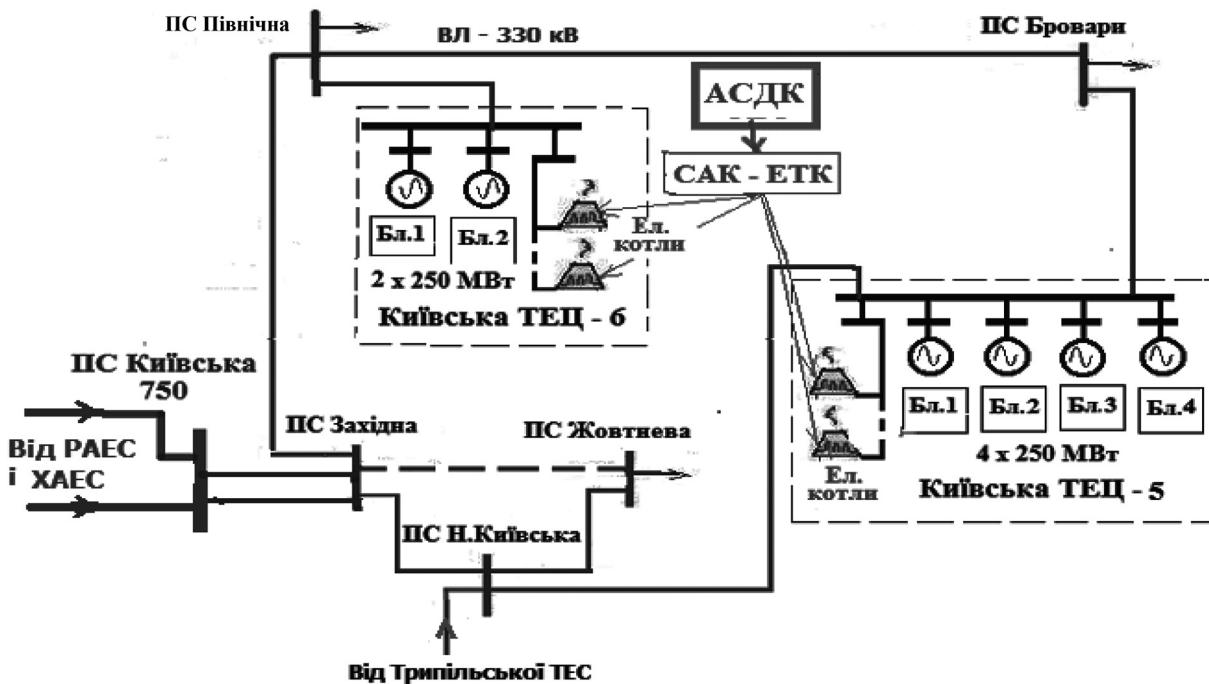


Рис.3. Схема «Київського енерговузла», де на станціях ТЕС-5 та ТЕС-6 встановлено потужні електродкотли комплексу ЕТК, робота яких керується системою АСКД

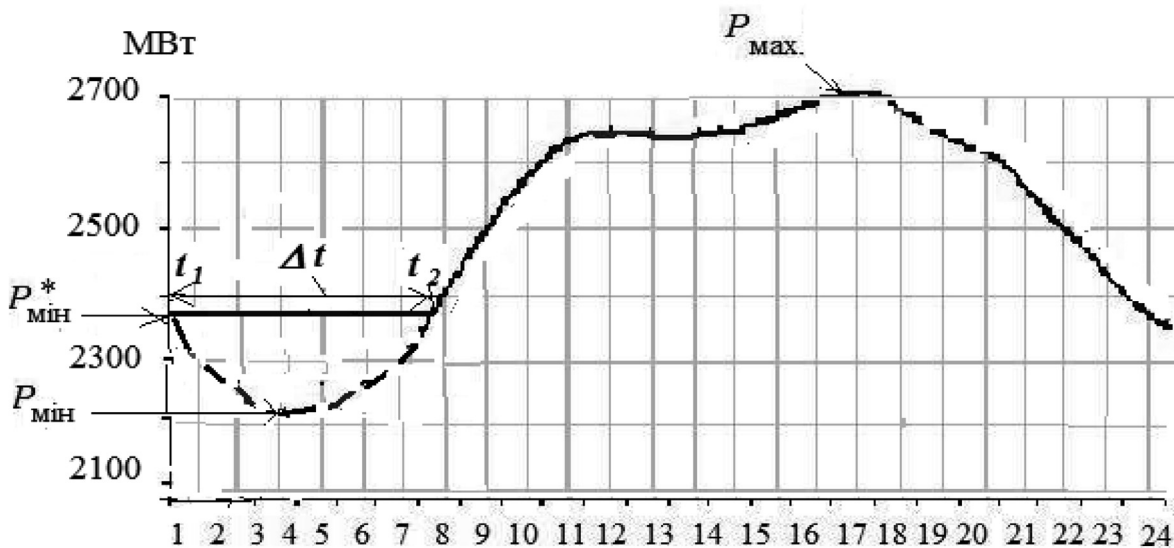


Рис. 4. Графік добового навантаження м. Києва з новою заданою в АСКД «Верхнього рівня» величиною мінімального навантаження ($P_{мін}^*$)

потужностями ЕТК впродовж всього інтервалу (Δt) (див. рис.4). При цьому стабільність нового встановленого рівня навантаження ($P_{мін}^*$) повністю буде залежати від якості процесів керування потужностями навантаження комплексу ЕТК ($\Delta P_{н.ЕТК}$). Для вирішення цієї

задачі в системі АСК – ЕТК пропонується застосувати відомий принцип дискретного регулювання, за якого попередньо визначений період проведення процесів регулювання Δt буде розподілено на певні дискретні інтервали: $\Delta t = (\tau_1 - \tau_2)$, за умови, що $\Delta t \ll \Delta t$. На проміж-

ку проходження кожного з цих інтервалів систематично буде виконуватись контроль за змінами поточного навантаження ЕС $P_{H(t)}$, на основі цих змін і буде визначатись потрібна дія щодо керування заданою величиною навантаження ЕТК, тобто $\Delta P_{H.ETK(\Delta\tau)}$:

$$\Delta P_{H.ETK(\Delta\tau)} = P_{MIN}^* - \frac{1}{\Delta\tau} \int_{t_1}^{\tau_2} P_H(t) dt. \quad (1)$$

Передбачається, що впродовж усього заданого періоду регулювання Δt в залежності від змін поточного навантаження $P_{H(t)}$ величина навантаження $\Delta P_{H.ETK(\Delta\tau)}$ також буде змінюватись. Таким чином, величина нового стабільного рівня мінімального навантаження буде визначатись рівнянням:

$$P_{.min}^* = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \sum_{\tau_1}^{\tau_2} \left(P_{H.(t)} + \Delta P_{H.ETK} \right) dt = const. \quad (2)$$

Процеси регулювання навантаженням комплексу ЕТК будуть виконуватись таким чином, щоб впродовж заданого інтервалу: $\Delta t = (t_1 - t_2)$ режим навантаження електростанцій Київського енерговузла залишався незмінним наперед заданій величині P_{MIN}^* :

$$\sum_{t_1}^{t_2} P_{.ТЕЦ-5} + P_{.ТЕЦ-6} + P_{.ДТЕЦ} + P_{.Трипільська.ТЕС} + P_{Київські\ ГЕС(ГАЕС)} = P_{MIN}^* \approx const. \quad (3)$$

Разом з цим, технологічне використання комплексу ЕТК в роботі ТЕЦ-5 та ТЕЦ-6 в період опалювального сезону надасть можливість розвантажити пікові котли станцій ($Q_{ПК}$) на задану величину: $\Delta Q_{ПК} = \Delta Q_{ЕТК}$, зберігаючи встановлений тепловий баланс теплоцентралей:

$$\sum_{t_1}^{t_2} Q_{ТЕЦ} + (Q_{ПК} - \Delta Q_{ПК}) + \Delta Q_{ЕТК} = Q_{H.C.}, \quad (4)$$

де $Q_{H.C.}$ – теплове навантаження споживачів.

У неопалювальний період для забезпечення теплового балансу при роботі ЕТК на ТЕЦ останні будуть зменшувати виробку теплової енергії працюючи в конденсаційному режимі.

За умови використання в системі АСДК комплексу ЕТК змінна частина графіка добо-

вого навантаження Київського енерговузла зменшиться, а базова його частина відповідно збільшиться (див. рис.4). Завдяки тому, що мінімальний рівень навантаження ГЕН буде піднято на новий більш високий рівень (P_{min}^*) стане можливим вивести із Київського енерговузла маневрові генеруючі потужності Трипільської ТЕС та ввести, замість них, базові генеруючі потужності Рівненської АЕС. При цьому, режим навантаження електростанцій Київського енерговузла впродовж заданого інтервалу: $\Delta t = (t_1 - t_2)$ повинен буде залишитись незмінним:

$$\sum_{t_1}^{t_2} P_{.PAEC} + P_{.ТЕЦ-5} + P_{.ТЕЦ-6} + P_{.ДТЕЦ} + P_{Київські\ ГЕС(ГАЕС)} = P_{MIN}^* \approx const. \quad (5)$$

В табл. 1 наведено дані щодо навантаження станцій Київського енерговузла (МВт) до і після впровадження комплексу ЕТК.

Передбачається, що за умови впровадження комплексу ЕТК базова складова графіка навантаження Київського енерговузла збільшиться, а змінна його частина відповідно зменшиться на 500 МВт (див. табл.1). Це надасть можливості вивести із Київського енерговузла маневрові генеруючі потужності Трипільської ТЕС та ввести замість них базові генеруючі потужності Рівненської АЕС. Зазначені вище потужності маневрових енергоблоків Трипільської ТЕС можна буде використати вже у інших енерговузлах Центральної ЕС, на заміну задіяним у цих же енерговузлах генеруючих потужностей Ладижинської ТЕС. Проведена заміна генеруючих потужностей станцій підвищить енергетичну та екологічну ефективність роботи Центральної ЕС, а також надасть можливості на Оптовому ринку електроенергії (ОРЕ) отримувати додатковий щорічний прибуток.

В табл. 2 наведено дані порівняння показників динаміки обсягів електроенергії, що відпускалася виробниками в Оптовий ринок електроенергії у 2012 р. із показниками цих самих обсягів, в разі використання в системі АСДК «Київського енерговузла» автоматично керованих потужностей комплексу ЕТК.

В табл. 3 приведено результати розрахунків техніко-економічних показників проекту побудови комплексу ЕТК. За результатами проведених розрахунків після введення в експлуатацію електротеплового комплексу ЕТК та

Таблиця 1 – Показники навантаження станцій, задіяних в роботі Київського енерговузла (МВт), до і після впровадження комплексу ЕТК

Найменування показника	Потужності станцій (МВт), задіяних у опальвальний період року		Потужності станцій (МВт), задіяних у неопальвальний період року	
	базові	маневрові і пікові	базові	маневрові і пікові
До впровадження комплексу ЕТК	1000 [☼]	500* + 500 ^Δ	500 [☼] + 250 ^Δ	250 ^Δ + 600*
Після введення комплексу ЕТК	1000 [☼] + 500 ^{☼☼}	500*	500 [☼] + 500 ^{☼☼}	600*

Примітки: ☼ – потужність Київських ТЕЦ-5 та ТЕЦ-6; * – потужність Київської ГЕС та ГАЕС; Δ – потужність Трипільської ТЕС; ☼☼ – потужність Рівненської АЕС.

Таблиця 2 – Розрахункові дані річного прибутку ОРЕ, отриманого за рахунок зниження вартості електроенергії, відпущеної виробниками в Оптовий ринок, за умови використання в системі АСДК «Київського енерговузла» комплексу ЕТК*

Найменування показника	Поставки			
	з 01.01.2012 по 31.12.2012			
	за існуючим розподілом обсягу електроенергії:			
	існуючі		змінені, за умови використання в системі АСДК комплексу ЕТК	
	МВт.г	%	МВт.г	%
Обсяг електроенергії, що відпущена в ОРЕ	180 183 048	100	180 183 048	100
в тому числі:				
ДП "НАЕК "Енергоатом"	84 997 371	47,17	89 377 371	49,61
ГК ТЕС	69 726 995	38,69	65 346 995	36,27
Середньорічна ціна продажу електроенергії в ОРЕ	грн/МВт.г			
АЕС	215			
ГК ТЕС	576			
Вартість продажу станціями електроенергії в ОРЕ	грн.			
АЕС	18 274 434 765		19 216 134 765	
ГК ТЕС	40 162 749 120		37 639 869 120	
Загальна вартість електроенергії, що відпущена в ОРЕ	87 568 961 328		85 987 781 328	
Річний прибуток, отриманий ОРЕ за використання в системі АСДК «Київського енерговузла» комплексу ЕТК (грн.)	1 581 180 000			

*) Вартісні показники наведені у цінах 2012 р.

Таблиця 3 – Техніко-економічні показники проекту побудови комплексу ЕТК із автоматикою системи регулювання потужності цього комплексу (АСК)

№ з/п	Показник		Одиниця виміру	Значення	
1	Встановлена потужність на споживання електроенергії		МВт	500	
2	Ефективна потужність на виробництво теплової енергії		МВт	450	
3	Капіталовкладення, усього, у.т.ч.		млн грн	905,0	
4	Обладнання		млн грн	595,7	
5	Вартість системи АСК для комплексу ЕТК		млн грн	119,1	
6	Час роботи комплексу ЕТК	6.1	нічний період	год/рік	2555,0
		6.2	напівпіковий період	год/рік	0,00
7	Споживання електроенергії	7.1	нічний період	млн кВт·год/рік	1277,50
		7.2	напівпіковий період	млн кВт·год/рік	0,00
8	Тариф на спожиту електроенергію	8.1	нічний період	грн/ кВт·год	0,32
		8.2	напівпіковий період	грн/ кВт·год	3,02
9	Вартість спожитої електроенергії	9.1	нічний період	млн грн/рік	140,84
		9.2	напівпіковий період	млн грн/рік	0,00
		9.3	разом	млн грн/рік	140,84
10	Вироблена тепла енергія		млн Гкал/рік	0,99	
11	Відпущена тепла енергія		млн Гкал/рік	0,89	
12	Середній тариф на відпущену теплову енергію		грн/Гкал	1384,00	
13	Вартість виробленої теплової енергії (валовий дохід)		млн грн/рік	1231,41	
14	Податки на збори		млн грн/рік	246,28	
15	Кількість персоналу		осіб	50	
16	Зарплата персоналу		млн грн/рік	9,10	
17	Річні амортизаційні відрахування		млн грн/рік	91,14	
18	Річні витрати на ремонти		млн грн	65,53	
19	Інші витрати (запасні частини, матеріали, інше)		млн грн/рік	10,83	
20	Сумарні річні витрати на виробництво теплової енергії		млн грн/рік	563,30	
21	Собівартість відпущеної теплової енергії		грн/Гкал	632,99	
22	Валовий прибуток		млн грн	668,21	
23	Чистий прибуток		млн грн	501,16	
24	Термін окупності		рік	1,8	

Таблиця 4 – Повні та питомі капіталовкладення в електрокотли

	20	35	40	50
Теплопродуктивність електрокотлів, МВт	20	35	40	50
Повні капітальні витрати, тис. дол. США	1007	1376	1488	1740
Питомі капітальні витрати, тис. дол. США/МВт	50,3	39,2	37,2	34,8

його технологічного використання на теплоцентралях міста інвестиційні кошти на реалізацію цього проекту будуть повернуті менш ніж за 2 роки.

До капітальних витрат включено вартість 10 електродкотлів шведської фірми Zeta, вартість технологічного підключення цих котлів на ТЕЦ та забезпечення можливості автоматичного керування їх роботою [8,10] (див. табл. 4).

ВИСНОВКИ

1. В роботі розглянуто перспективний напрямок щодо впровадження у Центральній ЕС нової автоматичної системи АСК – ЕТК. Призначенням цієї системи буде усунення нічних провалів графіка навантаження Київського енерговузла та встановлення нового більш високого рівня мінімального навантаження в цьому енерговузлі.

2. Проведені дослідження показали, що впровадження на теплоцентралях системи АСК – ЕТК суттєво зменшить дефіцит маневрових генеруючих потужностей в Центральній ЕС, та зніме потребу у подальшій розбудові та використанні потужностей Канівської ГАЕС.

3. Якщо врахувати те, що водні ресурси України вже практично вичерпані і для подальшого нарощування потужностей ГЕС(ГАЕС) вже немає ніяких перспектив, саме застосування нових систем АСК – ЕТК може стати одним із перспективних напрямів у вирішенні питання щодо усунення нічних провалів графіка навантаження ОЕС України.

3. *Шеберстов П.О.* ПС 750 кВ «Київська» забезпечить зростаючі потреби електричної енергії та потужності Київського енерговузла / П.О. Шеберстов, Ю.П. Касіч, Ю.В. Федотов // Новини енергетики. – 2009. – №4. – С. 26–30.

4. *Дані «Добових відомостей» НЕК «Укренерго» за поточні місяці 2012 – 2013 рр.*

5. «Укрэнерго» отстроит новую подстанцию на деньги ЕБРР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ubr.ua/market/industrial/skolko-ebrr-vydilil-dlia-ukrenergo-333105>.

6. *Будівництво Канівської гідроакумулюючої електростанції* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.uce.gov.ua.

7. *Кулик М.М.* Співставний аналіз техніко-економічних характеристик Канівської ГАЕС та комплексу споживачів-регуляторів для покриття графіків електричних навантажень / М.М. Кулик // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – Вип.4(39) – С.5–10.

8. *Трутаев В.И.* Применение электродкотлов на ТЭЦ как эффективный способ получения маневренной электрической мощности в энергосистеме Беларуси с вводом АЭС / В.И. Трутаев, В.М. Сыропушинский // Электроэнергетика. – 2010. – Июль-август. – С. 19–24.

9. *Динаміка цін продажу електроенергії в Оптовий ринок електроенергії виробниками (ДП Енергоринок)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.er.gov.ua/>.

10. *Електродкотли шведської фірми Zeta* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zeta.se/boilers/en/projects/sweden/>.

Надійшла до редколегії: 15.09.2016.

1. *Аналіз та структура споживання електроенергії в Україні за 2008–2013 роки.* / Державне підприємство НЕК «Укренерго». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua>.

2. *Центральна електроенергетична система за станом на 2012 р.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: rdc@rdc.energy.gov.ua.