

УДК 536.7

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

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ У ПРОЦЕСАХ УЩІЛЬНЕННЯ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

*Розглянуто можливість створення у енергосистемі самодостатнього (бездефіцитного) резерву маневрених потужностей, за рахунок використання у діючій системі диспетчерського керування режимом додаткових потужностей навантаження комплексів електричних теплогенераторів (ЕТГ). У зв'язку з чим, розглянуто питання щодо реалізації процесів взаємодії між диспетчерськими центрами керування режимом навантаження енергосистеми і тепловими центрами теплопостачання міст, пов'язаних із ущільненням добових графіків електричного навантаження потужностями комплексів ЕТГ. На прикладі виконання процесів ущільнення добового графіку навантаження Київського енерговузла розглянуто особливості використання потужностей комплексів ЕТГ.*

*Ключові слова:* Об'єднана енергосистема України (ОЕС України), електричні теплогенератори (ЕТГ), добовий графік електричного навантаження (ДГЕН), системи централізованого теплопостачання міст (СЦТ), автоматизована система диспетчерського керування (АСДК).

На сьогодні, як і десятиліття тому, процеси диспетчерського керування режимом навантаження Об'єднаної енергосистеми виконувались і продовжують виконуватись за відсутності належної величини оперативного резерву маневрових генеруючих потужностей, що негативно позначається на головних показниках її роботи. Відомо, що оперативний резерв маневрених генеруючих потужностей традиційно формують на енергоблоках ТЕС. Резерв потужностей на маневрених енергоблоках ТЕС складає усього лише 15%, від їх номінальної потужності, а останні 85% генеруючої потужності використовують на покриття базової частини добового графіку навантаження Об'єднаної енергосистеми. При цьому, потрібно врахувати, що половину базового навантаження Об'єднаної енергосистеми вже покривають генеруючі потужності атомних станцій (АЕС). Крім того, за останні роки у Об'єднаній енергосистемі намітилась ще й тенденція до щорічного зростання змінної частини добового графіку електричного навантаження. Усі ці фактори не сприяли забезпеченню у Об'єднаній енергосистемі самодостатньої (бездефіцитної) величини оперативного резерву маневрових генеруючих потужностей. У

зв'язку з тим, керівництво «Енергоатома» запропонувало прийняти нетрадиційне рішення щодо проведення експериментів із використанням одного із діючих енергоблоків Хмельницької АЕС, типу ВВЕР–1000, у режимі, що забезпечить можливість протягом доби регулювати його потужність, у діапазоні 750–1000 МВт [1]. Однак і цей напрямок є достатньо небезпечним і може лише сприяти частковому зменшенню дефіциту маневрених генеруючих потужностей в ОЕС України, чого зовсім недостатньо.

Проведені дослідження показали, що одним із напрямків вирішення актуального питання щодо забезпечення в Об'єднаній енергосистемі самодостатньої (бездефіцитної) величини оперативного резерву маневрених потужностей може стати застосування нових засобів формування цього резерву, створених на основі автоматично керованих потужностей навантаження комплексів електричних теплогенераторів (ЕТГ). При цьому передбачається, що комплекси ЕТГ матимуть автоматичне керування безпосередньо від автоматизованої системи диспетчерського керування (АСДК) Об'єднаної енергосистеми, а до складу цих комплексів увійдуть потужні електрокотли, технологічно задіяні на теплоцентралях ряду міст.

© Є.А. ЛЕНЧЕВСЬКИЙ, 2019

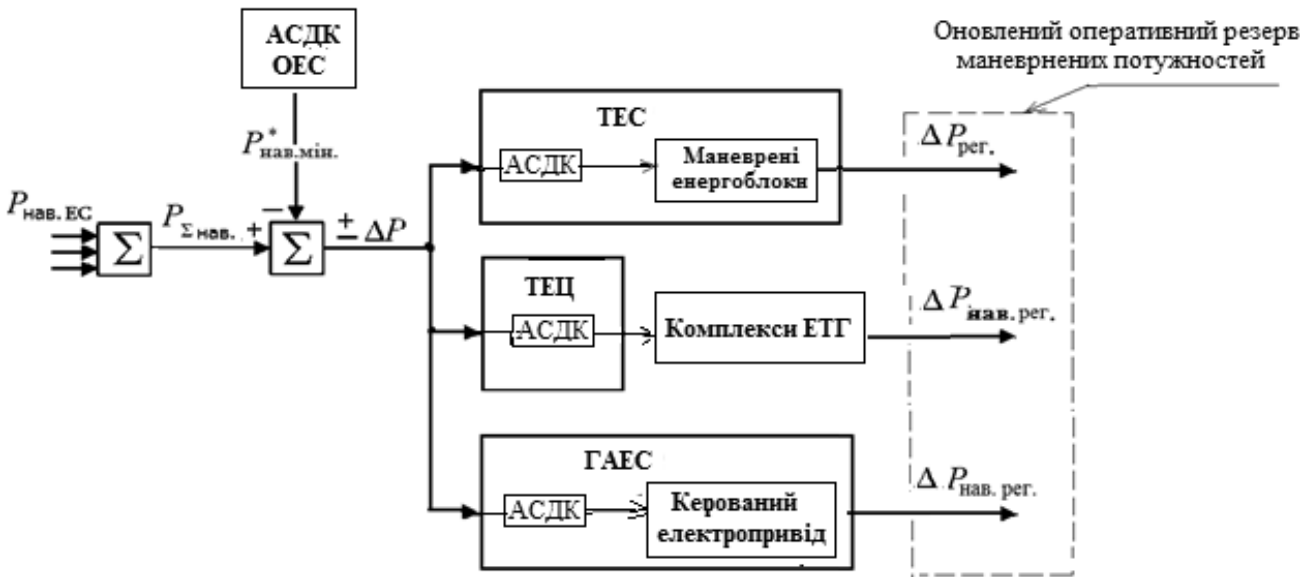


Рис. 1. Структурна схема оперативного резерву маневрених потужностей Об'єднаної енергосистеми доповненого автоматично керованим навантаженням комплексів ЕТГ

Метою статті є визначення особливостей взаємодії електричних та теплових потужностей комплексів ЕТГ, при використанні останніх у складі оперативного резерву маневрених потужностей, у діючій системі диспетчерського керування режимом навантаження Об'єднаної енергосистеми.

Як на сьогодні, оперативний резерв складається, головним чином, із маневрених генеруючих потужностей енергоблоків ТЕС, а також із регульованих потужностей навантаження електроприводу станцій ГАЕС, а доповнити цей резерв пропонується саме автоматично керованим навантаженням сучасних електродвигунів ЕК, що увійдуть до складу комплексів ЕТГ, як це показано на рис. 1.

Таким чином, оновлений оперативний резерв маневрених потужностей представлтимуть рівнянням:

$$\begin{cases} \sum_1^n \Delta P_{ТЕС.ман.} + \sum_1^m \Delta P_{ТЕЦ з ТНУ} = \sum_1^{n+m} P_{ман. ген.}; \\ \sum_1^k \Delta P_{ГАЕС.закачка} + \sum_1^c \Delta P_{ЕТГ.нав.} = \sum_1^{k+c} P_{рег. нав.} \end{cases} \quad (1)$$

де  $n$  – кількість маневрених енергоблоків ТЕС;  $m$  – кількість систем ТНС на ТЕЦ;  $k$  – кількість систем електроприводу ГАЕС;  $c$  – кількість комплексів ЕТГ.

Для формування та подальшого використання оновленого оперативного резерву у процесах диспетчерського керування режимом Об'єднаної енергосистеми потрібно буде вже на стадії прогнозування графіку навантаження ДГЕН, котре виконується у системі АСДК «Верхнього рів-

ня» на кожен наступну добу, була передбачена можливість включення до цього резерву потужностей навантаження комплексів ЕТГ. Це дозволить вже на стадії прогнозування графіку ДГЕН Об'єднаної енергосистеми визначити необхідну величину потужностей навантаження комплексів ЕТГ, для підняття мінімального рівня навантаження ДГЕН на новий більш високий рівень, який повинен бути таким, щоб диспетчери теплових станцій не були вимушені виконувати тимчасові відключення частини маневрених енергоблоків ТЕС, що на сьогодні має місце у години нічного спаду навантаження ДГЕН. Це принесе Об'єднаній енергосистемі чималий економічний ефект.

Введення потужностей комплексів ЕТГ у систему диспетчерського керування режимом Об'єднаної енергосистеми буде пов'язано також із розглядом питань щодо технологічного їх використання у діючих системах централізованого теплопостачання міст, де саме і будуть встановлені ці комплекси. За сумісного використання електричних і теплових потужностей комплексів ЕТГ стане можливим отримати, крім основного, також і додатковий (сукупний) економічний ефект. Для цього, потрібно буде після проведеного прогнозування графіку навантаження ДГЕН на наступну добу, у діючій системі АСДК «Верхнього рівня», передати отримані дані щодо визначених, при цьому, величин потужностей навантаження комплексів ЕТГ до диспетчерів систем централізованого теплопостачання міст, де задіяні ці комплекси. Тобто, дані щодо проведеного прогнозування електричних і теплових потужностей комплексів

ЕТГ будуть надходити, відповідно, як у системи АСДК регіональних ЕС, так і надаватись диспетчерам теплоцентралей ряду міст, де останні будуть встановлені.

Для прикладу, на рис. 2 представлено графік виробництва/споживання електроенергії в ОЕС України, за 12 жовтня 2017 р., на якому умовно показано потужності навантаження комплексів ЕТГ, задіяні у період нічного спаду навантаження ДГЕН, а також графік теплового навантаження діючих систем ГВП у Києві та Харкові, на якому відображено результати роботи теплових генераторів комплексу ЕТГ, за цей період.

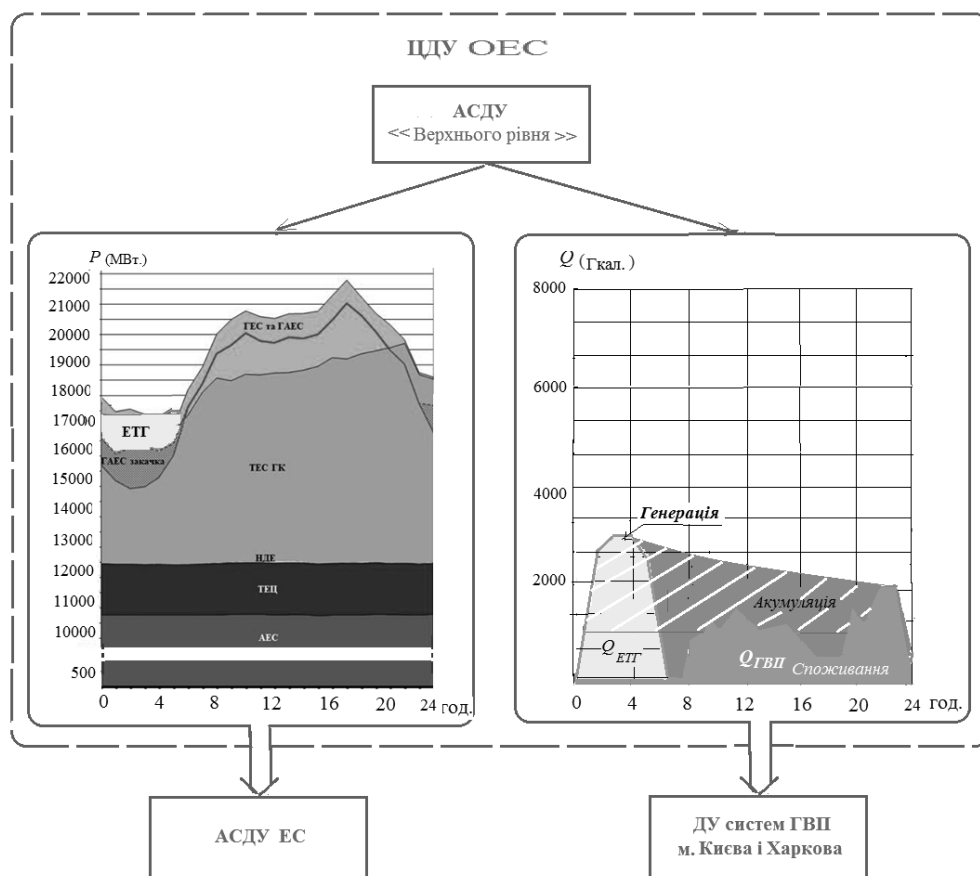
Режим роботи енергосистеми на цю добу відповідав середньодобовій температурі по Україні +10,7 °С. Передбачається, що дані прогнозних графіків системи АСДУ «Верхнього рівня» будуть надаватись до виконання у системи АСДУ ЕС та ДУ системи ГВП теплоцентралей, як це показано на рис. 2.

За роботи електричних теплогенераторів комплексів ЕТГ матиме місце додаткова генерація теплової енергії  $Q_{ЕТГ}$ , яка надходитиме до систем ГВП централізованого тепlopостачання

міст Києва та Харкова (рис. 2). Очевидно, що ефективне використання додаткової теплової енергії у системах ГВП стане можливим за наявності у складі комплексів ЕТГ засобів акумуляції теплової енергії.

Згідно рис. 2, покриття теплового навантаження системи ГВП міст Києва та Харкова потужностями комплексів ЕТГ можливе за наявності величини потужностей цих комплексів, порядку 3000 МВт. Проведений за останні роки аналіз графіків навантаження ДГЕН показав, що потужностей комплексів ЕТГ, порядку 1500–2000 МВт, буде цілком достатньо для забезпечення у диспетчерському керуванні режимом ОЕС України самодостатнього (бездефіцитного) оперативного резерву маневрових потужностей. Тобто, в цілому, теплове навантаження систем ГВП міст Києва та Харкова задовольняє вимогам побудови та використання комплексів ЕТГ.

Цілком припустимо, що в опалювальний період року обмежень у генерації комплексами ЕТГ теплової енергії до систем централізованого тепlopостачання практично не буде. Крім того, у опалювальний період року стане можливим



**Рис. 2.** Прогнозні графіки виробництва/споживання електроенергії в ОЕС України та змін теплового навантаження у системах ГВП теплоцентралей міст Києва і Харкова за умови сумісного використання електричних та теплових потужностей комплексів ЕТГ

збільшити рівень використання потужностей комплексів ЕТГ, за рахунок встановлення теплових насосів на теплоелектроцентралях (ТЕЦ з ТНУ). Досяжні обсяги використання теплових насосів на ТЕЦ в ОЕС України обґрунтовано у роботі [2].

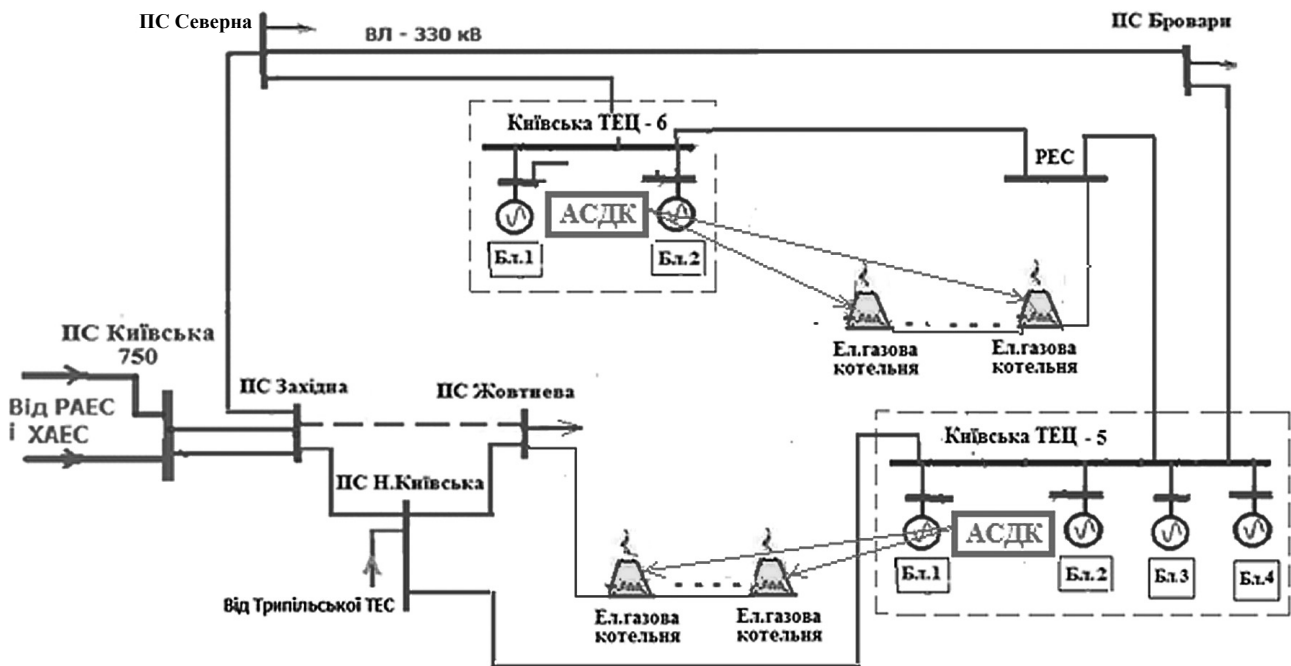
Розглянемо питання щодо можливості практичного впровадження комплексів ЕТГ у системах централізованого тепlopостачання (СЦТ) міст Києва та Харкова. Серед основних джерел теплової енергії цих міст більшу частину теплового навантаження покривають комунальні котельні та відомчі промислові котельні. Однак, більшість із цих котлів відпрацювала вже понад 30 років, обладнання морально і фізично застаріле. У зв'язку з чим, своєчасною може стати пропозиція щодо реконструкції цих котельень та створення на їх основі електроакумуляційних та гібридних електрогазових котельень [3, 4]. Модернізація існуючих систем централізованого опалення та гарячого водопостачання міст дозволить поліпшити їх роботу, а також включити гібридні електрогазові котельні до складу комплексу ЕТГ. У роботі [4] порівняно різні типи котельень за їх економічними показниками. За результатами проведеного порівняння, реалізація електрогазових котельень є найбільш прийнятним варіантом. А з урахуванням можливості їх використання у складі комплексу ЕТГ протягом усього року саме електрогазових коте-

лень і пропонується застосувати при створенні комплексів ЕТГ.

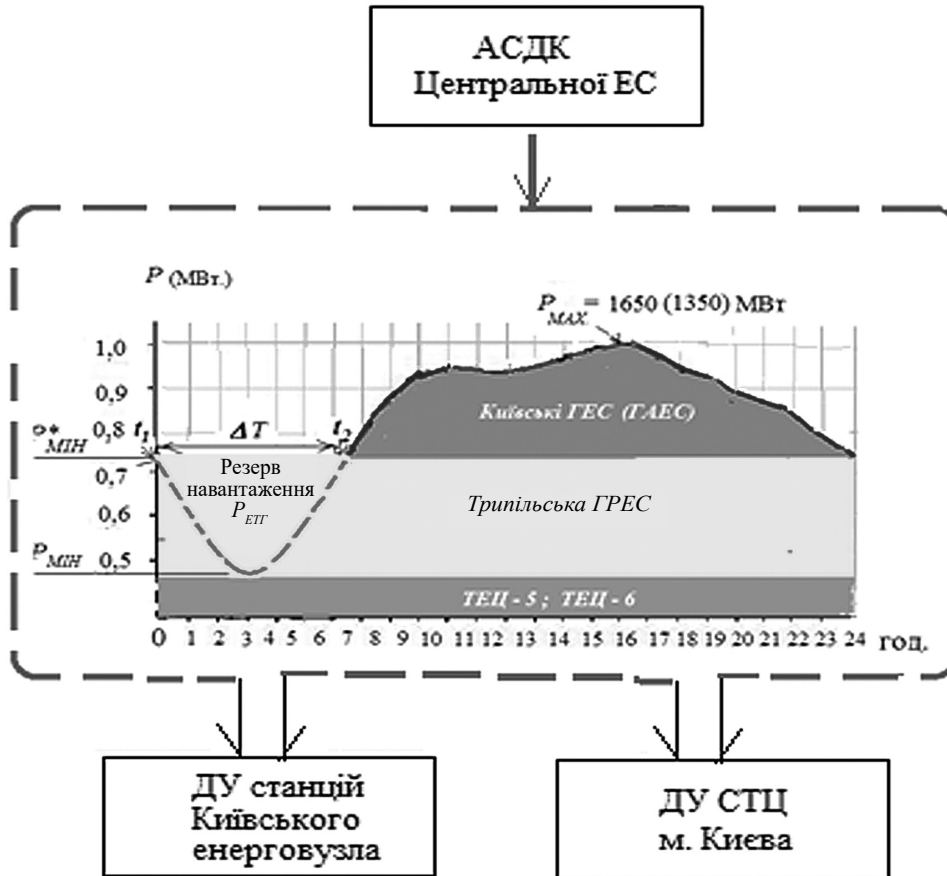
Таким чином, для введення автоматично керувананих комплексів ЕТГ у системи СЦП м. Києва та Харкова передбачається можливим провести реконструкцію існуючих газових котельень системи централізованого тепlopостачання та створити на їх основі сучасні електрогазові котельні. За проведеннями розрахунками інвестиційні витрати на створення сучасного комплексу ЕТГ, задіяного у системі АСДК енергосистеми, окупляться вже за 1,5–2 роки [5].

Збільшення засобів керування режимом Центральної ЕС а, відповідно, і розширення функціональних можливостей діючої системи АСДК буде досягнуто за рахунок створення у тепловій мережі міста Києва сучасних електрогазових котельень, як це умовно зображено на структурній схемі Київського енерговузла (рис. 3).

Зміни, що матимуть місце у прогнозованому графіку навантаження ДГЕН Київського енерговузла, за введення електричними потужностями комплексу ЕТГ, будуть надаватись, відповідно, до подальшого їх виконання у системі диспетчерського управління станцій цього енерговузла і до систем централізованого тепlopостачання міста, для врахування та подальшого використання генеруючих теплових потужностей, що надходять від цих комплексів, як це показано на рис. 4. Це дозволить вчасно зменшити витрати палива діючих котельень міста.



**Рис. 3.** Структурна схема Київського енерговузла із розміщенням комплексом електричних теплогенераторів, технологічно задіяних у системі централізованого тепlopостачання міста і керувананих системою АСДК станцій



**Рис. 4.** Прогнозний графік змін навантаження станцій Київського енерговузла за умови сумісного використання електричних та теплових потужностей комплексу ЕТГ, що надаються до виконання у системи АСДУ ЕС і ДУ системи централізованого теплопостачання міста

Передбачається, що завдяки введенню у систему Київського енерговузла резерву навантаження комплексу ЕТГ стане цілком можливим підняти та встановити новий більш високий рівень навантаження ДГЕН ( $P_{\min}^*$ ), що дозволить перевести маневрові енергоблоки Трипільської ТЕС у більш економічно вигідний базовий режим навантаження, як це умовно показано на рис. 4.

Режим навантаження електростанцій Київського енерговузла протягом визначеного на ДГЕН часового інтервалу:  $\Delta t = (t_1 - t_2)$  (рис. 4), буде визначатись новим рівнем мінімального навантаження  $P_{\min}^*$ :

$$\sum_{t_1}^{t_2} P_{TEЦ-5} + P_{TEЦ-6} + P_{ДТЕЦ} + P_{Трипільська\ ТЕС} + P_{Київські\ ГЕС\ (ГАЕС)} = P_{\min}^* \approx const. \quad (2)$$

Разом з цим, використання електрогазових котелень надасть можливість ввести додаткові теплові потужності до теплоцентралей міста  $Q_{ЕТГ}$  (рис. 4), чим забезпечити можливість розванта-

ження пікових та інших газових котлів ( $Q_{ПК}$ ), зберігши, при цьому, встановлений тепловий баланс теплоелектроцентралей:

$$\sum_{t_1}^{t_2} Q_{TEЦ} + (Q_{ПК} - \Delta Q_{ПК}) + \Delta Q_{ЕТГ} = Q_{Н.С.}, \quad (3)$$

де  $Q_{Н.С.}$  – теплове навантаження споживачів.

Враховуючи те, що використання потужностей навантаження комплексів ЕТГ в енерговузлах Об'єднаної енергосистеми передбачається лише у години нічного спаду навантаження ДГЕН, тому для їх практичного застосування не потрібно буде проведення додаткових розрахунків змін режиму роботи ліній та генеруючих станцій. Порівняння енергетичної ефективності роботи енергосистеми до і після впровадження комплексу ЕТГ наведено в таблиці. Так, для порівняння ефективності використання автоматично керованого навантаження комплексів ЕТГ у Центральній ЕС в таблиці приведено дані щодо роботи станцій цієї ЕС до і після використання потужностей.

**Таблиця.** Показники навантаження генеруючих станцій, задіяних у роботі Київського енерговузла (МВт), до і після впровадження комплексу ЕТГ

Найменування показника	Потужності станцій (МВт), задіяних у опалювальний період року		Потужності станцій (МВт), задіяних у неопалювальний період року	
	базові	маневрові та пікові	базові	маневрові та пікові
До впровадження комплексу ЕТГ	1000 <sup>1</sup>	500 <sup>2</sup> + 500 <sup>3</sup>	500 <sup>1</sup> + 250 <sup>3</sup>	250 <sup>3</sup> + 600 <sup>2</sup>
Після введення комплексу ЕТГ	1000 <sup>1</sup> + 500 <sup>3</sup>	500 <sup>2</sup>	500 <sup>1</sup> + 500 <sup>3</sup>	600 <sup>2</sup>
Прогнозовані теплові потужності комплексу ЕТГ	1400–1500		400–450	

<sup>1</sup> – потужність Київських ТЕЦ–5 та ТЕЦ–6;

<sup>2</sup> – потужність Київської ГЕС та ГАЕС;

<sup>3</sup> – потужність Трипільської ТЕС.

Згідно таблиці, за використання потужностей комплексу ЕТГ змінна частина добового графіку Київського енерговузла зменшиться на 500 МВт, а базова його частина, відповідно, збільшиться, що дозволить перевести маневрові енергоблоки Трипільської ТЕС у базовий режим, що матиме певний економічний ефект. Крім того, в системі централізованого теплопостачання міста будуть використані теплові потужності комплексів ЕТГ, що також надасть додатковий (сукупний) економічний ефект.

### ВИСНОВКИ

Матеріали проведених досліджень можуть бути використані при розробці та науковому обґрунтуванні проекту впровадження комплексу ЕТГ у системі Київського енерговузла.

Важливою особливістю проведених досліджень стало визначення перспективного напрямку у вирішенні питання щодо створення в ОЕС України самодостатнього (бездефіцитного) оперативного резерву маневрених потужностей.

На прикладі проведеного порівняння даних (таблиця) надано загальну оцінку енергетичної ефективності від використання електричних та теплових потужностей комплексу ЕТГ у Київському енерговузлі. Аналогічно можна

надати оцінку від використання комплексу ЕТГ і для усіх інших енерговузлів Об'єднаної енергосистеми.

1. Перехід енергоблоків українських АЕС типу ВВЕР-1000 на маневрений режим. URL: [https://energoatom.kiev.ua/.../45216-perehod\\_energoblokov\\_ukrai](https://energoatom.kiev.ua/.../45216-perehod_energoblokov_ukrai).
2. Кулик М.М., Білодід В.Д. Режими експлуатації та досяжні обсяги використання теплових насосів на ТЕЦ в ОЕС України. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. Вип. 1(36). С. 39–45.
3. Парасочка С.О., Хрящевський В.М. Щодо ефективності електроакумуляційного опалення при використанні гібридних електрогазових котелень. *Житлово-комунальне господарство України*. 2008. Вип. 6(19). С. 34–38.
4. Парасочка С.О., Хрящевський В.М. До питання про електроакумуляційне опалення та гаряче водопостачання. *Житлово-комунальне господарство України*. 2009. Вип. 8(21). С. 34–38.
5. Ленчевський Є.А. Автоматизоване керування потужними електродвигунами як дієвий засіб зниження нерівномірності добових графіків електричних навантажень об'єднаної енергосистеми. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. Вип. 4(47). С. 50–57. <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.050>.

Надійшла до редколегії: 31.01.2019