

ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНИХ КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОАСОСНИХ УСТАНОВОК ТА ПІКОВИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОТИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовано показники з оцінки енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення (СЕ) на основі комбінованих когенераційно-теплоасосних установок (КТНУ) та пікових джерел теплоти (ПДТ), з метою визначення енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних теплоасосних установок (ТНУ), з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

Ключові слова: енергоекономічна ефективність, система енергозабезпечення, когенераційно-теплоасосна установка, пікове джерело теплоти, безрозмірний критерій енергоекономічної ефективності.

Abstract

The indexes of energy economic efficiency evaluation of energy supply systems (ESS), based on combined cogeneration heat pump installations (CHPI) and peak sources of heat (PSH) are substantiated, that aimed to the determination of energy effective and economic reasonable operation modes of ESS, based on the combined CHPI and PSH with taking into consideration complex impact of variable operation modes, sources of drive energy of steam compressor installations (HPI), taking into account energy losses in the process of generation, supply and conversion of electric energy.

Key words: energy economic efficiency, energy supply system, cogeneration heat pump installation, peak source of heat, dimensionless criterion of energy economic efficiency.

Вступ

Енергетична ефективність СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ досліджена у низці публікацій [1 – 3]. Застосування зазначених СЕ забезпечить скорочення споживання природного або альтернативного газу на 30 – 45 % у порівнянні з котельними установками еквівалентної потужності, а також дозволить одержати більш дешеву за собівартістю електроенергію у порівнянні з мережевою (на 30 – 40 %). Когенераційний привод компресорів ТНУ може бути забезпечений на основі газових двигунів-генераторів, що випускаються українськими підприємствами: «Первомайськдизельмаш» та ДП «Завод ім. В. О. Малишева».

Досліджувані СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ можуть повністю або частково забезпечувати власні потреби в електричній енергії та забезпечувати потреби опалення та гарячого водопостачання споживачів [1 – 3].

Метою дослідження є обґрунтування показників з оцінки енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплоасосних установок та пікових джерел теплоти, з метою визначення енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних теплоасосних установок, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

Результати дослідження

Оптимальний розподіл навантаження в СЕ між КТНУ та ПДТ (наприклад, водогрійним паливним котлом, електрокотлом, сонячними колекторами тощо), згідно з [2 – 3], в значній мірі визначає енергетичну ефективність зазначених СЕ. Такий розподіл характеризується часткою навантаження КТНУ у складі СЕ β , яка визначається як відношення теплової потужності КТНУ до теплової потужності СЕ. Значення теплової потужності КТНУ визначається з урахуванням потужності утилізаційного обладнання когенераційного приводу. Схеми СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ наведені в роботі [4].

В роботі [2] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ за комплексним безрозмірним критерієм енергоефективності:

$$K_{ESS}^{en} = (1 - \beta) \cdot K_{PSH} + \beta \cdot K_{CHPI}, \quad (1)$$

де K_{PSH} – безрозмірний критерій енергоефективності пікового джерела теплоти у складі СЕ (водогрійного паливного котла, електрокотла, сонячних колекторів тощо) з дослідження [2], K_{CHPI} – безрозмірний критерій енергоефективності комбінованих КТНУ у складі СЕ з досліджень [1 – 2, 5], який одержаний на основі рівняння енергетичного балансу для системи «Джерело приводної енергії ТНУ – ТНУ – споживач теплоти від ТНУ» з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних ТНУ та з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТНУ. З урахуванням такого підходу, безрозмірний критерій енергетичної ефективності комбінованих КТНУ, згідно з [1, 5] має вид:

$$K_{CHPI} = Q_{CHPI} / Q_h = \eta_{EGPE} \cdot \eta_{ED} \cdot \varphi^{CHPI} \cdot \eta_{hf}, \quad (2)$$

де Q_{CHPI} – тепла потужність КТНУ з урахуванням потужності утилізаційного обладнання когенераційного приводу; Q_h – потужність, витрачена газопоршневим двигуном-генератором для вироблення електричної енергії для приводу ТНУ; η_{EGPE} – ефективний ККД газопоршневого двигуна; η_{ED} – ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном з [5]; φ^{CHPI} – дійсний коефіцієнт перетворення КТНУ з дослідження [1], який визначається як: $\varphi^{CHPI} = (\varphi_t + K_{GPE}^h) \cdot \eta_{HP}$, де φ_t – теоретичне значення коефіцієнта перетворення ТНУ без урахування потужності утилізаційного обладнання ГПД, K_{GPE}^h – тепловий коефіцієнт ГПД, який дорівнює відношенню теплової утилізаційної потужності ГПД до його електричної потужності, η_{HP} – енергетичний ККД ТНУ, який враховує всі втрати енергії в тепловому насосі з [5 – 6].

Безрозмірний критерій енергоефективності пікового джерела теплоти – електрокотла – у складі СЕ K_{PSH} , згідно з [2], одержаний на основі рівняння енергетичного балансу для систем «Джерело електричної енергії – електричний котел – споживач теплоти від СЕ» з урахуванням впливу джерел енергії для пікового електрокотла та з урахуванням втрат енергії при генеруванні та постачанні електричної енергії до електрокотла. В дослідженні [2] здійснена оцінка енергоефективності пікового електрокотла в СЕ у разі використання електроенергії від КТНУ та для випадків споживання електричної енергії з енергосистеми на основі традиційних або альтернативних джерел електричної енергії на базі парогазових установок, газотурбінних установок, сонячних електростанцій термодинамічного циклу, вітроенергетичних електростанцій.

Безрозмірний критерій енергоефективності пікового джерела теплоти – водогрійного паливного котла – у складі СЕ K_{PSH} , згідно з [2], одержаний на основі рівняння енергетичного балансу для систем «Джерело електричної енергії та палива – паливний котел – споживач теплоти від СЕ» з урахуванням впливу джерел енергії для пікового паливного котла та з урахуванням втрат енергії при генеруванні та постачанні електричної енергії до котла (котельної). В цьому випадку споживання електричної енергії піковим джерелом теплоти в СЕ – паливним котлом – безпосередньо не пов'язано з процесом генерування теплоти в котлі, а частка споживання електричної енергії на власні потреби є незначною, тому суттєво не впливає на значення показника K_{PSH} .

В дослідженні [2] зазначено, що для випадків використання альтернативних пікових джерел теплоти в СЕ (наприклад, сонячних колекторів для СЕ невеликої потужності) значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності пікового джерела теплоти для СЕ K_{PSH} дорівнюватиме ККД альтернативного пікового джерела теплоти η_{APSH} , або ККД додаткової системи з альтернативним піковим джерелом теплоти η_{APSH}^s .

В роботах [2 – 3] зазначено, що комплексний безрозмірний критерій енергоефективності СЕ K_{ESS}^{en} з формули (1) може бути використаний для вибору найбільш ефективного пікового джерела теплоти для певного виду СЕ та ефективних режимів роботи СЕ. За умови $K_{ESS}^{en} > 1$ забезпечуються енергоефективні режими роботи СЕ.

Економічна ефективність від впровадження СЕ визначається як різниця експлуатаційних витрат заміщуваного джерела теплової енергії (котельні) та СЕ. До експлуатаційних витрат при роботі котельні або СЕ відносяться: витрати на паливо, електроенергію, воду, амортизацію обладнання та поточний ремонт, заробітну плату та інші витрати. Найбільш вагомою складовою в структурі експлуатаційних витрат та собівартості теплової енергії котельних та СЕ на основі КТНУ та ПДТ є витрати на паливо. Також значний вплив на енергетичну і, як наслідок, економічну ефективність СЕ чинять режими роботи СЕ та температурний рівень обраного джерела низькотемпературної теплоти для КТНУ.

Відносна економічна ефективність (у частках) для СЕ на основі КТНУ та ПДТ для i -го режиму роботи СЕ може бути визначена наступним чином:

$$\Delta E_i^{ESS} = \frac{(E_{SH})_i - (E_{ESS})_i}{(E_{SH})_i}, \quad (3)$$

де $(E_{SH})_i$ – експлуатаційні витрати для i -го режиму роботи заміщуваного джерела теплової енергії (котельної), $(E_{ESS})_i$ – експлуатаційні витрати для i -го режиму роботи СЕ.

Економічно ефективні режими роботи СЕ будуть забезпечені за умови $\Delta E_i^{ESS} > 0$.

Комплексну оцінку енергоекономічної ефективності СЕ на основі КТНУ та ПДТ ми пропонуємо здійснювати за комплексним узагальненим безрозмірним критерієм енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ, що одержаний на основі критеріїв ефективності з формул (1) – (3):

$$K_{ESS}^{en,econ} = K_{ESS}^{en} + \Delta E_i^{ESS} = (1 - \beta) \cdot K_{PSH} + \beta \cdot K_{CHPI} + \Delta E_i^{ESS}. \quad (4)$$

Енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ будуть забезпечуватись за умови $K_{ESS}^{en,econ} > 1$. Чим більшим буде значення показника $K_{ESS}^{en,econ}$, тим більш енегоефективною, економічно ефективною та конкурентоздатною буде СЕ на основі КТНУ та ПДТ.

Висновки

Запропонований підхід з оцінювання енергоекономічної ефективності СЕ на основі КТНУ та ПДТ за комплексним узагальненим безрозмірним критерієм енергоекономічної ефективності має низку переваг:

- враховує енергетичну ефективність змінних режимів роботи СЕ зі зміною розподілу навантаження між парокompресійними КТНУ та ПДТ в СЕ;
- дозволяє оцінювати комплексний вплив змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти СЕ, джерел приводної енергії парокompресійних КТНУ з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії в КТНУ та СЕ;
- дозволяє комплексно оцінювати енергоекономічну ефективність значної кількості варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ;
- запропоновані показники енергетичної, економічної та енергоекономічної ефективності можуть бути використані для оцінювання енергоекономічної ефективності СЕ на основі ПДТ та КТНУ з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями ТНУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/454/452>.
2. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/462/460>.
3. Остапенко О. П. Енергоефективність систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 2. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/472/470>.
4. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.
5. Остапенко О. П. Енергетична ефективність парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/421/419>.
6. Остапенко О. П. Енергетичні переваги застосування парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/437/435>.

Ольга Павлівна Остапенко — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ostapenko1208@gmail.com

Віктор Миколайович Портнов — студент групи ТЕ-146, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Андрій Дмитрович Волошин — студент групи ТЕ-166мс, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Olga P. Ostapenko – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Heat Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ostapenko1208@gmail.com

Viktor M. Portnov – Student of the Faculty of Civil Engineering, Heat Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Andrii D. Voloshyn – Student of the Faculty of Civil Engineering, Heat Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia