

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ З КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОГЕНЕРАЦІЙНО- ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ ТА ПІКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОТИ

Запропоновано методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення (СЕ) з когенераційно-теплонасосними установками (КТНУ) різних рівнів потужності та піковими джерелами теплоти (ПДТ) з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти в СЕ, джерел приводної енергії КТНУ та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Ключові слова: *методичні основи, енерго-еколого-економічна ефективність, система енергозабезпечення, когенераційно-теплонасосна установка, пікове джерело теплоти.*

Вступ

Зважаючи на актуальність енерго- та ресурсозбереження, а також підвищення ефективності енерговикористання в системах тепlopостачання та енергозабезпечення, за останні роки питанням з дослідження енергетичної та економічної ефективності СЕ з КТНУ було присвячено низку публікацій [1 – 11], проведено дослідження з розробки методів оцінки енергетичної та енергоекономічної ефективності застосування комбінованих КТНУ в теплових схемах джерел енергопостачання. У роботах [6 – 11] проведено дослідження з оцінки енергетичної та економічної ефективності систем енергозабезпечення на основі парокompресійних теплонасосних установок (ТНУ), а також когенераційно-теплонасосних установок. У публікаціях [6 – 11] підтверджено високу енергетичну ефективність систем енергозабезпечення з КТНУ. У публікаціях [7, 11] запропоновано методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з КТНУ різних рівнів потужності та піковими джерелами теплоти з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти в СЕ, джерел приводної енергії КТНУ та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії. У роботах [1 – 11] автори не пропонують методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками різних рівнів потужності та піковими джерелами теплоти з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти в СЕ, джерел приводної енергії КТНУ та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Метою дослідження є розроблення методичних основ із комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками різних рівнів потужності та піковими джерелами теплоти з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти в СЕ, джерел приводної енергії КТНУ та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Основна частина

У нашому дослідженні запропоновано методичні основи для комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ (із приводом від газопоршневого двигуна (ГПД)) різних рівнів потужності та піковими джерелами теплоти (наприклад, водогрій-

ним паливним котлом, електрокотлом, сонячними колекторами тощо). Схеми досліджуваних СЕ з КТНУ наведені в роботах [1, 12]. Застосування вказаних СЕ має низку енергетичних переваг, що визначено в публікаціях [6, 10]. Крім енергетичних переваг, застосування СЕ з КТНУ зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища (також і теплового) та зменшення шкідливих викидів у атмосферу. Когенераційний привод компресорів ТНУ в СЕ може бути забезпечений на основі газових двигунів-генераторів, які випускають українські підприємства: «Первомайськдизельмаш» та ДП «Завод ім. В. О. Малишева». У дослідженнях [6 – 7, 11] запропоновано методичні основи з оцінювання енергетичної та енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ.

У роботі [7] обґрунтовано показники з оцінки енергоекономічної ефективності СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ із 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 ТНУ, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Як зазначено в роботах [6 – 7, 11], енергетичну ефективність СЕ значною мірою визначає оптимальний розподіл навантаження між елементами СЕ: когенераційно-теплонасосною установкою та піковим джерелом теплоти (наприклад, водогрійним паливним котлом, електрокотлом, сонячними колекторами тощо) у складі СЕ та рівнів енергоефективності цих елементів СЕ. Оптимальний розподіл теплового навантаження між елементами СЕ може бути визначений часткою навантаження КТНУ у складі СЕ β [6 – 7, 11], яка дорівнює співвідношенню теплових потужностей КТНУ (з урахуванням потужності утилізаційного обладнання когенераційного приводу КТНУ на основі дослідження [6]) та СЕ.

У наших дослідженнях [6 – 7, 11] проаналізована енергетична ефективність системи «Джерело приводної енергії СЕ – СЕ – споживач теплоти від СЕ» на прикладі СЕ на основі парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом та пікових джерел теплоти з урахування втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії до ТНУ та ПДТ з метою визначення енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ. У роботах [6 – 7, 11] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енергетичної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ за комплексним безрозмірним критерієм енергетичної ефективності СЕ K_{CE} , який враховує безрозмірні критерії енергоефективності КТНУ $K_{КТНУ}$ та ПДТ $K_{ПДТ}$ та розподіл теплового навантаження між цими елементами СЕ. Безрозмірний критерій енергоефективності парокompресійних КТНУ $K_{КТНУ}$, запропонований та обґрунтований у дослідженнях [6, 8], був одержаний на основі рівняння енергетичного балансу для системи «Джерело приводної енергії КТНУ – КТНУ – споживач теплоти від КТНУ» з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних КТНУ та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії до КТНУ.

Безрозмірний критерій енергоефективності електрокотла як пікового джерела теплоти у складі СЕ $K_{ПДТ}$, запропонований у дослідженні [6], був 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 під час генерування та постачання електричної енергії до електрокотла. Безрозмірний критерій енергоефективності водогрійного паливного котла як пікового джерела теплоти у складі СЕ $K_{ПДТ}$, запропонований у дослідженні [6], був визначений на основі рівняння енергетичного балансу для систем «Джерела електричної енергії та палива – паливний котел – споживач теплоти від СЕ» з урахуванням впливу джерел енергії для пікового паливного котла та з урахуванням втрат енергії під час генерування та постачання електричної енергії до котла. Згідно з дослідженням [6], для випадків використання альтернативних

пікових джерел теплоти в СЕ (наприклад, сонячних колекторів для СЕ з КТНУ невеликої потужності) значення безрозмірного критерію енергоефективності ПДТ в СЕ $K_{ПДТ}$ дорівнюватиме ККД альтернативного пікового джерела теплоти $\eta_{АПДТ}$ або ККД додаткової системи з альтернативним піковим джерелом теплоти $\eta_{АПДТ}^c$.

Комплексний безрозмірний критерій енергоефективності СЕ $K_{СЕ}$, запропонований у дослідженнях [6 – 7], використовують для вибору найефективнішого ПДТ для певного виду СЕ з КТНУ. У роботі [6] зазначено, що комплексний безрозмірний критерій енергоефективності СЕ $K_{СЕ}$ використовують для вибору найефективнішого пікового джерела теплоти для певного виду СЕ з КТНУ та енергоефективних режимів роботи зазначених СЕ за умови $K_{СЕ} > 1$.

У дослідженні [7] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енергоекономічної ефективності СЕ на основі КТНУ та ПДТ за комплексним узагальненим безрозмірним критерієм енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ, який має вигляд:

$$K_{СЕ}^{ен.ек.} = K_{СЕ} + \Delta E_i^{CE} = (1 - \beta) \cdot K_{ПДТ} + \beta \cdot K_{КТНУ} + \Delta E_i^{CE}, \quad (1)$$

де ΔE_i^{CE} – відносна економічна ефективність (у частках) для СЕ на основі КТНУ та ПДТ для i -го режиму роботи СЕ, яку визначають так:

$$\Delta E_i^{CE} = \frac{(E_{ДТ})_i - (E_{СЕ})_i}{(E_{ДТ})_i}, \quad (2)$$

де $(E_{ДТ})_i$ – експлуатаційні витрати для i -го режиму роботи заміщеного джерела теплової енергії (ДТ), $(E_{СЕ})_i$ – експлуатаційні витрати для i -го режиму роботи СЕ.

Як зазначено в [7, 11] економічно ефективні режими роботи СЕ з КТНУ будуть забезпечені за умови $\Delta E_i^{CE} > 0$. Енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи СЕ з комбінованими КТНУ та ПДТ будуть забезпечені за умови $K_{СЕ}^{ен.ек.} > 1$. Чим більшим буде значення показника $K_{СЕ}^{ен.ек.}$, тим більш енергоефективними, економічно ефективними та конкурентоспроможними будуть СЕ з КТНУ та ПДТ.

Методичні основи з оцінювання енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ викладено в дослідженнях [6, 8 – 10, 13 – 16]. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ подано в дослідженнях [7, 11]. Методичні основи з оцінювання енергоекологічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ (окремий випадок СЕ з КТНУ та ПДТ – теплонасосна станція) на природних та промислових джерелах теплоти за умови змінних режимів роботи викладено в дослідженні [17]. Методичні основи з оцінювання енергетичного, екологічного та економічного аспектів ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ (окремий випадок СЕ з КТНУ та ПДТ – теплонасосна станція) на природних та промислових джерелах теплоти подано в дослідженнях [18 – 19].

Слід зазначити, що в роботах [17 – 19] не проведено комплексні дослідження з оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ різних рівнів потужності та ПДТ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти в СЕ, джерел приводної енергії КТНУ та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

У нашому дослідженні запропоновано здійснювати комплексну оцінку енерго-еколого-економічної ефективності СЕ на основі КТНУ та ПДТ за комплексним узагальненим безрозмірним критерієм енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ:

$$K_{СЕ}^{компл} = K_{СЕ} + \Delta E_i^{CE} + \Delta EK_i^{CE} = (1 - \beta) \cdot K_{ПДТ} + \beta \cdot K_{КТНУ} + \Delta E_i^{CE} + \Delta EK_i^{CE}, \quad (3)$$

де ΔEK_i^{CE} – відносна екологічна ефективність (у частках) для СЕ на основі КТНУ та ПДТ для i -го режиму роботи СЕ, яку визначають так:

$$\Delta EK_i^{CE} = \frac{(EK_{DT})_i - (EK_{CE})_i}{(EK_{DT})_i}, \quad (4)$$

де $(EK_{DT})_i$ – кількість шкідливих викидів у атмосферу для i -го режиму роботи заміщувального джерела теплової енергії (ДТ), $(EK_{CE})_i$ – кількість шкідливих викидів у атмосферу для i -го режиму роботи СЕ з КТНУ та ПДТ.

Показник відносної екологічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ ΔEK_i^{CE} оцінює зменшення шкідливих викидів у атмосферу (у частках) від застосування СЕ з КТНУ та ПДТ для i -го режиму роботи СЕ порівняно з роботою альтернативного заміщувального джерела теплової енергії. Ураховують шкідливі викиди у атмосферу під час спалювання палива в котлах, а також шкідливі викиди під час виробництва електроенергії на електростанціях чи в джерелі приводної енергії КТНУ.

Як зазначено в дослідженні [6], енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечені за умови $K_{CE} > 1$. Як зазначено в роботах [7, 11], економічно ефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечені за умови $\Delta E_i^{CE} > 0$. У нашому дослідженні визначено, що екологічно безпечні та ефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечені за умови $\Delta EK_i^{CE} > 0$. Зазначені показники різних аспектів ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ також використовують для вибору найефективнішого пікового джерела теплоти для певного виду СЕ з КТНУ та енерго-еколого-економічно ефективних режимів роботи зазначених СЕ за умови $K_{CE} > 1$.

Екологічно безпечні, енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи СЕ з комбінованими КТНУ та ПДТ будуть забезпечені за умови $K_{CE}^{компл} > 1$. Чим більшим буде значення показника $K_{CE}^{компл}$, тим більш енегоефективними, екологічно безпечними та економічно ефективними та конкурентоздатними будуть СЕ з КТНУ та ПДТ.

Запропоновані методичні основи із комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ мають низку переваг:

- ураховують енергетичну ефективність та рівні потужності елементів СЕ;
- ураховують режими роботи парокompресійних ТНУ;
- ураховують енергетичну ефективність ПДТ в СЕ та вид споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії під час генерування та постачання енергії до ПДТ та СЕ;
- ураховують екологічну ефективність ПДТ в СЕ та вид споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії під час генерування та постачання енергії до ПДТ та СЕ;
- ураховують енергетичну ефективність змінних режимів роботи СЕ зі зміною розподілу навантаження між парокompресійними КТНУ та ПДТ в СЕ;
- дозволяють оцінювати комплексний вплив на енергетичну, екологічну та економічну ефективність СЕ з КТНУ та ПДТ таких чинників: змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти СЕ, джерел приводної енергії парокompресійних КТНУ з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії в КТНУ та СЕ;
- дозволяють комплексно оцінювати енерго-еколого-економічну ефективність значної кількості варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ за умов змінних режимів роботи;
- можуть бути використані для вибору найенергоефективнішого, екологічно безпечного та економічно обґрунтованого ПДТ для певного виду СЕ;
- запропоновані методичні основи можуть бути використані для комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з ПДТ та КТНУ з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями ТНУ.

Застосування запропонованих методичних основ із комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ продемонструємо на конкретних прикладах.

На рис. 1 та 2 показані результати оцінки енерго-еколого-економічної ефективності варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ. У нашому дослідженні значення безрозмірного критерію енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ визначені за умов зміни частки навантаження КТНУ в діапазоні $\beta = 0,1 \dots 1,0$. Дослідження проводили для режимів енергоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 2,1$ (за умов максимальної ефективності ГПД) та з $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 1,6$ (за умов мінімальної ефективності ГПД) на основі результатів досліджень [6, 8].

На рис. 1 показана область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти ґрунту з КТНУ малої потужності та піковим електричним котлом, зі споживанням електричної енергії від КТНУ. Ця область визначена за показником енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ із формули (3) за умов мінімальної ефективності ГПД та пікового електричного котла.

У нашому дослідженні, згідно з [6, 8], ураховані: значення ефективного ККД ГПД $\eta_{ЕД} = 0,31$, значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном $\eta_{ЕП} = 0,8$. Піковим джерелом теплоти в СЕ передбачена електрична котельня з $\eta_{ЕК} = 0,9$. Значення безрозмірного критерію енергоефективності електричного котла в разі споживання електроенергії від КТНУ, згідно з [6], становить $K_{ПДТ}^{ЕК} = 0,223$. Із метою оцінювання відносної екологічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ як альтернативне джерело теплоти передбачена електрична котельня відповідної потужності.

На рис. 2 показана область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти стічних вод з КТНУ великої потужності та піковим паливним котлом на природному газі. Ця область визначена за показником енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з формули (3) за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла. У нашому дослідженні, згідно з [6, 8], ураховані: значення ефективного ККД ГПД $\eta_{ЕД} = 0,42$ та значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном $\eta_{ЕП} = 0,9$. Піковим джерелом теплоти в СЕ передбачена паливна котельня з $\eta_{ПК} = 0,9$. Значення безрозмірного критерію енергоефективності паливного котла, згідно з [6], становить $K_{ПДТ}^{ПК} = 0,9$. Із метою оцінювання відносної екологічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ як альтернативне джерело теплоти передбачена паливна котельня відповідної потужності на природному газі.

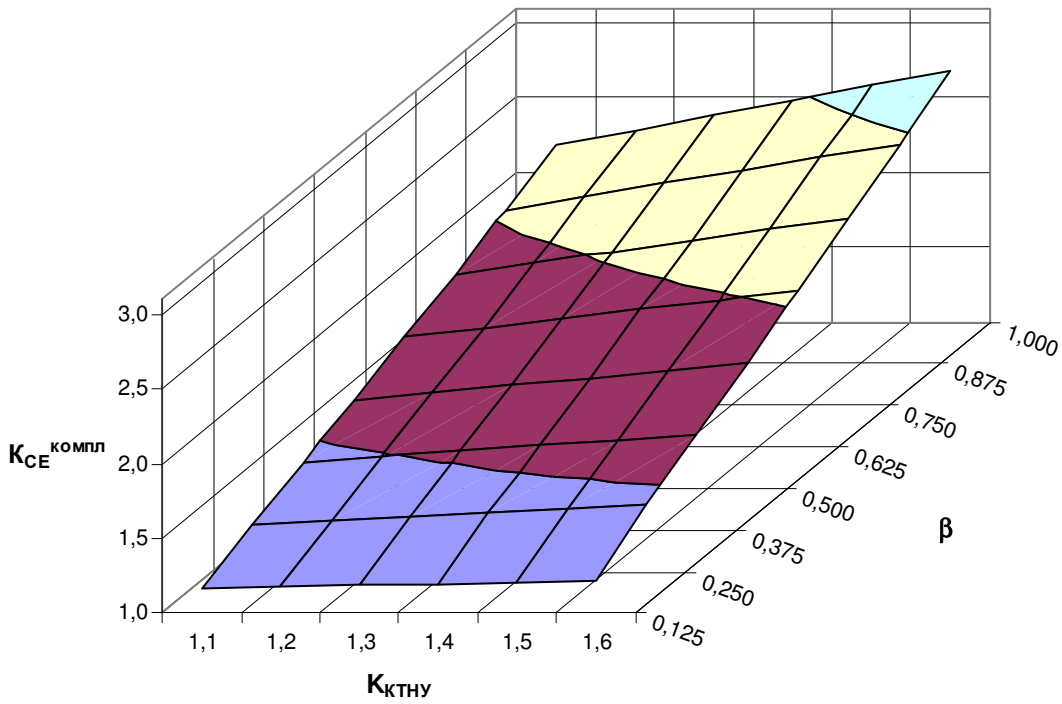


Рис. 1. Область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти ґрунту з КТНУ малої потужності та піковим електричним котлом за умов мінімальної ефективності ГПД та пікового електричного котла та споживанням електричної енергії від КТНУ

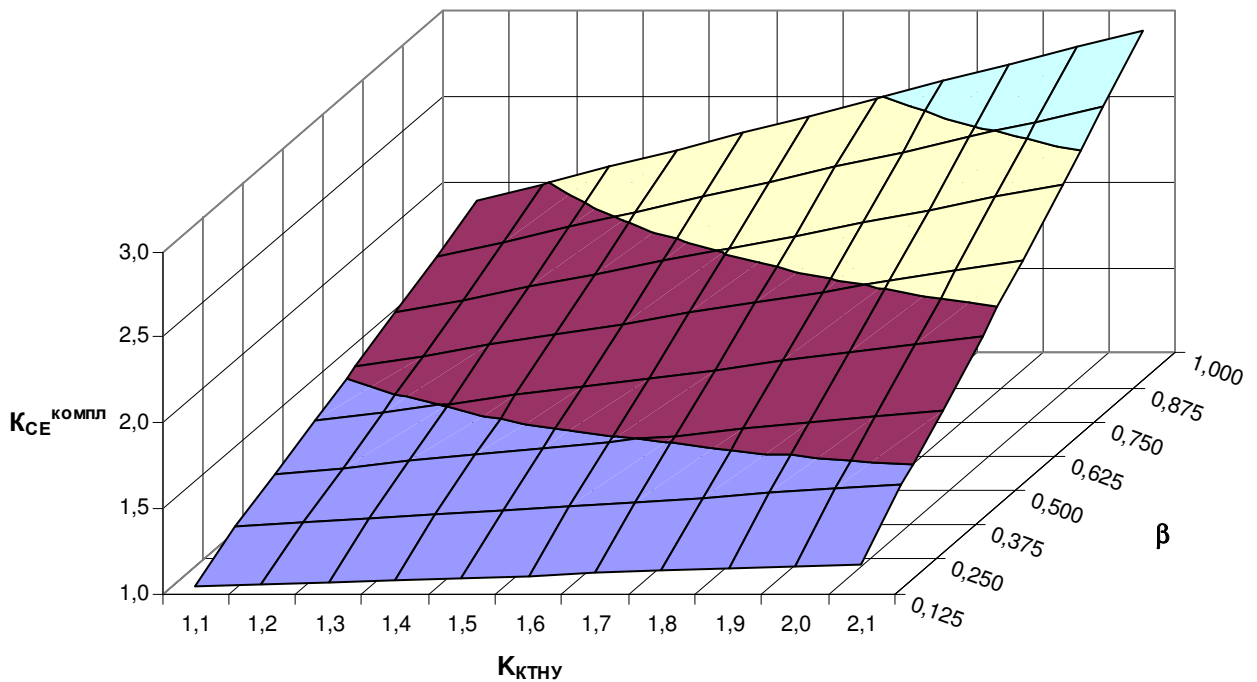


Рис. 2. Область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти стічних вод з КТНУ великої потужності та піковим паливним котлом за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла

Запропоновані методичні основи дозволяють визначити області високої енергоекономічної ефективності та екологічно безпечної роботи СЕ з КТНУ та ПДТ і розробити рекомендації з високоефективної експлуатації СЕ з КТНУ та ПДТ.

Для практичного застосування запропонованих методичних основ із комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності різних варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ ми пропонуємо використовувати результати досліджень [6 – 11, 13 – 19].

Висновки

У статті запропоновані методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками різних рівнів потужності та піковими джерелами теплоти з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти в СЕ, джерел приводної енергії КТНУ та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Запропоновані методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ мають низку переваг:

- ураховують енергетичну ефективність та рівні потужності елементів СЕ;
- ураховують режими роботи парокompресійних ТНУ;
- ураховують енергетичну ефективність ПДТ в СЕ та вид споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії під час генерування та постачання енергії до ПДТ та СЕ;
- ураховують екологічну ефективність ПДТ в СЕ та вид споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії під час генерування та постачання енергії до ПДТ та СЕ;
- ураховують енергетичну ефективність змінних режимів роботи СЕ зі зміною розподілу навантаження між парокompресійними КТНУ та ПДТ в СЕ;
- дозволяють оцінювати комплексний вплив на енергетичну, екологічну та економічну ефективність СЕ з КТНУ та ПДТ таких чинників: змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти СЕ, джерел приводної енергії парокompресійних КТНУ з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії в КТНУ та СЕ;
- дозволяють комплексно оцінювати енерго-еколого-економічну ефективність значної кількості варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ за умов змінних режимів роботи;
- можуть бути використані для вибору найенергоефективнішого, екологічно безпечного та економічно обґрунтованого ПДТ для певного виду СЕ;
- запропоновані методичні основи можуть бути використані для комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з ПДТ та КТНУ з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями ТНУ.

Запропоновані методичні основи дозволяють визначити області високої енергоекономічної ефективності та екологічно безпечної роботи СЕ з КТНУ та ПДТ та розробити рекомендації з високоефективної експлуатації СЕ з КТНУ та ПДТ.

Для практичного застосування запропонованих методичних основ із комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності різних варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ ми пропонуємо використовувати результати досліджень [6 – 11, 13 – 19].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Парокompресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 176 с.
2. Upscaling a district heating system based on biogas cogeneration and heat pumps [Електронний ресурс] / P. Richard [et. al.] // Energy, sustainability and society. – 2015. – № 5 (16). – Режим доступу до журн. : <https://doi.org/10.1186/s13705-015-0044-x>.
3. Balancing fluctuating renewable energy generation using cogeneration and heat pump systems / S. Mueller [et. al.] // Energy technology. – 2014. – № 2 (1). – P. 83 – 89.
4. Билека Б. Д. Когенерационно-теплонасосные технологии в схемах горячего водоснабжения большой мощности / Б. Д. Билека, Л. К. Гаркуша // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 52 – 57.
5. Сафьянц С. М. Исследование схемы источника теплоэлектроснабжения с регулированием нагрузок на базе использования тепловых насосов / С. М. Сафьянц, Н. В. Колесниченко, Т. Е. Веретенникова // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 3. – С. 79 – 85.

6. 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>.
7. Показники енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення на основі когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. М. Портнов, А. Д. Волошин // Електронне наукове видання матеріалів XLVI науково-технічної конференції Вінницького національного технічного університету (22 – 24 березня 2017 р., Вінниця). – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2017/paper/view/2875/2248>.
8. 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>.
9. 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>.
10. 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>.
11. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2017. – Т. 81, Вип. 1. – С. 136 – 141.
12. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.
13. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокомпресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Т. 2, Вип. 47. – С. 157 – 162.
14. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 62 p.
15. Комплексна оцінка енергетичної ефективності парокомпресійних теплонасосних станцій з когенераційним приводом [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 3. – Режим доступу до журн. : <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/2/2>.
16. Енергетична ефективність теплонасосних станцій з різними джерелами теплоти за умови змінних режимів роботи [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко, О. В. Бакум // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 4. – Режим доступу до журн. : <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/381/379>.
17. Енергоекологічна ефективність теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти за умови змінних режимів роботи [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, І. О. Валігура, А. Д. Коваленко // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 2. – Режим доступу до журн. : <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/363/361>.
18. Енергетична, екологічна та економічна ефективність парокомпресійних теплонасосних установок у порівнянні з альтернативними джерелами теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. М. Слободянюк // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 2. – Режим доступу до журн. : <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/399/397>.
19. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Бакум, А. В. Ющишина // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 3. – Режим доступу до журн. : <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/371/369>.

Остапенко Ольга Павлівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, e-mail: ostapenko1208@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет.