

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.

ОБЛАСТІ ВИСОКОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ПАЛИВНИМИ КОТЛАМИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Запропоновано підхід із визначення областей високої енергоефективності систем енергозабезпечення (СЕ) із когенераційно-теплонасосними установками (КТНУ) малої потужності та паливними котлами (ПК) у системах теплопостачання за умов оптимальних режимів роботи КТНУ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних теплонасосних установок (ТНУ) малої потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Ключові слова: *область високої енергоефективності, енергоефективність, система енергозабезпечення, когенераційно-теплонасосна установка, паливний котел, система теплопостачання, безрозмірний критерій енергетичної ефективності.*

Вступ

Дослідження режимів енергоефективної роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками проведено в низці публікацій [1 – 13]. Дослідження та оцінка енергоефективності СЕ з піковими джерелами теплоти (ПДТ) та комбінованими КТНУ з газопоршневими двигунами-генераторами (ГПД) проведено в роботі [9], визначено ефективні режими роботи цих СЕ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних ТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії. У дослідженні [10] на основі розроблених методичних основ здійснено оцінку енергоефективності систем енергозабезпечення з комбінованими КТНУ та ПДТ за умов оптимальних режимів роботи КТНУ для систем теплопостачання, визначено енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних ТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Згідно з [9 – 12], оптимальний розподіл навантаження між КТНУ та ПДТ (наприклад, водогрійним паливним котлом, електрокотлом, сонячними колекторами тощо) у складі СЕ значною мірою визначає енергетичну ефективність зазначених СЕ. Такий розподіл характеризує частка навантаження КТНУ у складі СЕ β , яку визначають як відношення теплової потужності КТНУ до теплової потужності СЕ $\beta = Q_{КТНУ}/Q_{СЕ}$. Оптимальні значення показника β для СЕ з різними джерелами теплоти для КТНУ за змінних режимів роботи теплової мережі були визначені на основі аналізу результатів проведених досліджень [14 – 16].

У роботі [9] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ за комплексним безрозмірним критерієм енергоефективності:

$$K_{СЕ} = (1 - \beta) \cdot K_{ПДТ} + \beta \cdot K_{КТНУ}, \quad (1)$$

де $K_{ПДТ}$ – безрозмірний критерій енергоефективності пікового джерела теплоти у складі СЕ (водогрійного паливного котла (ПК), електрокотла (ЕК), сонячних колекторів тощо), $K_{КТНУ}$ – безрозмірний критерій енергоефективності комбінованих КТНУ у складі СЕ з досліджень [3, 8 – 10].

Запропонований у дослідженнях [3, 8 – 10] безрозмірний критерій енергоефективності па-

рокомпресійних ТНУ з когенераційним приводом $K_{КТНУ}$ був 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 під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії до ТНУ. За умови $K_{КТНУ} = 1$ комбінована КТНУ передає до СЕ таку ж теплову потужність, яка була витрачена для вироблення електроенергії для привода ТНУ. Чим більше значення цього показника, тим більш ефективною та конкурентоздатною буде СЕ з КТНУ.

У дослідженні [9] визначено області енергоефективної роботи КТНУ різних рівнів потужностей, одержані на основі дослідження [8] та визначені за безрозмірним критерієм енергоефективності КТНУ $K_{КТНУ}$ залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ φ_0 та ефективного ККД ГПД $\eta_{ЕД}$. Енергоефективні режими роботи КТНУ відповідають умові $K_{КТНУ} > 1$. Одержані в [9] високі значення безрозмірного критерію енергоефективності для СЕ з КТНУ свідчать про високу енергетичну ефективність таких комбінованих систем енергозабезпечення.

Безрозмірний критерій енергоефективності пікового джерела теплоти – водогрійного паливного котла – у складі СЕ $K_{ПДТ}$, згідно з [9], одержаний 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 (котельної). У роботі [10] визначено, що енергоефективність СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами майже удвічі може перевищувати енергоефективність сучасних високоефективних електричних і паливних котлів для роботи в системах теплопостачання.

У дослідженні [11] за умов $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{СЕ} > \eta_{ПК}$ та режимів енергоефективної роботи КТНУ визначено області енергоефективної роботи та енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами для різних рівнів потужності та енергоефективності елементів СЕ. Визначено, що запропоновані в дослідженні [11] СЕ з КТНУ та пікових паливними котлами будуть енергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,4$. За цих умов зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як енергоефективні системи енергозабезпечення.

Для режимів енергоефективної роботи КТНУ в СЕ та за умов $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{СЕ} > \eta_{ПК}$ у дослідженні [12] визначено області енергоефективної роботи та енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами в системах теплопостачання для різних рівнів потужності та енергоефективності елементів СЕ.

У роботах [1 – 13] авторами не визначені області високої енергоефективності систем енергозабезпечення з КТНУ малої потужності та ПК у системах теплопостачання за умов оптимальних режимів роботи КТНУ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних ТНУ малої потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Метою дослідження є визначення областей високої енергоефективності систем енергозабезпечення з КТНУ малої потужності та ПК у системах теплопостачання за умов оптимальних режимів роботи КТНУ визначення високоефективних режимів роботи СЕ з КТНУ малої потужності та ПК з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних ТНУ малої потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Основна частина

У дослідженні здійснено оцінку високоефективних режимів роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками малої потужності та паливними котлами

під час роботи в системах теплопостачання. Досліджували енергоефективність систем енергозабезпечення з парокompресійними ТНУ малої потужності (до 1 МВт) із когенераційним приводом від газопоршневого двигуна-генератора. Піковими джерелами теплоти в СЕ були передбачені паливні котли. Досліджувані СЕ з комбінованими КТНУ та ПК можуть повністю або частково забезпечувати власні потреби в електричній енергії та забезпечувати потреби опалення й гарячого водопостачання споживачів. Схеми систем енергозабезпечення з комбінованими КТНУ малої потужності та ПК наведені в роботах [1, 17]. Методичні основи з оцінювання енергоефективності СЕ з КТНУ та ПК для систем теплопостачання викладено в дослідженнях [10, 12].

Області високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК для теплопостачання можуть бути визначені із залежностей, запропонованих у дослідженні [12], за умов $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{СЕ} > 1$ для режимів енергоефективної роботи КТНУ в СЕ. За цих умов зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, що можуть скласти конкуренцію сучасним високоефективним електричним і паливним котлам у системах теплопостачання та енергозабезпечення. У нашому дослідженні області високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та ПК для систем теплопостачання визначені за умов оптимальних режимів роботи КТНУ на основі досліджень [8 – 12].

Запропонований підхід із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та ПК для систем теплопостачання має низку переваг:

- урахує змінні режими роботи СЕ для теплопостачання протягом року зі зміною розподілу навантаження між парокompресійними КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами в СЕ;

- дозволяє визначити області та режими високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами для теплопостачання, за яких енергоефективність досліджуваних СЕ значно перевищує енергоефективність сучасних високоефективних електричних і паливних котлів;

- запропоновані в [9, 10, 12] методичні основи та приведені в цій статті результати досліджень можуть бути використані для визначення областей високої енергоефективності СЕ з ПК та парокompресійними КТНУ малої потужності з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями в системах теплопостачання;

- дозволяє розробити рекомендації щодо високоефективної експлуатації СЕ з КТНУ малої потужності та ПК з різними схемними рішеннями для систем теплопостачання.

Застосування запропонованих підходів із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та ПК для систем теплопостачання продемонструємо на конкретних прикладах.

На рис. 1 – 2 показані результати досліджень із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК у системах теплопостачання для випадків змінного навантаження КТНУ у складі СЕ та оптимальних значень частки навантаження КТНУ β , для режимів енергоефективної роботи КТНУ на основі результатів досліджень [8 – 12]. Досліджено значення безрозмірного критерію енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК для випадків сезонного змінного навантаження КТНУ у складі СЕ для оптимальних значень частки навантаження КТНУ в діапазоні $\beta = 0,16 \dots 0,63$ [14 – 16], що відповідає температурним режимам роботи системи теплопостачання. Дослідження проведено 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 [8 – 9]. Указані значення критеріїв енергоефективності КТНУ $K_{КТНУ}$ відповідають значенням дійсного коефіцієнта перетворення КТНУ в межах $\varphi_0 = 3,0 \dots 5,4$ для КТНУ малих потужностей, згідно з [9]. За умов $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{СЕ} > 1$ запропоновані в цьому дослідженні залежності визначають області високої енергоефектив-

ності досліджуваних СЕ для роботи в системах теплопостачання.

На рис. 1 показана область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим паливним котлом для теплопостачання за умови мінімальної ефективності ГПД та ПК. У цьому дослідженні, згідно з [3, 8], ураховані: значення ефективного ККД ГПД $\eta_{ЕД} = 0,31$ та значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном $\eta_{ЕП} = 0,8$. Піковим джерелом теплоти в СЕ для цих умов передбачена паливна котельня з $\eta_{ПК} = 0,8$. Значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності паливного котла становитиме $K_{ПК}^{ПК} = 0,8$. Для досліджених високоефективних режимів роботи СЕ для систем теплопостачання значення комплексного безрозмірного критерію енергоефективності СЕ становлять $K_{СЕ} = 1,01 \dots 1,304$ за умови $\beta = 0,421 \dots 0,63$ та можуть становити $K_{СЕ} = 1,6$ [10 – 11] за умови $\beta = 1$.

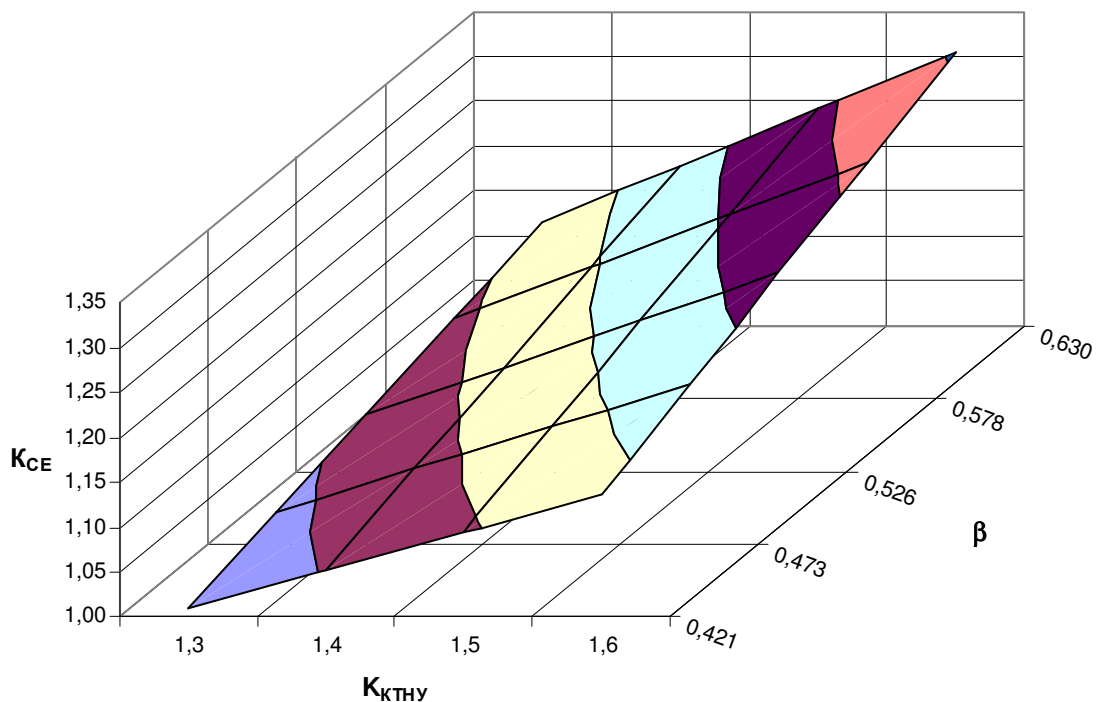


Рис. 1. Область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності для теплопостачання за умови мінімальної ефективності ГПД та пікового паливного котла

Як видно з рис. 1, значення комплексного безрозмірного критерію енергоефективності СЕ становлять $K_{СЕ} = 1,01 \dots 1,115$ за умови мінімального значення критерію енергоефективності КТНУ $K_{КТНУ} = 1,3$; для режимів роботи СЕ з $K_{КТНУ} > 1,3$ значення безрозмірного критерію енергоефективності СЕ змінюються в межах $K_{СЕ} = 1,053 \dots 1,304$. Режими високої енергоефективності цих СЕ забезпечуються за умови енергоефективних режимів роботи КТНУ зі значеннями показника енергоефективності $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$.

На рис. 2 показана область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим паливним котлом для теплопостачання за умов максимальної ефективності ГПД та ПК. У цьому дослідженні, згідно з [3, 8], ураховані: значення ефективного ККД ГПД $\eta_{ЕД} = 0,42$ та значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном $\eta_{ЕП} = 0,8$. Піковим джерелом теплоти в СЕ для цих умов передбачена паливна котельня з $\eta_{ПК} = 0,9$. Значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності

паливного котла становитиме $K_{ПДТ}^{ПК} = 0,9$. Для досліджених режимів роботи СЕ для систем теплопостачання значення комплексного безрозмірного критерію енергоефективності СЕ становлять $K_{СЕ} = 1,01 \dots 1,656$ за умови $\beta = 0,264 \dots 0,63$ та можуть становити $K_{СЕ} = 2,1$ [9] за умови $\beta = 1$.

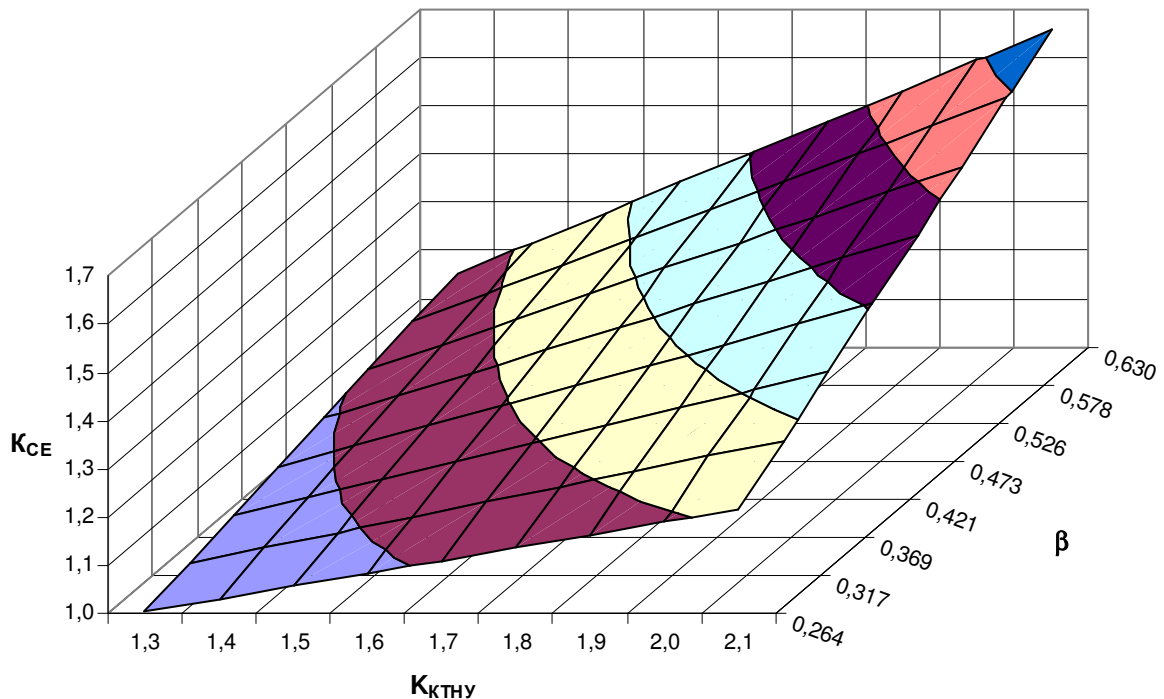


Рис. 2. Область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності для теплопостачання за умови максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла

Як видно з рис. 2, значення комплексного безрозмірного критерію енергоефективності СЕ становлять $K_{СЕ} = 1,01 \dots 1,152$ за умови мінімального значення критерію енергоефективності КТНУ $K_{КТНУ} = 1,3$; для режимів роботи СЕ з $K_{КТНУ} > 1,3$ значення безрозмірного критерію енергоефективності СЕ змінюються в межах $K_{СЕ} = 1,032 \dots 1,656$. Режими високої енергоефективності цих СЕ забезпечуються за умов енергоефективних режимів роботи КТНУ зі значеннями показника енергоефективності $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$.

Слід зазначити, що залежності, показані на рис. 1 – 2, одержані для режимів енергоефективної роботи КТНУ на основі результатів досліджень [8 – 12].

Залежність, показана на рис. 1, визначає область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим паливним котлом (котельнею) для теплопостачання за умови мінімальної ефективності ГПД та паливного котла (котельні). За умов $\beta = 0,421 \dots 0,63$ та $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$ зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність майже в півтора рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів.

Залежність, показана на рис. 2, визначає область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим паливним котлом (котельнею) для теплопостачання за умови максимальної ефективності ГПД та паливного котла (котельні). За умов $\beta = 0,264 \dots 0,63$ та $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$ указані СЕ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їхня ефективність більш, ніж у півтора рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних і паливних котлів. Досліджені СЕ можуть скласти

конкуренцію сучасним високоефективним електричним і паливним котлам у системах тепlopостачання та енергозабезпечення.

У роботі [10] визначено, що досліджені СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами будуть високоефективними в системах тепlopостачання, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,4$, що відповідає результатам досліджень, показаним на рис. 1 – 2. У дослідженні [12] визначено, що за умови максимальної ефективності ГПД та паливного котла досліджені СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами будуть енергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,16 \dots 0,26$ залежно від рівня потужності КТНУ. За умови мінімальної ефективності ГПД та паливного котла досліджені в [12] СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами будуть енергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,32 \dots 0,37$ залежно від рівня потужності КТНУ.

У нашому дослідженні визначено, що за умови максимальної ефективності ГПД та паливного котла досліджені СЕ з КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами будуть забезпечувати високу енергоефективність, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,264$. За умови мінімальної ефективності ГПД та паливного котла досліджені СЕ з КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами забезпечуватимуть високу енергоефективність, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,421$.

Запропоновані підходи із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності і ПК у системах тепlopостачання дозволяють визначити високоефективні режими роботи вказаних СЕ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних КТНУ малої потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Одержані в статті наукові результати із визначення областей високої енергоефективності СЕ дозволяють розробити рекомендації з високоефективної експлуатації СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК з різними схемними рішеннями під час роботи в системах тепlopостачання. Із метою визначення областей високої енергоефективності для різних варіантів СЕ з КТНУ малої потужності та ПК для систем тепlopостачання, крім вищенаведених підходів, пропонуємо використовувати результати досліджень [1 – 16].

Висновки

Визначено області високої енергоефективності систем енергозабезпечення з КТНУ малої потужності та паливними котлами в системах тепlopостачання, за умов оптимальних режимів роботи КТНУ, визначено високоефективні режими роботи СЕ з КТНУ малої потужності та паливними котлами з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних ТНУ малої потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

Запропонований підхід із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та ПК для систем тепlopостачання має низку переваг:

— урахує змінні режими роботи СЕ для тепlopостачання протягом року зі зміною розподілу навантаження між парокомпресійними КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами в СЕ;

— дозволяє визначити області та режими високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами для тепlopостачання, за яких енергоефективність досліджуваних СЕ значно перевищує енергоефективність сучасних високоефективних електричних і паливних котлів;

— запропоновані в [9, 10, 12] методичні основи та наведені в цій статті результати досліджень можуть бути використані для визначення областей високої енергоефективності СЕ з ПК та парокомпресійними КТНУ малої потужності з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями в системах тепlopостачання;

— дозволяє розробити рекомендації з високоефективної експлуатації СЕ з КТНУ малої потужності та ПК з різними схемними рішеннями для систем теплопостачання.

Області високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК в системах теплопостачання в нашому дослідженні визначені для режимів енергоефективної роботи КТНУ в СЕ та за умов $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{СЕ} > 1$ для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ.

За умов мінімальної ефективності ГПД та паливного котла (котельні) визначена область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим паливним котлом (котельнею) для теплопостачання, яка відповідає високоефективним режимам роботи СЕ з КТНУ з $\beta = 0,421 \dots 0,63$ та $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$. Зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їхня ефективність майже в півтора раза перевищує енергоефективність високоефективних електричних і паливних котлів.

За умов максимальної ефективності ГПД та паливного котла (котельні) визначена область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим паливним котлом (котельнею) для теплопостачання, яка відповідає високоефективним режимам роботи СЕ з КТНУ з $\beta = 0,264 \dots 0,63$ та $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$. Указані СЕ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їхня ефективність більш, ніж у півтора раза перевищує енергоефективність високоефективних електричних і паливних котлів. Досліджені СЕ можуть скласти конкуренцію сучасним високоефективним електричним і паливним котлам у системах теплопостачання та енергозабезпечення.

Визначено, що:

— за умови максимальної ефективності ГПД та паливного котла досліджені СЕ з КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами забезпечуватимуть високу енергоефективність, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,264$;

— за умови мінімальної ефективності ГПД та паливного котла досліджені СЕ з КТНУ малої потужності та піковими паливними котлами забезпечуватимуть високу енергоефективність, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме $\beta > 0,421$.

Запропоновані підходи із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності і ПК у системах теплопостачання дозволяють визначити високоефективні режими роботи вказаних СЕ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних КТНУ малої потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

Одержані в статті наукові результати із визначення областей високої енергоефективності СЕ дозволяють розробити рекомендації з високоефективної експлуатації СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК з різними схемними рішеннями під час роботи в системах теплопостачання. Із метою визначення областей високої енергоефективності для різних варіантів СЕ з КТНУ малої потужності та ПК для систем теплопостачання, крім вищенаведених підходів, пропонуємо використовувати результати досліджень [1 – 16].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Парокompресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2009. – 176 с.
2. Ткаченко С. Й. Комплексні методи оцінки енергоефективності теплонасосних станцій в системах теплопостачання / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 83 – 85.
3. Енергетична ефективність парокompресійних 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>.
4. Енергетичні переваги застосування парокompресійних 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>.
5. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності

парокомпресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т. 2. – С. 157 – 162.

6. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 64 p.

7. 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>.

8. 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>.

9. 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>.

10. 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>.

11. Області енергоефективної роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/479/478>.

12. Області енергоефективної роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 4. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/487/486>.

13. Ostapenko O. P. Spheres of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of large power and peak fuel-fired boilers / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – IV(12). – Issue 110. – 2016. – P. 64 – 67.

14. 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>.

15. 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>.

16. 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>.

17. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.

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

Вінницький національний технічний університет.