

**О. П. Остапенко, к. т. н., доц.; В. В. Лещенко; Р. О. Тіхоненко**

## **ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНИХ КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК**

*Запропоновано підхід з оцінювання енергетичної ефективності систем енергозабезпечення (СЕ) на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок (КТНУ) з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для пароконденсійних теплонасосних установок (ТНУ) різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.*

**Ключові слова:** енергетична ефективність, система енергозабезпечення, когенераційно-теплонасосна установка, безрозмірний критерій енергетичної ефективності.

### **Вступ**

За недостатності та невідповідної якості власних та високої вартості імпортованих паливно-енергетичних ресурсів в Україні, підвищеного попиту на електричну енергію в години пікового споживання (особливо в опалювальний період), за недостатності наявних електрогенерувальних потужностей в Україні та періодичної неузгодженості графіків вироблення і споживання електричної енергії, з метою зменшення навантаження на енергосистему України в сучасних умовах надзвичайно актуальною постає технологія створення енергогенерувальних потужностей на основі комбінованих когенераційних і теплонасосних установок.

Ця технологія передбачає застосування комбінованих когенераційно-теплонасосних установок, що дозволить знизити споживання природного або альтернативного газу на 30 – 45 % порівняно з котельними установками еквівалентної потужності [1], а також одержати дешевшу за собівартістю електроенергію порівняно з мережевою (на 30 – 40 %). Когенераційний привод компресорів ТНУ може бути забезпечений на основі газових двигунів-генераторів, які випускають українські підприємства.

Зважаючи на актуальність поставленого питання, за останні роки проведено низку досліджень з ефективності застосування комбінованих когенераційно-теплонасосних установок у теплових схемах джерел енергопостачання [1 – 8]. У роботі [1] авторами виконані дослідження з підвищення енергоефективності джерел теплопостачання шляхом використання ТНУ з когенераційним приводом. У роботі [2] виконано порівняльний аналіз перспективних напрямів підвищення ефективності систем енергопостачання на базі установок когенерації малої потужності, запропоновані теплові схеми інтегрованих систем комплексного енергопостачання. У дослідженні [3] авторами оцінено економічність когенераційних і комбінованих когенераційно-теплонасосних установок із газопоршневіми та газотурбінними двигунами. Проте в дослідженні [3] авторами запропонований спрощений підхід до оцінювання енергетичної ефективності ТНУ (лише за коефіцієнтом перетворення, який не враховує всі втрати енергії, пов'язані з виробленням теплоти в ТНУ). В публікації [4] наведені результати дослідження схеми джерела теплоелектропостачання (міні-ТЕЦ) із регулюванням навантажень на базі використання теплових насосів. У дослідженні [4] проаналізовано три варіанти теплових схем: схема з когенераційною та теплонасосною установками з відпуском електроенергії в мережу, схема з когенераційною та теплонасосною установками та баком-аккумулятором із відпуском електроенергії в мережу, схема з когенераційною та теплонасосною установками без відпуску електроенергії в мережу. Авторами в дослідженні [4] запропоновано спрощений підхід до оцінювання енергетичної ефективності ТНУ, який не враховує всі втрати енергії, пов'язані з виробленням теплоти в ТНУ. Теплові схеми, запропоновані в

дослідженні [4], можуть бути використані лише для забезпечення потреб гарячого водопостачання, а потужність опалення ці схеми можуть забезпечувати лише частково.

У роботі [5] визначені ефективні дійсні режими роботи ТНУ з електричним і когенераційним приводами з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних теплових насосів і втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії до ТНУ. Енергетичні переваги застосування парокompресійних теплових насосів з електричним і когенераційним приводами проаналізовано в дослідженні [6]. У роботі [7] запропоновано методичні основи з комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокompресійних теплонасосних станцій (ТНС) із електричним і когенераційним приводами, із урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи ТНС, пікових джерел теплоти ТНС, джерел приводної енергії ТНС та з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії. У дослідженні [8] здійснено комплексну оцінку енергетичної ефективності парокompресійних ТНС із когенераційним приводом з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи ТНС, пікових джерел теплоти ТНС, джерел приводної енергії парокompресійних ТНС різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії.

У роботах [1 – 8] авторами не здійснено оцінку енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок, не визначені ефективні режими роботи систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок 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.

**Метою дослідження** є оцінка енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок, визначення ефективних режимів роботи систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок 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.

### Основна частина

У дослідженні здійснено оцінку енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок. Досліджували ефективність систем енергозабезпечення на основі парокompресійних ТНУ малої (до 1 МВт) та великої потужностей з когенераційним приводом від газопоршневого двигуна-генератора (ГПД). Використання когенераційних установок для приводу теплових насосів дозволяє уникнути додаткових втрат електроенергії під час транспортування та передбачає утилізацію теплоти відхідних газів після газового двигуна, що забезпечує кращу енергетичну ефективність. Досліджувані системи енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок можуть повністю або частково забезпечувати власні потреби в електричній енергії та забезпечувати потреби опалення та гарячого водопостачання споживачів. Схеми систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок наведені в роботах [1, 9].

Теплову потужність СЕ на основі комбінованих КТНУ визначають з урахуванням потужності ТНУ та утилізаційного обладнання когенераційного приводу ТНУ  $Q_{КТНУ} = Q_k + \Sigma Q_{ум}$ , де  $Q_k$  – потужність конденсатора ТНУ,  $\Sigma Q_{ум}$  – потужність утилізаційного обладнання когенераційного приводу ТНУ.

Енергетичну ефективність перетворення енергії в ТНУ у складі КТНУ найчастіше оцінюють коефіцієнтом перетворення енергії, який дорівнює відношенню енергії, що надійшла споживачу, до енергії, яку використали для реалізації циклу.

У нашому дослідженні значення коефіцієнта перетворення ТНУ для СЕ на основі КТНУ, згідно з [1, 5, 9], визначено з урахуванням потужності утилізаційного обладнання когенераційного приводу:

$$\varphi_m^{КТНУ} = \frac{Q_{КТНУ}}{N_{км}}, \quad (1)$$

де  $N_{км}$  – потужність компресора ТНУ.

Вираз коефіцієнта перетворення ТНУ для СЕ на основі КТНУ за формулою (1) також може бути представлений у вигляді:

$$\varphi_m^{КТНУ} = \varphi_m + K_{ГПД}^m, \quad (2)$$

де  $\varphi_m$  – теоретичне значення коефіцієнта перетворення ТНУ без урахування потужності утилізаційного обладнання ГПД;  $K_{ГПД}^m$  – тепловий коефіцієнт ГПД, який дорівнює відношенню теплової утилізаційної потужності ГПД до його електричної потужності.

Нами проаналізовані характеристики низки газопоршневих двигунів-генераторів вітчизняного («Первомайськдизельмаш» та ДП «Завод ім. В. О. Малишева») та закордонного виробництв (Jenbacher ES (Австрія), Wartsilla Diesel (Швеція), Ulstein Bergen (Норвегія), MAN & (Данія)). Визначено, що для розглянутих газопоршневих двигунів-генераторів у діапазоні електричних потужностей 500...2400 кВт значення теплового коефіцієнта ГПД становить  $K_{ГПД}^m = 1,1...1,44$ ; що відповідає діапазону зміни ефективного електричного ККД газопоршневого двигуна  $\eta_{ЕД} = 0,42...0,31$ . Одержані нами дані узгоджуються з результатами дослідження [3].

З урахуванням вищезазначеного, вираз коефіцієнта перетворення ТНУ для СЕ на основі КТНУ з формули (2) матиме вид:

$$\varphi_m^{КТНУ} = \varphi_m + (1,1...1,44). \quad (3)$$

Як видно з формули (3), значення коефіцієнта перетворення ТНУ з приводом від когенераційних установок буде значно вищим за коефіцієнт перетворення ТНУ  $\varphi_m$  з електроприводом.

Дійсний коефіцієнт перетворення ТНУ може бути визначений як:

$$\varphi_o = \varphi_m \cdot \eta_{ми}, \quad (4)$$

де  $\eta_{ми}$  – енергетичний ККД ТНУ, який враховує всі втрати енергії в тепловому насосі.

Дійсний коефіцієнт перетворення КТНУ може бути визначений як:

$$\varphi^{КТНУ} = \varphi_m^{КТНУ} \cdot \eta_{ми}. \quad (5)$$

У нашому дослідженні проаналізовано енергетичну ефективність системи «Джерело приводної енергії КТНУ – КТНУ – споживач теплоти від КТНУ» на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок. Перевагою цього підходу є врахування втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії в КТНУ з метою визначення ефективних режимів роботи для СЕ на основі КТНУ.

У дослідженні [5] нами був запропонований безрозмірний критерій енергетичної ефективності парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом. Він 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.

З урахуванням такого підходу безрозмірний критерій енергетичної ефективності для СЕ на основі комбінованих КТНУ, згідно з [5], матиме вид:

$$K_{CE} = Q_{КТНУ} / Q_m = \eta_{ЕЛ} \cdot \varphi^{КТНУ} \cdot \eta_{mn}, \quad (6)$$

де  $Q_m$  – потужність, витрачена газопоршневим двигуном-генератором для вироблення електричної енергії для привода ТНУ,  $\eta_{ЕЛ}$  – загальний ККД генерування, постачання й перетворення електричної енергії з [5],  $\eta_{mn}$  – ККД теплового потоку, що враховує втрати енергії та робочого агента в трубопроводах та обладнанні ТНУ.

Згідно з [5], для СЕ на основі КТНУ загальний ККД генерування, постачання й перетворення електричної енергії може бути визначений:

$$\eta_{ЕЛ} = \eta_{ЕД} \cdot \eta_{ЕП}, \quad (7)$$

де  $\eta_{ЕД}$  – ефективний ККД газопоршневого двигуна;  $\eta_{ЕП}$  – ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном з [5].

З урахуванням формули (7) для СЕ на основі КТНУ безрозмірний критерій енергетичної ефективності з формули (6) матиме вид:

$$K_{CE} = Q_{КТНУ} / Q_m = \eta_{ЕД} \cdot \eta_{ЕП} \cdot \varphi^{КТНУ} \cdot \eta_{mn}. \quad (8)$$

За умови  $K_{CE} = 1$  система енергозабезпечення на основі КТНУ передає до споживача таку ж теплову потужність, яка була витрачена для вироблення електроенергії для привода ТНУ. Чим більше значення цього показника, тим більш ефективною та конкурентоздатною буде система енергозабезпечення на основі КТНУ.

Запропонований підхід з оцінювання енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі КТНУ має низку переваг:

- дозволяє оцінювати вплив змінних режимів роботи КТНУ з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії;
- враховує режими роботи парокompресійних ТНУ;
- враховує вплив джерел приводної енергії парокompресійних ТНУ різних рівнів потужності з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії в КТНУ;
- враховує енергетичну ефективність систем енергозабезпечення на основі КТНУ різних рівнів потужностей;
- запропоновані методичні основи можуть бути використані для оцінювання енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі КТНУ з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями ТНУ.

Застосування запропонованих підходів із оцінювання енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі КТНУ продемонструємо на конкретних прикладах.

На рис. 1 показані значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ малих рівнів потужності залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД. У цьому дослідженні, згідно з [5], урахувано значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном  $\eta_{ЕП} = 0,8$ . Із рис. 1 видно, що для значень дійсного коефіцієнта перетворення ТНУ в діапазоні  $\varphi_0 = 0,6 \dots 5,4$  значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ малих потужностей змінюються в діапазоні  $\varphi^{КТНУ} = 1,7 \dots 6,84$ ; це досягається за рахунок використання теплоти утилізаційного обладнання когенераційного приводу ТНУ. Така СЕ на основі КТНУ, залежно від режиму роботи, генерує  $1,7 \dots 6,84$  одиниць теплової потужності в ТНУ та утилізаційному обладнанні когенераційного приводу по відношенню до одиниці спожитої ТНУ електричної потужності без споживання електроенергії з енергосистеми. Для порівняння слід зазначити, що ТНУ з електроприводом за цих режимів роботи буде генерувати  $0,6 \dots 5,4$  одиниць теплової потужності в по відношенню до одиниці спожитої електричної потужності. Одержані високі значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ малих потужно-

стей свідчать про високу енергетичну ефективність таких комбінованих систем.

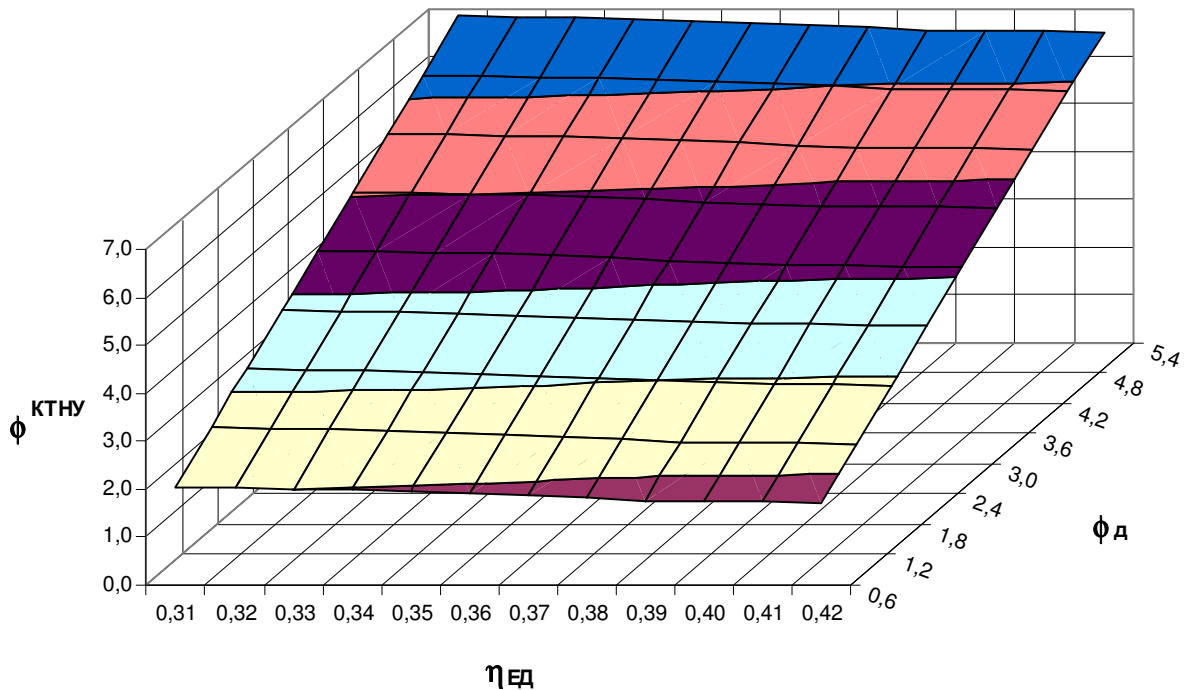


Рис. 1. Значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ малих потужностей залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД

На рис. 2 показані значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ малих потужностей  $K_{CE}$  залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД. У дослідженні, згідно з [5], урахувано значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном  $\eta_{EP} = 0,8$ . Як видно з рис. 2, для значень дійсного коефіцієнта перетворення ТНУ в діапазоні  $\varphi_D = 1,8 \dots 5,4$  значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ малих потужностей змінюються в діапазоні  $K_{CE} = 0,66 \dots 2,04$ .

Як вже зазначалось, за умови  $K_{CE} = 1$  система енергозабезпечення на основі КТНУ буде передавати до споживача таку ж теплову потужність, яка була витрачена для вироблення електроенергії для привода ТНУ. Чим більшим буде значення цього показника, тим більш ефективною та конкурентоздатною буде система енергозабезпечення на основі КТНУ.

Отже, ефективні режими роботи таких СЕ на основі КТНУ малих потужностей будуть відповідати умові  $K_{CE} > 1$ . Одержані високі значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ малих потужностей свідчать про високу енергетичну ефективність таких комбінованих систем.

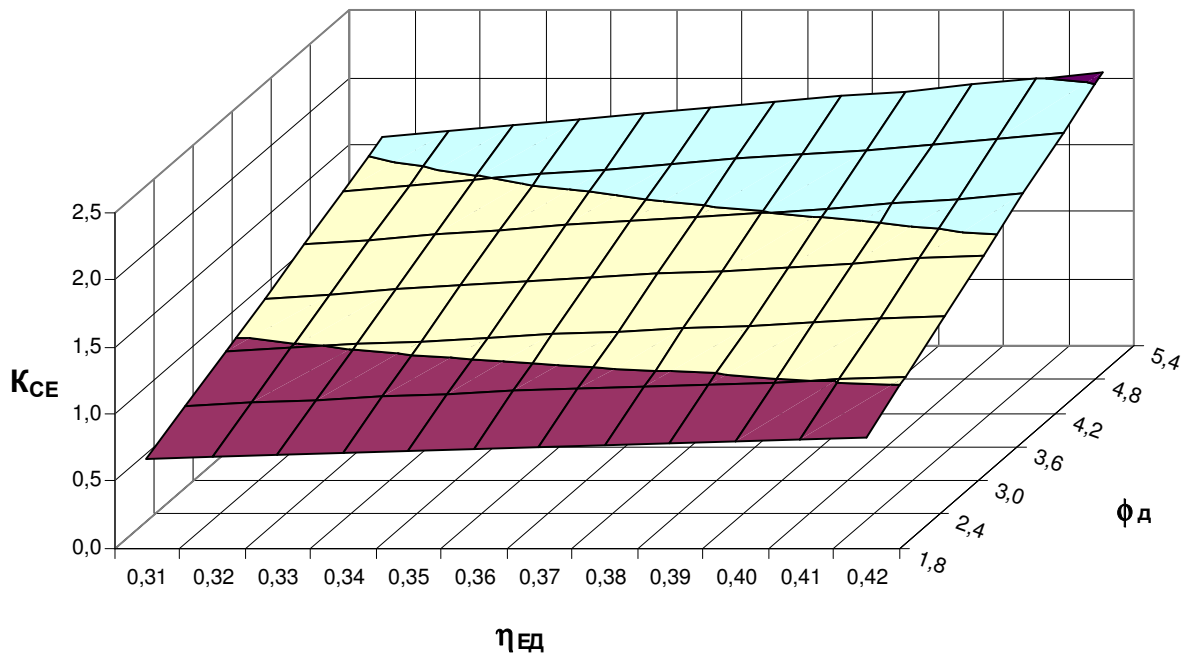


Рис. 2. Значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ малих потужностей залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД

На рис. 3 показані значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ великих потужностей залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД. У цьому дослідженні, згідно з [5], урахувано значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном  $\eta_{ЕП} = 0,9$ . Із рис. 3 видно, що для значень дійсного коефіцієнта перетворення ТНУ в діапазоні  $\varphi_{\partial} = 0,7 \dots 6,1$  значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ великих потужностей змінюються в діапазоні  $\varphi^{КТНУ} = 1,78 \dots 7,72$ ; це досягається за рахунок використання теплоти утилізаційного обладнання когенераційного приводу ТНУ.

Така СЕ на основі КТНУ, залежно від режиму роботи, генерує  $1,78 \dots 7,72$  одиниць теплової потужності в ТНУ та утилізаційному обладнанні когенераційного приводу по відношенню до одиниці спожитої ТНУ електричної потужності без споживання електроенергії з енергосистеми. Для порівняння слід зазначити, що ТНУ з електроприводом за цих режимів роботи буде генерувати  $0,7 \dots 6,1$  одиниць теплової потужності по відношенню до одиниці спожитої електричної потужності.

Одержані високі значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ великих потужностей свідчать про високу енергетичну ефективність таких комбінованих систем, яка перевищує ефективність таких систем на основі КТНУ малих потужностей.

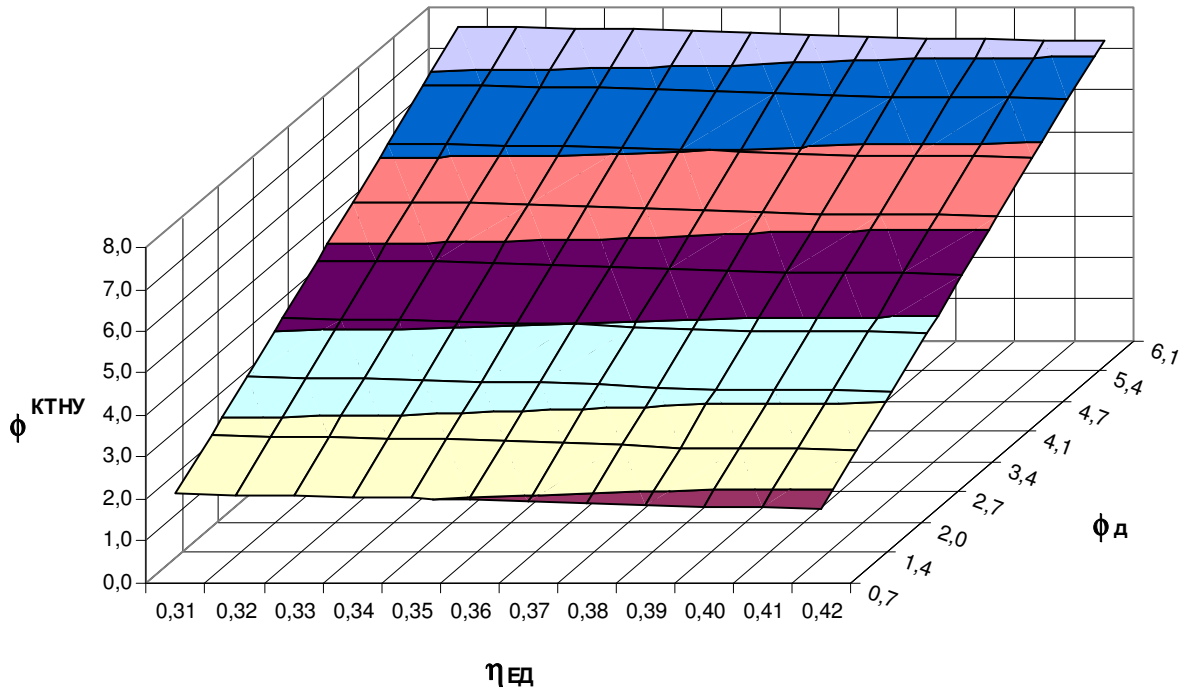


Рис. 3. Значення дійсного коефіцієнта перетворення для СЕ на основі КТНУ великих потужностей залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД

На рис. 4 показані значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ великих потужностей  $K_{CE}$  залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД. У цьому дослідженні, згідно з [5], урахувано значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном  $\eta_{EP} = 0,9$ .

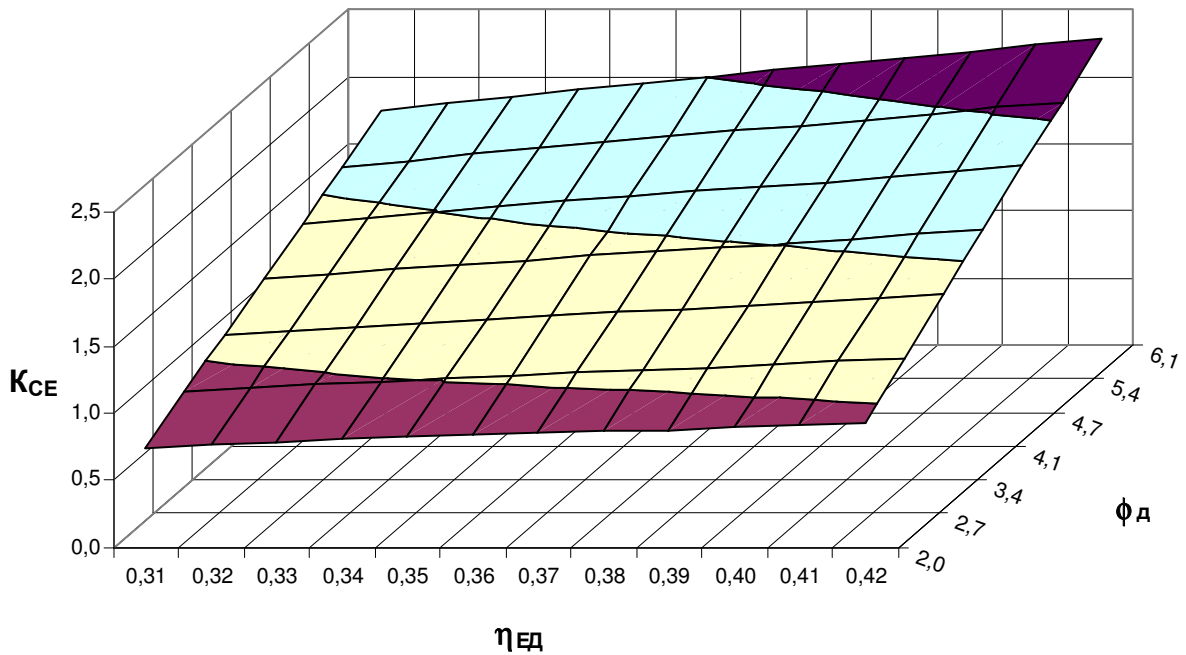


Рис. 4. Значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ великих потужностей залежно від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та ефективного ККД ГПД

Як видно з рис. 4, для значень дійсного коефіцієнта перетворення ТНУ в діапазоні  $\varphi_0 = 2,0 \dots 6,1$  значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ великих потужностей змінюються в діапазоні  $K_{CE} = 0,74 \dots 2,29$ .

Як вже зазначалось, за умови  $K_{CE} = 1$  система енергозабезпечення на основі КТНУ буде передавати до споживача таку ж теплову потужність, яка була витрачена для вироблення електроенергії для привода ТНУ. Чим більшим буде значення цього показника, тим більш ефективною та конкурентоздатною буде система енергозабезпечення на основі КТНУ. Отже, ефективні режими роботи таких СЕ на основі КТНУ великих потужностей відповідатимуть умові  $K_{CE} > 1$ .

Одержані високі значення безрозмірного критерію енергетичної ефективності для СЕ на основі КТНУ великих потужностей свідчать про високу енергетичну ефективність таких комбінованих систем, яка перевищує ефективність таких систем на основі КТНУ малих потужностей.

Порівнюючи результати досліджень, показані на рис. 1 – 2 та рис. 3 – 4, можна зробити висновок, що використання СЕ на основі КТНУ великих потужностей має переваги порівняно з використанням СЕ на основі КТНУ малих потужностей, що підтверджується більшими значеннями безрозмірного критерію енергетичної ефективності СЕ на основі КТНУ  $K_{CE}$  для різних режимів роботи. На основі аналізу результатів досліджень (рис. 1 – 4) визначено, що для СЕ на основі КТНУ великих потужностей фіксуються більші значення показників енергетичної ефективності для всіх досліджених режимів роботи.

Для здійснення оцінки енергетичної ефективності різних варіантів СЕ на основі КТНУ, крім вищенаведених підходів, пропонуємо використовувати результати з досліджень [1, 5 – 9].

### Висновки

Запропоновано підхід із оцінювання енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок 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.

Розроблено методичні основи та здійснено оцінку енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок, визначено ефективні режими роботи систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок 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.

Запропонований підхід з оцінювання енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі КТНУ має низку переваг:

- дозволяє оцінювати вплив змінних режимів роботи КТНУ з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії;
- урахує режими роботи парокompресійних ТНУ;
- урахує вплив джерел приводної енергії парокompресійних ТНУ різних рівнів потужності з урахуванням втрат енергії під час генерування, постачання й перетворення електричної енергії в КТНУ;
- урахує енергетичну ефективність систем енергозабезпечення на основі КТНУ різних рівнів потужностей;
- запропоновані методичні основи можуть бути використані для оцінювання енергетичної ефективності систем енергозабезпечення на основі КТНУ з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями ТНУ.



На основі аналізу результатів досліджень визначено, що використання СЕ на основі КТНУ великих потужностей має переваги порівняно з використанням СЕ на основі КТНУ малих потужностей, що підтверджується більшими значеннями безрозмірного критерію енергетичної ефективності СЕ на основі КТНУ  $K_{CE}$  для різних режимів роботи. Визначено, що для СЕ на основі КТНУ великих потужностей фіксують більші значення показників енергетичної ефективності для всіх досліджених режимів роботи.

Для здійснення оцінки енергетичної ефективності різних варіантів СЕ на основі КТНУ, крім вищенаведених підходів, пропонуємо використовувати результати з досліджень [1, 5 – 9].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 176 с.
2. Баласанян Г. А. Ефективність перспективних інтегрованих систем енергозабезпечення на базі установок когенерації малої потужності (теоретичні основи, аналіз, оптимізація) : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.14.06 «Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика» / Г. А. Баласанян. – Одеса, 2007. – 36 с.
3. Билека Б. Д. Экономичность когенерационных и комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с газопоршневыми и газотурбинными двигателями / Б. Д. Билека, Р. В. Сергиенко, В. Я. Кабков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – №7 (74). – С. 25 – 29.
4. Сафьянц С. М. Исследование схемы источника теплоэлектрообеспечения 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.
5. Енергетична ефективність парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тихоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/421/419>.
6. Енергетичні переваги застосування парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тихоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/437/435>.
7. 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.
8. Остапенко О. П. 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>.
9. 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, [ostapenko1208@gmail.com](mailto:ostapenko1208@gmail.com).

**Лещенко Вадим Володимирович** – студент факультета будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

**Тихоненко Роман Олегович** – студент факультета будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет.