

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.

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

Проведено обґрунтування методу комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення (СЕ) з когенераційно-теплонасосними установками (КТНУ) та піковими джерелами теплоти (ПДТ), яке має більш поглиблений підхід до оцінювання енергоперетворень в елементах СЕ, що дозволить забезпечити обґрунтоване визначення високоенергоефективних, екологічно безпечних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ з КТНУ та ПДТ за умов змінних режимів роботи СЕ та її елементів, змінних рівнів енергоефективності елементів СЕ, змінних холодоагентів, змінних джерел приводної енергії та топологічного складу СЕ.

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

Вступ

Системи енергозабезпечення (СЕ) з когенераційно-теплонасосними установками (КТНУ) та піковими джерелами теплоти (ПДТ) забезпечують високі показники енергетичної ефективності за умов високоефективних режимів роботи, визначених у низці вітчизняних та закордонних публікацій [1 – 7], і можуть бути до двох разів ефективнішими, ніж традиційні джерела енергозабезпечення на основі високоефективних електричних чи паливних котлів. Питанням оцінки енергетичної та економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ присвячено низку публікацій вітчизняних авторів [8 – 9], проте необхідно акцентувати увагу на певних недоліках вибраних авторами підходів. Зокрема, у дослідженні [8] виконано аналіз режимів роботи комбінованих систем енергозабезпечення з КТНУ із газопоршневими агрегатами та водогрійними котлами. У дослідженнях [8, 9] застосовано спрощений підхід до оцінювання енергоперетворень у КТНУ, що не дозволяє поширити одержані авторами результати для різних режимів роботи теплового насоса з використанням різних джерел низькотемпературної теплоти під час роботи КТНУ у складі СЕ з метою комплексної оцінки енерго-еколого-економічної ефективності зазначених СЕ.

Метою дослідження є обґрунтування методу комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти, яке має більш поглиблений підхід до оцінювання енергоперетворень в елементах СЕ, що дозволить забезпечити обґрунтоване визначення високоенергоефективних, екологічно безпечних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ з КТНУ та ПДТ за умов змінних режимів роботи СЕ та її елементів, змінних рівнів енергоефективності елементів СЕ, змінних холодоагентів, змінних джерел приводної енергії та топологічного складу СЕ.

Основна частина

У нашому дослідженні [10] запропоновано методичні основи для здійснення комплексної оцінки енерго-еколого-економічної ефективності СЕ на основі КТНУ та ПДТ з використанням запропонованого комплексного узагальненого безрозмірного критерію енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ:

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

де K_{CE} – комплексний безрозмірний критерій енергетичної ефективності SE з КТНУ та ПДТ з досліджень [1 – 7, 10 – 11], який використовують для оцінювання рівня енергоефективності та визначення вискоефективних режимів роботи вказаних SE за умови $K_{CE} > 1$; ΔE_i^{CE} – відносна економічна ефективність (у частках) для SE з КТНУ та ПДТ для i -го режиму роботи SE з дослідження [10 – 11], цей показник дозволяє визначити економічно обґрунтовані режими роботи зазначених SE за умови, що $\Delta E_i^{CE} > 0$; ΔEK_i^{CE} – відносна екологічна ефективність (у частках) для SE на основі КТНУ та ПДТ для i -го режиму роботи SE з дослідження [11], цей показник дозволяє визначити екологічно безпечні режими роботи SE з КТНУ та ПДТ за умови $\Delta EK_i^{CE} > 0$; β – частка навантаження КТНУ у складі SE з досліджень [1 – 7, 10 – 11]; $K_{ПДТ}$ – безрозмірний критерій енергоефективності ПДТ у складі SE з дослідження [1]; $K_{КТНУ}$ – безрозмірний критерій енергоефективності парокompресійних КТНУ, запропонований та обґрунтований у дослідженнях [1 – 7].

У дослідженні [10] визначено, що екологічно безпечні, енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи SE з КТНУ та ПДТ забезпечуються за умови $K_{CE}^{компл} > 1$. Енергоефективність, екологічна безпечність та економічна ефективність SE з КТНУ та ПДТ підвищуються зі зростанням цього показника.

Уплив складників енергетичної ефективності, економічної ефективності та екологічної безпеки SE з КТНУ та ПДТ на значення узагальненого комплексного показника енерго-еколого-економічної ефективності проілюструємо на прикладі SE з КТНУ з використанням теплоти стічних вод та піковим паливним котлом на природному газі.

Ефективність зазначеної SE визначена для зміни частки навантаження КТНУ в межах $\beta = 0,1 \dots 1,0$. Результати дослідження приведені для режимів енергоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 2,1$ (за умов максимальної ефективності газопоршневого двигуна (ГПД)) на основі результатів досліджень [1 – 7], що відповідають дійсному коефіцієнту перетворення КТНУ в межах $\varphi_\delta = 2,7 \dots 5,4$ для КТНУ великих потужностей, згідно з [12].

На рис. 1 показана область енергоефективної роботи SE, визначена для режимів вискоефективної роботи КТНУ. Ця область визначена за показником ефективності SE з КТНУ та ПДТ з формули (1) за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла без урахування двох останніх складників, що враховують економічну та екологічну ефективність. Ця область визначена за умов вискоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,7 \dots 2,1$ та зміни частки навантаження КТНУ в SE в межах $\beta = 0,125 \dots 1,0$.

На рис. 2 показана область енергоефективної роботи SE, визначена для широкого діапазону зміни ефективності КТНУ. Як і в попередньому випадку, ця область визначена за показником ефективності SE з КТНУ та ПДТ з формули (1) за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла без урахування двох останніх складників, що враховують економічну та екологічну ефективність. Ця область визначена за умов енергоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$ та звуженого діапазону зміни частки навантаження КТНУ в SE в межах $\beta = 0,25 \dots 1,0$.

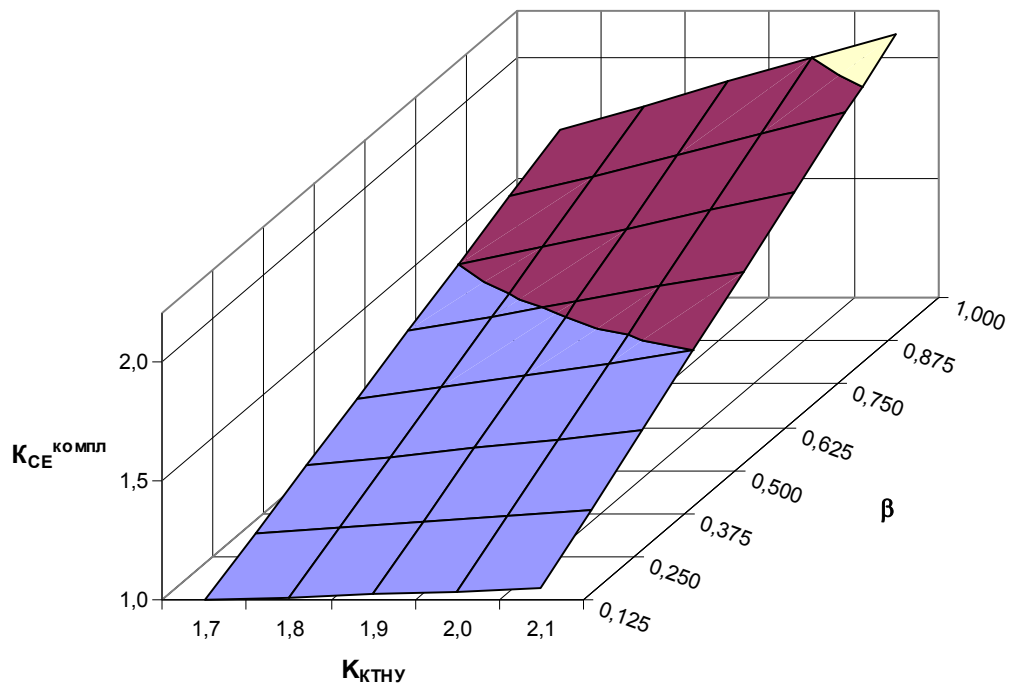


Рис. 1. Область енергоефективної роботи СЕ, визначена для режимів вискоелективної роботи КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ без урахування складників, що враховують економічну та екологічну ефективність

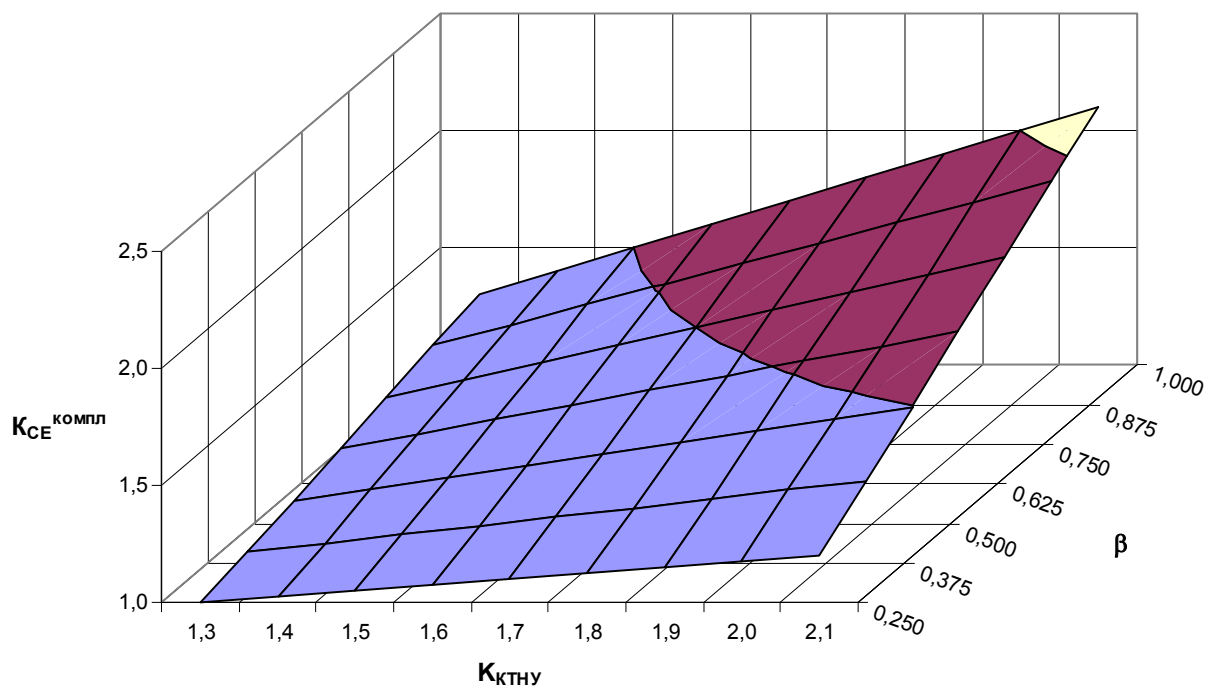


Рис. 2. Область енергоефективної роботи СЕ, визначена для широкого діапазону зміни ефективності КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ без урахування складників, що враховують економічну та екологічну ефективність

Для результатів досліджень, показаних на рис. 1 та 2, згідно з [13], ураховані такі показники обладнання СЕ: значення ефективного ККД ГПД $\eta_{ED} = 0,42$; значення ККД електрод-

вигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління $\eta_{EP} = 0,8$. Як ПДТ в СЕ передбачена паливна котельня з $\eta_{ПК} = 0,9$. Значення безрозмірного критерію енергоефективності паливного котла, згідно з [12], становить $K_{ПДТ}^{ПК} = 0,9$. Залежності, показані на рис. 1 та 2, визначені за умови $K_{CE} > 1$.

На рис. 3 показана область енергоефективної роботи СЕ, визначена для режимів вискоелефективної роботи КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з формули (1) за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла з урахуванням складника, що враховує екологічну ефективність та без урахування складника, що враховує економічну ефективність. Із метою оцінювання відносної екологічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ як альтернативне джерело теплоти передбачена паливна котельня відповідної потужності на природному газі [10]. Ця область визначена за умов вискоелефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,7 \dots 2,1$ та зміни частки навантаження КТНУ в СЕ в межах $\beta = 0,125 \dots 1,0$.

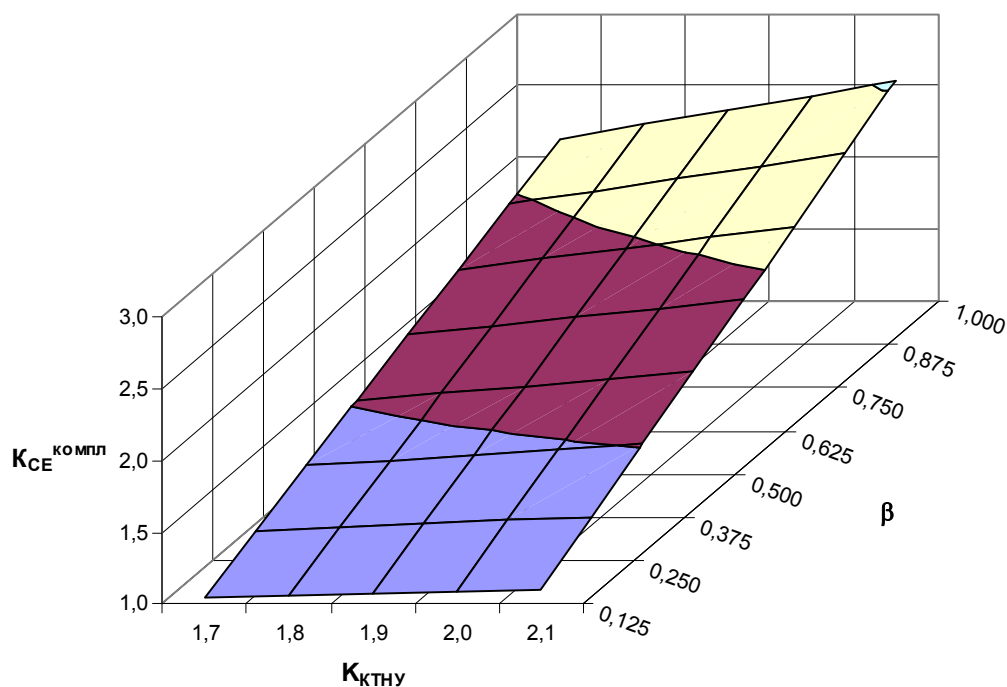


Рис. 3. Область енергоефективної роботи СЕ, визначена для режимів вискоелефективної роботи КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з урахуванням складника, що враховує екологічну ефективність та без урахування складника, що враховує економічну ефективність

На рис. 4 показана область енергоефективної роботи СЕ, визначена для широкого діапазону зміни ефективності КТНУ. Як і в попередньому випадку, ця область визначена за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з формули (1) за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла з урахуванням складника, що враховує екологічну ефективність та без урахування складника, що враховує економічну ефективність. Ця область визначена за умов енергоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$ та звуженого діапазону зміни частки навантаження КТНУ в СЕ в межах $\beta = 0,25 \dots 1,0$.

Залежності, показані на рис. 3 та 4, визначені за умови $K_{CE} > 1$. Порівняно з аналогічними залежностями з рис. 1 та 2 на рис. 3. та 4 можна побачити вплив складника екологічної ефективності на значення показника енерго-еколого-економічної ефективності СЕ.

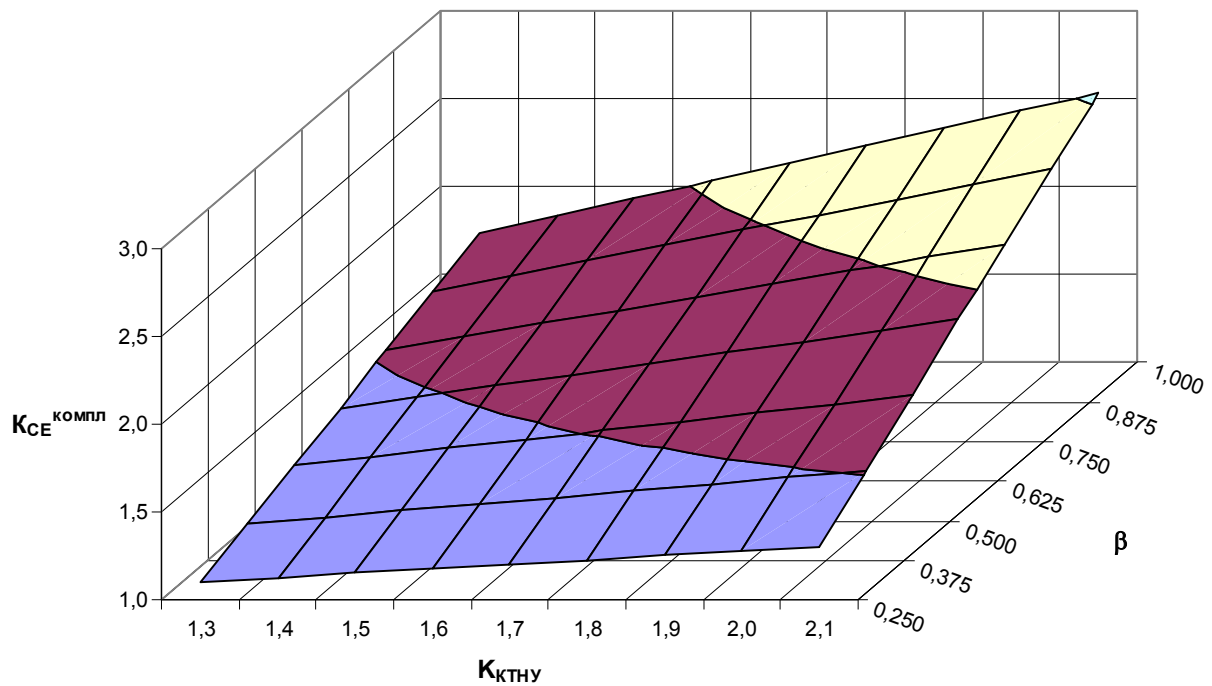


Рис. 4. Область енергоефективної роботи СЕ, визначена для широкого діапазону зміни ефективності КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з урахуванням складника, що враховує екологічну ефективність та без урахування складника, що враховує економічну ефективність

На рис. 5 показана область енергоефективної роботи СЕ, визначена для режимів високоефективної роботи КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з формули (1) за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла з урахуванням складника, що враховує економічну ефективність та без урахування складника, що враховує екологічну ефективність. Ця область визначена за умов високоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,7 \dots 2,1$ та зміни частки навантаження КТНУ в СЕ в межах $\beta = 0,125 \dots 1,0$.

На рис. 6 показана область енергоефективної роботи СЕ, визначена для широкого діапазону зміни ефективності КТНУ. Як і в попередньому випадку, ця область визначена за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з формули (1) за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла з урахуванням складника, що враховує економічну ефективність та без урахування складника, що враховує екологічну ефективність. Ця область визначена за умов енергоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$ та звуженого діапазону зміни частки навантаження КТНУ в СЕ в межах $\beta = 0,25 \dots 1,0$.

Залежності, показані на рис. 5 та 6, визначені за умови $K_{СЕ} > 1$. Порівняно з аналогічними залежностями з рис. 1 та 2 на рис. 5 та 6 можна побачити вплив складника економічної ефективності на значення показника енерго-еколого-економічної ефективності СЕ.

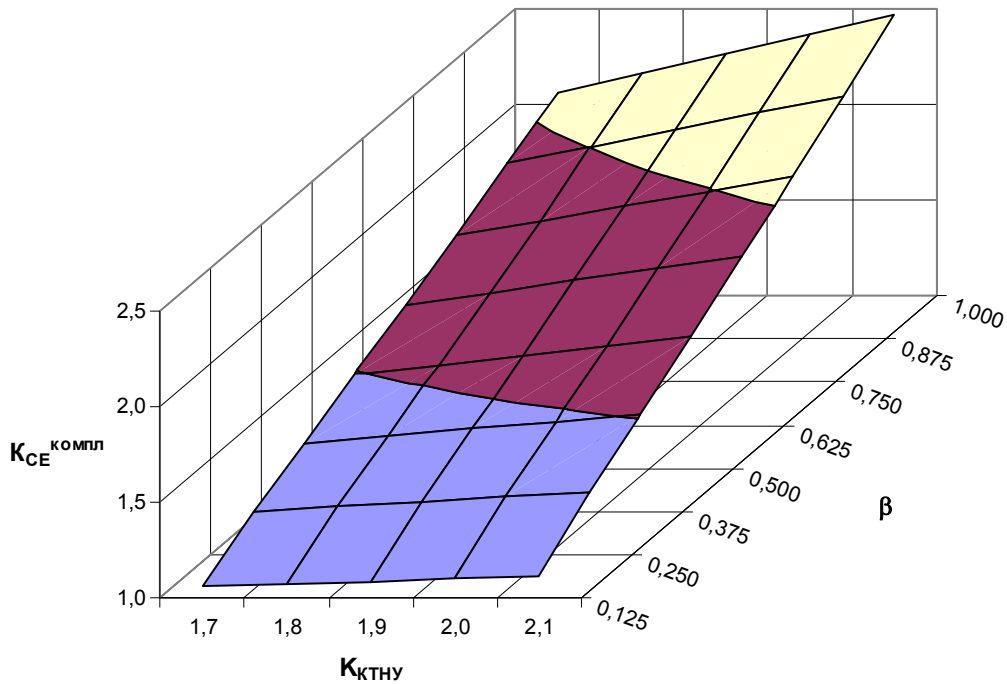


Рис. 5. Область енергоефективної роботи СЕ, визначена для режимів вискоелективної роботи КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з урахуванням складника, що враховує економічну ефективність та без урахування складника, що враховує екологічну ефективність

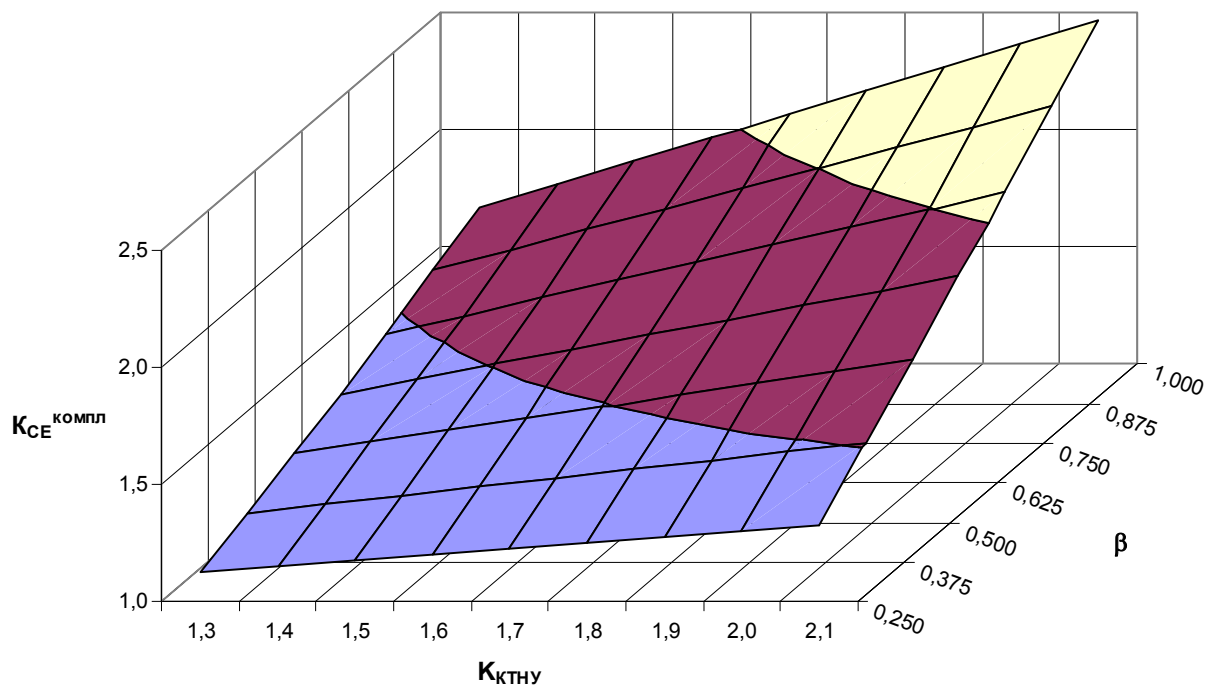


Рис. 6. Область енергоефективної роботи СЕ, визначена для широкого діапазону зміни ефективності КТНУ за показником ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла з урахуванням складника, що враховує економічну ефективність та без урахування складника, що враховує екологічну ефективність

На рис. 7 показана область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти стічних вод із КТНУ великої потужності та піковим паливним котлом на природному газі з дослідження [10]. Ця область визначена за показником енерго-еколого-

економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з формули (1).

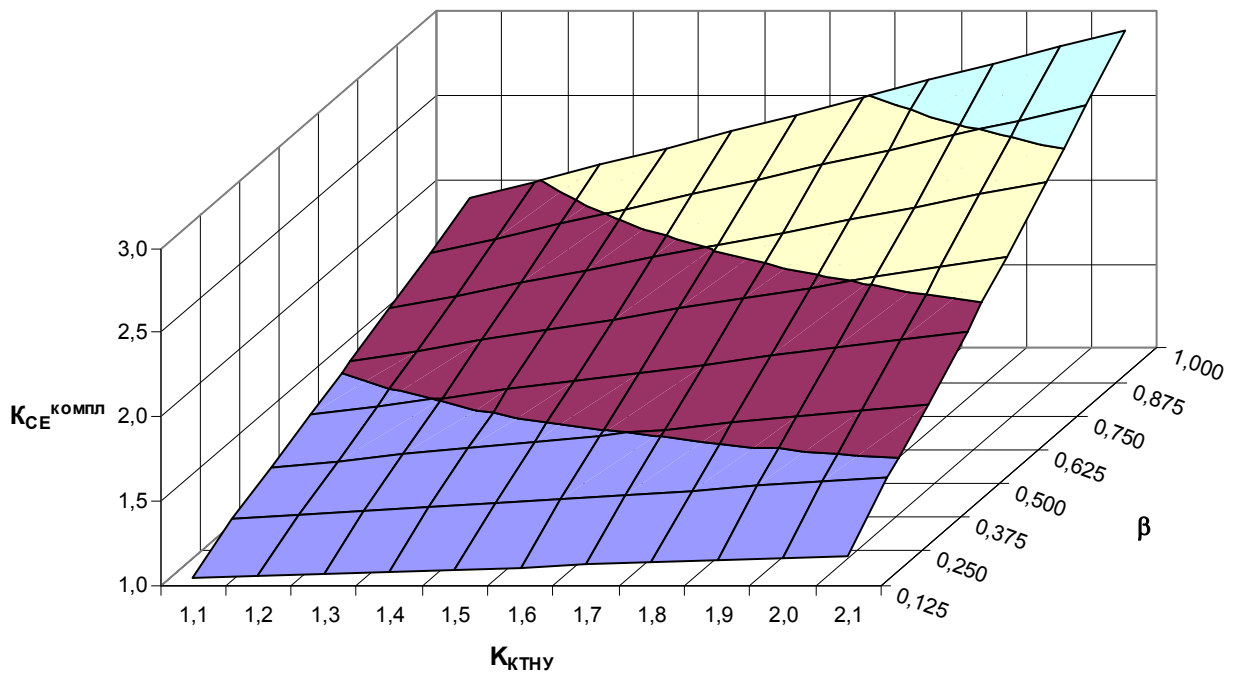


Рис. 7. Область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти стічних вод із КТНУ великої потужності та піковим паливним котлом за умов максимальної ефективності ГПД та пікового паливного котла [10]

На основі порівняння результатів досліджень, показаних на рис. 1 – 6 та 7 можна визначити вплив складників енергетичної, економічної ефективності та екологічної безпеки на значення комплексного показника енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ.

Запропонований в дослідженні [10] метод комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти зумовлює поглиблений підхід до оцінювання енергоперетворень в елементах СЕ, що дозволяє забезпечити обґрунтоване визначення високоенергоефективних, екологічно безпечних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ з КТНУ та ПДТ за умов змінних режимів роботи СЕ та її елементів, змінних рівнів енергоефективності елементів СЕ, змінних холодоагентів, змінних джерел приводної енергії та топологічного складу СЕ. На основі результатів досліджень проілюстровано вплив складників енергетичної, економічної ефективності та екологічної безпеки на значення комплексного показника енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ.

Висновки

Проведено обґрунтування методу комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти, яке має більш поглиблений підхід до оцінювання енергоперетворень в елементах СЕ, що дозволить забезпечити обґрунтоване визначення високоенергоефективних, екологічно безпечних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ з КТНУ та ПДТ за умов змінних режимів роботи СЕ та її елементів, змінних рівнів енергоефективності елементів СЕ, змінних холодоагентів, змінних джерел приводної енергії та топологічного складу СЕ. На основі результатів досліджень проілюстровано вплив складників енергетичної,

економічної ефективності та екологічної безпеки на значення комплексного показника енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Облaсті енергoефективної роботи систем енергoзабезпечення з когенерaційно-теплoнасосними устанoвкaми та піковими джерелaми теплoти [Електронний ресурс] / О. П. Остaпенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 3. – Режим доступу до журн. : <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/479/478>.
2. Облaсті високoї енергoефективності систем енергoзабезпечення з когенерaційно-теплoнасосними устанoвкaми малoї потужності та паливними котлaми в системaх теплoпостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остaпенко // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 1. – Режим доступу до журн. : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/499/496>.
3. 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.
4. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak electric boilers in heat supply systems / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (13). – Issue 121. – 2017. – P. 77 – 80.
5. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of large power and peak fuel-fired boilers for heat supply systems / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (14). – Issue 132. – 2017. – P. 70 – 74.
6. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak fuel-fired boilers / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (15). – Issue 140. – 2017. – P. 64 – 68.
7. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak electric boilers / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (16). – Issue 148. – 2017. – P. 85 – 89.
8. Цыганов В. И. Режимы работы комбинированных систем теплоснабжения / В. И. Цыганов, В. М. Житаренко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – Технічні науки. – 2014. – Випуск 27. – С. 113 – 118.
9. 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.
10. Методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенерaційно-теплoнасосними устанoвкaми та піковими джерелaми теплoти [Електронний ресурс] / О. П. Остaпенко // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 3. – Режим доступу до журн. : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/515/507>.
11. Остaпенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергoекономічної ефективності систем енергoзабезпечення з когенерaційно-теплoнасосними устанoвкaми та піковими джерелaми теплoти / О. П. Остaпенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2017. – Т. 81. – Вип. 1. – С. 136 – 141.
12. Енергетична ефективність систем енергoзабезпечення на основі комбінованих когенерaційно-теплoнасосних устанoвок і пікових джерел теплoти [Електронний ресурс] / О. П. Остaпенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/462/460>.
13. Енергетична ефективність систем енергoзабезпечення на основі комбінованих когенерaційно-теплoнасосних устанoвок [Електронний ресурс] / О. П. Остaпенко, 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>.

Стаття надійшла до редакції 07.03.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 14.03.2018 р.

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

Вінницький національний технічний університет.