

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПАРОКОМПРЕСІЙНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК З КОГЕНЕРАЦІЙНИМ ПРИВОДОМ

К.т.н., доц. Остапенко О.П., Тіхоненко Р.О., Лещенко В.В.  
*Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*  
olgaost@rambler.ru

Науковий керівник: к.т.н., доц. Остапенко О.П.

Мета дослідження – визначення енергетичної ефективності парокompресійних теплонасосних установок (ТНУ) з когенераційним приводом та оцінка обсягів економії енергоресурсів від впровадження парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних ТНУ та врахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії; визначення ефективних режимів роботи парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом.

В дослідженні [1] проаналізовано енергетичну ефективність системи «Джерело приводної енергії ТНУ – ТНУ – споживач теплоти від ТНУ» на прикладі парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом компресора від газопоршневого двигуна. Перевагою такого підходу є врахування втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТНУ з метою визначення ефективних дійсних режимів роботи ТНУ з когенераційним приводом. Когенераційний привод теплових насосів має переваги порівняно з електричним, оскільки дозволяє уникнути додаткових втрат електроенергії при транспортуванні. Застосування ТНУ з когенераційним приводом компресора від газових двигунів може розглядатись як один з важливих напрямів енерго- і ресурсозбереження, оскільки передбачає утилізацію теплоти відхідних газів після газового двигуна, що забезпечує кращу енергетичну ефективність.

Проведений аналіз енергетичної ефективності парокompресійних ТНУ малої (до 1 МВт) та великої потужностей з когенераційним приводом компресора, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

Для парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом в дослідженні [1] запропонований безрозмірний критерій енергетичної ефективності:

$$K_{ТНУ} = Q_{ТНУ} / Q_m = \eta_{ЕЛ} \cdot \varphi \cdot \eta_{mn}, \quad (1)$$

де  $Q_{ТНУ}$  – теплова потужність ТНУ,  $Q_t$  – потужність, витрачена на електростанції для вироблення електричної енергії для привода ТНУ,  $\eta_{ЕЛ}$  – загальний ККД генерування, постачання і перетворення електричної енергії з дослідження [1];  $\varphi$  – коефіцієнт перетворення парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом,  $\eta_{mn}$  – ККД теплового потоку, що враховує втрати енергії та робочого агента в трубопроводах та обладнанні ТНУ.

Для ТНУ з когенераційним приводом значення коефіцієнта перетворення визначається з урахуванням потужності утилізаційного обладнання когенераційного приводу  $\varphi = \frac{Q_{ТНУ} + \Sigma Q_{ут}}{N_{км}}$ , де  $N_{км}$  – потужність компресора ТНУ,  $\Sigma Q_{ут}$  – потужність утилізаційного обладнання когенераційного приводу ТНУ.

Для ТНУ з когенераційним приводом загальний ККД генерування, постачання і перетворення електричної енергії визначається за формулою з [1]:  $\eta_{ЕЛ} = \eta_{ЕД} \cdot \eta_{ЕП}$ , де  $\eta_{ЕД}$  – ефективний ККД газопоршневого двигуна;  $\eta_{ЕП}$  – ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном з дослідження [1]. Тоді вираз для визначення безрозмірного критерію енергетичної ефективності парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом з формули (1) матиме вид [1]:

$$K_{ТНУ} = Q_{ТНУ} / Q_m = \eta_{ЕЛ} \cdot \varphi \cdot \eta_{mn} = \eta_{ЕД} \cdot \eta_{ЕП} \cdot \varphi \cdot \eta_{mn}. \quad (2)$$

За умови  $K_{ТНУ} = 1$  теплонасосна установка передає до споживача таку ж теплову потужність, яка була витрачена для вироблення електроенергії для приводу ТНУ. Чим більше значення цього показника, тим більш ефективним та конкурентоздатним буде тепловий насос.

В дослідженні [1] запропоновано метод визначення областей ефективного використання парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом за безрозмірним показником енергетичної ефективності ТНУ  $K_{ТНУ}$  з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних ТНУ та врахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТНУ.

На рис. 1 показані значення безрозмірного показника енергетичної ефективності ТНУ малої та великої потужності з когенераційним приводом в залежності від теоретичних значень коефіцієнта перетворення [1]. Пунктирною лінією на рис. 1 показане граничне значення показника енергетичної ефективності ТНУ  $K_{ТНУ} = Q_{ТНУ} / Q_t = 1$ . Як зазначалось раніше, для випадків  $K_{ТНУ} = Q_{ТНУ} / Q_t > 1$  вище пунктирної лінії на рис. 1 визначена область ефективного використання парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом. Залежності, показані на рис. 1, дозволяють визначити для парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом мінімальні теоретичні значення коефіцієнта перетворення, вище яких застосування парокompресійних ТНУ певної потужності є доцільним.

Економія умовного палива (у відсотках) від застосування парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом, згідно з [2], може бути визначена як:

$$\Delta B_y = \left( 1 - \frac{\eta_{д.т.}^H}{\varphi \cdot \eta_{ЕЛ}} \right) \cdot 100, \quad (3)$$

де  $\eta_{д.т.}^H$  – ККД-нетто заміщеного джерела теплоти.

В нашому дослідженні оцінено економію умовного палива від впровадження парокompресійних ТНУ малої та великої потужностей з

когенераційним приводом з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних ТНУ та з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії. Визначено, що ефективне впровадження парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом в промисловість та енергетику буде досягатися за умови:  $\phi_d > \eta_{д.т.}^h / \eta_{ЕЛ}$ , де  $\phi_d$  – дійсний коефіцієнт перетворення парокompресійних ТНУ.

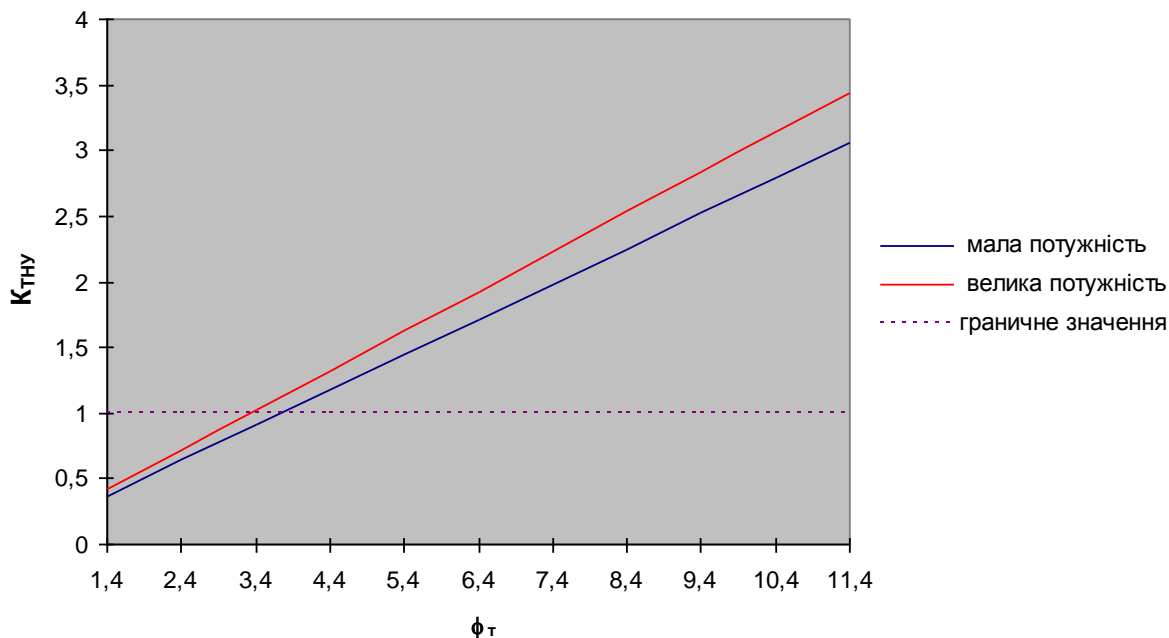


Рис. 1. Значення безрозмірного показника енергетичної ефективності ТНУ малої та великої потужності з когенераційним приводом в залежності від теоретичних значень коефіцієнта перетворення

На рис. 2 показані значення економії умовного палива (у відсотках) від застосування парокompресійних ТНУ малої та великої потужності з когенераційним приводом в залежності від теоретичних значень коефіцієнта перетворення. В дослідженні враховано, що ККД-нетто заміщуваного джерела теплоти  $\eta_{д.т.}^h = 0,8$ . Ці залежності дозволяють визначити для когенераційних ТНУ мінімальні теоретичні значення коефіцієнта перетворення, вище яких забезпечується економія умовного палива від застосування ТНУ певної потужності.

Для парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом в [1-2] визначені області їх ефективного використання за безрозмірним показником енергетичної ефективності та економією умовного палива; визначені мінімальні теоретичні та дійсні значення коефіцієнта перетворення ТНУ, вище яких застосування ТНУ певної потужності забезпечує економію умовного палива та є доцільним.

За результатами досліджень [1-2] визначено, що висока енергетична ефективність ТНУ з когенераційним приводом з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до ТНУ забезпечується при  $\phi_d \geq 2,0$ . Результати досліджень [1-2] добре узгоджуються із статистичними даними з досліджень [3-4] щодо дійсних коефіцієнтів

перетворення ТНУ, що випускаються фірмами LG, Mitsubishi, MHPUL, MHPUE, FUJITSU, McQUAY, HPVU, «Енергія», «Тритон-ЛТД».

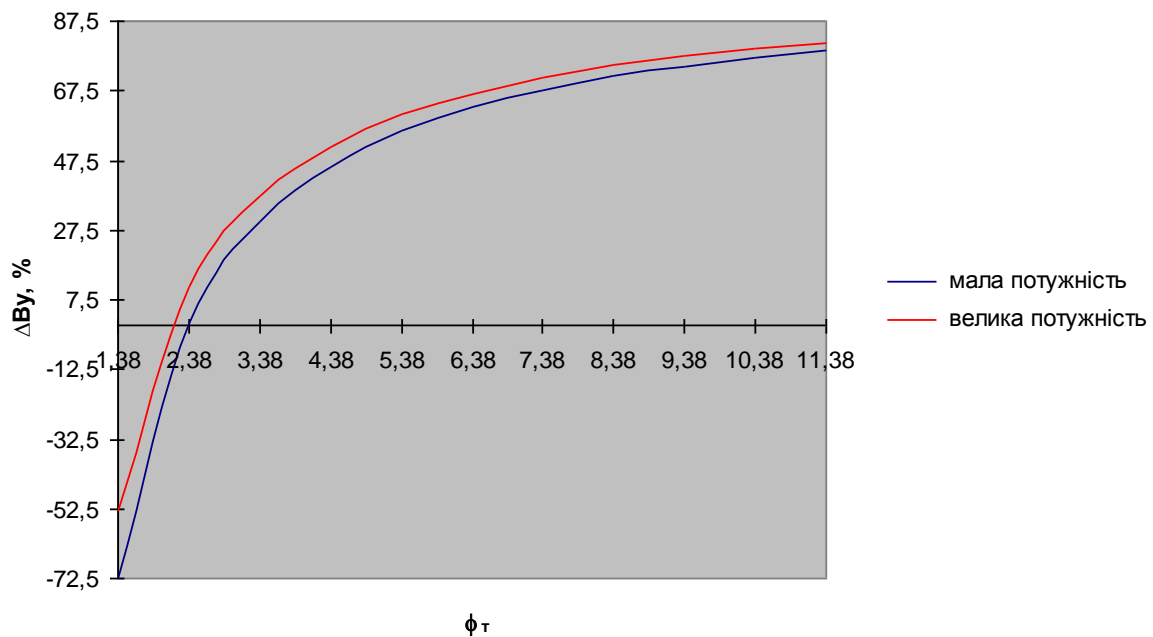


Рис. 2. Значення економії умовного палива (у відсотках) від застосування парокompресійних ТНУ малої та великої потужності з когенераційним приводом в залежності від теоретичних значень коефіцієнта перетворення

Результати досліджень [1-2] дозволяють оцінити економію умовного палива від застосування парокompресійних ТНУ з когенераційним приводом для різних режимів роботи ТНУ та дозволяють здійснити вибір ефективних режимів роботи парокompресійних ТНУ з врахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних теплових насосів та втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

### Список літератури:

1. 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. – 9 с. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3821/5562>.
2. 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. – 9 с. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3976/5776>.
3. Ильин Р. А. Новый подход к оценке эффективности тепловых насосов / Р. А. Ильин, А. К. Ильин // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2010. – № 2. – С. 83–87.
4. Калнинь И. М. Техника низких температур на службе энергетики / И. М. Калнинь // Холодильное дело. – 1996. – №1. – С. 26–29.