

УДК 621.577.536

**М. М. Чепурний, к. т. н., доц.; С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.; О. В. Куцак****ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОПАЛЮВАЛЬНИХ  
КОТЕЛЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТАКТНИХ УТИЛІЗАТОРІВ  
ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ І ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК**

*Запропоновано схему комбінованої установки на базі енергетичного котла, контактної утилізатора теплоти відхідних газів і теплонасосної установки. Визначено основні показники її роботи, економію палива та зменшення шкідливих викидів в атмосферу.*

**Ключові слова:** котел, контактний економайзер, тепловий насос, компресор, конденсатор, випарник.

**Вступ**

У наш час, коли ціни на паливо безперервно зростають, питанням енергозбереження стали приділяти велику увагу, а економія паливно-енергетичних ресурсів набула пріоритетного значення. Неefективне використання палива спостерігається майже в усіх галузях промисловості. Ця обставина примушує імпортувати біля 50% необхідного палива. Згідно зі статистичними даними на потреби теплопостачання витрачається майже 95 млн. тонн умовного палива. У зв'язку з цим очевидним стає той факт, що основну увагу у вирішенні проблеми підвищення ефективності використання палива слід приділяти сектору теплопостачання.

Одним із ефективних засобів економії палива і захисту навколишнього середовища є використання низькотемпературної енергії скидної теплоти. У розвинутих країнах світу багато уваги приділяється створенню і впровадженню теплонасосних установок (ТНУ), які призначені для опалення, гарячого водопостачання, сушки, дистиляції тощо [1 – 3]. Не менш важливим фактором є універсальність ТНУ, що можуть використовуватись як нагрівачі і охолодники одночасно, перетворюючи теплові відходи в кондиційну теплову енергію, яка придатна для теплопостачання. Більшість закордонних і вітчизняних спеціалістів вважає, що ТНУ будуть займати основне місце в низькотемпературних системах теплопостачання. Значні економічні та екологічні переваги ТНУ розглядаються як перспективна технологія в галузі тепло - і холодопостачання. На жаль, у нас роботи з впровадженням ТНУ знаходяться практично на початковій стадії. Не визначені масштаби і галузі найefективнішого застосування ТНУ. Між тим економія палива в системах централізованого теплопостачання комунально-побутового сектора може складати від 20 до 30% [4].

Основною причиною, яка стримує впровадження теплонасосних установок в котельнях, є відсутність низькотемпературного джерела теплоти. Однак таке джерело може бути створене за рахунок глибокої утилізації теплоти продуктів згорання (відхідних газів), які з котлів видаляються в димову трубу. Для утилізації цієї теплоти можна використовувати так звані контактні економайзери (КЕ) з конденсацією вологи, яка міститься в продуктах згорання. Такі КЕ оригінальної конструкції з насадками жалюзійного типу розроблені на кафедрі теплоенергетики Вінницького національного технічного університету, а також розроблена методика їх розрахунків [5]. Зважаючи на вищевикладене, ставилась задача оцінити ефективність застосування ТНУ в котельнях, обладнаних КЕ для утилізації теплоти відхідних газів.

**Основні результати**

Принципова тепла схема водогрійного котла з контактним економайзером і теплонасосною установкою показана на рис. 1.

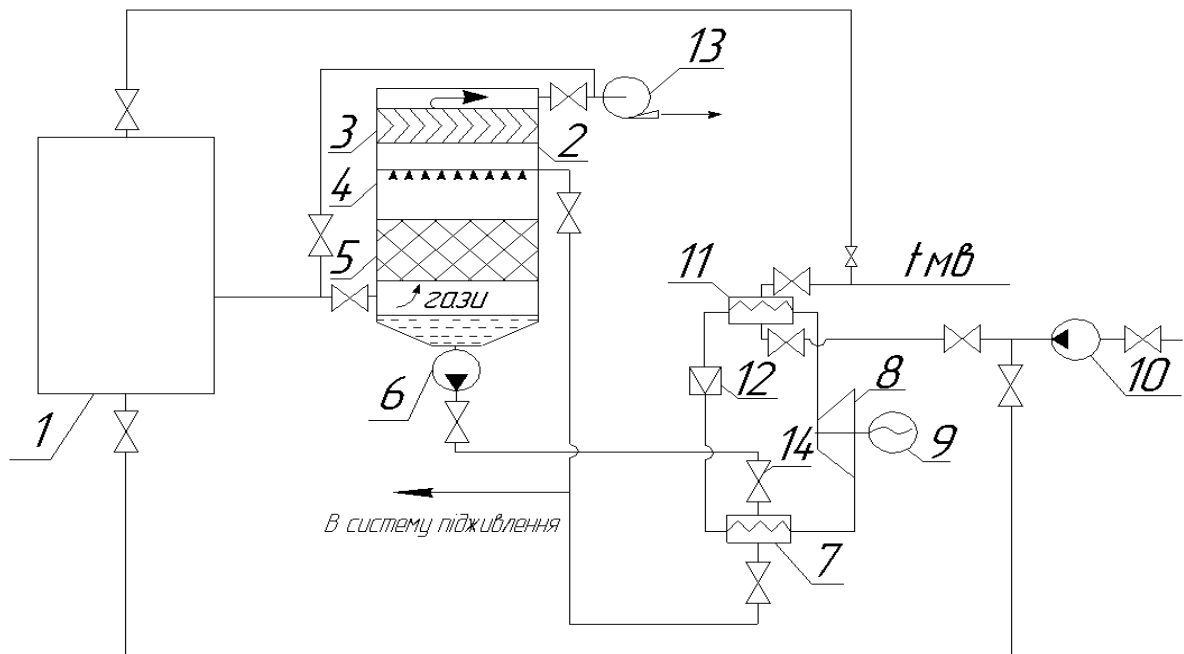


Рис. 1. Теплова схема котла з КЕ і ТНУ: 1 – водогрійний котел; 2 – корпус КЕ; 3 – сепаратор (краплевіддільник); 4 – форсунки для розпилювання води; 5 – регулярна насадка жалюзійного типу; 6 – циркуляційний насос; 7 – випарник ТНУ; 8 – компресор ТНУ; 9 – електродвигун; 10 – мережний насос; 11 – конденсатор ТНУ; 12 – дросельний вентиль; 13 – димосос; 14 – запірні арматура

Температура відхідних газів із вітчизняних водогрійних котлів, які працюють на природному газі, складає, як правило, 130 – 135°C. Ефективність роботи котлів можна і треба підвищувати за рахунок зменшення температури відхідних газів. Але для запобігання конденсації водяної пари із продуктів згорання палива в газоходах і димовій трубі температура відхідних газів має бути не менше 85 – 90°C. За цих умов відхідні гази з котла поділяються на два потоки. Один потік у кількості 35% від загальної витрати газів з температурою 130°C надходить на димосос 13. Другий потік з витратою 65% надходить у контактний економайзер 2. У контактному економайзері охолодна вода розбризкується форсунками 4 і далі тонкою плівкою стікає по жалюзійних каналах насадки 5, контактуючи з відхідними газами. У результаті охолодження газів водяна пара, що міститься в продуктах згорання, конденсується і разом з охолодною водою, яка підігрівається від 30 до 50°C збирається у піддоні КЕ. Гази охолоджуються до температури 65°C, проходять сепаратор 3 і надходять у всмоктувальну лінію димососа 13. Перед димососом утворюється суміш газів з температурою 93 – 95°C, яка видаляється в димову трубу. Із піддона КЕ вода циркуляційним насосом 6 прокачується через випарник ТНУ 7, де охолоджується до 30°C і знов спрямовується на форсунки 4. Завдяки теплоті, підведеній у випарник 7, холодоагент ТНУ випаровується, і суха насичена пара його надходить в компресор 8, який обертається електродвигуном 9. Стиснута пара холодоагенту надходить у конденсатор ТНУ 11, де конденсується і віддає теплоту мережній воді, яка прокачується насосом 10. Підігріта мережна вода постачається тепловим споживачам системи опалення і гарячого водопостачання. Конденсат холодоагенту дроселюється в дросельному вентилі 12 і знов надходить у випарник ТНУ 7.

Досліджувалась ефективність роботи запропонованої установки з типовим водогрійним котлом ПТВГ – 30 потужністю 34,86 МВт. Робоче паливо – природний газ із теплотою згорання на суху масу 33,4 МДж/м<sup>3</sup>, вартістю 2500 грн. за 1000 м<sup>3</sup>. Витрата палива і відхідних газів складала 1,1344 м<sup>3</sup>/с і 16,359 м<sup>3</sup>/с, відповідно.

Вважалось, що в опалювальний і міжопалювальний період котел працює з номінальним навантаженням. Тривалість опалювального періоду становила 4500 год, а міжопалювального –

3600 год. Ціна споживаної електроенергії дорівнювала 650 грн за 1 МВт·год. Робочим тілом у ТНУ вибраний аміак. У процесі досліджень варіювалась температура мережної води  $t_{\text{МВ}}$  на виході з конденсатора ТНУ. Методика розрахунків розроблена і викладена в [4, 5].

Основні показники роботи комбінованої установки наведено на рисунках 2, 3 і 4. На рис. 2 показано зміну теплової потужності  $Q_K$ , яка відводиться від конденсатора ТНУ в теплову мережу та коефіцієнта перетворення енергії (опалювального коефіцієнта)  $\phi$ , що характеризує ефективність роботи ТНУ.

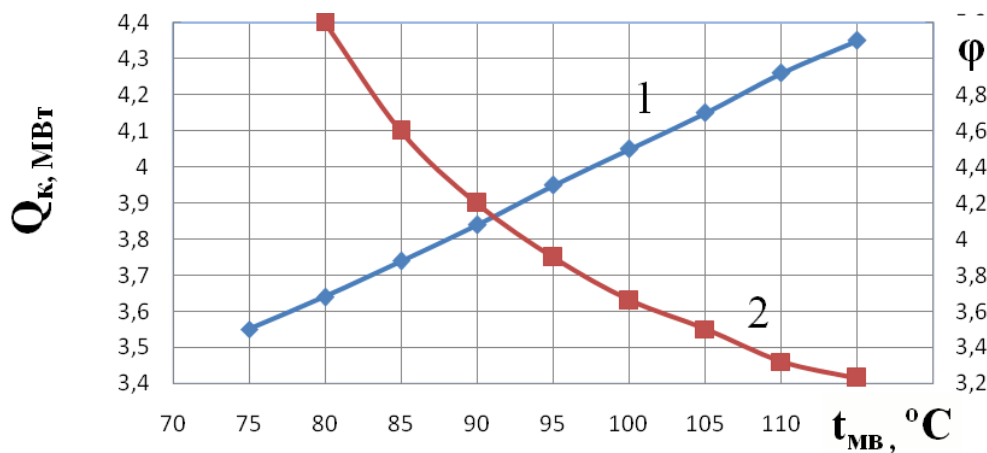


Рис. 2. Залежності:  $Q_K = f(t_{\text{МВ}})$  (лінія 1);  $\phi = f_1(t_{\text{МВ}})$  (лінія 2)

Із рис. 2 видно, що зі збільшенням температури мережної води потужність відведеної з конденсатора ТНУ теплоти лінійно зростає, але водночас зменшується ефективність роботи ТНУ внаслідок зростання потужності компресора  $N_{\text{КМ}}$  (див. рис. 3). Слід відзначити також, що для  $t_{\text{МВ}} = 110^\circ\text{C}$  значення  $\phi$  складає 3,3 і є достатньо прийнятним у практиці експлуатації теплонасосних установок.

За рахунок утилізації теплоти відхідних газів із котла та застосуванню ТНУ необхідна потужність водогрійного котла зменшується на величину  $Q_K$ , яка підводиться в теплову мережу із конденсатора ТНУ. Це зумовлює певну річну економію палива  $\Delta B$ , внаслідок меншої витрати робочого палива в котлі. Значення величини  $\Delta B$  і потужності компресора ТНУ  $N_{\text{КМ}}$  в залежності від температури мережної води показані на рис. 3.

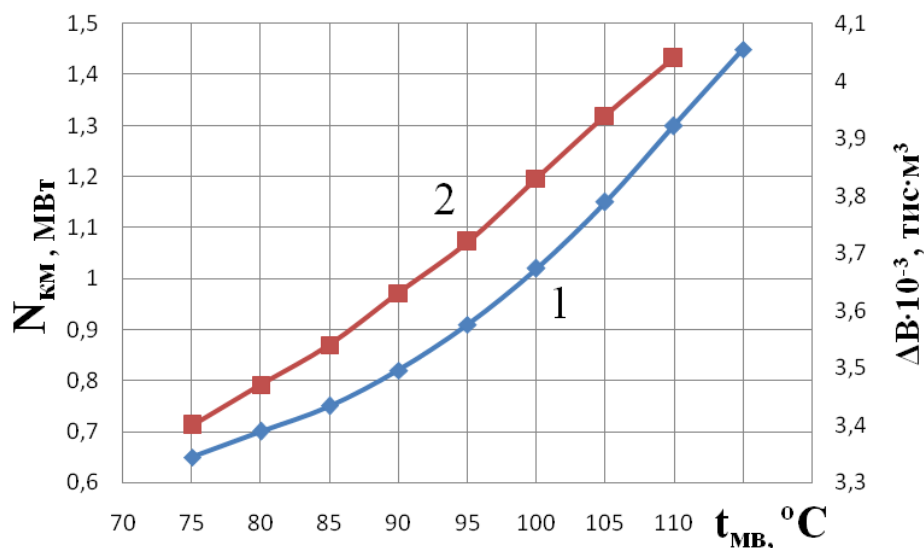


Рис. 3. Характер зміни  $N_{\text{КМ}}$  (крива 1) і  $\Delta B$  (крива 2)

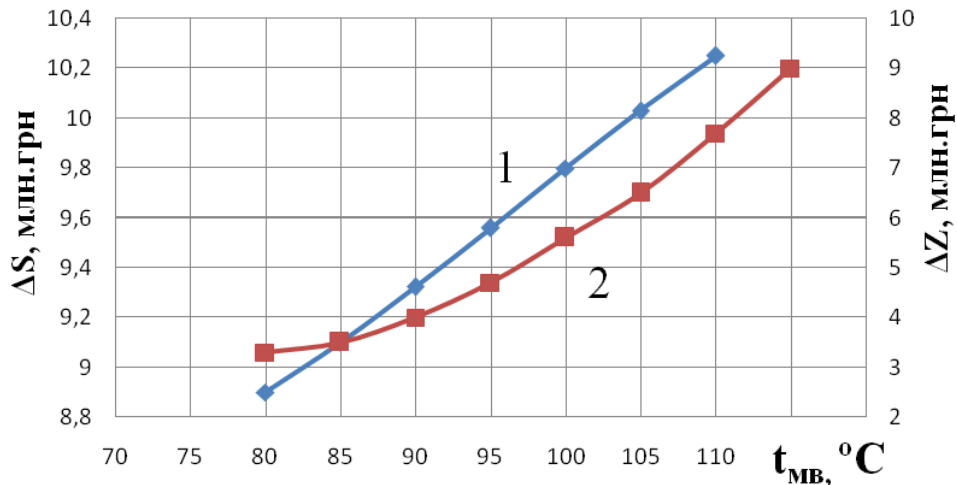


Рис. 4. Значення економії коштів на паливо (лінія 1) і перевитрат коштів на електроенергію (крива 2)

Зрозуміло, що завдяки економії палива зменшуються річні грошові витрати на паливо  $\Delta S$ . Разом з тим збільшуються річні грошові витрати на електроенергію  $\Delta Z$  внаслідок роботи циркуляційного насоса 6 і компресора ТНУ 8. На рис. 4 наведені поточні значення  $\Delta S$  і  $\Delta Z$ . Різниця між ними являє собою економію коштів на енергоносії. Ця економія тим більша, чим менше значення  $t_{\text{мв}}$ . В розглянутому діапазоні зміни  $t_{\text{мв}}$  вона зменшується на 32%. Для міжопалювального періоду температура мережної води, як правило, не перевищує  $75^\circ\text{C}$ . У цей період економія коштів на енергоносії буде найбільшою і складатиме 6,6 млн. грн. Розрахунки показали, що в разі оплати за споживану електроенергію в нічні години за пільговим тарифом, який вдвічі менше денного, економію коштів на енергоносії можна збільшити ще на 10 – 12%.

Економія умовного палива спричиняє зменшення витрат кисню та шкідливих викидів в атмосферу. За методикою ГДК 34.02.305-2002 “ Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок ” обчислено значення цих величин, а результати обчислень зведені в таблицю.

Показники	Температура мережної води, $^\circ\text{C}$			
	80	90	100	110
Річна економія палива, %	10,46	11	11,66	12,21
Річне зменшення витрат кисню, тонн	897,68	944,02	1001,62	1048,87
Річне зменшення шкідливих викидів, тонн:				
окису вуглецю,	0,482	0,508	0,541	0,563
двоокису вуглецю,	843,55	888,57	941,42	983,96
оксидів азоту	0,955	10,05	10,61	11,14

Отримані результати свідчать про доцільність застосування установок запропонованого типу і є необхідною передумовою для оцінки ефективності таких установок. За наявності теплофікаційного навантаження вони можуть застосовуватись і в промислових котельнях.

### Висновки

1. Більш повна утилізація теплоти відхідних газів із котлів та її використання в теплонасосних установках може бути реалізована без складних переобладнань теплової схеми котельні.
2. Застосування контактних економайзерів з теплонасосними установками дозволяє збільшити теплову потужність котельні на 10 – 20%, одночасно на стільки ж зменшити витрати палива та кількість шкідливих викидів в атмосферу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проценко В. П. Тепловые насосы в капиталистических странах/ В. П. Проценко. // Теплоэнергетика, 1998. – №3. – С. 70 – 74.
2. Клер А. М. Сопоставление эффективности использования низкотемпературной теплоты для комбинированной теплопроизводящей установки с тепловым насосом / А. М. Клер, А. Ю. Мариненко // Сб. Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. – Благовещенск, 2003. – Т. 2. – С. 278 – 283.
3. Groff G. G. Heat pumps in the USA: 1950-1990. / G. G. Groff International edition, 1990. – А38. – 46 p.
4. Чепурний М. М. Аналіз енергетичної ефективності застосування теплонасосних установок в системах централізованого теплопостачання / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2002. – №4. – С. 52 – 55.
5. Чепурний М. М. Розрахунки тепломасообмінних апаратів/ М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 129 с.

*Чепурний Марк Миколайович* – к. т. н., професор кафедри теплоенергетики.

*Ткаченко Станіслав Йосипович* – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики.

*Куцак Ольга Володимирівна* – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.  
Вінницький національний технічний університет.