

Технічні науки

УДК 536.24:621.184.5

**Фіалко Наталія Михайлівна**

*доктор технічних наук, професор,  
член кореспондент НАН України, завідувач відділу  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Fialko Nataliia**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of the Department  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Пресіч Георгій Олександрович**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
старший науковий співробітник,  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Presich Georgii**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Senior Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Навродська Раїса Олександрівна**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Navrodska Raisa**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Гнедаш Георгій Олександрович**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Gnedash Georgii**

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Новаківський Максим Олександрович**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Novakivskii Maksym**

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗСПОЖИВАЛЬНИХ  
КОТЛОАГРЕГАТІВ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ  
INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF GAS-FIRED BOILER  
UNITS OF MUNICIPAL THERMAL ENERGY**

**Анотація.** *Наведено різні модифікації теплоутилізаційних технологій для покращення теплотехнічних показників газоспоживальних котлів малої та середньої потужності.*

**Ключові слова:** *димові гази, конденсаційний режим, дуттьове повітря, хімводоочищення, зменшення оксидів азоту.*

**Summary.** *Various modifications of heat-recovery technologies are presented to improve the thermal performance of gas-fired boilers of small and medium power.*

**Key words:** *exhaust-gases, condensation mode, combustion air, chemical water-purification system, nitrogen oxide reduction.*

На сьогодні Україна обрала європейський шлях розвитку, що означає дотримання нових сучасних вимог та стандартів, в тому числі і у енергетичній галузі. При цьому особливої уваги приділено, як загальному скороченню споживання природного газу, так і якості його спалювання, тобто зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу у продуктах згоряння цього виду палива.

Комунальна теплоенергетика нашої держави характеризується здебільшого водогрійними та паровими котлами радянського зразка, теплова і екологічна ефективність яких суттєво поступається сучасним закордонним аналогам. Але через сьогоденні реалії провести повну заміну цього обладнання на сучасні котлоагрегати наразі не має змоги. Тому для України першочерговим напрямом модернізації та підвищення теплової ефективності діючих газоспоживальних котлоагрегатів комунальної теплоенергетики слід розглядати впровадження теплоутилізаційних технологій (ТТ).

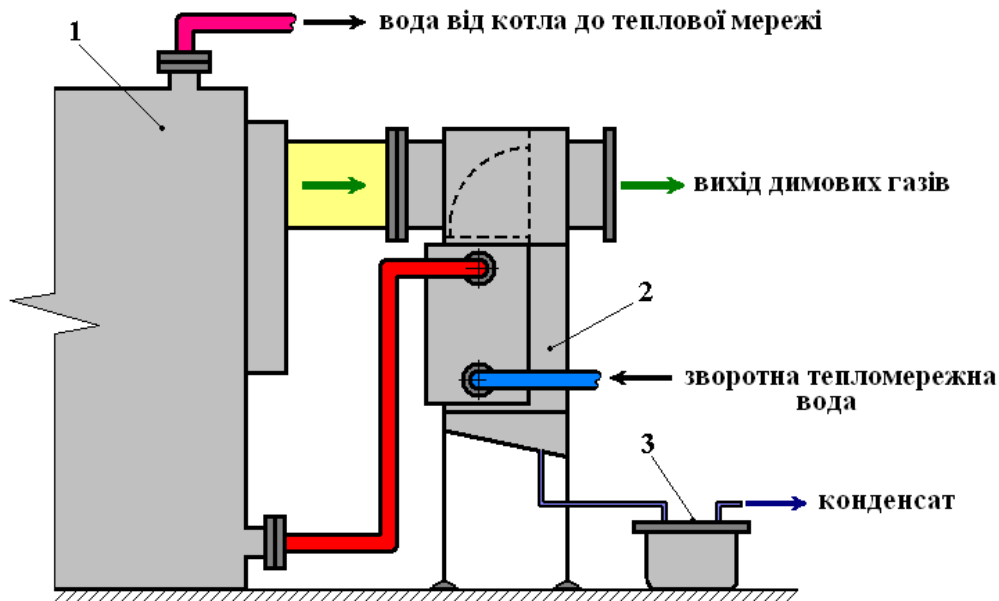
За призначенням ТТ [1-7] для газоспоживальних котлів комунальної сфери умовно класифікують на:

- водогрійні (підігрівання води технологічного призначення котельні);
- повітрогрійні (підігрівання зі зволоженням або без нього дугтьового повітря);
- комбіновані (підігрівання різних за призначенням та тепловим потенціалом теплоносіїв).

При застосуванні в котельних установках ТТ критерієм їхньої теплової ефективності може слугувати рівень підвищення ККД котлоагрегата або коефіцієнта використання теплоти палива КВП в установці. Вказані коефіцієнти визначаються в основному тепловими втратами котельної установки з відхідними газами. Охолодження відхідних газів у теплоутилізаційному устаткуванні до температур  $70 \div 80$

°C без конденсації водяної пари, що міститься в продуктах згорання палива, може забезпечити зростання ККД котла або КВП установки переважно лише на  $2 \div 3$  %. Для підвищення ефективності використання палива котлоагрегата необхідне суттєво глибше охолодження відхідних димових газів з використанням теплоти конденсації водяної пари. Такий режим може реалізовуватись при зниженні у теплоутилізаційному устаткуванні температури димових газів нижче температури точки роси  $t_p$  водяної пари, що міститься в газах.

У разі використання за котлами традиційних ТТ з водогрійними теплоутилізаторами (рис. 1), призначених для нагрівання зворотної води системи тепlopостачання перед надходженням її до котла, температура цієї води  $t_{зв}$  згідно з тепловим графіком системи тепlopостачання котельні протягом опалювального періоду змінюється в межах  $30 \div 70$  °C.

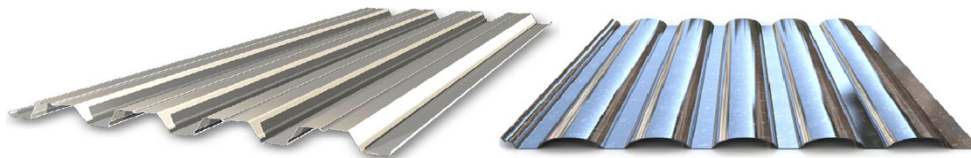


**Рис. 1.** ТТ з водогрійним теплоутилізатором для нагрівання зворотної води системи тепlopостачання: 1 – котел; 2 – водогрійний теплоутилізатор; 3 – ємність для збирання конденсату

Зокрема, при номінальному навантаженні котла, що відповідає найбільш холодному періоду року,  $t_{зв} = 70$  °C. За цієї умови вся теплообмінна поверхня теплоутилізатора працює в «сухому» режимі, без

використання теплоти конденсації водяної пари. Підвищенню температури навколишнього середовища відповідає за вказаним графіком зниження температури води в зворотному трубопроводі котельні нижче температури точки роси водяної пари. При цьому настає глибоке охолодження димових газів з конденсацією водяної пари в теплоутилізаційному устаткуванні. Для зазначених умов протягом опалювального сезону зазвичай забезпечується підвищення ККД котла  $\Delta\eta$  на  $3 \div 6 \%$  і більше значення  $\Delta\eta$  відповідає тепловому періоду цього сезону.

Впровадження повітропідігрівачів в ТТ для котельних установок раніше стримувалось через значні габарити та вартість повітрогрійного обладнання. Однак, у зв'язку зі значним подорожчанням палива останнім часом, з одного боку, та удосконаленням технологій виробництва теплообмінних поверхонь (рис. 2) шляхом зниження їхньої матеріалоемності та підвищення рівня компактності, з другого боку, повітрогрійне теплоутилізаційне устаткування стало конкурентоспроможним з водогрійним.



**Рис. 2. Приклад компактних теплообмінних поверхонь повітрогрійного теплоутилізаційного обладнання, що випускається сучасною промисловістю з тонкостінної сталі**

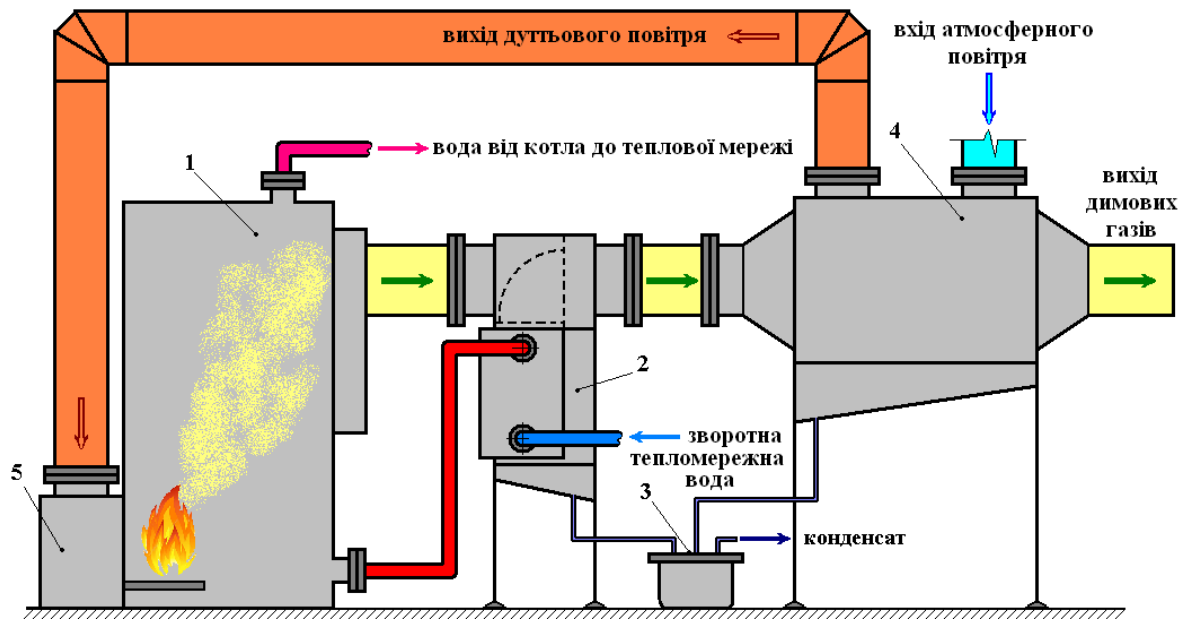
Конденсаційний режим роботи в повітропідігрівачах, має сезонний характер, і очевидно, що такий процес відбувається у найбільш холодну пору року, коли температура зовнішнього повітря нижче мінус  $10^{\circ}\text{C}$ . Приріст КВТП котла при впровадженні теплоутилізаторів для підігрівання дуттьового повітря знаходиться в межах  $1,5...4,0 \%$ . Також утилізована теплота може використовуватись не тільки для нагрівання дуттьового

повітря, але і його зволоження [5-7]. Зволоження повітря може бути доцільним для підвищення екологічної ефективності котлів зі збільшеними проти нормованих показниками викидів оксидів азоту. Подавання в пальники котла повітря з підвищеним вологовмістом, як відомо, викликає пригнічення утворення вказаних оксидів в топці котла завдяки зменшенню температури горіння газоповітряної суміші. Таким чином, комбіновані ТТ сприяють покращенню умов довкілля не тільки за рахунок зменшення теплових викидів, але і завдяки зменшенню викидів оксидів азоту в атмосферу з димовими газами. При впровадженні таких екологічних заходів відхідні димові гази цих установок характеризуються збільшеним вологовмістом. Для запобігання руйнування газовідвідних каналів та димової труби, внаслідок випадіння конденсату з димових газів, треба дотримуватися конденсаційного режиму роботи теплоутилізаційного обладнання та відповідних теплових методів захисту цих каналів [8-13].

Теплоутилізаційні системи, в яких утилізована теплота використовується одночасно для підігрівання двох та більше теплоносіїв (зворотна вода теплових мереж, сира вода системи хімводоочищення, дуттьове повітря зі зволоженням або без нього) називаються комбінованими. Тобто тепла ефективність ТТ для опалювальних котельних установок може бути підвищена завдяки сумісному використанню водогрійних і повітрогрійних апаратів. Наприклад на рис. 2 наведено комбіноване використання утилізованої теплоти для нагрівання зворотної води системи тепlopостачання та більш холодного теплоносія – дуттьового повітря, що надходить до пальників котла. При цьому, в найбільш холодний період року, коли водогрійне теплоутилізаційне устаткування експлуатується не в конденсаційному режимі, оскільки температура нагріваної в теплоутилізаторі води вища температури точки роси, глибоке охолодження димових газів здійснюватиметься в

повітрогрійному обладнанні завдяки низькій температурі навколишнього середовища впродовж тривалого часу.

Додатково у комбінованих ТТ можливо попередньо нагрівати холодну сиру воду з водопроводу перед надходженням її до системи хімоводоочищення.



**Рис. 3. Комбінована ТТ з водогрійним та повітрогрійним теплоутилізаторами для нагрівання зворотної води системи тепlopостачання та підігрівання дуттьового повітря: 1 – котел; 2 – водогрійний теплоутилізатор; 3 – ємність для збирання конденсату; 4 – повітрогрійний теплоутилізатор; 5 – газопальниковий пристрій котла**

Але гранично допустимий рівень температури для нагрівання цієї води за технологією не може перевищувати 30 °С, а витрата цього теплоносія обмежена потребою компенсування втрати води у тепломережі, що відповідає 1,0...2,0 % від загальної витрати води котлоагрегатом. Через що додатковий приріст ККД котла не перевищує 1,5 %. Таким чином завдяки комбінованим ТТ можна досягнути максимального зростання приросту ККД котлоагрегата до 12 % при проведенні розрахунків за вищою теплотою згорання палива.

### **Висновки.**

1. Застосування пропонованих теплоутилізаційних систем для опалювальних котельних установок забезпечує підвищення ККД котла або його КВТП на 3...12 % в залежності від типу застосовуваного устаткування та потреб в утилізованій теплоті.

2. Для забезпечення найбільш високого рівня підвищення ефективності використання палива в газоспоживальних котельних установках необхідне впровадження сучасних теплоутилізаційних технологій з комбінованим використанням утилізованої теплоти для різних потреб котельні.

### **Література**

1. Fialko N. M., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I., Dashkovska I. L. Increase the efficiency of complex heat recovery systems for heating and humidifying of blown air of gasfired boilers. *Industrial Heat Engineering*. 2018. № 40(3). P. 38-45. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>
2. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. O., Gnedash G. O., Shevchuk S. I., Stepanova A. I. Kombinovani teploutilizatsiini systemy dlia gazospozhyvalnykh kotliv komunalnoi teploenergetyky. *Kyiv* : «Pro format». 2019. 192 p.
3. Fialko N. M., Gnedash G. O., Navrodska R. O., Presich G. O., Shevchuk S. I. Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. № 29(6). P. 79-82. doi: <https://doi.org/10.15421/40290616>
4. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S., Sbrodova G. Improvement of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler units. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2021. № 9. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7427>
5. Fialko N. M., Presich G. A., Navrodska R. A., Gnedash G. A.



- Improvement of the complex heat-recovery system of exhaust-gases of boilers for heating and humidifying blown air. *Industrial Heat Engineering*. 2011. № 33(5). P. 88–95.
6. Fialko N. M., Stepanova A. I., Presich G. A., Gnedash G. A. Analysis of the efficiency of a heat recovery unit for heating and humidifying the blast air of the boiler. *Industrial heat engineering*. 2015. № 37(4). P. 71-79.
  7. Fialko N., Presich G., Navrodska R., Gnedash G. Ecological efficiency of combined heat recovery systems waste of exhaust gases for boiler plant. *Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhnika. Teoriya i praktyka budivnytstva*. 2013. № 755. P. 429-434. doi: <https://science.lpnu.ua/sctp/all-volumes-and-issues/volume-755-2013-1/ekologichna-efektivnist-kombinovanih-sistem>
  8. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Presich G., Gnedash G. The use of thermal methods to protect the exhaust-channels of boilers equipped with heat-recovery units. *International scientific journal "Internauka"*. 2019. № 11(73). Vol. 2. P. 14–16.
  9. Fialko N. M., Navrodska R. A., Shevchuk S. I., Stepanova A. I., Presich G. A., Gnedash G. A. Thermal methods of protection of gas exhaust ducts of boiler plants. *K. : Printing house "Pro format"*. 2018.
  10. Fialko N., Prokopov V., Navrodska R., Shevchuk S., Stepanova A. Improving the environmental performance of chimneys of boiler plants with heat recovery systems. *International scientific journal "Internauka"*. 2020. № 19. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-19-6657>
  11. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I. Application of an air method for protecting chimneys of boiler plants in heat recovery systems. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2020. № 4(84). P. 84-87. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-4>
  12. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O., Sbrodova G. O. Applying the air methods to prevent condensation in gas exhaust

ducts of the boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. № 28(10). P. 76-80. doi: <https://doi.org/10.15421/40281016>

13. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Presich G., Shevchuk S. Methods for protecting boiler chimneys against corrosion due to fall-out condensate from flue gases. *International scientific journal "Internauka"*. 2021. № 9(109). P. 30-32. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7426>