

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, Department Head
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

Глушак Оксана Юріївна

головний технолог

Інститут технічної теплофізики НАН України

Glushak Oksana

Chief Technologist

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

**ПРОГРЕСИВНА ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ
МОДЕРНІЗАЦІЇ ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ ПАРОВИХ
КОТЛОАГРЕГАТІВ**

**PROGRESSIVE HEAT-RECOVERY TECHNOLOGY FOR THE
MODERNIZATION OF GAS-FIRED STEAM BOILER PLANTS**

***Анотація.** Запропоновано нове технічне рішення комбінованої теплоутилізаційної установки для підігрівання і зволоження дуттьового повітря з розширеним колом нагріваних теплоносіїв різного температурного потенціалу та захистом газовідвідного тракту від конденсатоутворення для газоспоживальних парових котлоагрегатів комунальної теплоенергетики.*

***Ключові слова:** димові гази, конденсаційний режим, дуттьове повітря, хімоводоочищення, газовідвідний тракт, зменшення оксидів азоту.*

Summary. *The new complex heat-recovery plant for heating and humidifying combustion air with an expanded range of heated coolants of various temperature potentials and protection of the exhaust-gas outlet duct from condensate formation for gas-fired steam boilers of municipal heat-power engineering is proposed.*

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

У переважній більшості опалювальних котлоагрегатів комунальної теплоенергетики України підігрівання робочого теплоносія реалізується при спалюванні в топці котла природного газу. Через значну вартість цього виду палива та його дефіцит на паливному європейському ринку постає важлива проблема ощадного його використання у газоспоживальному обладнанні.

Серед поширених та дієвих способів підвищення енергоефективності газоспоживальних котлоагрегатів є технологія глибокої утилізації теплоти їхніх відхідних димових газів [1-7]. Завдяки впровадженню цих теплоутилізаційних технологій забезпечується підвищення коефіцієнта використання теплоти палива котельної установки, а також досягається значний екологічний ефект [4].

Для підвищення екологічних та експлуатаційних показників парових газоспоживальних котлоагрегатів комунальної теплоенергетики Інститутом технічної теплофізики НАН України запропоновано модернізовану теплоутилізаційну установку (рис. 1) для підігрівання і зволоження дуттьового повітря з розширеним колом нагріваних теплоносіїв різного температурного потенціалу та захистом газовідвідного тракту від конденсатоутворення.

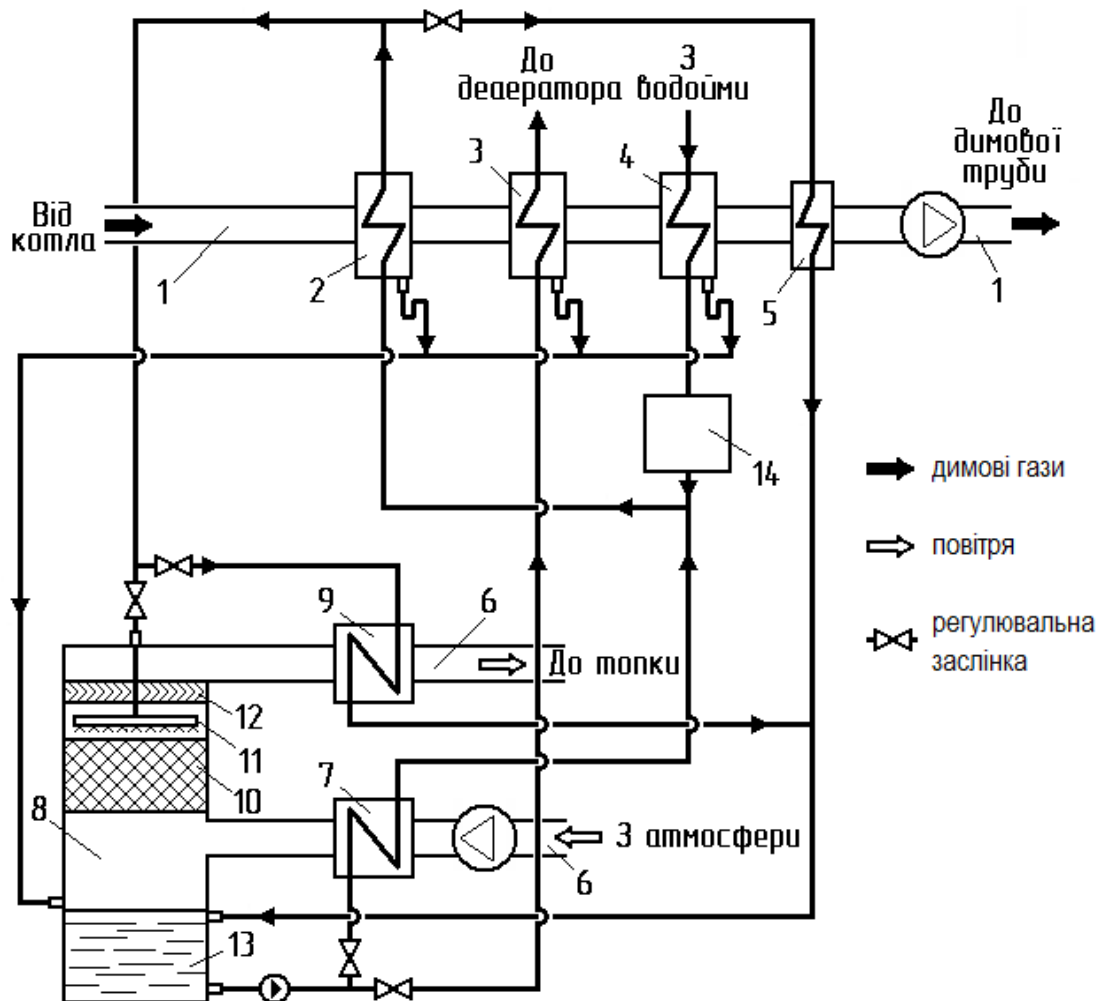


Рис. 1. Принципова схема теплоутилізаційної установки для підігрівання і зволоження дуттьового повітря з розширеним колом нагріваних теплоносіїв різного температурного потенціалу та тепловим захистом газовідвідного тракту котельної установки

Теплоутилізаційна установка призначена для нагрівання: дуттьового повітря та його зволоження, холодної сирі води на хімводоочищення, очищеної частково підігрітої води для деаерації та циркуляційної води для газопідігрівача системи теплового захисту [8] газовідвідного тракту.

Таке технічне рішення сприяє підвищенню ефективності використання палива у котлі та покращенню його екологічних показників. Вказане покращення реалізується декількома шляхами.

Перший з них полягає у зменшенні шкідливих викидів у навколишнє середовище завдяки відповідному скороченню обсягів споживання палива при застосуванні систем теплоутилізації.

Другий шлях пов'язаний з глибоким охолодженням газів в процесі теплоутилізації, в результаті якого утворюється конденсат, у якому частково розчиняються окиси вуглецю та азоту з димових газів.

В третьому шляху покращення екологічних показників котла реалізується пригніченням утворення оксидів азоту NO_x в його топковому просторі при спалюванні природного газу завдяки зволоженню дуттьового повітря в контактній камері комплексної теплоутилізаційної установки, що приводить до зменшення температури горіння.

Принцип роботи даної установка реалізується таким чином:

- димові гази від котлоагрегату, що споживає природний газ, надходять у газохід 1, в якому проходять через теплоутилізатор 2, підігрівач 3 хімічно очищеної води і підігрівач 4 сирої води, в яких охолоджуються з випадінням конденсату, котрий надходить у піддон 13 контактного водоповітряного теплообмінника 8. На виході з газоходу 1 охоложені димові гази проходять через газопідігрівач 5, де підігріваються для забезпечення відсутності подальшого конденсатуутворення при їхньому проходженні через газовідвідний тракт і димову трубу котельної установки;

- дуттьове повітря подається у повітровід 6, проходить через повітрогрійний теплообмінник 7, де підігрівається, і надходить у контактний водоповітряний теплообмінник 8. Далі через робочу насадку 10, повітря підігрівається і зволожується, а при проходженні через краплевловну насадку 12 у повітрі зменшується вміст крапель і бризок, після чого воно надходить у повітродогрівач 9, де підігрівається, і далі спрямовується через повітряну систему котлоагрегату у його топку;

- сира вода від джерела водопостачання – водойми надходить у нагрівану порожнину підігрівача 4, де підігрівається, і далі проходить систему 14 хімводоочищення, в якій показники якості води досягають відповідних стандартних величин. Хімічно очищена вода підмішується до охолодженої, і загальна кількість води, що циркулює, надходить у теплоутилізатор 2, де підігрівається і подається у водорозподільник 11 контактного водоповітряного теплообмінника 8 і далі проходить робочу насадку 10, де охолоджується і декарбонізується [9-13], та стікає у піддон 13;

- утворений при охолодженні димових газів у теплоутилізаторі 2, підігрівачі 3 хімічно очищеної води і підігрівачі 4 сирі води конденсат через відповідні трубопроводи надходить у піддон 13;

- частина охолодженої води з піддона 13 надходить у підігрівач 3 хімічно очищеної води, де підігрівається, і далі – до деаератора котельної установки, після чого цикл повторюється;

- регулювання роботи теплоутилізаційної установки в залежності від навантаження котлоагрегату та зовнішніх атмосферних чинників здійснюється за допомогою регулювальних клапанів теплоутилізаційної системи.

При впровадженні таких теплоутилізаційних установок їхню екологічність оцінюють обсягами зменшення NO_x , що визначається переважним чином водопаливним співвідношенням β [14] в топці котла.

Відносне зменшення оксидів азоту в продуктах згоряння завдяки зволоженню дугтьового повітря можна розрахувати за формулою:

$$\text{NO}_x^{\text{вих}} / \text{NO}_x^{\text{в}} = 0,947 \cdot e^{-0,995\beta} + 0,066, \quad (1)$$

де β – водопаливне співвідношення, що визначається за формулою:

$$\beta = G_{\text{в}} / G_{\text{пт}}, \text{ кг/кг} \quad (2)$$

де G_B , – масова витрата вологи, яка вноситься в топку з дуттьовим повітрям, та природного газу;

$G_{пр}$ – масова витрата природного газу.

Отримані дані відповідних розрахунків наведено на рис. 2, як видно діапазон зміни $NO_x^{вих}/NO_x^{вх}$ залежить від режиму роботи котлоагрегата та вхідної температури нагріваного повітря. Більш відчутний рівень зниження $NO_x^{вих}$ відповідає 50% навантаженню котла, що пов'язано зі зменшенням витрат повітря та палива. Так при даному навантаженні обсяги зменшення утворення оксидів NO_x змінюються від 27 до 63%, а при навантаженні 100% лише в межах 21÷54%.

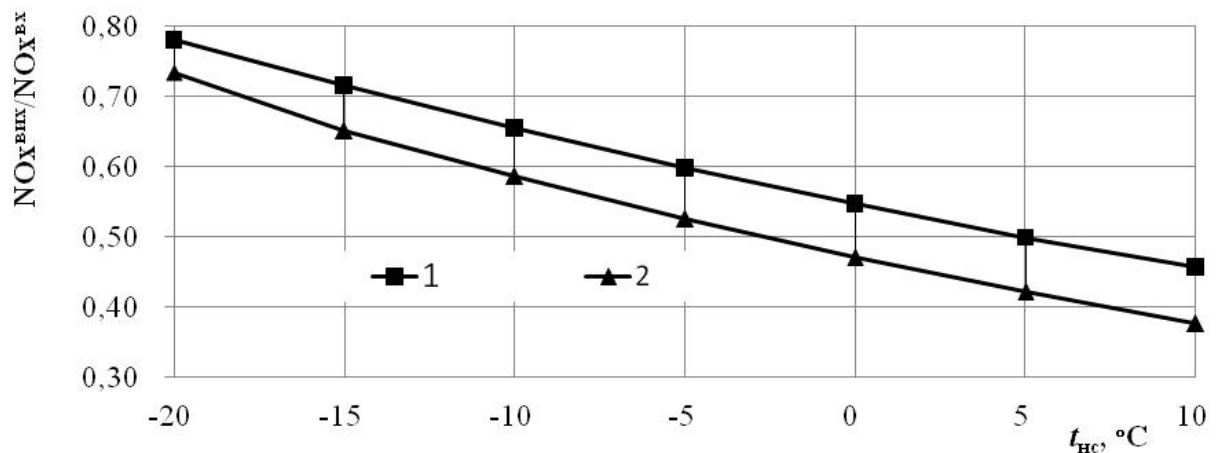


Рис. 2. Залежність від температури навколишнього середовища відносного зменшення оксидів азоту в топковому просторі парового котла в різних режимах його роботи при застосуванні теплоутилізаційної установки для підігрівання і зволоження дуттьового повітря з розширеним колом нагріваних теплоносіїв різного температурного потенціалу: 1, 2 – паровий котел з навантаженням 100 та 50% відповідно

При цьому більші значення вказаного зменшення відповідають вищим температурам навколишнього середовища, що, як зазначалося, зумовлено більшим рівнем зволоження, а відтак і рівнем водопаливного співвідношення, що забезпечує відповідне пригнічення утворення оксидів азоту.

Таким чином, екологічна ефективність запропонованої системи теплоутилізації полягає:

- у зменшенні обсягів шкідливих викидів в навколишнє середовище завдяки відповідному скороченню обсягів споживання палива;
- у частковому розчиненні двоокисів вуглецю та азоту в утвореному при глибокому охолодженні димових газів конденсаті;
- у відносному зменшенні в межах 21÷63 % обсягів викидів оксидів азоту шляхом пригнічення їх утворення в топці котла при введенні вологи з дуттьовим повітрям.

Висновки.

1. Запропоновано для газоспоживальних парових котлоагрегатів нове технічне рішення комплексної теплоутилізаційної установки для підігрівання і зволоження дуттьового повітря з розширеним колом нагріваних теплоносіїв різного температурного потенціалу та тепловим захистом газовідвідного тракту котельної установки.

2. Основними перевагами запропонованої модернізованої теплоутилізаційної системи у порівнянні з традиційними теплоутилізаторами для підігрівання і зволоження дуттьового повітря є додаткове підвищення коефіцієнта використання теплоти палива до 4 % завдяки розширенню кола нагріваних теплоносіїв, а також наявність у складі даної системи газопідігрівача для захисту газовідвідного тракту котельної установки від можливого конденсатоутворення.

3. Встановлено, що при зволоженні повітря у даних системах обсяг викидів оксиду азоту зменшується від 20 до 60 % в залежності від режиму роботи парового котлоагрегата.

Література

1. Fialko N. M., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I., Dashkovska, I. L. Increase the efficiency of complex heatrecovery 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., 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>
 3. 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.
 4. 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. URL: <https://science.lpnu.ua/sctp/all-volumes-and-issues/volume-755-2013-1/ekologichna-efektivnist-kombinovanih-sistem>
 5. Fialko N. M., Navrodska R. A., Presich G. A., Novakovskiy M. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I., Sbrodova G. A. Combined heat recovery systems of boilers with increased moisture content of flue gases. *Technological Systems*. 2016. № (77/4). P. 94-103. URL: <http://www.technological-systems.net/index.php/Home/article/view/107>
 6. Fialko N. M., Stepanova A. I., Presich G. A., Navrodska R. A., Sherenkovskiy Ju. V., Maletskaya O. E., Gnedash G. A. Thermodynamic optimization and analysis of the efficiency of heat recovery systems of boiler units. *Industrial Heat Engineering*. 2012. № 34(2). P. 59-66. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/59078>
 7. 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.

8. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Presich G., Gnedash G. Prevention of condensation in chimneys of boiler plants with heat-recovery systems. *Energy and Automation*. 2021. № 4. P. 5-17. doi: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.04.005>
9. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Гнедаш Г.О., Новаківський М.О., Пресіч Г.О. Напрями використання хімічно агресивного водяного конденсату у газоспоживальних котельнях комунальної енергетики. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2022. №3. С. 30-34. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-3-7948>
10. Фиалко Н. М., Пресич Г. А., Навродская Р. А., Гнедаш Г. А., Шевчук С. И. Сокращение расходов подпиточной воды в комбинированных теплоутилизационных агрегатах. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2020. № 11. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-11-6187>
11. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Гнедаш Г.О., Шевчук С.І., Пресіч Г.О. Нейтралізація кислого водяного конденсату газоспоживальних котлоагрегатів методом декарбонізації у гранульованому фільтрі. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2022. №4. С. 43-47. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-4-7971>
12. Fialko N. M., Navrodska R. O., Gnedash G. O., Presich G. O. Decarbonization of acid water condensate of gas-fired boiler plants by filtration method. In *The 10 th International scientific and practical conference "Science, innovations and education: problems and prospects" (May 4-6, 2022)*. CPN Publishing Group, Tokyo, Japan. 2022. P. 130.
13. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Novakivskii M., Sbrodova G. Use and disposal of acidic water condensate from gas-fired boiler units. *Municipal Economy of Cities*. 2021. № 4(164). С. 24-30. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-24-30>

14. Fialko N., Presich G., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. Improving the ecological indicators of gas-fired boiler plants at the use of complex heat-recovery systems. *Innovations*. 2018. № 6(2). С. 79-81. URL: <https://stumejournals.com/journals/innovations/2018/2/79>