

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*

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*

Шевчук Світлана Іванівна

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

Shevchuk Svitlana

*Candidate of Technical Sciences, 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*

**ТЕПЛОВА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕАЛІЗАЦІЇ
КОНДЕНСАЦІЙНОГО РЕЖИМУ В ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОМУ
ОБЛАДНАННІ ГАЗСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЕЛЕНЬ
THERMAL AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF
IMPLEMENTATION OF THE CONDENSATION MODE IN HEAT-
RECOVERY EQUIPMENT FOR GAS-BURNING BOILERS**

Анотація. Для підвищення теплової ефективності та покращення екологічних характеристик газоспоживальних котлоагрегатів запропоновано конструктивне рішення конденсаційного теплоутилізатора для нагрівання води різного технологічного призначення. Виконано аналіз його робочих параметрів в режимах підігрівання води системи хімоводоочищення, що були отримані при випробуваннях за паровим котлом у діючій котельні.

Ключові слова: відхідні димові гази, температура точки роси, конденсаціютворення, система хімоводоочищення, ефективність використання палива.

Summary. *In order to increase the thermal efficiency and improve the environmental characteristics of gas-burning boiler plants, a constructive solution of a condensing heat-recovery unit intended for heating water for various technological purposes is proposed. An analysis of its operating parameters in water heating modes of the chemical water treatment system, which were obtained during tests on a steam boiler in an operating boiler plant, was performed.*

Key words: *exhaust-gases, dew point temperature, condensation formation, water-purification system, fuel efficiency.*

Для підвищення ефективності використання палива у газоспоживальних котлоагрегатах з відносно низьким ККД рекомендується встановлення за такими котлами теплоутилізаційного обладнання [1-7], в якому для підігрівання різних теплоносіїв використовується теплота відхідних газів цих котлів. Найбільше збільшення коефіцієнта використання теплоти палива КВТП або ККД котлів досягається шляхом зниження температури відхідних газів нижче температури їхньої точки роси, яке реалізується при застосуванні теплоутилізаційного обладнання конденсаційного типу. В такому обладнанні відбувається конденсація значної частини водяної пари, що міститься в димових газах, і використання прихованої теплоти пароутворення. За рахунок цього КВТП котла підвищується на $5 \div 8$ % при використанні утилізованої теплоти у системах опалення та на $8 \div 15$ % для систем гарячого водопостачання або попереднього підігрівання холодної сирової води системи хімводоочищення.

Авторами розроблено конструкцію конденсаційного теплоутилізатора (рис. 1), призначення якого – нагрівання відхідними газами газоспоживальних котлів води різного технологічного призначення.

Теплоутилізатор складається з елементів агрегованих у одному корпусі: теплообмінника 1 поверхневого типу, патрубків входу та виходу димових газів з вмонтованим байпасним пристроєм 2, патрубків підведення холодної води та відведення нагрітої, ємності 4 для збору конденсату, яка оснащена системою його нейтралізації [8-11].

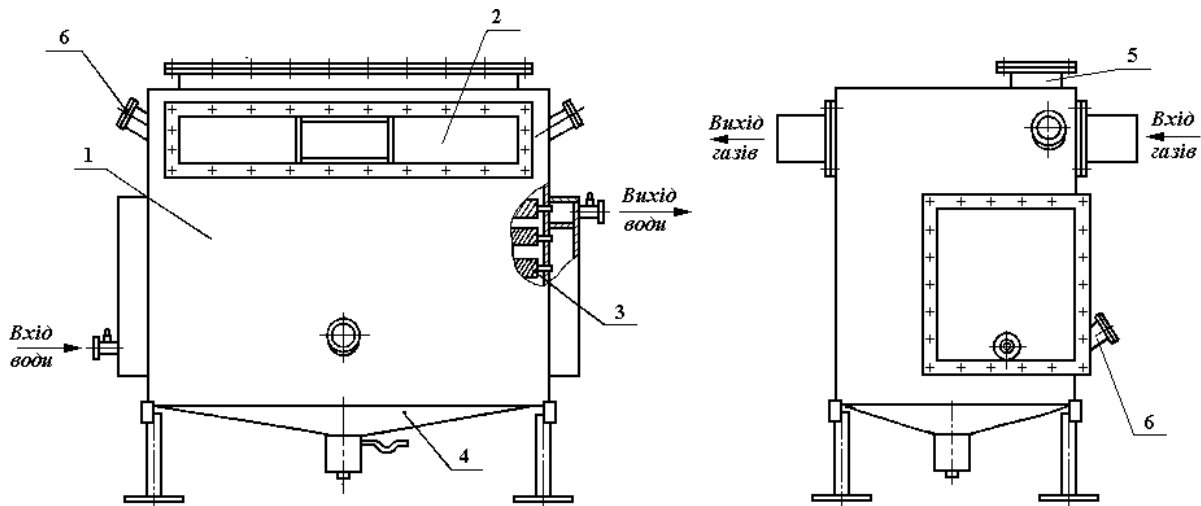


Рис. 1. Схема конденсаційного поверхневого теплоутилізатора:

- 1 – теплообмінник; 2 – байпасний газохід; 3 – біметалева оребрена труба;
4 – конденсатозбірник; 5 – вибуховий клапан; 6 – оглядові вікна**

Теплообмінна частина теплоутилізатора складається з пучка біметалевих (сталева основа та алюмінієве оребрення) труб з певної геометрії. В байпасному газоході знаходиться шибер з рукояткою, за допомогою якого регулюється витрата газів, що надходить до трубного пучка, і температура суміші газів на виході з теплообмінника. Для безпечного використання конструкцію обладнано аварійним вибуховим клапаном 5, а для спрощення технічного нагляду та контролю за станом теплообмінної поверхні передбачені оглядові вікна 6. Основні технічні характеристики типоряду утилізаторів наведено у таблиці 1.

Інститутом технічної теплофізики НАН України було виготовлено та впроваджено дослідний зразок теплоутилізатора за котлом ДЕ-16-14 ГМ у діючій котельні одного з підприємств міста Києва. Теплоутилізатор

змонтовано ззовні приміщення котельні на металевій конструкції. Маса теплоутилізатора становить 380 кг при таких габаритах: довжина 1200 мм, ширина 700 мм, висота 1460 мм.

Котельня спалює природний газ і виробляє насичену пару тиском 1МПа, яка витрачається цілорічно на технологічні потреби. Взимку додається навантаження, яке відповідає потужності системи опалення підприємства.

Таблиця 1

Технічні характеристики типоряду конденсаційного теплоутилізатора

Найменування параметру, розмірність	Теплопродуктивність котла, МВт						
	3,15	2,5	2,0	1,25	1,0	0,5	0,25
Теплопродуктивність, кВт	130	90	70	50	45	75	8
Витрата газів, кг/с	1,42	1,12	0,9	0,55	0,45	0,42	0,09
Витрата води, кг/с	4,2	6,5	5,2	4	3	3,5	1,2
Температура газів, °С: на вході на виході	173	160	164	168	175	240	165
	90	87	85	83	82	87	81
Температура води, °С: на вході на виході	70	70	70	70	70	70	70
	76,9	73,1	73,4	73,2	73,4	74,5	71,6
Площа поверхні нагріву, м ²	79,1	43,6	39,6	34,3	29,8	36,6	6,7
Аеродинамічний опір, Па	250	200	200	150	150	150	120
Гідравлічний опір, кПа	25	30	25	20	20	25	30
Коефіцієнт надлишку повітря	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,1
Витрата конденсату, кг/год	230	150	120	100	80	70	20
Підвищення КВТП (ККД), %	4 ÷ 9	3 ÷ 8	4 ÷ 8	3 ÷ 9	4 ÷ 9	6 ÷ 10	3 ÷ 9
Маса, кг	620	540	420	400	380	330	150
Габаритні розміри, мм:							
	довжина	1900	1340	1100	1010	1200	810
	ширина	750	1300	1060	750	700	810
висота	1820	2091	1790	1820	1460	1820	1160

При цьому середня потреба в парі становить взимку 10 ÷ 12 т/год, а влітку – 5 ÷ 6 т/год. Повернення конденсату з виробництва становить взимку 50 ÷ 60 %, влітку 25 ÷ 40%. Тобто неповернення конденсату з урахуванням втрат котлової води з продувкою до 10 % становить в зимовий період 50 ÷ 60 % (5 ÷ 7 т/год), у літній період 70 ÷ 85 % (3,5 ÷ 5 т/год). Така кількість води проходить через систему ХВО котельні для приготування живильної води котлів. У введеному в експлуатацію

теплоутилізаторі здійснюється нагрівання холодної води системи хімводоочищення. Утворений конденсат після обробки в деаераторі корисно використовується для підживлення котла. Під час випробувань паропродуктивність котла становила $10,3 \div 11,0$ т/год, тиск пари $9,0 \div 9,2$ кг/см², тиск природного газу перед пальниками $900 \div 1000$ мм вод. ст., тиск дуттьового повітря $68 \div 75$ мм вод. ст. Коефіцієнт надлишку повітря в газах за економайзером котла $-1,3 \div 1,34$, вміст кисню $O_2 = 4,8 \div 5,3$ %, вуглекислого газу $CO_2 = 8,8 \div 9,1$ %, чадного газу $CO = 0 \div 1$ мг/м³, оксиду азоту $NO = 129 \div 135$ мг/м³.

Результати теплотехнічних випробувань теплоутилізатора у різних режимах роботи котла наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати випробувань теплоутилізатора у котельні

Найменування параметру, розмірність	Значення у режимах			
	1	2	3	4
Теплопродуктивність, кВт	108,0	134,9	149,9	217,2
Витрата газів, кг/год	2814	3202	3628	5968
Коефіцієнт надлишку повітря в газах	1,34	1,30	1,32	1,32
Температура газів на вході, °С	131	133	132	131
Температура газів на виході, °С	69	67	76	86
Температура суміші на вході в димову трубу, °С	116	115	114	105
Витрата води, т/год	2,90	3,41	3,59	4,45
Температура води на вході, °С	2	2	2	2
Температура води на виході, °С	34	36	38	44
Витрата конденсату, кг/год	58,7	87,1	96,5	110,9
Аеродинамічний опір, Па	60	80	110	300
Збільшення КВТП, %	1,60	1,87	2,22	3,22

Результати випробувань теплоутилізатора підтвердили його високу теплову ефективність і експлуатаційну надійність, а також було досягнуто співпадіння розрахункових та експериментальних даних. Завдяки утворенню конденсату при глибокому охолодженні димових газів та корисному його використанні у системі хімічного водоочищення зменшення навантаження на цю систему становило в умовах випробувань

2,0 ÷ 2,7 %. Розрахункова річна економія природного газу при середньому збільшенні КВТП у котлі на 3 % становитиме 100 тис. м³.

Крім енергозберігаючої функції, теплоутилізатори виконують природоохоронну роль. Зменшення витрати спалюваного газу сприяє покращенню екологічного стану навколишнього середовища. До того ж, знижується кількість шкідливих викидів в атмосферу через часткове розчинення в утвореному конденсаті оксидів азоту, вуглецю та інших розчинних речовин.

На даному підприємстві з урахуванням всього комплексу робіт з впровадження теплоутилізаційної установки термін окупності витрат не перевищує 1,2 роки. За умов нанесення стійкого до корозії покриття на внутрішню поверхню корпусу, яка підпадає під агресивну дію конденсату, термін експлуатації такого конденсаційного теплоутилізатора становить до 10 років.

Література

1. 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>
2. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O., Glushak O. Y. Reduction of moisture content of exhaust gases in condensing heat-recovery exchangers of the boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. № 29(8). P. 116-119. doi: <https://doi.org/10.36930/40290821>
3. 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>

4. 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>
5. Navrodska R. A., Stepanova A. I., Shevchuk S. I., Gnedash G. A., Presich G. A. Experimental investigation of heat-transfer at deep cooling of combustion materials of gas-fired boilers. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. № 28(6). P. 103-108. doi: <https://doi.org/10.15421/40280620>
6. Fialko N. M., Navrodska R. O., Gnedash G. O., Presich G. O., Shevchuk S. I. Study of Heat Recovery Systems for Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units. *Nauka innov.* 2020. V. 16, no. 2. P. 47-53. doi: <https://doi.org/10.15407/scin16.03.047>
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. <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/22345>
8. Fialko N. M., Navrodska R. O., Gnedash G. O., Novakivskii M. O., Presich G. O. Directions for the use of chemically aggressive water condensate in gas-fired boiler plants of municipal energy. *International scientific journal "Internauka"*. 2022. № 3. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-3-7948>
9. Fialko N. M., Navrodska R. O., Gnedash G. O., Shevchuk S. I., Presich G. O. Neutralization of acidic water condensate of gas-fired boiler units by decarbonization method into the granular type filter. *International scientific journal "Internauka"*. 2022. №4. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-4-7971>
10. 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). P. 24-30. doi:
<https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-24-30>

11. Fialko, N., Navrodska, R., Gnedash, G., Novakivskii, M. (2022, May). Practical application of chemically aggressive water condensate in gas-fired boiler plants of municipal power. In *The 11 th International scientific and practical conference “International scientific innovations in human life” (May 11-13, 2022) Cognum Publishing House, Manchester, United Kingdom*. 2022. 810 p. (p. 188).