

Технічні науки

УДК 536.24:621.184.5

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
Член-кореспондент НАН України, завідувача відділом
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member NAS of Ukraine, Head of the Department
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,
Senior Scientific Researcher, Leading 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*

Сергієнко Роман Володимирович

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

Serhiienko Roman

*Candidate of Technical Sciences,
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, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ЕФЕКТИВНІСТЬ НОВИХ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ
ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ДИМОВИХ ГАЗІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК
EFFICIENCY OF NEW COMBINED HEAT RECOVERY SYSTEMS OF
BOILER PLANTS EXHAUST GASES**

***Анотація.** Наведено результати досліджень ефективності використання для опалювального котла теплопродуктивністю 2 МВт нової комбінованої системи теплоутилізації димових газів з водогрійним підігрівачем дуттьового повітря. Показано, що використання такого повітрянагрівача забезпечує його високу теплову ефективність та компактність у порівнянні з традиційним газогрійним аналогом, що є суттєвим при спорудженні теплоутилізаційних установок в стиснених умовах сучасних котелень.*

***Ключові слова:** водогрійний повітрянагрівач, рециркуляція газів, ефективність, компактність.*

***Summary.** The research results of the efficiency of using a new combined exhaust gas heat recovery system with a water-heating combustion air heater*

for a heating boiler with a heat capacity of 2 MW are presented. It is shown that the use of such an air-heater ensures its high thermal efficiency and compactness compared to the traditional gas-heating analogue, which is essential when constructing of heat recovery plants in limited conditions of modern boiler houses.

Key words: *water-heating air heater, gas recirculation, efficiency, compactness.*

Сучасні тенденції щодо підвищення теплової ефективності газоспоживальних котлоагрегатів пов'язані із застосуванням нових прогресивних теплоутилізаційних технологій. Серед цих технологій особливе місце займають технології з комбінованим використанням утилізованої теплоти [1; 2], в яких ця теплота використовується для підігрівання двох і більше теплоносіїв різного призначення. Відомою є комбінована теплоутилізаційна система для газоспоживальних опалювальних котельних установок з використанням теплоти відхідних газів для нагрівання тепломережної води та дуттьового повітря [3; 4]. У разі застосування такої системи грійним теплоносієм є димові гази котла. При цьому теплоутилізатор-водонагрівач встановлюється першим за ходом газів, а другим – теплоутилізатор-повітрянагрівач. Використання такої схеми комбінованої системи має певні недоліки. Так глибоке охолодження димових газів з утворенням конденсату у холодний період опалювального сезону реалізується у повітрянагрівачі, що потребує для його конструювання дорогих корозійностійких матеріалів. До того ж, газогрійні повітрянагрівачі, як відомо є дуже габаритними, що ускладнює їхнє розміщення у зазвичай стиснених умовах котелень. Актуальність даного дослідження полягає розробці нових альтернативних рішень систем теплоутилізації, позбавлених вказаних недоліків.

Метою роботи є розроблення для опалювальних котлів

малогабаритних та маломатеріалоємних комбінованих теплоутилізаційних систем та дослідження їхньої ефективності.

Основні завдання дослідження полягали: у розробленні нової схеми теплоутилізації (рис. 1) з використанням газогрійного водонагрівача та водогрійного повітрянагрівача; виконанні теплового розрахунку котельної установки з пропонованою системою теплоутилізації в різних режимах експлуатації для опалювального котла з рециркуляцією димових газів; зіставленні отриманих результатів з результатами для відомої комбінованої системи з двома газогрійними теплоутилізаторами.

В пропонованій системі дуттьове повітря нагрівається зворотною тепломережною водою перед надходженням її до газогрійного водонагрівача, що підвищує його ефективність. До того ж, теплообмінна поверхня водогрійного повітрянагрівача, як і водонагрівача, компонується із оребрених біметалевих труб (сталева основа і алюмінієве оребрення), що забезпечує його високу компактність і низьку металоємність, а також захист від корозійного зношування.

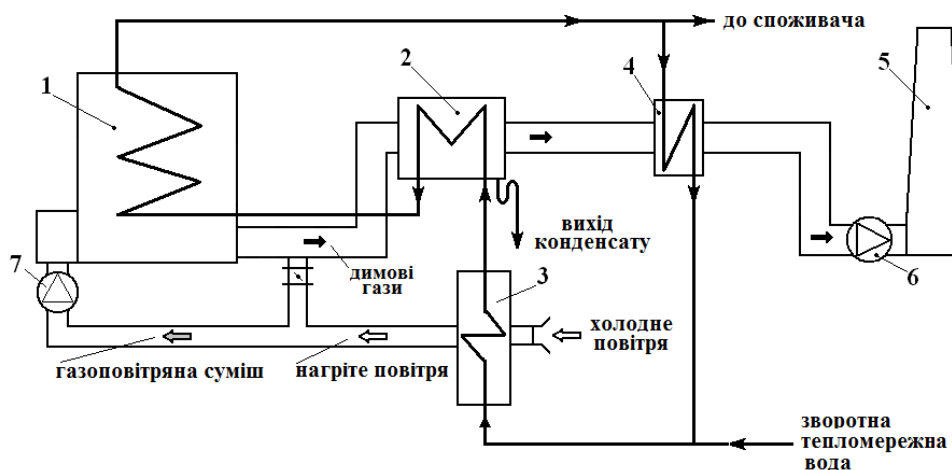


Рис. 1. Принципова схема пропонованої котельної установки: 1-водогрійний котлоагрегат; 2 – газогрійний нагрівач зворотної води (водонагрівач); 3 – водогрійний повітрянагрівач; 4 – водогрійний газопідігрівач; 5 – димова труба; 6 – димосос; 7 – вентилятор

Дослідження ефективності пропонованої системи виконувались для газоспоживального котла з наступними номінальними показниками: теплопродуктивність 2,0 МВт; ККД – 82 % (за вищою теплотою згоряння газу); коефіцієнт надлишку повітря 1,1 та температура відхідних газів 160 °С. Котел використовувався для системи опалення з розрахунковою температурою повітря -20 °С, перепадом температур теплоносія 25 °С, в діапазоні зміни теплопродуктивності від 29 до 100 %, що відповідає зміні температури повітря в опалювальний період від +10 до -20 °С.

На рис. 2 наведено результати розрахунків щодо температури нагріваного повітря за умов застосування пропонованої системи теплоутилізації та традиційної з газогрійним повітрянагрівачем. Як видно, холодне атмосферне повітря нагрівається у водогрійному повітрянагрівачі до 53 °С, а у газогрійному лише до 40 °С в залежності від режиму котла та частки байпасованих димових газів після котла. Більш висока температура дуттьового повітря для екологоефективних котлів з рециркуляцією газів сприяє покращенню показників повітрягазової суміші для запобігання конденсації у повітропідвідних каналах котельної установки, що зазвичай має місце для таких котлів [5-7]. Особливо це стосується низьких температур навколишнього повітря, які є загрозливими для обмерзання повітроводів та вентилятора без підігрівання дуттьового повітря.

В роботі виконано також дослідження щодо теплової ефективності та відносної металоємності ($m = M/Q$) пропонованої теплоутилізаційної системи, оснащеної водогрійним повітрянагрівачем. Визначено результуюче значення приросту ККД котла з урахуванням його зменшення на 1 ÷ 3 % через рециркуляцію газів у дуттьове повітря. За отриманими результатами цей приріст становить 1,5 ÷ 4,8 % в залежності від навантаження котла та часток рециркулювання газів від 10 до 20 %.

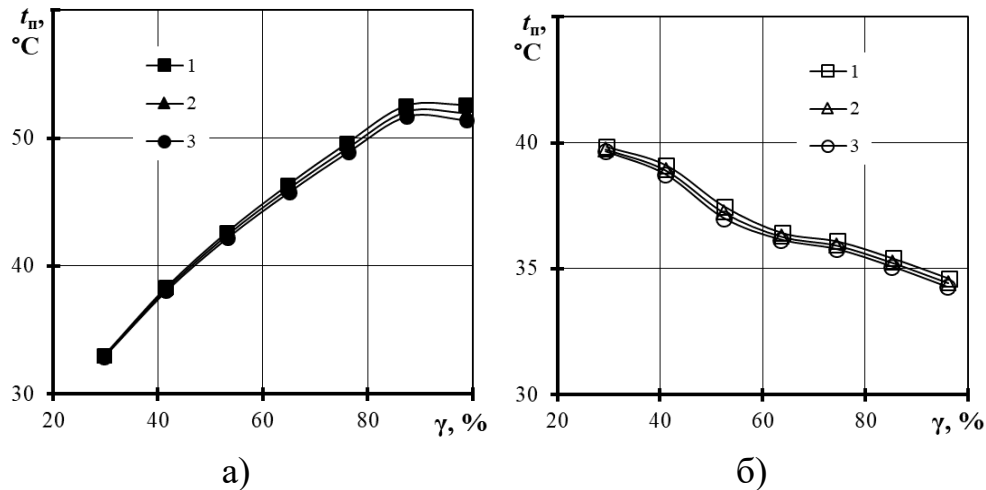


Рис. 2. Залежність від відносного навантаження котла γ температури t_n нагрітого повітря у водогрійному (а) та у газогрійному (б) повітронагрівачі за різних часток σ рециркуляції газів:

1 – $\sigma = 10$ %; 2 – $\sigma = 15$ %; 3 – $\sigma = 20$ %

У таблиці 1 наведено дані щодо відносної металоємності розглянутих теплообмінників-теплоутилізаторів. Як видно, застосування нової теплоутилізаційної системи забезпечує зниження M/Q водогрійного повітронагрівача у $1,6 \div 2,9$ рази у порівнянні з газогрійним аналогом, що забезпечує зменшення загальної відносної металоємності пропонованої теплоутилізаційної системи у $1,4 \div 1,7$ рази в залежності від режиму роботи котла та частки рециркулювання димових газів. Отримані показники пояснюються тим, що теплообмінники в пропонованій схемі є газо- та повітроводяними, поверхнею теплообміну в яких є пучки оребрених біметалевих труб, а газогрійний повітронагрівач komponується із пластин з нержавіючої сталі, що збільшує його металоємність і габарити.

Таблиця 1

**Відносна металоємність M/Q теплоутилізаційної системи з
водогрійним та газогрійним повітрянагрівачем за різних відносних
навантажень котла γ і за різних часток σ рециркульованих газів**

Час- тка σ , %	Відносна металоємність M/Q теплоутилізаційної системи та її елементів, т/МВт													
	відносне навантаження котла γ , %													
	30	42	53	65	75	86	97	30	42	53	65	75	86	97
газогрійний водопідігрівач														
10	4,8	4,5	4,5	4,1	3,2	2,6	2,1	4,9	4,6	4,6	4,2	3,3	2,7	2,2
15	4,6	4,4	4,3	3,8	3,0	2,4	2,0	4,7	4,5	4,4	4,0	3,1	2,5	2,1
20	4,5	4,2	4,2	3,6	2,8	2,3	1,9	4,6	4,3	4,3	3,8	2,9	2,4	2,0
водогрійний повітрянагрівач								газогрійний повітрянагрівач						
10	22,0	10,7	6,5	4,4	3,2	2,5	2,0	35,4	22,0	15,5	11,5	8,8	7,0	5,7
15	21,0	10,3	6,2	4,2	3,1	2,4	1,9	33,8	21,0	14,9	11,0	8,4	6,7	5,4
20	20,1	9,8	6,0	4,0	3,0	2,3	1,8	32,4	20,2	14,3	10,5	8,0	6,4	5,2
уся теплоутилізаційна система														
10	7,4	6,1	5,2	4,2	3,2	2,5	2,1	10,5	9,1	8,2	6,9	5,4	4,3	3,6
15	7,1	5,9	5,0	4,0	3,0	2,4	2,0	10,1	8,8	7,9	6,6	5,1	4,1	3,4
20	6,8	5,7	4,8	3,8	2,9	2,3	1,9	9,8	8,4	7,6	6,3	4,9	3,9	3,2

Отже, за результатами досліджень використання водогрійного повітрянагрівача забезпечує відносно невелику металоємність та високу компактність даного теплоутилізатора, що є суттєвим при його конструюванні і виготовленні, а також розміщенні в стиснених умовах сучасних котелень.

Висновки. Застосування пропонованої комбінованої теплоутилізаційної системи з водогрійним повітрянагрівачем забезпечує:

1. Надійну експлуатацію повітроводів котельної установки з рециркуляцією димових газів шляхом підігрівання дуттьового повітря до 32 - 53 °С, що забезпечує відсутність конденсатоутворення у цих каналах.
2. Результуючий приріст ККД котельної установки на 1,5 ÷ 4,8 % завдяки використанню утилізованої теплоти на нагрівання тепломережної води та дуттьового повітря.

3. Зниження відносної металоємності M/Q повітрянагрівача у $1,6 \div 2,9$ рази у порівнянні з газогрійним аналогом, що забезпечує зменшення загальної відносної металоємності пропонованої теплоутилізаційної системи у $1,4 \div 1,7$ рази в залежності від режиму котла.

Література

1. Derii, V. O., Teslenko, O. I., & Sokolovska, I. S. (2023). Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems. *Energy Technologies & Resource Saving*, 75(2), 44-56. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.03>.

2. Nikitin, Y., & Dutka, O. (2020). Technical and economic efficiency of combined district heating with local heat source for district hot water. *Energy Technologies & Resource Saving*, (1), 34-40. <https://doi.org/10.33070/etars.1.2020.4>

3. Fialko, N., Navrodska, R., Presich, G., Gnedash, G., Shevchuk, S., & Stepanova, A. (2019). Kombinovani teploutylizatsiini systemy dlia gazospozhyvalnykh kotliv komunalnoi teploenergetyky [Combined heat recovery systems for gas-fired boilers of communal heat energy]. Kiev: Printing house "About format". 192 p.

4. Navrodska, R. O., Fialko, N. M., Gnedash, G. O., & Sbrodova, G. O. (2017). Energy-efficient heat recovery system for heating the backward heating system water and blast air of municipal boilers. *Industrial heat engineering*, 39(4), 69-75. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.10>

5. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., & Serhiienko, R. V. (2023). Problems of operating heating boilers of increased environmental efficiency. *Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk*, (6), 54-60. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/054>

6. Фіалко, Н.М., Навродська, Р., Шевчук, С., та Абдулін, М. (2023). Особливості експлуатації екологічно ефективних котельних установок міської теплоенергетики. *Теплофізика та теплоенергетика*, 45(2), 55-62. <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.6>

7. Фіалко, Н.М., Навродська, Р., Шевчук, С., та Абдулін, М. (2023). Підвищення ефективності та надійності експлуатації котельних установок з рециркуляцією димових газів. *Теплофізика та теплоенергетика*, 45(4), 62-69. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2023.7>