

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40290616>

Article received 21.06.2019 p.

Article accepted 27.06.2019 p.

УДК 621.[1.016+184]



ISSN 1994-7836 (print)  
ISSN 2519-2477 (online)

@✉ Correspondence author

R. O. Navrodska

navrodska-ittf@ukr.net

*Н. М. Фіалко, Г. О. Гнедаш, Р. О. Навродська, Г. О. Пресіч, С. І. Шевчук*

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

#### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНИХ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Викладено результати досліджень ефективності використання в теплоутилізаційних технологіях газоспоживальних опалювальних котелень удосконалених комбінованих систем утилізації теплоти, призначених для нагрівання води систем тепlopостачання та хімічного водоочищення і повітря на горіння. Дослідження виконано для водогрійного котла ТВГ-8 за різних режимів його роботи згідно з тепловим графіком котельні залежно від температури навколишнього середовища в опалювальний період. Визначено в розглянутих умовах для відповідних теплообмінників-теплоутилізаторів такі основні параметри, як: теплопродуктивність, приріст коефіцієнта використання теплоти палива КВП котла та кількість утвореного в системі конденсату за нормованих значень витрати води на підживлення теплових мереж. За отриманими основними показниками проведено порівняльний аналіз пропонованих систем теплоутилізації та відомих комбінованих систем з нагріванням тільки зворотної тепломережної води та дуттьового повітря. Показано, що доповнення відомої системи додатковим теплообмінником, призначеним для попереднього нагрівання холодної води на хімводоочищення (ХВО), дає змогу шляхом глибшого охолодження вихідних газів котельної установки підвищити її КВП максимально на 9,4 %, що на 0,5 % більше порівняно з відсутністю нагрівання води на ХВО.

**Ключові слова:** теплоутилізаційні технології; комбіноване використання утилізованої теплоти; глибоке охолодження відхідних газів; підвищення ефективності використання палива.

**Вступ.** Ефективність використання палива в котельних установках різного призначення визначається в основному температурою відхідних газів. Так, ККД сучасних котлів без систем теплоутилізації при розрахунку за нижчою теплою згоряння палива становить 92...94 % (або 83,5...84,5 % при визначенні за вищою теплою згоряння), що відповідає температурі відхідних газів приблизно 150...190 °С. Оснащення котла теплоутилізатором для нагрівання зворотної тепломережної води (Jaber et al., 2016; Efimov et al., 2017; Dolinskiy et al., 2014; Popova & Shempelev, 2016; Levy et al., 2008; Fialko et al., 2014; Wei et al., 2017) залежно від режиму його роботи протягом опалювального періоду дає змогу підвищити ККД котла на 3...6 %. Більші значення ККД відповідають високим температурам навко-

лишнього середовища в цей період ( $t_{nc} > 0$  °С), коли температура в зворотній магістралі котельні  $t_{zg}$  менша ніж 50 °С, тобто нижча від точки роси водяної пари, що міститься в димових газах котлів. При такому зниженні відбувається конденсація частини водяної пари і використання її теплоти конденсації. За нижчих температур  $t_{nc}$  випадення конденсату відсутнє, або незначне, через високі значення  $t_{zg}$ .

Для забезпечення конденсаційного режиму системи теплоутилізації впродовж усього опалювального періоду доцільно використовувати утилізовану теплоту також для нагрівання теплоносіїв більш холодних, ніж зворотна тепломережна вода. Такими теплоносіями можуть слугувати холодна вода, що надходить на хімводоочищення (ХВО), вода технологічних потреб, дуттьо-

#### Інформація про авторів:

**Фіалко Наталія Михайлівна**, д-р техн. наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу теплофізика енергоефективних теплотехнологій. Email: nmfialko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-0116-7673>

**Гнедаш Георгій Олександрович**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, відділ теплофізика енергоефективних теплотехнологій. Email: navrodska-ittf@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-0395-9615>

**Навродська Раїса Олександрівна**, канд. техн. наук, пров. наук. співробітник, відділ теплофізика енергоефективних теплотехнологій. Email: navrodska-ittf@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-7476-2962>

**Пресіч Георгій Олександрович**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, відділ теплофізика енергоефективних теплотехнологій. Email: navrodska-ittf@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-3728-6490>

**Шевчук Світлана Іванівна**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, відділ теплофізика енергоефективних теплотехнологій. Email: s.i.shevchuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8046-0039>

**Цитування за ДСТУ:** Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Навродська Р. О., Пресіч Г. О., Шевчук С. І. Підвищення ефективності комбінованих теплоутилізаційних систем газоспоживальних котельних установок. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 6. С. 79–82.

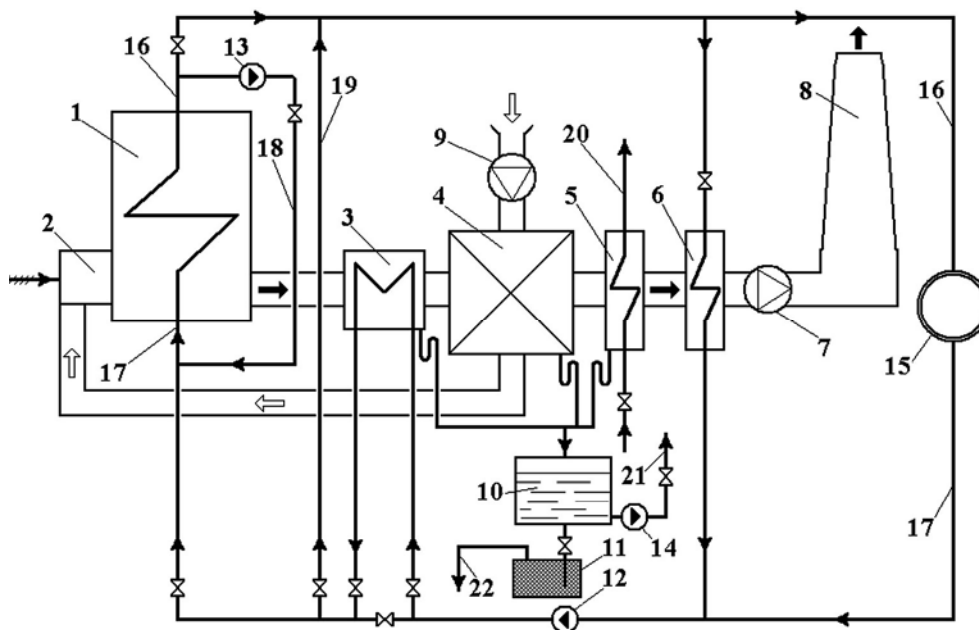
**Citation APA:** Fialko, N. M., Gnedash, G. O., Navrodska, R. O., Presich, G. O., & Shevchuk, S. I. (2019). Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(6), 79–82. <https://doi.org/10.15421/40290616>

ве повітря тощо. Зважаючи на це, останнім часом розроблено та досліджено комбіновані теплоутилізаційні системи з нагріванням зворотної тепломережної води та дугтьового повітря. Такі системи за оптимального співвідношення площ водо- та повітрогрійних теплоутилізаторів залежно від кліматичної зони дають змогу підвищити середньорічний ККД котла на 6,8...10,6 % (Fialko et al., 2011, 2018; Navrodskaaya et al., 2017) завдяки глибшому охолодженню його відхідних газів порівняно з використанням одиночного теплоутилізатора.

Для підвищення ефективності використання комбінованих теплоутилізаційних систем розроблено удосконалену систему, в якій після водогрійного та повітрогрійного теплоутилізатора розміщено ще один теплообмінник, призначений для нагрівання холодної води, що надходить на хімоводоочищення.

*Мета дослідження* полягає у теплофізичному обґрунтуванні використання в опалювальних котельних установках комбінованої системи теплоутилізації, призначеної для нагрівання води систем теплопостачання та хімічного очищення і повітря на горіння.

**Матеріал і методи дослідження.** Схему котельної установки із запропонованою системою теплоутилізації наведено на рис. 1. Під час проведення розрахункових досліджень вихідними даними для виконання теплових розрахунків слугували режимні характеристики водогрійного котла ТВГ-8 та системи опалення відповідно до теплового графіка котельні (таблиця). Витрата води на систему ХВО приймалась у розмірі 2 % витрати води на котел, що відповідає нормативним показникам підживлення теплових мереж.



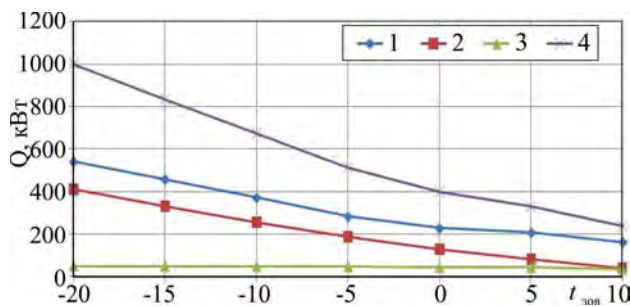
**Рис. 1.** Принципова тепла схема оснащеної комбінованою теплоутилізаційною системою котельної установки, підключеної до водяного циркуляційного контуру системи теплопостачання: 1) водогрійний котлоагрегат; 2) газопальниковий пристрій; 3) підігрівач мережної води; 4) повітропідігрівач; 5) підігрівач води ХВО; 6) газопідігрівач; 7) димосос; 8) димова труба; 9) вентилятор; 10) конденсатозбірник; 11) нейтралізатор конденсату; 12) мережний насос; 13) насос рециркуляції; 14) конденсатний насос; 15) споживач теплової енергії; 16) подавальний трубопровід; 17) зворотний трубопровід; 18) рециркуляційний трубопровід; 19) перепускний трубопровід; 20) трубопровід до системи хімоводоочищення; 21) трубопровід до деаератора; 22) зливний трубопровід

**Таблиця. Вихідні дані для розрахункових досліджень комбінованої теплоутилізаційної системи**

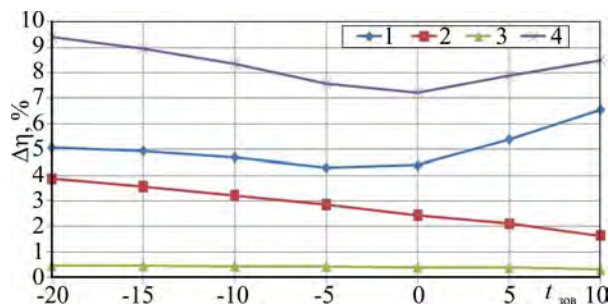
Назва	Значення						
<b>Параметри котла від температури навколишнього середовища</b>							
Температура навколишнього середовища, °С	-20	-15	-10	-5	0	5	10
Навантаження котла, %	100	87	75	62	49	36	24
Теплопродуктивність котла, МВт	9,7	8,4	7,2	6,0	4,7	3,5	2,3
ККД котла без теплоутилізаторів, %	90,77	90,91	91,04	91,18	91,31	91,45	91,58
Витрата димових газів, кг/с	5,5	4,8	4,1	3,4	2,7	2,0	1,3
Температура газів на виході з котла, °С	173	164	153	139	121	99	70
Коефіцієнт надлишку повітря	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,33	1,33
Вологовміст газів на виході з котла, г/кг с.г.	117	117	117	117	117	114	114
Витрата води через котел, т/год	100						
Витрата води на ХВО, т/год	2						
Витрата повітря, кг/с	4,9	4,3	3,7	3,0	2,4	1,8	1,2
Температура зворотної води, °С	70,0	65,1	60,0	54,5	48,6	42,3	35,1
Температура води на ХВО, °С	5						
Розрахунковий перепад температур теплоносія у системі опалення, °С	95–70						
<b>Конструкційні параметри теплоутилізаційної установки</b>							
Співвідношення площ водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів	0,75						
Загальна площа теплообмінної поверхні комбінованої системи, м <sup>2</sup>	629						
<b>Призначення теплоутилізаторів у комбінованій теплоутилізаційній системі та їх кількість</b>							
– водогрійний (підігрівання зворотної тепломережної води) – 1 шт.;							
– повітрогрійний (підігрівання дугтьового повітря) – 1 шт.;							
– водогрійний (підігрівання сирової води для системи ХВО) – 1 шт.							

Під час досліджень визначали для водогрійних та повітрогрійних утилізаторів теплоти такі основні параметри, як: теплопродуктивність  $Q$ , рівень приросту коефіцієнта використання теплоти палива КВТП котла  $\Delta\eta$  та кількість утвореного в системі конденсату  $G_k$ . Зіставляли також зазначені показники удосконаленої теплоутилізаційної системи з відповідними показниками відомої системи з нагріванням тільки зворотної тепломережної води та дуттьового повітря.

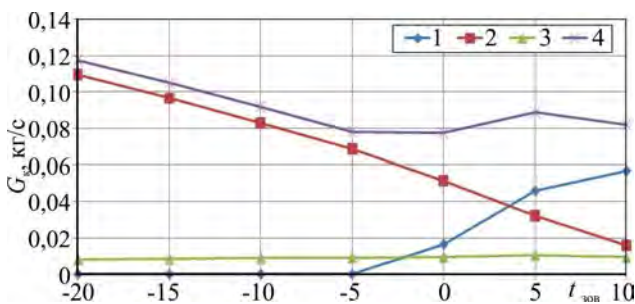
**Результати дослідження.** Характерні результати виконаних досліджень стосовно зазначених основних теплових характеристик систем теплоутилізації подано на рис. 2–4.



**Рис. 2.** Теплопродуктивність водогрійного теплоутилізатора (1), повітрогрійного (2), підігрівача води системи ХВО (3) та загальна всієї комбінованої системи (4) залежно від температури навколишнього середовища



**Рис. 3.** Приріст КВТП котла завдяки водогрійному теплоутилізатору (1), повітрогрійному (2), підігрівачу води системи ХВО (3) та загальний всієї комбінованої системи (4) залежно від температури навколишнього середовища



**Рис. 4.** Витрата утвореного конденсату у водогрійному теплоутилізаторі (1), повітрогрійному (2), підігрівачі води системи ХВО (3) та загальна всієї комбінованої системи (4) залежно від температури навколишнього середовища

Як видно з наведених даних, застосування пропонуваної системи дає змогу глибше охолодити вихідні гази котельної установки завдяки встановленню підігрівача холодної води ХВО та порівняно зі системою без такого підігрівача підвищити її теплопродуктивність  $Q$  та кількість утворюваного конденсату в системі  $G_k$  на 5,2...14,5 % і 7,3...13,7 % відповідно.

Для досліджуваної системи впродовж усього опалювального періоду реалізується стабільне додаткове зростання КВТП котла  $\Delta\eta$  на рівні 0,4...0,5 % і загальна величина цього приросту для всієї системи досягає значення 9,4 %.

#### Висновки:

1. Виконано аналіз ефективності застосування комбінованої теплоутилізаційної системи з нагріванням води системою теплопостачання та хімічного очищення і повітря на горіння за теплопродуктивністю  $Q$ , приростом коефіцієнта використання теплоти палива КВТП котла  $\Delta\eta$  та кількістю утвореного в системі конденсату  $G_k$ .
2. Проведено зіставлення показників  $Q$ ,  $\Delta\eta$  та  $G_k$  пропонуваної системи теплоутилізації та відомих систем з нагріванням тільки зворотної тепломережної води та дуттьового повітря за однакових вихідних умов. Показано, що показники  $Q$  та  $G_k$  є приблизно на 14 %, а  $\Delta\eta$  на 0,4...0,5 % вищими порівняно з відповідними показниками теплоутилізаційної системи за відсутності нагрівання води на ХВО.

#### Перелік використаних джерел

- Dolinskiy, A. A., Fialko, N. M., Navrodskaaya, R. A., & Gnedash, G. A. (2014). Basic principles of heat recovery technologies for boilers of the low thermal power. *Industrial Heat Engineering*, 36(4), 27–35. [In Russian].
- Efimov, A. V., Goncharenko, A. L., Goncharenko, L. V., & Esipenko, T. A. (2017). *Sovremennye tekhnologii glubokogo okhlazhdeniia produktov sgoraniia topliva v kotelnykh ustanovkakh, ikh problemy i puti resheniia*. [In Russian].
- Fialko, N. M., Navrodskaaya, R. A., Gnedash, G. A., Presich, G. A., & Stepanova, A. I. (2014). Increasing the efficiency of boiler plants of communal heat energy by combining the heat of the exhaust-gases. *Alternative Energy and Ecology: International Scientific Journal*, 15, 126–129. [In Russian].
- Fialko, N. M., Presich, G. A., Gnedash, G. A., Shevchuk, S. I., & Dashkovska, I. L. (2018). Increase the efficiency of complex heat-recovery systems for heating and humidifying of blown air of gas-fired boilers. *Industrial Heat Engineering*, 40(3), 38–45. <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>
- Fialko, N. M., Presich, G. A., Navrodskaaya, R. A., & Gnedash, G. A. (2011). Improvement of the complex heat-recovery system of exhaust-gases of boilers for heating and humidifying blown air. *Industrial Heat Engineering*, 33(5), 88–95. [In Ukrainian].
- Jaber, H., Khaled, M., Lemenand, T., & Ramadan, M. (2016, July). Short review on heat recovery from exhaust gas. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 1758, No. 1, p. 030045). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4959441>
- Levy, E., Bilirgen, H., Jeong, K., Kessen, M., Samuelson, Ch., & Whitcombe, Ch. (2008). *Recovery of Water from Boiler Flue Gas*. United States. <https://doi.org/10.2172/952467>
- Navrodskaaya, R., Fialko, N., Gnedash, G., & Sbrodova, G. (2017). Energy-efficient heat recovery system for heating the backward heating system water and blast air of municipal boilers. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 39(4), 69–75. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.10>
- Popova, E. S., & Shempelev, A. G. (2016). Issledovanie i razrabotka sposoba utilizatsii poter teploty s ukhodiasnymi gazami vodogreynogo kotla. Energo- i resursoberezhenie. *Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovliaemye istochniki energii*, (pp. 223–226). Yekaterinburg. Retrieved from: <http://hdl.handle.net/10995/63916>. [In Russian].
- Wei, M., Zhao, X., Fu, L., & Zhang, S. (2017). Performance study and application of new coal-fired boiler flue gas heat recovery system. *Applied energy*, 188, 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.132>

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF COMPLEX HEAT-RECOVERY SYSTEMS FOR GAS-FIRED BOILER INSTALLATIONS**

The results of studies of the efficiency of use in heat-recovery technologies of gas-fired heating boilers of advanced combined heat recovery systems intended for heating water for heat supply systems and chemical water-purification and combustion air are presented. The scheme of the proposed heat-recovery system is given and its effectiveness is analyzed on the basis of the results obtained. Studies were carried out for the TVG-8 water-heating boiler at various modes of its operation according to the heat graph of the boiler house depending on the environment temperature during the heating period. The following key parameters were determined under the conditions considered for the respective heat-recovery exchangers: heat output, increase the coefficient the use heat of fuel of boiler (CUHF) and the amount of condensate formed in the system at normalized values of water consumption for recharge heating networks. According to the obtained basic indicators, a comparative analysis of the proposed heat-recovery systems and the well-known complex systems with heating only the return heat-network water and combustion air has been carried out. It has been established that the application of the proposed heat-recovery system allows the flue gases of the boiler plant to be cooled more deeply by to the installation of a cold water heater for chemical water-purification system. This increases the thermal power  $Q$  and the amount of condensate  $G_k$  in the system by  $5.2 \div 14.5\%$  and  $7.3 \div 13.7\%$ , respectively, compared to a system without a water heater for chemical water-purification system. It is shown that the improvement of the known system with an additional heat-exchanger designed for preheating cold water for chemical water-purification system (CWPS) allows, through deeper cooling of the exhaust-gases of a boiler plant, increasing its CUHF by 9.4 % maximum, which is 0.5 % more compared to lack with the absence of heating of water on the CWPS.

**Keywords:** heat-recovery technologies; complex use of recovery heat; deep cooling of exhaust-gases; fuel efficiency increase.