



Н. М. Фіалко, Р. О. Навродська, С. І. Шевчук, Г. О. Гнедаш, О. Ю. Глушак

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна

ЗМЕНШЕННЯ ВОЛОГОВІСТУ ДИМОВИХ ГАЗІВ У КОНДЕНСАЦІЙНИХ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Викладено результати розрахункових досліджень щодо тепловологісного стану відхідних димових газів газоспоживальних котельних установок під час використання сучасних теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням газів. Застосування зазначених технологій розглянуто як захід, що відповідає осушуванню димових газів внаслідок теплоутилізації завдяки зменшенню їхнього вологовмісту (абсолютної вологості), а відтак і зниженню точки роси водяної пари, що міститься в газах. Наведено дані досліджень стосовно зменшення вологовмісту димових газів у теплоутилізаційних системах котельних установок під час виробництва теплової енергії для опалення, технологічних потреб, потреб систем гарячого водопостачання тощо. Визначено рівні зменшення цього вологовмісту в теплоутилізаційному устаткуванні зазначених систем. У цьому устаткуванні, в так названих конденсаційних теплоутилізаторах, реалізується глибоке охолодження димових газів під час конденсації з них водяної пари. Встановлено залежності від режимних параметрів котлоагрегатів та теплоутилізаційного устаткування відносної величини β , яка характеризує рівень осушування димових газів у цьому устаткуванні і є відношенням абсолютної величини зменшення вологовмісту до його початкового значення. Показано, що за умов глибокої утилізації теплоти димових газів опалювальних котелень, зокрема внаслідок нагрівання зворотної води теплових мереж, абсолютна вологість газів за невисоких відносних навантажень котла може зменшуватися у 3-4 рази, що відповідає зниженню їхньої точки роси від 58-54 °С до 35 °С. Показано також, що під час використання утилізованої теплоти для технологічних потреб та гарячого водопостачання рівень зменшення абсолютної вологості димових газів істотно підвищується завдяки зниженню температури нагріваної в теплоутилізаторі води t_6 . Так, під час нагрівання холодної води з початковою температурою $t_6 < 5$ °С зневоднення димових газів є досить значним і може досягати 90 %, що відповідає зниженню точки роси газів до 22 °С.

Ключові слова: газоспоживальні котельні установки; теплоутилізаційні технології; глибоке охолодження відхідних газів; нагрівання води різних потреб; вологовміст; точка роси.

Вступ. Проблеми енергозбереження в комунальній теплоенергетиці України тісно пов'язані з проблемами антикорозійного захисту газівідвідних трактив через конденсацію утворення, яке може призводити до значного скорочення терміну експлуатації цього тракту, зокрема димових труб (Varnashov et al., 2016; Fialko et al., 2017). Сучасний стан експлуатації димових труб котелень комунальної та промислової теплоенергетики України характеризується в деяких режимах роботи котельного устаткування утворенням конденсату в димовій трубі та без застосування систем теплоутилізації.

Однак, за правильного проектування теплоутилізаційних систем, їхнє застосування може сприяти поліп-

шенню тепловологісного режиму експлуатації газівідвідних трактив. Глибоке охолодження димових газів сприятиме їхньому осушуванню, зокрема завдяки зниженню абсолютної вологості. Для запобігання конденсації утворенню в газівідвідних трактах належне охолодження газів необхідно забезпечити в утилізаційному конденсаційному теплообміннику (теплоутилізаторі), що встановлюється за котлом (Stepanova, 2016a, 2016b; Presich, 2000; Nishkevich et al., 2002; Baskakov & Illina, 2004). При цьому необхідно забезпечити такий перебіг процесу охолодження газів, щоб утворення конденсату максимально можливо і економічно виправданою мірою здійснювалось в межах утилізаційного теплообмін-

Інформація про авторів:

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

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

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

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

Глушак Оксана Юрївна, головний технолог, відділ теплофізики енергоефективних теплотехнологій. Email: navrodska-ittf@ukr.net

Цитування за ДСТУ: Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Гнедаш Г. О., Глушак О. Ю. Зменшення вологовмісту димових газів у конденсаційних теплоутилізаторах котельних установок. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 8. С. 116–119.

Citation APA: Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., Gnedash, G. O., & Glushak, O. Yu. (2019). Reduction of moisture content of exhaust gases in condensing heat-recovery exchangers of the boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(8), 116–119. <https://doi.org/10.36930/40290821>

ника. Це дасть змогу, по-перше, використати теплоту, що виділяється під час конденсації, а по-друге, поліпшити стан роботи газоходів, димососа і димаря, оскільки у цьому разі в газовідвідний тракт надійде тільки залишкова водяна пара, утворення конденсату з якої легше попередити спеціальними засобами.

Отже, застосування зазначених технологій можна розглядати як захід, що відповідає зменшенню абсолютної вологості димових газів, тобто їхньому осушуванню та зниженню точки роси t_p .

Об'єктом дослідження є теплоутилізаційні технології котельних установок з глибоким охолодженням вихідних димових газів.

Предмет дослідження – тепловологісний стан вихідних газів опалювальних котельних установок під час застосування сучасних теплоутилізаційних систем з охолодженням димових газів нижче від точки роси водяної пари, що міститься в газах.

Мета дослідження полягає у визначенні вихідних даних для створення систем запобігання конденсатоутворенню в газовідвідних трактах котельних установок під час застосування теплоутилізаційних технологій із глибоким охолодженням вихідних газів.

Завдання дослідження – визначення рівня осушування (зменшення вологовмісту) та точки роси димових газів після їх глибокого охолодження в системах теплоутилізації з конденсацією водяної пари з димових газів за різних режимів роботи котла та використання утилізованої теплоти для різних потреб.

Наукова новизна полягає у визначенні та аналізі закономірностей зміни тепловологісних характеристик димових газів у системах теплоутилізації, призначених для нагрівання води різних потреб.

Практична значущість виконаних досліджень пов'язана з можливістю істотного подовження ресурсу експлуатації газовідвідних трактів, зокрема димові труби, шляхом визначення умов для створення їх надійного захисту від корозійного зношування.

Матеріал і методи дослідження. У роботі викладено результати досліджень зазначеного осушування димових газів у котельних установках під час виробництва теплової енергії для опалення, технологічного споживання, потреб систем гарячого водопостачання тощо. При цьому відповідні розрахункові дослідження проводили згідно зі спеціалізованою методикою, розробленою у відділі теплофізики ефективних теплотехнологій Інституту технічної теплофізики НАН України.

Для визначення рівня осушування димових газів у теплоутилізаторах із конденсацією водяної пари, що міститься в цих газах, було проведено розрахункові дослідження, які полягали у встановленні залежності від режимних параметрів котлоагрегатів та теплоутилізаційного устаткування відносної величини β , яка характеризує ступінь осушування димових газів у конденсаційних теплоутилізаторах:

$$\beta = \frac{X_k - X_{ty}}{X_k} \cdot 100, \%$$

Результати дослідження. Введемо такі позначення: Q – теплопродуктивність, кВт; t – температура, °С; α – коефіцієнт надлишку повітря; Індeksi нижні: v – вода, zv – зворотна вода, k – котел, n – номінальний, nc – навколишнє середовище, p – роса.

На рис. 1,а наведено дані розрахункових досліджень щодо зміни коефіцієнта β у теплоутилізаторах, призначених для нагрівання зворотної води систем опалення, залежно від відносного теплового навантаження котла Q_k/Q_n за різних значень коефіцієнта надлишку повітря в димових газах α . На рис. 1,б проілюстровано залежність коефіцієнта β від температури навколишнього середовища t_{nc} за різних значень Q_k/Q_n .

Як видно з наведених графіків, режим роботи котла істотно впливає на ефективність зневоднення димових газів за умов використання утилізованої теплоти для нагрівання зворотної води, тобто для потреб систем опалення. За номінального навантаження котла, характерного для найхолоднішого періоду року, температура зворотної води $t_{zv} = 70$ °С і теплоутилізатор працює в "сухому" режимі без конденсації водяної пари, що міститься в димових газах. У разі підвищення температури навколишнього середовища t_{nc} , що відповідає зниженню температури води в зворотній магістралі нижче від точки роси водяної пари ($t_{zv} < 50$ °С), реалізується режим конденсації пари і завдяки цьому відбувається осушування димових газів. Переходу до конденсаційного режиму сприяє і зменшення навантаження котла за вищих t_{nc} , оскільки зменшується витрата та температура вихідних газів котла і в теплоутилізаторі відбувається глибше їх охолодження. За цих умов рівень осушування газів може бути досить значимим і досягати 75 %.

Отримані результати свідчать, що за глибокої утилізації теплоти димових газів опалювальних котелень абсолютна вологість газів у теплоутилізаторі за невисоких відносних навантажень котла може зменшуватися у 3-4 рази, що відповідає зниженню їхньої точки роси від 58-54 до 35 °С.

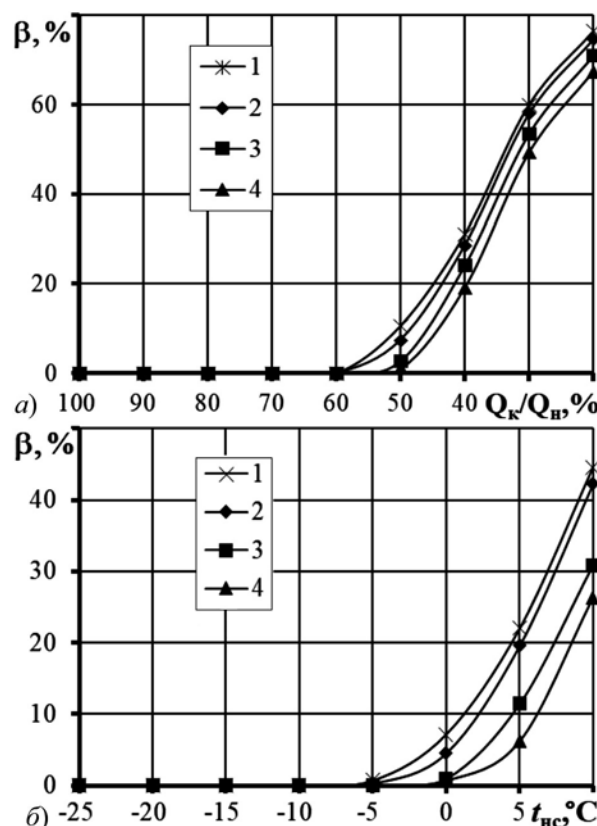


Рис. 1. Залежність коефіцієнта β за різних значень коефіцієнта надлишку повітря α від: а) відносного теплового навантаження котла Q_k/Q_n ; б) температури навколишнього середовища t_{nc} : 1 – $\alpha = 1,1$; 2 – 1,2; 3 – 1,4; 4 – 1,6

Проведено також дослідження щодо зміни точки роси димових газів залежно від значення коефіцієнта осушування β (рис. 2) за коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 1,1$.

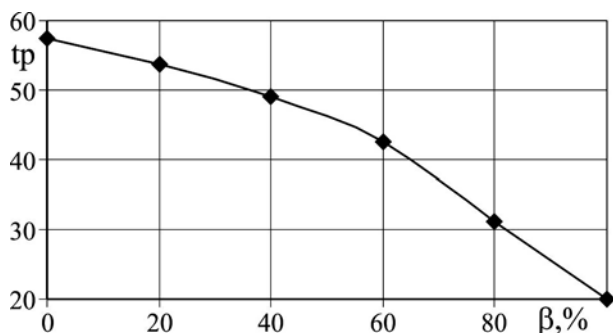


Рис. 2. Залежність точки роси t_p від коефіцієнта осушування β

Під час використання утилізованої теплоти для технологічних потреб та гарячого водопостачання рівень зменшення абсолютної вологості димових газів істотно підвищується завдяки зниженню температури нагріваної в теплоутилізаторі води t_e . На рис. 3 наведено залежність коефіцієнта β від t_e для різних відносних навантажень котла за коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 1,2$.

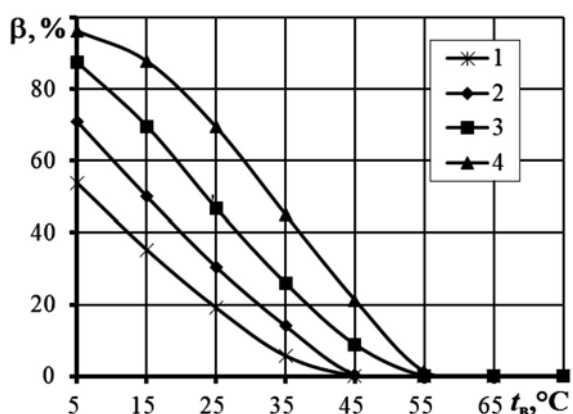


Рис. 3. Залежність коефіцієнта β від початкової температури води t_e для $\alpha = 1,2$ за різних відносних навантажень промислового котла Q_k/Q_n : 1 – $Q_k/Q_n = 100\%$; 2 – 75% ; 3 – 50% ; 4 – 25%

Аналіз отриманих результатів показує, що температура теплоносія істотно впливає на ефект газоосушування, причому тим більше, чим нижче її значення на вході в теплоутилізатор. Внаслідок нагрівання холодної води ($t_e < 5^\circ\text{C}$) зневоднення димових газів є досить значимим і може досягати 90%. При цьому вологовміст димових газів зменшується до 0,015 кг/кг с.г., що відповідає точці роси водяної пари в газах $t_p = 22^\circ\text{C}$.

Завдяки зменшенню вологовмісту димових газів внаслідок теплоутилізації в газовідвідний тракт надходить значно менше вологи. Однак зменшення абсолютної вологості не виключає конденсацію у відвідних газоходах та димовій трубі, оскільки відносна вологість димових газів становить 100%. Подальша тепловолісна обробка димових газів для відвернення випадіння конденсату в газовідвідних трактах здійснюється завдяки використанню сучасних теплових

методів і технічних заходів запобігання конденсації у цих трактах (Fialko et al., 2014, 2017).

Висновки

1. Виконано аналіз тепловолісних характеристик димових газів котельних установок після їх глибокого охолодження в теплоутилізаційному устаткуванні під час використання утилізованої теплоти для різних потреб. Визначено рівні зменшення відносного вологовмісту димових газів у цьому устаткуванні.
2. Показано, що під час використання утилізованої теплоти для нагрівання зворотної води котельні абсолютна вологість газів після теплоутилізації за невисоких відносних навантажень котла може зменшуватися у 3-4 рази, що відповідає зниженню температури їхньої точки роси від 58-54 до 35 $^\circ\text{C}$, а в разі нагрівання холодної води для потреб технології або гарячого водопостачання вологовміст газів може знижуватись на 90%, а точка роси – до 22 $^\circ\text{C}$.
3. Отримані результати досліджень будуть вихідними даними для проектування систем антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок завдяки використанню сучасних теплоутилізаційних технологій.

Перелік використаних джерел

- Baskakov, A. P., & Illina, E. V. (2004). The main factors determining the efficiency of deep cooling of combustion products in gasified boiler plants. *Promyshlennaya energetika*, 4, 46–49. [In Russian].
- Fialko, N. M., Navrodskaia, R. A., Shevchuk, S. I., Presich, G. A., & Gnedash, G. A. (2017). Heat methods of the gas-escape channels of boiler installations by heat-utilization technologies application. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 125–130. <https://doi.org/10.15421/40270625>
- Fialko, N. M., Navrodskaia, R. A., Shevchuk, S. I., Presich, G. A., Gnedash, G. A., & Glushak, O. U. (2014). Thermal methods of exhaust gas ducts protection of boiler plants with deep-cooled flue gases. (Ser. Engineering and natural science). *Modern science: investigations, ideas, results, technologies*, 2(15), 13–17. [In Russian].
- Nishkevich, V. A., Baskakov, A. P., Munts, V. A., Filipovskiy, P. F., & Galimulin, R. P. (2002). Investigation of heat and mass transfer processes in surface heat exchangers during deep cooling of wet combustion products. *Novosti teplosnabzheniia*, 8, 34–36. [In Russian].
- Presich, G. A. (2000). Ensuring reliable operation of the gas path of boiler plants with heat recovery units. *Industrial Heat Engineering*, 22(5–6), 77–81. [In Russian].
- Stepanova, A. (2016a). Analysis of the application combined heat recovery systems for water heating and blast air of the boiler unit. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 38(4), 38–46. [In Russian].
- Stepanova, A. I. (2016b). The analysis of efficiency and optimization of combined device for thermoutilizing boiler system. *Energy and Automation*, 1, 119–128. [In Russian].
- Varnashov, V. V., Kiselyov, K. A., & Grebnev, V. S. (2016). A study of operation modes of brick chimneys in operation. *Bulletin of Ivanovo State Energy University*, 1. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2016.1.018-026>
- Yefimov, A. V., Goncharenko, A. L., Goncharenko, L. V., & Yesypenko, T. A. (2017). *Modern technologies of deep cooling of fuel combustion products in boiler plants, their problems and solutions*. Kharkiv: НТУ "ХПИ", 233 p. [In Russian].

REDUCTION OF MOISTURE CONTENT OF EXHAUST GASES IN CONDENSING HEAT-RECOVERY EXCHANGERS OF THE BOILER PLANTS

The results of computational studies of the thermal and humidity characteristics of the exhaust gases of gas-fired boiler plants using modern heat recovery technologies are presented. These technologies realize deep cooling of exhaust gases, due to which the thermal efficiency of these plants is increased. However, such cooling leads to moisture loss in the gas-exhaust ducts, which impairs their operation. In this article, the use of these technologies is considered as measure that meets the draying of exhaust gases as a result of deep heat recovery. With such heat recovery, the loss of the part contained in the exhaust gases of water in a vapor state is realized. Due to the loss of water, the moisture content (absolute humidity) of the exhaust gases is reduced, and, consequently, the dew point of water vapor in the gases. The results of studies to reduce the absolute humidity of exhaust gases in the heat-recovery systems of boiler plants are presented intended for heating due to the recovered heat of water for various purposes: the return water of the boiler water for technological needs and hot water supply; as well as water for other needs. The levels of reduction of this humidity in the heat recovery equipment of these systems, called condensation heat-recovery exchangers, are determined. Dependences on the operating parameters of boilers and condensation heat exchangers of relative value β are established. The value of β characterizes the degree of draying of exhaust gases in these heat exchangers and is the ratio of the absolute values of the level of decrease in humidity in them to its initial value. It is shown that in conditions of deep recovery of exhaust gases heat of heating boiler plants, in particular when heating their return water, the absolute humidity of the gases as a result of heat recovery can decrease by 3-4 times at low relative boiler capacities. This corresponds to a decrease in the dew point of water vapor in gases from 58-54 °C to 35 °C. It is also shown that when recovery heat is used for technological needs and hot water supply, the level of decrease in the absolute humidity of exhaust gases increases significantly due to a decrease in the temperature of the water heated in the heat-recovery exchanger t_w . So when heating cold water with an initial temperature $t_w < 5$ °C, dehydration of exhaust gases is very significant and can reach 90 %, which corresponds to a decrease in their dew point to 22 °C. Due to the decrease in the absolute humidity of the exhaust gases of the boiler plants, much less moisture enters the exhaust duct, which makes easier to prevent condensation in it by known methods.

Keywords: gas-fired boiler plants; heat recovery technologies; deep cooling of exhaust gases; heating water of various needs; moisture content; dew point.