

Технічні науки

УДК 662.99:536.24

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*

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*

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*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ
СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ ЗА УМОВ ВПРОВАДЖЕННЯ
ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ENSURING ENVIRONMENTALY AND RELIABILITY OF GLASS
FURNACES AT IMPLEMENTING HEAT-RECOVERY
TECHNOLOGIES**

***Анотація.** Запропоновано для підвищення екологічної безпеки та експлуатаційної надійності димових труб газоспоживальних скловарних печей за умов впровадження теплоутилізаційних технологій застосування методу байпасування частини відхідних димових газів після регенераторів печі. Виконано розрахункові дослідження щодо ефективності цього теплового методу для покращення умов розсіювання продуктів згоряння для димових труб різного типу.*

***Ключові слова:** промислові печі, системи теплоутилізації, димові труби, шкідливі викиди, екологічна ефективність.*

***Summary.** To increase environmental safety and operational reliability of chimneys of gas-fired glass furnaces under the conditions of implementation of heat-recovery technologies to use the method of bypassing part of the waste gases after furnace regenerators is proposed. Computational research on the effectiveness of this thermal method for improving the conditions of dispersion of combustion products for different types of chimneys is performed.*

***Key words:** industrial furnaces, heat-recovery systems, chimneys, harmful emissions, environmental efficiency.*

За умов застосування для газоспоживальних промислових печей сучасних теплоутилізаційних технологій, в яких теплотою продуктів згорання здійснюється підігрівання води різного технологічного призначення [1-3] або повітря на горіння [4; 5], забезпечується суттєва економія паливно-енергетичних ресурсів. Зокрема, при застосуванні водогрійного теплоутилізаційного устаткування забезпечується підвищення коефіцієнта використання теплоти палива печі на $5 \div 15$ % [1]. Використання даного устаткування окрім заощадження природного газу забезпечує і суттєвий екологічний ефект завдяки зменшенню витрати палива та зниженню на $100 \div 300$ °C температури запічних газів, що надходять до димової труби. Однак, застосування теплоутилізаційних технологій погіршує умови розсіювання шкідливих речовин, що містяться в запічних газах, через зменшення температури і швидкості газів на виході з димової труби. Ці показники є суттєвими для реалізації процесів безпечного розсіювання викидів з димовими газами [6; 7].

У разі експлуатації димових труб котельних установок для покращення їхніх режимів роботи при застосуванні теплоутилізаційних технологій зазвичай використовуються теплові методи [8-12] відвернення конденсатоутворення в газовідвідних трактах. Завдяки цим методам, окрім антикорозійного захисту цих трактів, забезпечуються підвищення температури і швидкості димових газів на виході із димової труби.

Аналіз результатів досліджень за умов застосовування різних теплових методів свідчить, що для печей єдиним придатним методом з них є метод байпасування. Використання інших методів не є доцільним, оскільки результати досліджень режимів експлуатації димових труб розглянутих промислових печей з системами теплоутилізації вказують на відсутність охолодження запічних газів нижче точки роси водяної пари, що міститься в газах.

Для промислових печей регенеративного типу метод байпасування полягає у пропусканні частини відхідних газів від регенераторів печі повз теплоутилізаційне устаткування (рис. 1) для підвищення температури та швидкості запічних газів в димових трубах з метою покращення експлуатаційних та екологічних характеристик цих труб. Реалізація даного методу завжди повинна передбачатися при проектуванні систем теплоутилізації димових газів.

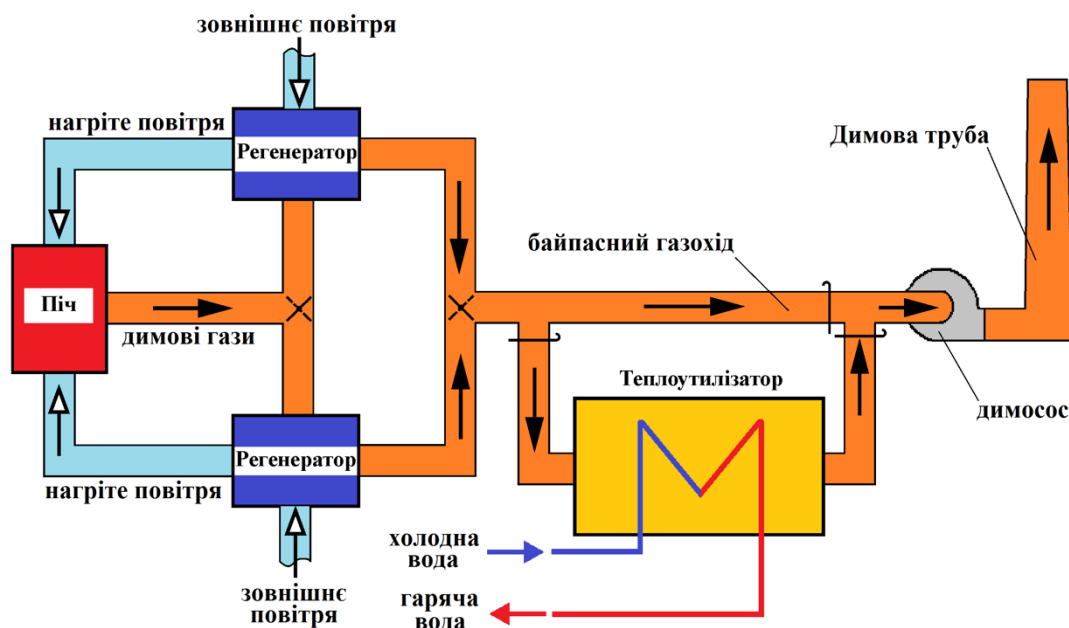


Рис. 1. Принципова схема системи теплоутилізації промислової печі регенеративного типу за умов застосування теплового методу байпасування димових газів повз теплоутилізаційне устаткування

У роботі для теплоутилізаційних систем з водогрійним устаткуванням було проведено розрахункові дослідження впливу методу байпасування гарячих газів на зміну швидкості $V_{г}^{гир}$ і температури $t_{г}^{гир}$ запічних газів в гирлі димової труби. Вихідні дані наведено у табл. 1. Дослідження виконано для цегляної, металевої та триствольної димових труб висотою 55 м та внутрішнім діаметром гирла 3,1 м.

Основні вихідні дані

Найменування показника, розмірність	Значення показника
Витрата димових газів, кг/с	12,0
Температура димових газів після регенераторі печі, °С	410 ÷ 440
Витрата води, що нагрівається, кг/с	13,9
Температура води, що нагрівається, продовж опалювального періоду при температурі навколишнього середовища від -20 до +10 °С на вході в теплоутилізатор, °С	70 ÷ 35
на виході з теплоутилізатора, °С	105 ÷ 62
Площа теплообмінної поверхні теплоутилізатора, м ²	440

Характерні результати виконаних досліджень наведено на рис. 2.

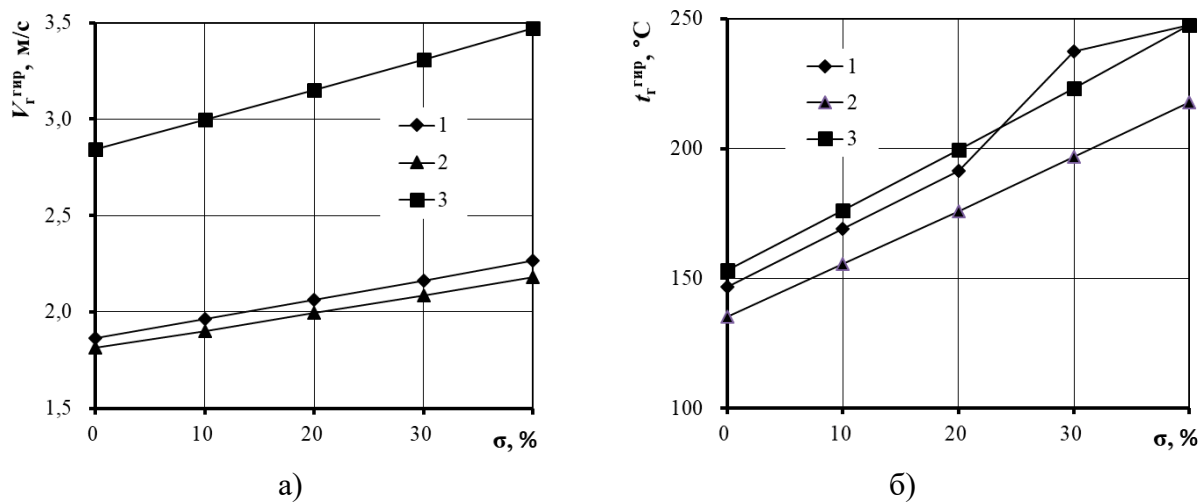


Рис. 2. Залежність від частки байпасованих газів σ швидкості $V_{г}^{грп}$ (а) і температури $t_{г}^{грп}$ (б) запічних газів в гирлі димової труби за умов експлуатації водогрійних теплоутилізаторів та температурі навколишнього середовища $t_{nc} = -20^{\circ}\text{C}$ для димових труб: 1 – цегляної; 2 – металеві; 3 – триствольної

Отримані результати досліджень свідчать, що при зростанні частки байпасованих газів σ від 0 до 40 % досягається відносне підвищення температури $t_{г}^{грп}$ у гирлі димової труби в 1,6 ÷ 1,8 разів та збільшення швидкості $V_{г}^{грп}$ в 1,2 ÷ 1,3 рази.

Через значне охолодження димових газів за умов застосування систем теплоутилізації димових газів, також розраховувались температури внутрішньої поверхні $t_{г}^{грп}$ в гирлі димової труби. Отримані дані свідчать,

що точка роси запічних газів в димовій трубі не змінювалась і становила 54 °С у разі застосування системи теплоутилізації та без неї. При чому використання теплоутилізаційних систем для усіх розглянутих труб окрім металеві не призводить до зниження температури $t_n^{\text{гип}}$ нижче точки роси запічних газів. Щодо металеві димові труби, то таке зниження мало місце і відповідало температурі навколишнього середовища нижче 0 °С. Зважаючи на вміст корозійно активних речовин [13; 14] у запічних газах – це є небезпечним з точки зору виникнення посиленої корозії металеві труби, навіть у разі використання конструкції димові труби із легованої сталі.

Також слід наголосити, що метод байпасування погіршує теплові показники застосовуваних систем теплоутилізації через зменшення обсягів максимально можливого використання скидної теплоти. Рівень даного погіршення відповідає частці байпасування гарячих запічних газів. Тому застосування даного методу може бути виправдано лише такою мірою, що забезпечує режими експлуатації димових труб, необхідні для нормативного розсіювання викидів запічних газів та довговічності роботи.

Отже, ґрунтуючись на результатах виконаних досліджень, можна зробити висновок про ефективність за умов використання теплоутилізаційних технологій за промисловими газоспоживальними печами регенеративного типу методу часткового байпасування запічних газів для покращення умов розсіювання їхніх продуктів згорання.

Література

1. Fialko N., Navrodskaia R., Sherenkovsky Ju., Stepanova A., Sarioglo A. Utilizatsiya teploty otkhodyashchikh gazov steklovarenykh pechey s ispol'zovaniyem membrannykh trub. K. : «Sophia-A», 2016. ISBN 978-966-02-7982-7.

2. Fialko N. M., Stepanova A. I., Navrodskaya R. A. Effektivnost' teploutilizatorov steklovarenykh pechey v usloviyakh zaplyennosti poverkhnostey nagreva. *Yenergetika i avtomatika*. 2016. 3. P. 28-35.
3. Fialko N., Prokopov V., Navrodska R., Shevchuk S., Stepanova A. Results of experimental studies of the heat engineering characteristics of industrial furnace water-heating heat recovery units. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2022. 44(1). P. 84-91. doi: <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2022.10>
4. Fialko N. M., Prokopov V. H., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Presich G. O. Some features of the heat recovery technologies application for gas-fired glass furnaces. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2021. 31(4). P. 109-113. doi: <https://doi.org/10.36930/40310418>
5. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O., Presich G. O. Optimization of the design characteristics of the terminal recuperator for glass melting furnaces. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2022. 14. P. 45-49. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-14-8403>
6. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O. Environmental and reliability improvement of glass furnaces with water-heating heat-recovery units. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2023. 11. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-11-8973>
7. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O. Environmental and reliability improvement of glass furnaces with air-heating heat-recovery units. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2023. 12. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-12-90043>
8. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Presich G., Gnedash G. The use of thermal methods to protect the exhaust-channels of boilers equipped with heat-recovery units. *International scientific journal "Internauka"*. 2019. 11(73). P. 14-16. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11>

9. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I. Application of an air method for protecting chimneys of boiler plants in heat recovery systems. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2020. 4(84). P. 84-87. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-4>
10. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Gnedash G. O., Sbrodova G. O. Applying the air methods to prevent condensation in gas exhaust ducts of the boiler plants. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. 28(10). P. 76-80. doi: <https://doi.org/10.15421/40281016>
11. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Presich G., Shevchuk S. Methods for protecting boiler chimneys against corrosion due to fall-out condensate from flue gases. *International scientific journal "Internauka"*. 2021. 9(109). P. 30-32. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7426>
12. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S., Novakivskii M. Effectiveness of the air method protection of gas exhaust channels of boiler plants with complex recovery of the waste gases heat. *International scientific journal "Internauka"*. 2023. 7(141). P. 46-49. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-7-8790>
12. Fialko N. M., Prokopov V. H., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Sliusar A. F. Research of the composition of exhaust gases of glass-melting furnaces. *International Scientific Journal "Internauka"*. 2021. 6. P. 49-53. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-6-7297>
13. Fialko N. M., Prokopov V. G., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Presich G. O. Analysis of the environmental efficiency of boiler chimneys in the application of heat-recovery technologies. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2020. 30(4). P. 104-108. doi: <https://doi.org/10.36930/40300418>