

Технічні науки

УДК 536.24:621.184.5

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України, завідувача відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member NAS of Ukraine, Head 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*

Степанова Алла Ісаївна

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

Stepanova Alla

*Candidate of Technical Sciences, 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

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК З
РЕЦИРКУЛЯЦІЮ ТА ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЮ ДИМОВИХ ГАЗІВ
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С
РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ И ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИЕЙ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ
IMPROVING THE RELIABILITY OF BOILER PLANTS WITH
RECIRCULATION AND HEAT RECOVERY OF EXHAUST GASES**

Анотація. Наведено результати досліджень ефективності застосування підігрівачів дуттьового повітря та охолоджених димових газів котельних установок, призначених для запобігання конденсатоутворенню в їх повітропідвідних та газовідвідних трактах. Розглядалися газо- та водогрійні підігрівачі різного типу, що слугували для підсушування сумішей: а) – димових газів; б) – дуттьового повітря і газів рециркуляції. Виконано ранжування досліджуваних підігрівачів за металоємністю та компактністю їхніх теплообмінних поверхонь.

Ключові слова: теплоутилізація, рециркуляція, запобігання конденсатоутворенню, ефективність.

Аннотация. Приведены результаты исследований эффективности применения подогревателей дутьевого воздуха и охлажденных дымовых газов котельных установок, предназначенных для предотвращения конденсатообразования в их воздухоподводящих и газоотводящих трактах. Рассматривались газо- и водогрейные подогреватели разного

типа, предназначенные для подсушивания смесей: а) – дымовых газов; б) – дутьевого воздуха и газов рециркуляции. Выполнено ранжирование исследуемых подогревателей по металлоемкости и компактности теплообменных поверхностей.

Ключевые слова: теплоутилизация, рециркуляция, предотвращение конденсатообразования, эффективность.

Summary. The efficiency studies result of blown air and cooled exhaust gases heaters of boiler plants, designed to prevent condensate formation in their air and gas exhaust ducts are presented. Gas-heating and water-heating heaters of different types were considered, designed for drying mixtures of: a) exhaust gases and b) blown air and recirculation gases. The ranking of the studied heaters by metal capacity and compactness of heat-exchange surfaces is performed.

Key words: heat recovery, recirculation, prevention of condensation, efficiency.

Сучасні тенденції щодо використання паливоспоживальних котельних установок пов'язані великою мірою із заощадженням в них палива шляхом створення нових ефективних теплоутилізаційних технологій та зниженням в навколишнє середовище токсичних викидів з відхідними газами, і зокрема викидів оксидів азоту.

Серед шляхів зниження емісії оксидів азоту є застосування технологій рециркуляції димових газів, які забезпечують зменшення цієї емісії до 60% [1–2], а за деякими даними і до 90% [3]. Дана технологія апробована на великих котлах і реалізується шляхом додавання гарячих димових газів, відібраних перед повітропідігрівачем котла, у дутьове повітря. Застосування рециркуляції димових газів для котельних установок малої та середньої потужності, які не оснащені повітропідігрівачами, має

певні особливості. Однією з них є необхідність підігрівання дуттьового повітря перед змішуванням з газами рециркуляції для запобігання конденсатоутворенню в повітроводах, яке має місце [4] без застосування цього спеціального заходу. За умов використання в котельних установках систем теплоутилізації необхідно також застосовувати заходи щодо відвернення випадення конденсату у відповідних газоходах та димовій трубі.

Для запобігання конденсатоутворенню у газовідвідному тракті може бути застосований відомий метод підсушування охолоджених газів у теплообміннику-газопідігрівачі (рис.1) [5–8]. Реалізація методу полягає у нагріванні цих газів у поверхневому теплообміннику, встановленому за теплоутилізатором. Застосування газопідігрівача слугує для підвищення температури охолоджених газів на величину Δt і в такий спосіб зниження перед надходженням до димової труби їхнього відносного вологовмісту.

Для підсушування сумішей дуттьового повітря і газів рециркуляції з метою запобігання конденсатоутворенню в повітроводах також можуть застосовуватись теплообмінники-повітронагрівачі.

В даній роботі викладено результати досліджень, присвячених оцінюванню ефективності різних підігрівачів для реалізації методу підсушування розглянутих газових сумішей (димових газів та повітря і газів рециркуляції). Розглядалися водо- та газогрійні підігрівачі. У водогрійних (водо-газових) підігрівачах підігрівання сумішей на величину Δt здійснюється прямою водою котла. У газогрійних (газо-газових) підігрівачах грійним теплоносієм слугують димові гази.

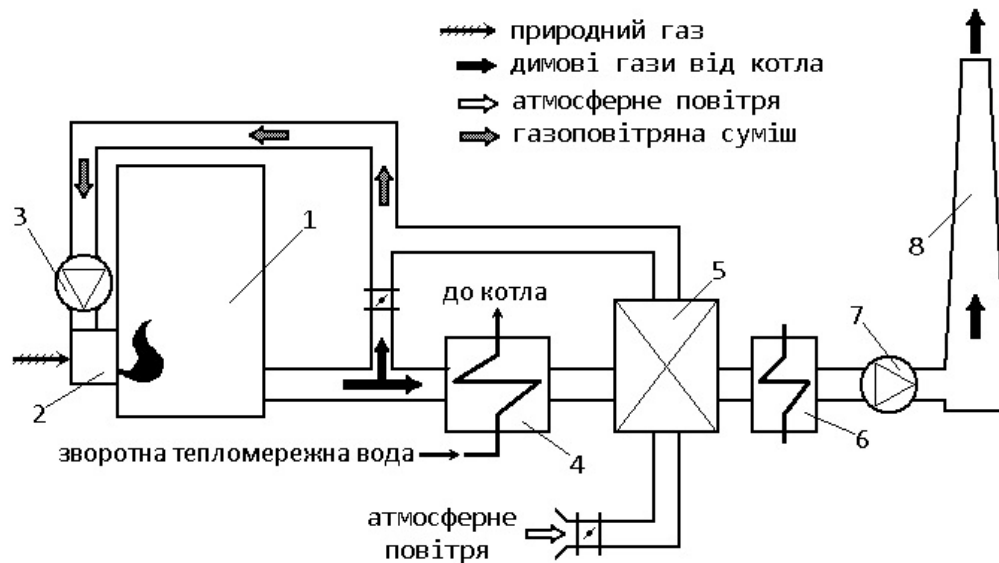


Рис. 1. Принципова схема котельної установки з системою рециркуляції та комбінованим використанням утилізованої теплоти для нагрівання зворотної тепломережної води та дуттьового повітря:

1 – котел; 2 – паливник; 3 – дуттьовий вентилятор; 4 – водонагрівач; 5 – повітропідігрівач; 6 – газопідігрівач; 7 – димосос; 8 – димова труба

У разі водо-газових підігрівачів досліджувались їхні характеристики при компонуванні теплообмінних поверхонь (рис. 2) із пучків поперечно-оріблених труб з легованої сталі та біметалевих труб (стальна основа – оріблення з алюмінію).

Щодо газо-газових підігрівачів, то тут розглядалися ситуації (рис. 3), коли робочими поверхнями слугували пакети сталевих пластин та пучки труб з кільцевими турбулізаторами потоку на їхніх внутрішніх поверхнях. Вказані турбулізатори забезпечують переважне збільшення інтенсивності тепловіддачі над ростом аеродинамічного опору. При цьому підвищення коефіцієнта тепловіддачі всередині труб у порівнянні з відповідними гладкотрубними конструкціями становило 1,8–2,1 рази.

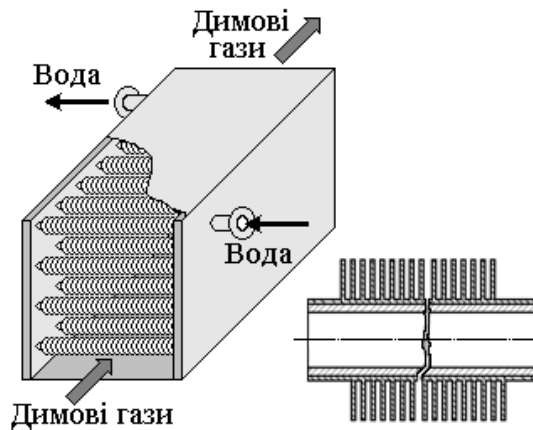


Рис. 2. Водо-газовий підігрівач з біметалевих оребрених труб (сталевна основа, оребрення з алюмінію).

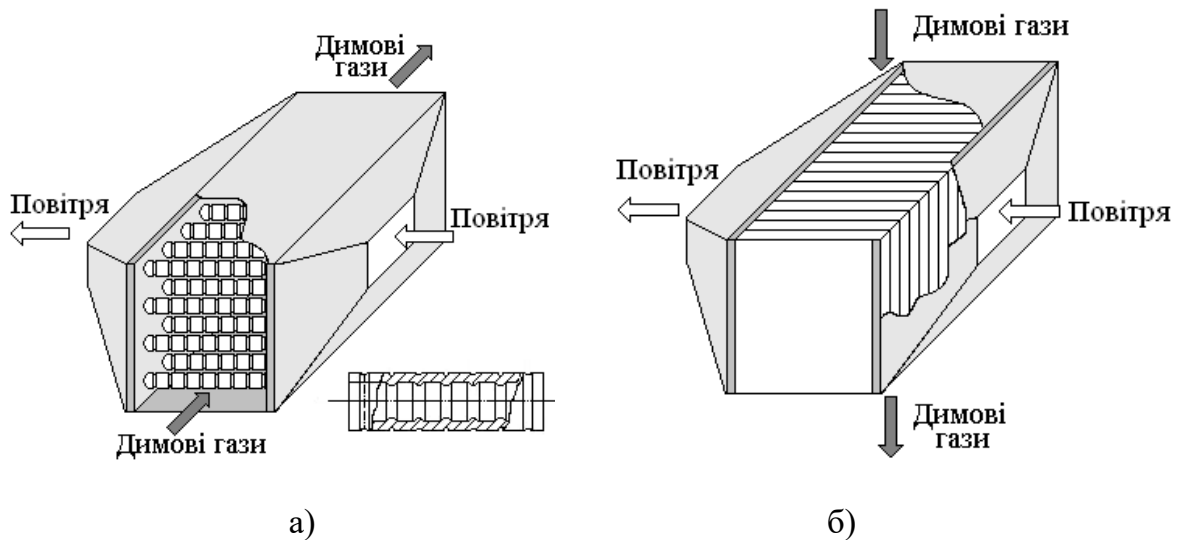


Рис. 3. Газо-газові підігрівачі трубного (а) та пластинчастого (б) типів

Пластинчасті газо-газові підігрівачі досить ефективно можна застосовувати в котельнях невеликої потужності. Вони є значно компактнішими, проте, за технологічними параметрами при великих розмірах пластин поступаються кожухотрубним газо-газовим теплообмінникам аналогічного призначення.

Виконано порівняльний аналіз варіантів конструкції розглянутого підігрівача за такими показниками, як питома металоємність m та компактність ν його теплообмінних поверхонь

$$m = M/Q, \nu = V/Q.$$

Рисунок 4 ілюструє результати зіставлення питомої металоємності m та компактності ν для зазначених водо-газових і газо-газових підігрівачів.

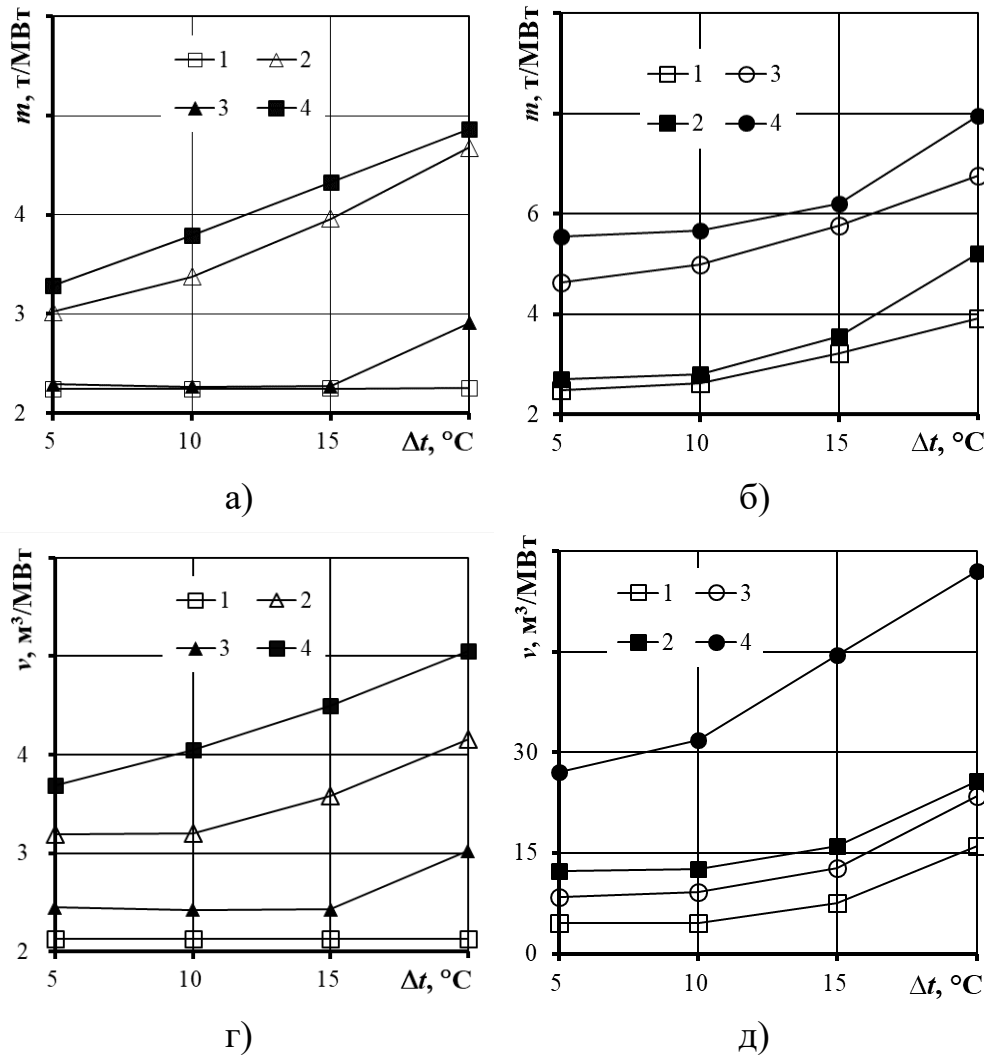


Рис. 4. Залежність питомої металоємності m (а, б) і компактності v (г, д) теплообмінної поверхні підігрівачів від величини Δt при різних початкових температурах грійного теплоносія:

а, г) – водо-газові підігрівачі з поперечно оребреними трубами (грійний теплоносій – вода): біметалеві труби (1, 2), труби з легованої сталі (3, 4); 1, 3 – $t_{\text{в}} = 115^{\circ}\text{C}$; 2, 4 – 95°C ;
 б, д) – газо-газові підігрівачі (грійний теплоносій – димові гази): пластинчасті поверхні (1, 2), труби з кільцевими турбулізаторами потоку (3, 4); 1, 3 – $t_{\text{г}} = 350^{\circ}\text{C}$; 2, 4 – 200°C

Згідно з одержаними даними, в розглянутих умовах для водо-газових підігрівачів поверхні з біметалевих труб мають суттєві переваги над поверхнями з легованої сталі за всіма вказаними показниками, а саме, їхня питома металоємність m є меншою в 1,1–1,3 рази, а компактність v – у 1,1–1,4. Стосовно газо-газових підігрівачів, то отримані результати свідчать, що пластинчасті теплообмінні поверхні в даній ситуації характеризуються

більшою ефективністю за вказаними питомими показниками, ніж трубні пучки з турбулізаторами потоку на внутрішній поверхні труб. Так m та ν для пластинчастих підігрівачів менші в 1,1–1,3 та 2,1–3,5 рази відповідно. Хоча слід зазначити, що є певні застереження відносно технологічності виготовлення і експлуатації підігрівачів пластинчастого типу при їх порівняно великій теплопродуктивності.

Література

1. Сигал И.Я., Дубоший А.Н., Сигал А.И., Смихула А.В. Повышение эффективности влияния рециркуляции на снижение выбросов оксидов азота котлами электростанций. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2010. №1. С. 48–52.
2. Михайленко В.С., Щербінін В.А., Лещенко В.В., Харченко Р.Ю., Ложечнікова Н.В. Моделювання процесу утворення шкідливих викидів у вихідних газах суднових парових котлів. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2020. Т.10, №3–4. С. 154–166. doi: 10.15276/imms.v10.no 3-4.154
3. Глущенко О. Л., Богданович Д. В. Дослідження роботи промислових котельних агрегатів з метою розробки заходів щодо зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище. *Academic Research and Innovation: Conference Proceedings of the 1st International Conference, January 13-15, 2021. Dallas, USA*. С. 9–17.
4. Евсеев Г.А., Евсеев А.Г., Капичников А.А., Ткач В.А. Система рециркуляции дымовых газов водогрейных теплофикационных котлов ПТВМ-50. URL: <http://www.rnkt.ru/year/2006/lib/1-249.pdf>
5. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. Comparative analysis of the exergy efficiency of methods for protecting gas exhaust ducts of boiler plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021.

No 3/8 (111). P. 42–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234026>

6. 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. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11>
7. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Пресіч Г.О., Гнедаш Г.О. Теплові методи захисту газовідвідних трактів котельних установок підчас застосування теплоутилізаційних технологій. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів. 2017. Т. 27, № 6. С. 125–130.
8. Комбіновані теплоутилізаційні системи для газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики : монографія / Н.М. Фіалко та ін. : Київ : «Про формат». 2019. 192 с.

References

1. Sigal I.Ya., Duboshiy A.N., Sigal O.I., Smikhula A.V. The Efficiency Increase of Smoked Gases Recirculation Influence on Nitrogen Oxides Emission from Power Plant Boilers Reduction. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2010. No1. P. 48–52.
2. Mikhailenko V.S., Shcherbinin V.A., Leshchenko V.V., Kharchenk R.Yu., Lozhechnikova N.V. Modeling the process of hazardous emissions formation in the exhaust gases of ship's steam boilers. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation* Vol. 10 (2020), No. 3-4, pp. 154–166. doi: [10.15276/imms.v10.no3-4.154](https://doi.org/10.15276/imms.v10.no3-4.154)
3. Glushchenko O. L., Bohdanobich D. V. Study of industrial boiler units operation in order to develop measures to reduce harmful emissions into the environment. *Academic Research and Innovation: Conference Proceedings of the 1st International Conference*, January 13-15, 2021. Dallas, USA. P. 9–17.

4. Yevseev G.A., Yevseev A.G., Kapichnikov A.A., Tkach V.A. Sistema retsirkulatsii dymovykh gazov vodogreynykh teplofikatsionnykh kptlov PTBM-50 [Flue gas recirculation system of water heating boilers SHWM-50]. URL: <http://www.rnkt.ru/year/2006/lib/1-249.pdf>
5. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. Comparative analysis of the exergy efficiency of methods for protecting gas exhaust ducts of boiler plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*. 2021. No 3/8 (111). P. 42–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234026>
6. 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. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11>
7. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Presich G., Gnedash G. Heat methods of the gas-escape channels of boiler installations by heat-utilization technologies application. *Scientific Bulletin of UNFU*, 2017, vol. 27, no 6. P. 125–130. doi: <https://doi.org/10.15421/40270625>
8. Fialko N., Navrodska R., Presich G., Gnedash G., Shevchuk S., Stepanova A. 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". 2019. 192 p.