

Технічні науки

УДК 621.036.7

**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 the NAS of Ukraine, Head of Department  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Степанова Алла Ісаївна**

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

**Stepanova Alla**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher  
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 (PhD), Senior Scientific Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Меранова Наталія Олегівна**

*кандидат технічних наук,*

*старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник*

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Meranova Nataliia**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),*

*Senior Scientific Researcher, Leading Researcher*

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ЕКСЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ БАЙПАСУВАННЯ  
ДЛЯ ЗАХИСТУ ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ КОТЕЛЬНИХ  
УСТАНОВОК**

**EXERGETIC INVESTIGATIONS OF THE BYPASSING METHOD FOR  
THE PROTECTION OF GAS EXHAUST PATHS OF BOILER PLANTS**

*Анотація.* Наводяться результати дослідження ексергетичної ефективності методу байпасування димових газів, який забезпечує запобігання конденсації у газовідвідних трактах котельних установок. Розглядається структурна схема теплоутилізаційної системи з байпасуванням газів та відповідне балансове ексергетичне рівняння. Дослідження проведено із застосуванням комплексної методики, що включає структурно - варіантний та інтегральний балансовий методи ексергетичного аналізу. За результатами дослідження встановлено, що

при збільшенні кількості байпасованих димових газів втрати ексергії зменшуються, а величини тепло-ексергетичного критерія зростають внаслідок зменшення теплопродуктивності теплоутилізаційної установки.

**Ключові слова:** газовідвідні тракти, метод байпасування, методи ексергетичного аналізу, ексергетичні втрати.

**Summary.** The results of a study of the exergy efficiency of the method of flue gas bypassing, which ensures the prevention of condensate formation in the gas exhaust ducts of boiler plants, are presented. The block diagram of a heat recovery system with gas bypassing and the corresponding balance exergy equation are considered. The study was carried out using a complex methodology, including structural-variant and integral balance methods of exergy analysis. According to the results of the study, it was found that with an increase in the amount of bypassed flue gases, exergy losses decrease, and the values of the heat exergy criterion increase due to a decrease in the heat output of the heat recovery plant.

**Key words:** exhaust ducts, bypass method, exergy analysis methods, exergy losses.

**Вступ.** Підвищення ефективності та збільшення довговічності обладнання теплоутилізаційних систем енергетичних установок є важливим завданням при вирішенні проблеми раціонального використання енергоресурсів в Україні. Складні умови експлуатації газовідвідних трактів котельних установок спричиняють необхідність розробки ефективних теплових методів їх антикорозійного захисту. Отже дослідження в цьому напрямі є актуальними.

**Постановка задачі та метод досліджень.** Зважаючи на те, що в останні роки у світовій практиці при аналізі ефективності та оптимізації енергетичних установок все більш широко використовуються методи ексергетичного аналізу, їх застосування при дослідженні ефективності

теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок можна вважати важливим та актуальним [1–9]. В роботі проведено дослідження ексергетичної ефективності теплового методу байпасування газів, який забезпечує запобігання конденсації у газовідвідних трактах внаслідок підвищення температури суміші відхідних газів.

**Мета роботи та завдання досліджень.** Метою роботи є встановлення закономірностей зміни ексергетичних характеристик від параметрів теплоутилізаційної системи з байпасуванням газів і оцінка її ефективності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести вибір комплексної методики для дослідження ексергетичних характеристик теплоутилізаційної системи з байпасуванням газів;
- встановити закономірності зміни ексергетичних характеристик від параметрів теплоутилізаційної системи;
- визначити області зміни теплопродуктивності теплоутилізаційної системи та кількості байпасованих димових газів, які відповідають мінімальним втратам ексергії і найменшим значенням тепло-ексергетичного критерію.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Із застосуванням комплексної методики, яка включає структурно-варіантний та інтегральний балансовий методи ексергетичного аналізу розроблено структурну схему теплоутилізаційної системи з байпасуванням газів (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема котельної установки з теплоутилізатором при застосуванні методу байпасування димових газів для захисту газовідвідних трактів

Складено ексергетичне балансове рівняння для розрахунку ексергетичних характеристик, які є критеріями оцінки ефективності теплоутилізаційної системи.

$$E_{\text{вт}} = G^2 (1 - K / 100) \left[ c_p^2 (T_{\text{ex}}^2 - T_{\text{вих}}^2) - T_c \left( c_p^2 \ln \frac{T_{\text{ex}}^2}{T_{\text{вих}}^2} - \frac{R}{\mu^2} \ln \frac{p_{\text{ex}}^2}{p_{\text{вих}}^2} \right) \right] - G^6 (h_{\text{ex}}^6 - T_c s_{\text{ex}}^6) + G^6 (h_{\text{вих}}^6 - T_c s_{\text{вих}}^6)$$

Встановлено залежності ексергетичних втрат та тепло-ексергетичного критерія ефективності від параметрів теплоутилізаційної системи з байпасуванням газів (рис. 2).

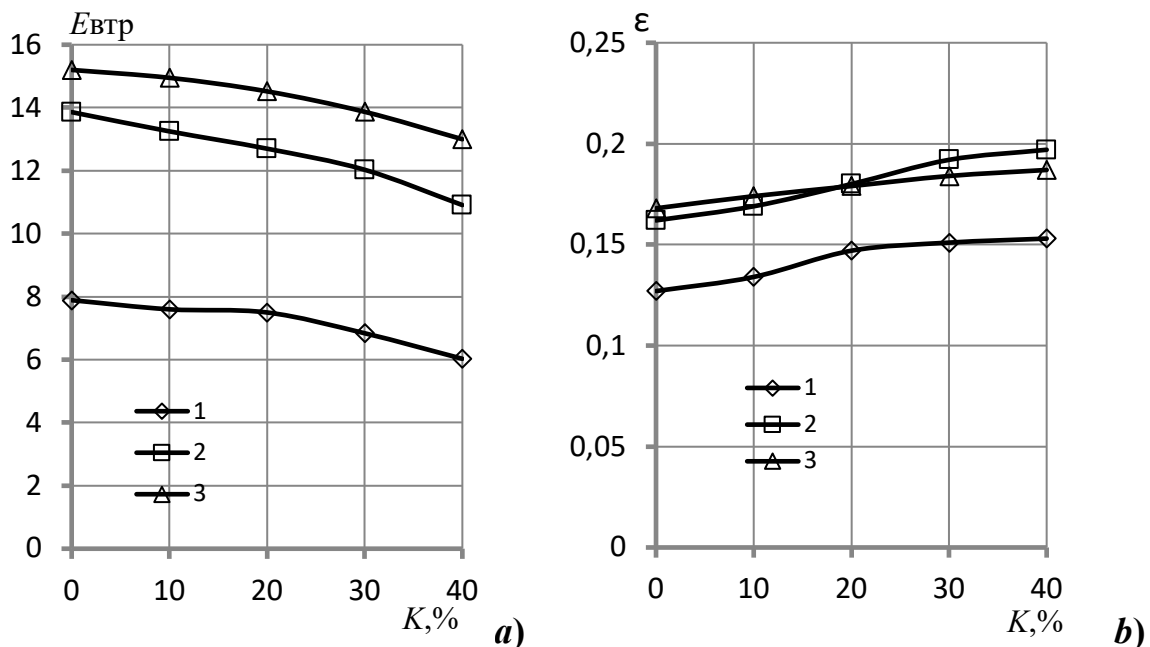


Рис. 2. Залежність ексергетичних втрат  $E_{\text{вт}}$  та тепло-ексергетичного критерія ефективності  $\epsilon$  від кількості байпасованих димових газів  $K$  для методу байпасування:

1 –  $Q = 62,3\text{--}39,5\text{кВт}$ ; 2 –  $85,5\text{--}55,4\text{кВт}$ ; 3 –  $90,7\text{--}69,5\text{кВт}$

При зменшенні теплового навантаження теплоутилізаційної системи спостерігається загальна тенденція збільшення ексергетичних втрат внаслідок зниження температури газів, що відходять з котла, збільшення витрати газів, а також зниження температури води, що нагрівається в теплоутилізаторі. При реалізації методу байпасування для трьох

розглянутих областей зміни теплопродуктивності теплоутилізатора при збільшенні кількості байпасованих димових газів втрати ексергії зменшуються. Найбільші втрати ексергії відповідають області зміни теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q = 90,7-69,5\text{кВт}$ , найменші –  $Q = 62,3-39,5\text{кВт}$ . Однак величини тепло-ексергетичного критерію при збільшенні кількості байпасованих димових газів дещо збільшуються внаслідок зменшення теплопродуктивності теплоутилізатора.

Для теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q = 85,5-55,4\text{кВт}$  і  $Q = 90,7-69,5\text{кВт}$  кінцевий вологовміст димових газів більш суттєво впливає на величину зміни ексергії димових газів. В результаті цього втрати ексергії підвищуються в порівнянні з їх значеннями при теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q = 62,3-39,5\text{кВт}$ . При теплопродуктивності  $Q = 62,3-39,5\text{кВт}$  втрати ексергії і значення тепло-ексергетичного критерію мають найменші значення, тобто ексергетична ефективність системи при реалізації методу байпасування в цьому випадку найбільш висока.

### **Висновки**

1. Для дослідження ексергетичних характеристик теплоутилізаційної системи з байпасуванням димових газів застосовано комплексну методику, яка поєднує структурно-варіантні методи з інтегральними балансовими методами ексергетичного аналізу.
2. Встановлено, що при збільшенні кількості байпасованих димових газів втрати ексергії в теплоутилізаційній системі зменшуються, а величини тепло-ексергетичного критерія дещо збільшується внаслідок зменшення теплопродуктивності системи.
3. Встановлено, що при теплопродуктивності  $Q = 62,3-39,5\text{кВт}$  втрати ексергії і значення тепло-ексергетичного критерію мають найменші значення, тобто ексергетична ефективність системи при реалізації методу байпасування в цьому випадку найбільш висока.

### Умовні позначення

$c_p$  – питома теплоємність;  $E_{em}$  – ексергетичні втрати;  $G$  – витрати теплоносія;  $h$  – питома ентальпія;  $K$  – кількість байпасованих газів;  $p$  – тиск;  $Q$  – теплопродуктивність;  $s$  – питома ентропія;  $T$  – абсолютна температура;  $\mu$  – молекулярна маса. **Індекси верхні:**  $z, v$  – димові гази, вода. **Індекси нижні:**  $vx, vix$  – вхід, вихід;  $c$  – навколишнє середовище.

### Література

1. Dorosz P., Wojcieszak P., Malecha Z. Exergetic Analysis, Optimization and Comparison of LNG Cold Exergy Recovery Systems for Transportation, Entropy. 2018. 20(1). 59 p. doi: 10.3390/e20010059.
2. Mitrović D., Zivkovic D. & Laković M. S. Energy and Exergy Analysis of a 348.5 MW Steam Power Plant Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2010. V. 32. P. 1016-1027. doi: <https://doi.org/10.1080/15567030903097012>.
3. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., С.І. Шевчук, Пресич Г.О., Гнедаш Г.О. Теплові методи захисту газовідвідних трактів котельних установок під час застосування теплоутилізаційних технологій. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. 27(6). С. 125-130. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270625>
4. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. №6/8 (96). P. 43-48. doi: 10.15587/1729-4061.2018.147526.
5. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods. International scientific journal "Internauka". 2019. №15(1). P. 61-63.
6. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Presich G. Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler

- operating modes. "International scientific journal "Internauka". 2019. №12(74). P. 30-33.
7. Stepanova A. Analiz rabotosposobnosti ustanovki s kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemoy dlia podogreva vody i dutevogo vozdukha kotloagregata [Analysis of the application combined heat recovery systems for water heating and blast air of the boiler unit]. Industrial Heat Engineering. 2016. №38(4). P. 38-46. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.
  8. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. Comparative analysis of exergetic efficiency of methods of protection of gas exhaust tracks of boiler installations. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. №3/8 (111). P. 42-49. doi: 1015587/1729.4061.2021/234026. ISSN 1729-3774 4061.2021/234026.
  9. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. (2021). Complex methods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system. Scientific and innovation. 2021. №17(4). P.11-18. doi.org/10.15407/scine17.04.011; ISSN 1815-2066.