

**АНАЛІЗ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ
СИСТЕМАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ
БАЙПАСУВАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДИМОВИХ ТРУБ**

Н. М. Фіалко, доктор технічних наук, професор, член-кор. НАНУ

А. І. Степанова, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник

Р. О. Навродська, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник

С. І. Шевчук, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

E-mail: nmfialko@ukr.net

Анотація. *Наведено результати аналізу ексергетичних втрат у теплоутилізаційних системах котельних установок при реалізації одного з теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів - методу байпасування. Розглянуто газоспоживаючі котельні установки з теплоутилізаційною системою для нагрівання тепломережної води. Обґрунтовано вибір комплексної методики для аналізу ексергетичних втрат в теплоутилізаційній системі з байпасуванням газів. Методика включає структурно-варіантні і інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу та є ефективною завдяки незначній кількості параметрів, необхідних для розрахунку, простоті розрахунково-аналітичних методів для отримання ексергетичних характеристик і високій точності отриманих результатів. Наведено принципову і структурну схеми теплоутилізаційної системи при реалізації методу байпасування. У структурній схемі ідентифіковано вхідні і вихідні ексергетичні потоки між окремими елементами теплоутилізаційної системи. Відповідно до структурної схеми складено ексергетичне балансове рівняння, на основі якого визначено ексергетичні втрати і тепло-ексергетичний критерій ефективності. Наведено ексергетичні характеристики теплоутилізаційної системи при підвищенні кількості байпасованих газів і різних значеннях теплового навантаження теплоутилізаційної системи. Показано, що характер і ступінь впливу зазначених параметрів залежить від вказаного навантаження. Встановлено, що збільшення кількості байпасованих газів при всіх значеннях теплового навантаження теплоутилізаційної системи призводить до зменшення втрат ексергії і тепло-ексергетичного критерію. Визначено значення теплового навантаження теплоутилізаційної системи, при якій її ексергетична ефективність за реалізації методу байпасування є найбільш високою.*

Ключові слова: *газовідвідні тракти; ексергетична ефективність, метод байпасування; котельні установки, теплоутилізаційна система*

Актуальність. Одним з напрямів енергозбереження та охорони навколишнього середовища є підвищення ефективності використання палива шляхом утилізації теплоти відхідних газів котельних установок. Широке впровадження ефективних теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням димових газів для цих установок стримується через проблеми експлуатації газовідвідних трактів. При використанні таких технологій відбувається зволоження внутрішньої поверхні газовідвідних каналів, що призводить до їх руйнування. При проектуванні котелень і теплоутилізаційних установок приділяється значна увага забезпеченню довговічності газовідвідних трактів. Один із способів підвищення ресурсу їх експлуатації пов'язаний із використанням теплових методів антикорозійного захисту. Однак, їх застосування обмежено відсутністю сучасних комплексних методик дослідження теплоутилізаційних систем із застосуванням вказаних методів, зокрема, методик на основі ексергетичного підходу. Тому вирішення проблеми підвищення ефективності застосування теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактах із застосуванням сучасних методів дослідження є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останні роки в світовій практиці дослідження ефективності та оптимізації енергетичних установок різного типу все частіше проводяться із використанням методів ексергетичного аналізу [1–6]. У роботі [1] зазначено, що ексергетичний аналіз дозволяє виявити всі аспекти, які впливають на ефективність систем різного типу, і запропонувати для досліджуваної системи максимальну кількість можливих удосконалень. У роботі [2] для аналізу ефективності котельні використано балансовий метод ексергетичного аналізу, за допомогою якого розглядаються два основних види ексергетичних втрат, які пов'язані з незворотнім спалюванням палива і теплопереносом. Метою роботи [3] є виконання ексергетичного і ексергоекономічного аналізу для елементів енергетичних установок, ефективність яких оцінюється при різних температурах навколишнього середовища. У роботі [4] наводяться результати енергетичних і ексергетичних досліджень окремих компонентів атомної електростанції, що мають високі втрати ексергії. Роботу [5] присвячено детальному ексергетичному аналізу всіх елементів високотемпературної електростанції з комбінованим циклом. Система розглядається з ексергетичної точки зору на основі ексергоекономічної

моделі. Основною метою роботи [6] є аналіз окремих компонентів електростанції і виявлення елементів, які мають найбільші втрати енергії і ексергії. У вказаних роботах, як і в більшості робіт за цією тематикою, для дослідження ефективності та оптимізації енергетичних установок застосовується найчастіше тільки ексергетичний ККД. Такий підхід не дозволяє повністю оцінити термодинамічну досконалість системи і часто не відображає деяких важливих моментів досліджуваних процесів. У разі використання комплексних методик на основі ексергетичного підходу результативність застосування технологій утилізації теплоти енергетичних установок різного типу значно підвищується. Дослідженням у цій галузі присвячено роботи [7–15]. У роботах [7-13] наводяться результати досліджень теплоутилізаційних установок різного ступеню складності та їх окремих елементів на основі ексергетичного підходу. Наводяться розроблені комплексні методики, в яких поєднуються ексергетичний і структурно-варіантний методи, ексергетичний метод і метод багаторівневої оптимізації тощо. Нові дослідження в цій області сприяють створенню високоекономічного теплоутилізаційного обладнання і значно розширюють можливості застосування методів ексергетичного аналізу в різних областях знань. Такі дослідження можуть бути пов'язані з аналізом ексергетичної ефективності теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок. У роботі [14] наводяться результати досліджень теплових методів захисту газовідвідних трактів котельних установок, які спрямовано на запобігання в них конденсатоутворення. У роботі [15] наводяться результати комплексних досліджень на основі ексергетичного підходу теплоутилізаційних систем при застосуванні теплових методів захисту газоподавальних трактів. Однак залишаються не дослідженими багато питань, пов'язаних з вищевказаними тепловими методами захисту. Аналіз літературних джерел свідчить про необхідність проведення відповідних досліджень для підвищення ексергетичної ефективності енергоустановок.

Мета дослідження – аналіз ексергетичних втрат в теплоутилізаційній системі, в якій реалізовано один з теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок - метод байпасування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити структурну схему для основних елементів теплоутилізаційної системи та скласти ексергетичне балансове рівняння для визначення ексергетичних характеристик;
- визначити ексергетичні характеристики, необхідні для аналізу ексергетичних втрат при реалізації методу байпасування;
- встановити кількість байпасованих димових газів та області зміни теплового навантаження теплоутилізаційної системи, які відповідають найменшим втратам ексергії і значенням тепло-ексергетичного критерію.

Матеріали і методи дослідження. Сутність методу байпасування полягає в пропущенні частини димових газів котла повз теплоутилізатор. Метод байпасування спрямований на зниження відносної вологості суміші відхідних газів шляхом підвищення їх температури.

Розглядалися газоспоживальні котельні установки з котлом теплопродуктивністю 2 МВт і теплоутилізаторами для нагрівання тепломережної води. У теплоутилізаційній системі реалізовано метод байпасування. Режим роботи котла відповідали графіку теплової мережі котельної з температурним перепадом $t = 115 - 70^{\circ} \text{C}$. При зниженні теплового навантаження котельні нижче 50 % зменшувалася кількість робочих котлів при відповідному збільшенні їх теплової потужності. Максимальна температура димових газів на вході в теплоутилізатор становить $t=160,0^{\circ} \text{C}$ при тепловій потужності теплоутилізаційної системи $Q = 85,6 - 55,4 \text{ кВт}$. Мінімальна температура – $t = 147,0^{\circ} \text{C}$ – при тепловій потужності $Q = 90,7 - 69,5 \text{ кВт}$. Температура води на вході в теплоутилізатор становить $t = 60,0^{\circ} \text{C}$.

Для визначення ексергетичних втрат в теплоутилізаційних системах котельних установок при реалізації методу байпасування використано комплексну методику, яку засновано на ексергетичному підході. Методика включає вибір ексергетичних характеристик для оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем, структурно-варіантні методи і інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу. Методики, що використовують інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу, дозволяють визначати ексергетичні, теплотехнічні та технологічні характеристики, що входять до критеріїв оцінки ефективності теплоутилізаційних систем. Методики є ефективними завдяки незначній кількості параметрів,

необхідних для розрахунку, простоті розрахунково-аналітичних методів для отримання ексергетичних характеристик і високій точності отриманих результатів (похибка не перевищує в середньому 0,4 %).

Результати досліджень та їх обговорення.

Розробка структурної схеми основних елементів теплоутилізаційної системи та ексергетичного балансового рівняння для визначення ексергетичних характеристик

Для оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційної системи при частковому байпасуванні димових газів котла повз теплоутилізатор використано такі критерії оцінки ефективності: ексергетичні втрати E і тепло-ексергетичний критерій ефективності ε . На рис.1, а наведено принципову схему котельної установки при частковому байпасуванні димових газів котла повз теплоутилізатор. На основі принципової схеми котельної установки розроблено структурну схему для основних елементів теплоутилізаційної системи, в якій реалізовано зазначений метод байпасування. (рис.1, б). У структурній схемі ідентифіковано входні і вихідні ексергетичні потоки між елементами структури.

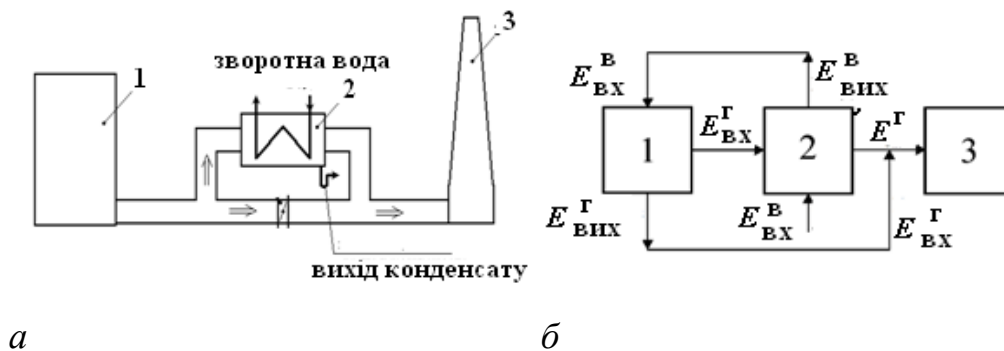


Рис. 1. Принципова (а) та структурна (б) схеми основних елементів котельної установки при частковому байпасуванні димових газів:

1 - котел; 2 - водогрійний теплоутилізатор; 3 - димова труба

На основі структурної схеми складено ексергетичне балансове рівняння для розрахунку ексергетичних характеристик.

$$E_{вт} = G^z (1 - K / 100) \left[c_p^z (T_{гх}^z - T_{гвх}^z) - T_c \left(c_p^z \ln \frac{T_{гх}^z}{T_{гвх}^z} - \frac{R}{\mu^z} \ln \frac{p_{гх}^z}{p_{гвх}^z} \right) \right] - G^e (h_{гх}^e - T_c s_{гх}^e) + G^e (h_{гвх}^e - T_c s_{гвх}^e),$$

де c_p – питома теплоємність; E – ексергія; $E_{вт}$ – втрати ексергії; G – витрата теплоносія; h – питома ентальпія; K – кількість байпасованих газів; p – тиск; Q –

теплова потужність; R – універсальна газова стала; s – питома ентропія; T – абсолютна температура; t – температура; μ – молекулярна маса; Δ – зміна величини. Індеси верхні: z , v – димові гази, вода. Індеси нижні: $вт$ – втрати; $вх$, $вих$ – вхід, вихід; c – навколишнє середовище.

Вихідні дані і результати розрахунку ексергетичних характеристик для теплоутилізаційної системи при реалізації методу байпасування

Q кВт	K %	t_{ex}^z $0^\circ C$	t_{ex}^v $0^\circ C$	t_{ex}^e $0^\circ C$	t_{ex}^e $0^\circ C$	ΔE^z кВт	ΔE^e кВт	$E_{вт}$ кВт	ε
62,3	0	155,3	72,9	60,0	61,5	8,11	16,00	7,89	0,127
56,8	10	155,3	80,1	60,0	61,4	7,56	15,16	7,60	0,134
51,1	20	155,3	87,5	60,0	61,2	6,47	13,97	7,50	0,147
45,4	30	155,3	95,1	60,0	61,1	5,92	12,76	6,84	0,151
39,5	40	155,3	103,0	60,0	61,0	5,38	11,41	6,03	0,153
85,5	0	160	64,1	48,5	50,3	7,27	21,13	13,86	0,162
78,1	10	160	72,3	48,5	50,2	6,85	20,10	13,25	0,169
70,6	20	160	80,8	48,5	50,0	6,03	18,73	12,70	0,180
62,8	30	160	89,5	48,5	49,8	5,21	17,24	12,03	0,192
55,4	40	160	98,7	48,5	49,7	4,80	15,71	10,91	0,197
90,7	0	147	53,8	35,0	37,1	4,83	20,02	15,20	0,168
86,0	10	147	62,5	35,0	37,0	4,59	19,53	14,95	0,174
81,0	20	147	71,3	35,0	36,9	4,34	18,86	14,52	0,179
75,5	30	147	80,1	35,0	36,8	4,10	17,97	13,87	0,184
69,5	40	147	88,9	35,0	36,7	3,86	16,86	13,00	0,187

Розрахунок ексергетичних характеристик, необхідних для аналізу ексергетичних втрат при реалізації методу байпасування

З балансового рівняння визначено ексергетичні характеристики, які використовуються для аналізу ексергетичної ефективності системи: ексергетичні втрати $E_{вт}$ і тепло-ексергетичний критерій ефективності ε (таблиця).

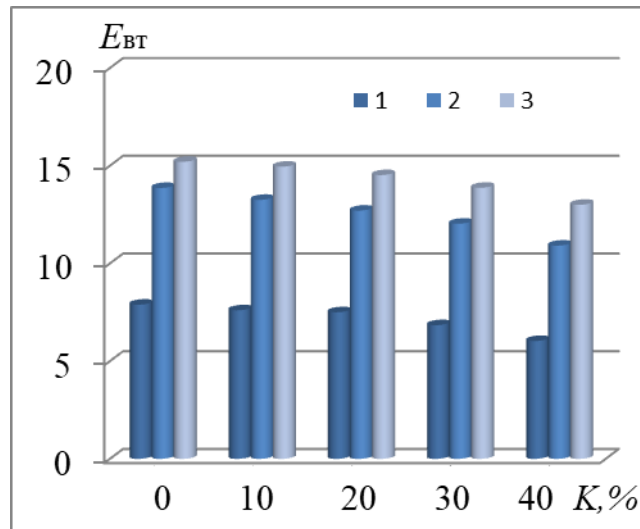


Рис.2. Втрати ексергії E_{ex} в теплоутилізаційній системі з частковим байпасуванням димових газів при різних значеннях їх кількості K :
 1 – $Q = 62,3\text{--}39,5$ кВт; 2 – $85,5\text{--}55,4$ кВт; 3 – $90,7\text{--}69,5$ кВт

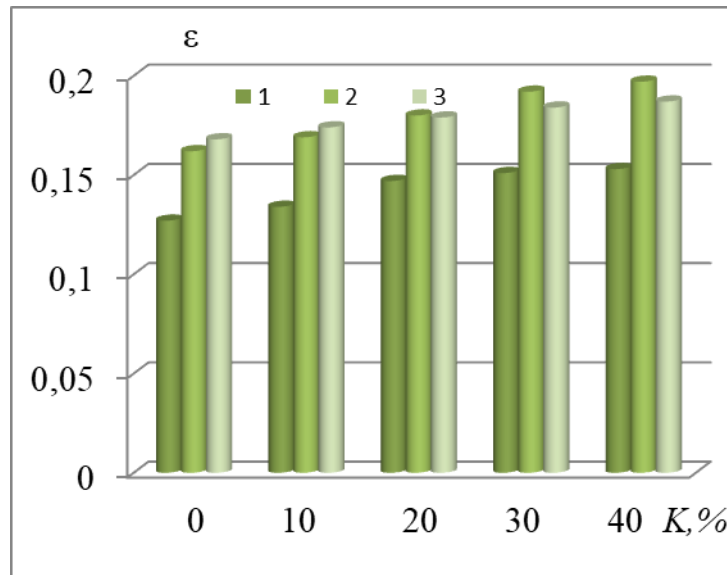


Рис. 3. Тепло-ексергетичний критерій ефективності ϵ для теплоутилізаційної системи з частковим байпасуванням димових газів при різних значеннях їх кількості K :
 1 – $Q = 62,3\text{--}39,5$ кВт; 2 – $85,5\text{--}55,4$ кВт; 3 – $90,7\text{--}69,5$ кВт

Отримано ексергетичні характеристики теплоутилізаційної системи при збільшенні кількості байпасованих димових газів для різних значень теплової потужності теплоутилізаційної системи (рис. 2, 3).

Визначення області зміни теплової потужності теплоутилізаційної системи та кількості байпасованих димових газів, які відповідають найменшим втратам ексергії і найменшим значенням тепло-ексергетичного критерію

Найсуттєвіший вплив на ексергетичні характеристики теплоутилізаційної системи при реалізації методу байпасування має різниця температур димових газів і води на вході і виході з теплоутилізатора, рівень температур, витрата теплоносіїв і вологовміст димових газів. Характер і ступінь впливу зазначених параметрів різні і залежить від теплового навантаження теплоутилізаційної системи. Як видно з таблиці 1 і рисунків 2, 3, при зменшенні теплового навантаження 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.

За реалізації методу байпасування збільшення кількості байпасованих димових газів для всіх трьох областей зміни теплової потужності призводить до зменшення втрат ексергії теплоутилізаційної системи. При цьому найбільші втрати ексергії відповідають області зміни теплового навантаження теплоутилізаційної системи $Q = 90,7\text{--}69,5$ кВт, найменші спостерігаються при $Q = 62,3\text{--}39,5$ кВт. Однак при збільшенні кількості байпасованих димових газів величини тепло-ексергетичного критерію зростають внаслідок зменшення теплового навантаження теплоутилізаційної системи.

У разі теплового навантаження Q , що дорівнює $85,5\text{--}55,4$ кВт та $Q = 90,7\text{--}69,5$ кВт, кінцевий вологовміст димових газів більш суттєво впливає на зміну ексергії димових газів – втрати ексергії підвищуються порівняно з їх значеннями при тепловому навантаженні $Q = 62,3\text{--}39,5$ кВт. Останньому відповідають найменші втрати ексергії і значення тепло-ексергетичного критерію, отже в цьому випадку ексергетична ефективність системи при реалізації методу байпасування є найбільш високою.

Наукова новизна отриманих результатів та практична цінність. Наукова новизна отриманих результатів полягає в застосуванні комплексної методики на основі ексергетичного підходу для аналізу ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем, в яких реалізовано тепловий метод антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок – метод байпасування. Практична цінність пов'язана з можливістю використання отриманих результатів при проектуванні газовідвідних трактів котельних установок.

Висновки і перспективи.

1. Для аналізу ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем, в яких реалізовано метод байпасування димових газів, обрано комплексну методику, яка включає вибір ексергетичних характеристик для оцінки ексергетичної ефективності, інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу та структурно варіантні методи.

2. Розроблено структурну схему для основних елементів теплоутилізаційної системи, в якій реалізовано метод байпасування димових газів з ідентифікацією ексергетичних потоків між елементами структури, та складено ексергетичне балансове рівняння для визначення ексергетичних характеристик.

3. Розраховано ексергетичні характеристики, необхідні для аналізу ексергетичних втрат в теплоутилізаційній системі при реалізації методу байпасування.

4. Визначено області зміни теплового навантаження теплоутилізаційної системи та кількості байпасованих димових газів, які відповідають найменшим втратам ексергії і найменшим значенням тепло-ексергетичного критерію, тобто найбільшій ексергетичній ефективності системи.

Список використаних джерел

1. Naeimi M. Bidi, M. Ahmadi, R. Kumar, M. Sadeghzadeh, M. Nazari. Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for power generation in Tehran cement factory. Thermal Science and Engineering Progress. 2019. Vol. 9. P. 299-307.

2. Yuan Yuan Jian, Shao Xiang Zhou. Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. 2010. Paper # 11258018. P. 4. doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449523.

3. Mohammad Ameri, Pouria Ahmadi, Armita Hamidi. Energy, exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant: A case study. International Journal of Energy Research. 2008. Vol. 33. Issue 5. P. 499 - 512. <https://doi.org/10.1002/er.1495>.

4. Terzi R., Tükenmez İ., Kurt E. Energy and exergy analyses of a VVER type nuclear power plant Energy and Exergy Analyses of a VVER Nuclear Power Plant. International. Journal of Hydrogen Energy. 2016. №41. P.1-12. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74433>.

5. Libertini L., Vicidomin M. Exergetic Analysis of a Novel Solar Cooling System for Combined Cycle Power Plants Francesco Calise. Entropy, 2016. №18. P. 356. doi:10.3390/e18100356.

6. [D. Mitrović](#), [D. Zivkovic](#), [M. S. Laković](#). Energy and Exergy Analysis of a 348.5 MW Steam Power Plant. [Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and](#)

[Environmental Effects](https://doi.org/10.1080/15567030903097012). 2010. Vol. 32. [Issue 11](https://doi.org/10.1080/15567030903097012). P. 1016-1027
<https://doi.org/10.1080/15567030903097012>.

7. 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. Vol. 6/8 (96). P. 43-48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.147526.

8. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Novakovsky M. 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.

9. 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.

10. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. Valuation of the efficiency of the air heater of the heat recovery system based on the methods of exergy analysis. Energy and Automation. 2019. №2. P. 5-15. Electronic edition. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya> 2019.02.005.

11. Stepanova A. Optimization of elements of heat utilization systems of power plants. Energy and automation. 2016. № 2. P. 128-138.

12. Stepanova A. Criteria for evaluating the efficiency of heat recovery systems of power plants. Energy and automation. 2016. № 3. P. 104-112.

13. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. Complex methods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system. Scientific and innovation. 2021. Vol. 17(4). P.11-18. Doi.org/ 10.15407/scine17.04.011 ISSN 1815-2066.

14. Fialko, N., Navrodska, R., Shevchuk S., Presich, G. Gnedash, G. Teplovi metody zakhystu gazovidvidnykh traktiv kotelnykh ustanovok pid chas zastosuvannya teploutylizatsiynykh tekhnologiy. Naukovyy Visnyk Nltu Ukrayiny, 2017. Vyp. 27(6). DOI <https://doi.org/10.15421/40270625>.

15. 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. Vol. 3/8 (111). P. 42-49. Doi 10.15587/1729.4061.2021/234026 ISSN 1729-3774 4061.2021/234026.

References

1. Naeimi, M.Bidi, M. Ahmadi, R. Kumar, M.Sadeghzadeh , M. Nazari (2019). Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for power generation in Tehran cement factory. Thermal Science and Engineering Progress, 9, 299-307.

2. Yuan Yuan Jian, Shao Xiang Zhou. (2010). Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Paper # 11258018, 4.

3. Mohammad Ameri, Pouria Ahmadi, Armita Hamidi (2008). Energy, exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant: A case study. International Journal of Energy Research, 33 (5), 499 - 512.

4. Terzi, R., Tükenmez, İ., Kurt, E. (2016). Energy and exergy analyses of a VVER type nuclear power plant Energy and Exergy Analyses of a VVER Nuclear Power Plant. International. Journal of Hydrogen Energy, 41, P. 1-12.

5. Libertini, L., Vicidomin, M. (2016). Exergetic Analysis of a Novel Solar Cooling System for Combined Cycle Power Plants Francesco Calise. *Entropy*, 18, 356.
6. D. Mitrović, D. Zivkovic, [M. S. Laković](#) (2010). Energy and Exergy Analysis of a 348.5 MW Steam Power Plant. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32 (11), 1016-1027.
7. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Meranova, N., Sherenkovskii, J. (2018). 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*, 6/8 (96), 43-48.
8. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Novakovsky, M. (2019). Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods. *International scientific journal "Internauka"*, 15(1), 61-63.
9. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Presich, G. (2019). Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes. *"International scientific journal "Internauka"*, 12 (74), 30-33.
10. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Shevchuk, S. (2019). Valuation of the efficiency of the air heater of the heat recovery system based on the methods of exergy analysis. *Energy and Automation*, 2, 5-15.
11. Stepanova, A. (2016). Optimization of elements of heat utilization systems of power plants. *Energy and automation*, 2, 128-138.
12. Stepanova, A. (2016). Criteria for evaluating the efficiency of heat recovery systems of power plants. *Energy and automation*, 3, 104-112.
13. 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*, 17(4), 11-18.
14. Fialko, N., Navrodska, R., Shevchuk S., Presich, G. Gnedash, G. (2017). Teplovi metody zakhystu gazovidvidnykh traktiv kotelnykh ustanovok pid chas zastosuvannya teploutylizatsiynykh tekhnologiy. [Heat methods of the gas-escape channels of boiler installations by heat-utilization technologies application]. *Naukovyy Visnyk Nltu Ukrainy*, 27(6).
15. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Shevchuk, S. (2021). Comparative analysis of exergetic efficiency of methods of protection of gas exhaust tracks of boiler installations *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/8 (111), 42-49.

АНАЛИЗ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА БАЙПАСИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДЫМОВЫХ ТРУБ

Н. М. Фиалко, А. И. Степанова, Р. А. Навродская, С. И. Шевчук

Аннотация. *Приведены результаты анализа эксергетических потерь в теплоутилизационных системах котельных установок при реализации одного из тепловых методов антикоррозионной защиты газоотводных трактов – метода байпасирования. Рассмотрены газопотребляющие котельные установки с теплоутилизационной системой для нагрева теплосетевой воды. Обоснован выбор комплексной методики для анализа эксергетических потерь в теплоутилизационной системе с байпасированием газов. Методика включает структурно-вариантные и*

интегральные балансовые методы эксергетического анализа и являются эффективными благодаря незначительному количеству параметров, необходимых для расчета, простоте расчетно-аналитических методов для получения эксергетических характеристик и высокой точности полученных результатов. Приведена принципиальная и структурная схема теплоутилизационной системы при реализации метода байпасирования. В структурной схеме идентифицированы входные и выходные эксергетические потоки между отдельными элементами теплоутилизационной системы. Согласно структурной схеме составлено эксергетическое балансовое уравнение, на основе которого определены эксергетические потери и теплоэксергетический критерий эффективности. Приведены эксергетические характеристики теплоутилизационной системы при повышении количества байпасированных газов и разных значениях тепловой нагрузки теплоутилизационной системы. Показано, что характер и степень воздействия указанных параметров зависят от указанной нагрузки. Установлено, что увеличение количества байпасированных газов при всех значениях тепловой нагрузки теплоутилизационной системы приводит к уменьшению потерь эксергии и теплоэнергетического критерия. Определена величина тепловой нагрузки теплоутилизационной системы, при которой ее эксергетическая эффективность при реализации метода байпасирования наиболее высока.

Ключевые слова: *эксергетическая эффективность, метод байпасирования; газоотводящие тракты; котельные установки*

ANALYSIS OF EXERGY LOSSES IN HEAT RECOVERY SYSTEMS OF BOILER PLANTS WHEN IMPLEMENTING THE BYPASS METHOD TO PROTECT CHIMNEYS

N. Fialko, A. Stepanova, R. Navrodska, S. Shevchuk

Abstract. *The results of the analysis of exergy losses in the heat recovery systems of boiler plants during the implementation of one of the thermal methods of anticorrosion protection of gas exhaust ducts - the bypass method - are presented. Gas-consuming boiler plants with a heat recovery system for heating heat supply water are considered. The choice of a complex technique for the analysis of exergy losses in a heat recovery system with gas bypass is substantiated. The technique includes structural-variant and integral balance methods of exergy analysis and is effective due to the small number of parameters required for the calculation, the simplicity of the calculation and analytical methods for obtaining exergy characteristics, and the high accuracy of the results obtained. The principal and structural diagram of the heat recovery system in the implementation of the bypass method is given. In the block diagram, the input and output exergy flows between the individual elements of the heat recovery system are identified. According to the block diagram, an exergy balance equation was compiled, on the basis of which the exergy losses and the heat exergy efficiency criterion were determined. The exergy characteristics of the heat recovery system are given with an increase in the amount of bypassed gases and different values of the heat load of the heat recovery system. It is shown that the nature and extent of the impact of these parameters depend on the specified load. It has been established that an increase in the amount of bypassed gases at all values of the heat load of the heat recovery system leads to a decrease in exergy losses and the heat power*

criterion. The value of the heat load of the heat recovery system is determined, at which its exergy efficiency in the implementation of the bypass method is the highest.

Key words: *exergy efficiency, bypass method; gas exhaust ducts; boiler plants*