

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З
ПОВІТРЯНИМ МЕТОДОМ ЗАХИСТУ ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ**

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

Email: nmfialko@ukr.net

Анотація. Наведено результати дослідження ефективності та оптимізації технологічних параметрів теплоутилізаційної системи котельної установки, в якій реалізовано метод підмішування в димові гази після теплоутилізатора частини нагрітого повітря. Сутність повітряного методу полягає у підвищенні температури та зниженні відносної вологості отриманої суміші, що знижує кількість конденсату на стінках газовідвідних трактів. Розглянуто газоспоживчу котельну установку з теплоутилізаційною системою для нагрівання тепломережної води. Для оптимізації технологічних параметрів системи при реалізації вказаного методу застосовано комплексну методику на основі ексергетичного аналізу. Методика поєднує структурно-варіантні методи та інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу. Це дозволяє визначати ексергетичні, теплотехнічні та технологічні характеристики, що входять до критеріїв оцінки ефективності теплоутилізаційних систем. Завдяки незначній кількості параметрів, необхідних для розрахунку, та простоти розрахунково-аналітичних методів для отримання ексергетичних характеристик методика зручна для досліджень. Точність отриманих результатів становить 0,3-0,5 %. Наведено структурну схему котельної установки з теплоутилізаційною системою при реалізації методу підмішування. У структурній схемі ідентифіковано вхідні та вихідні ексергетичні потоки між окремими елементами. Обрано критерії оцінки ефективності теплоутилізаційної системи та основні технологічні параметри оптимізації. На основі загальної системи ексергетичних, теплових і матеріальних балансових рівнянь відповідно до структурної схеми складено ексергетичне балансове рівняння, з якого визначено ексергетичні втрати і тепло-ексергетичні критерії ефективності. Визначено оптимальні значення теплопродуктивності теплоутилізатора та кількості підмішуваного повітря, які відповідають високій ексергетичній ефективності системи.

Ключові слова: оптимізація параметрів; ексергетична ефективність; метод підмішування; газовідвідні тракти

Актуальність. В умовах обмеженості первинних енергоресурсів та стійкої тенденції до підвищення вартості палива проблема мінімізації енергоспоживання та раціонального використання вторинних енергоресурсів набуває все більшого значення. Один із способів вирішення цієї проблеми для комунальної енергетики— створення ефективних технологій глибокої утилізації теплоти відхідних газів котельних установок та високоекономічного теплоутилізаційного обладнання на основі використання сучасних комплексних методик дослідження. Сучасні комплексні методики аналізу ефективності та оптимізації теплоутилізаційних систем включають методи ексергетичного аналізу, статистичні методи планування експерименту, методи теорії лінійних систем, термодинаміки незворотних процесів, структурні, структурно-варіантні методи, методи багаторівневої оптимізації. Обґрунтований вибір методики дослідження дозволяє оптимізувати конструктивні, технологічні та теплотехнічні параметри, що відповідають за ефективність теплоутилізаційних систем. Проблема збільшення ресурсу теплоутилізаційного обладнання котельних установок, зокрема газовідвідних трактів в умовах їх експлуатації при застосуванні технологій глибокої утилізації теплоти, наразі набуває великого значення. Роботи, присвячені вирішенню зазначеної проблеми, актуальні та необхідні у різних галузях теплоенергетики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Методи ексергетичного аналізу все частіше використовуються в світі для дослідження ефективності енергетичних установок [1-14]. Це пов'язано, зокрема, з тим, що ексергетичні характеристики достатньо чутливі до зміни конструктивних і режимних параметрів установок і можуть бути використані як міра їхньої термодинамічної ефективності. Так, у роботі [1] підкреслюється, що ексергетичний аналіз можна розглядати як спосіб отримання інформації, що дозволяє визначати галузі, в яких можуть бути здійснені технічні поліпшення. У роботі [2] методи ексергетичного аналізу використовуються для оцінки загальної та ексергетичної ефективності установки з переробки біомаси. У роботі [3] визначаються ексергетичні параметри, які характеризують продуктивність абсорбційної холодильної машини. Для аналізу загальної та ексергетичної ефективності котельні в роботі [4] використовується балансовий метод ексергетичного аналізу, за допомогою якого розглядаються ексергетичні втрати,

пов'язані з незворотним спалюванням палива та теплопереносом. У роботах [5,6] ексергетичний аналіз застосовується для оцінки ефективності елементів енергетичних установок при різних температурах навколишнього середовища. Ексергетичний аналіз є потужним інструментом для дослідження систем перетворення енергії. Однак використання при відповідних дослідженнях окремих характеристик, для прикладу, тільки ексергетичного ККД, не дозволяє оцінити вплив на ефективність енергетичної установки цілого комплексу ексергетичних, теплотехнічних та конструкційних параметрів. Результативність застосування ексергетичного підходу значно підвищується при використанні комплексних методик. Дослідженням у цій галузі присвячено роботи [7–14]. У роботі [13] наведено результати застосування ексергетичного підходу для аналізу ексергетичних характеристик теплоутилізаційних систем з тепловими методами антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок. Однак дослідження виконано в недостатньому обсязі. Залишилися невирішеними питання, пов'язані з більш детальними дослідженнями ексергетичних характеристик. Встановлення додаткового устаткування для реалізації теплових методів потребує капітальних витрат, які можна мінімізувати шляхом конструкційної та режимної оптимізації даного устаткування. Такі дослідження є важливими та актуальними, тому що дозволяють одержати необхідну інформацію для проектування оптимальних теплоутилізаційних схем.

Мета дослідження – оптимізація технологічних параметрів теплоутилізаційної системи котельної установки з повітряним методом антикорозійного захисту газовідвідних трактів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- здійснити вибір критеріїв оцінки ефективності теплоутилізаційної системи та вибір основних технологічних параметрів оптимізації;
- розробити структурну схему для основних елементів теплоутилізаційної системи з повітряним методом антикорозійного захисту та скласти відповідне ексергетичне балансове рівняння для визначення необхідних характеристик;
- розрахувати критерії оцінки ефективності теплоутилізаційної системи при реалізації повітряного методу антикорозійного захисту газовідвідних трактів;

- визначити області технологічних параметрів теплоутилізаційної системи, які відповідають мінімальним значенням критеріїв оцінки ефективності.

Матеріали і методи дослідження. У роботі розглянуто теплоутилізаційну систему котельної установки з котлом теплопродуктивністю 2 МВт. У теплоутилізаційній системі реалізовано тепловий повітряний метод антикорозійного захисту газовідвідних трактів. Для оптимізації технологічних параметрів теплоутилізаційних систем при реалізації вказаного методу застосовано комплексну методику на основі ексергетичного аналізу. Методика поєднує структурно-варіантні методи та інтегральні балансові методи ексергетичного аналізу. Основні етапи методики включають:

- розробку на основі структурно-варіантних методів структурних схем енергетичних установок з ідентифікацією ексергетичних потоків між окремими елементами структури;
- складання загальної системи ексергетичних, теплових і матеріальних балансових рівнянь та відповідних рівнянь для кожної ситуації, що розглядається;
- визначення критеріїв оцінки ефективності та оптимальних значень технологічних параметрів.

Комплексна методика дозволяє визначати ексергетичні, теплотехнічні та технологічні характеристики, що входять до критеріїв оцінки ефективності теплоутилізаційних систем, а також оптимізувати основні технологічні параметри. Точність отриманих результатів становить 0,3-0,5 %.

Результати досліджень та їх обговорення.

Вибір критеріїв оцінки ефективності теплоутилізаційної системи та вибір основних технологічних параметрів оптимізації.

Комплексну методику на основі структурно-варіантного і балансового методів ексергетичного аналізу використано для оптимізації технологічних параметрів теплоутилізаційної системи, в якій реалізовано тепловий метод підмішування в димові гази частини нагрітого повітря. Сутність методу полягає у підвищенні температури та зниженні відносної вологості суміші димових газів і підмішуваного повітря, що знижує конденсацію на стінках газовідвідних трактів.

Для оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційної системи при застосуванні методу підмішування повітря використано наступні критерії оцінки ефективності: ексергетичні втрати $E_{\text{втр}}$ і тепло-ексергетичний критерій ефективності ϵ , який оцінює втрати ексергії на одиницю теплопродуктивності теплоутилізатора N . Основними технологічними параметрами оптимізації слугували теплопродуктивність теплоутилізатора N та величина кількості підмішуваного нагрітого повітря L .

Розробка структурної схеми для основних елементів теплоутилізаційної системи з повітряним методом антикорозійного захисту та складання відповідного ексергетичного балансового рівняння для визначення необхідних характеристик.

На основі ексергетичних методів структурно-варіантного аналізу розроблено структурну схему для основних елементів котельної установки при підмішуванні в димові гази після теплоутилізатора частини нагрітого повітря (рис.1). В структурній схемі ідентифіковано входні і вихідні ексергетичні потоки між окремими елементами структури.

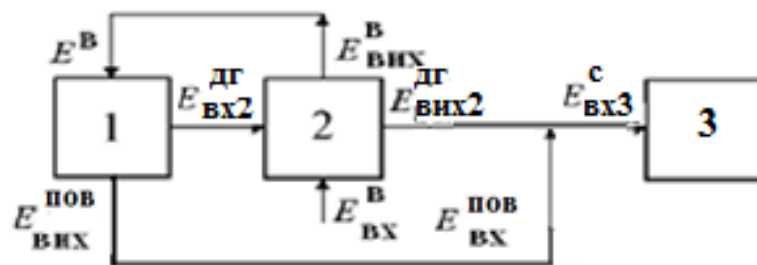


Рис. 1. Структурна схеми основних елементів котельної установки при підмішування в димові гази нагрітого повітря:

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

Складено загальну систему ексергетичних, теплових і матеріальних балансових рівнянь для теплоутилізаційної системи:

$$\begin{aligned} \sum_i E_{\text{вих}i} - \sum_i E_{\text{вх}i} + \sum_i E_{\text{втр}i} &= 0; \\ \sum_i G_{\text{вх}i} h_{\text{вх}i} - \sum_i G_{\text{вих}i} h_{\text{вих}i} &= 0; \\ \sum_i G_{\text{вх}i} - \sum_i G_{\text{вих}i} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G^{\partial z} c_p^{\partial z} T_{\partial x}^{\partial z} - G^{\partial z} c_p^{\partial z} T_{\partial ux}^{\partial z} &= 0 \\
 G^{nov} c_p^{nov} T_{\partial x}^{nov} - G^{nov} c_p^{nov} T_{\partial ux}^{nov} &= 0 \\
 E_{\partial x}^{\partial z} - E_{\partial ux}^{\partial z} &= G^{\partial z} c_p^{\partial z} (T_{\partial x}^{\partial z} - T_{\partial ux}^{\partial z}) - T_{nc} G^{\partial z} c_p^{\partial z} \ln(T_{\partial x}^{\partial z} / T_{\partial ux}^{\partial z}) - \\
 &- T_{nc} G^{\partial z} R / \mu^{\partial z} \ln(p_{\partial x}^{\partial z} / p_{\partial ux}^{\partial z}); \\
 E_{\partial x}^{nov} - E_{\partial ux}^{nov} &= G^{nov} c_p^{nov} (T_{\partial x}^{nov} - T_{\partial ux}^{nov}) - T_{nc} G^{nov} c_p^{nov} \ln(T_{\partial x}^{nov} / T_{\partial ux}^{nov}) - \\
 &- T_{nc} G^{nov} R / \mu^{nov} \ln(p_{\partial x}^{nov} / p_{\partial ux}^{nov}); \\
 E_{\partial x}^{\partial} - E_{\partial ux}^{\partial} &= G^{\partial} (h_{\partial x}^{\partial} - T_c s_{\partial x}^{\partial}) - G^{\partial} (h_{\partial ux}^{\partial} - T_c s_{\partial ux}^{\partial});
 \end{aligned}$$

Відповідно до структурної схеми та загальної системи рівнянь складено ексергетичне балансове рівняння для теплоутилізаційної системи при реалізації методу антикорозійного захисту газовідвідних трактів:

$$\begin{aligned}
 E_{\partial mp} &= G^{\partial z} c_p^{\partial z} (T_{\partial x2}^{\partial z} - T_{\partial ux2}^{\partial z}) - T_{nc} G^{\partial z} c_p^{\partial z} \ln(T_{\partial x2}^{\partial z} / T_{\partial ux2}^{\partial z}) - \\
 &- T_{nc} G^{\partial z} R / \mu^{\partial z} \ln(p_{\partial x2}^{\partial z} / p_{\partial ux2}^{\partial z}) - G^{\partial} (h_{\partial x2}^{\partial} - T_{nc} s_{\partial x2}^{\partial}) + G^{\partial} (h_{\partial ux2}^{\partial} - T_c s_{\partial ux2}^{\partial}) + \\
 &+ LG^{nov} c_p^{nov} T_{\partial x}^{nov} - LG^c c_p^c T_{\partial x3}^c - T_{nc} LG^{nov} c_p^{nov} \ln T_{\partial x}^{nov} + LG^c c_p^c \ln T_{\partial x3}^c - \\
 &- T_c LG^{nov} R / \mu^{nov} \ln p_{\partial x}^{nov} + T_{nc} LG^{nov} R / \mu^{nov} \ln p_{\partial x3}^c - G^c c_p^c T_{\partial x3}^c + G^{\partial z} c_p^{\partial z} T_{\partial ux2}^{\partial z} + \\
 &+ T_{nc} G^c c_p^c \ln T_{\partial x3}^c - T_{nc} G^{\partial z} c_p^{\partial z} \ln T_{\partial ux2}^{\partial z} + T_{nc} G^c R / \mu^c \ln p_{\partial x3}^c - T_{nc} G^{\partial z} R / \mu^{\partial z} \ln p_{\partial ux2}^{\partial z}
 \end{aligned}$$

За допомогою ексергетичного балансового рівняння проведено розрахунок проміжних ексергетичних характеристик для подальшого розрахунку критеріїв оцінки ефективності теплоутилізаційної системи з підмішуванням нагрітого повітря у димові гази (таблиця).

Зміни ексергії димових газів та води в теплоутилізаційній системі при реалізації повітряного методу антикорозійного захисту

N, кВт	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7
L, %	0	4	8	12	16	0	4	8	12	16
$\Delta E^{дг}$, кВт	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
ΔE^B кВт	19,9	18,4	16,9	15,5	14,1	13,8	13,0	12,1	11,2	10,3

Розрахунок критеріїв оптимізації теплоутилізаційних систем при реалізації повітряного методу антикорозійного захисту газовідвідних трактів.

На основі результатів, наведених у таблиці, та ексергетичного балансового рівняння визначено ексергетичні втрати $E_{\text{втр}}$ і тепло-ексергетичний критерій ефективності ε . Отримано ексергетичні характеристики теплоутилізаційної системи при зміні теплопродуктивності теплоутилізатора N та величини кількості підмішуваного нагрітого повітря L (рис. 2).

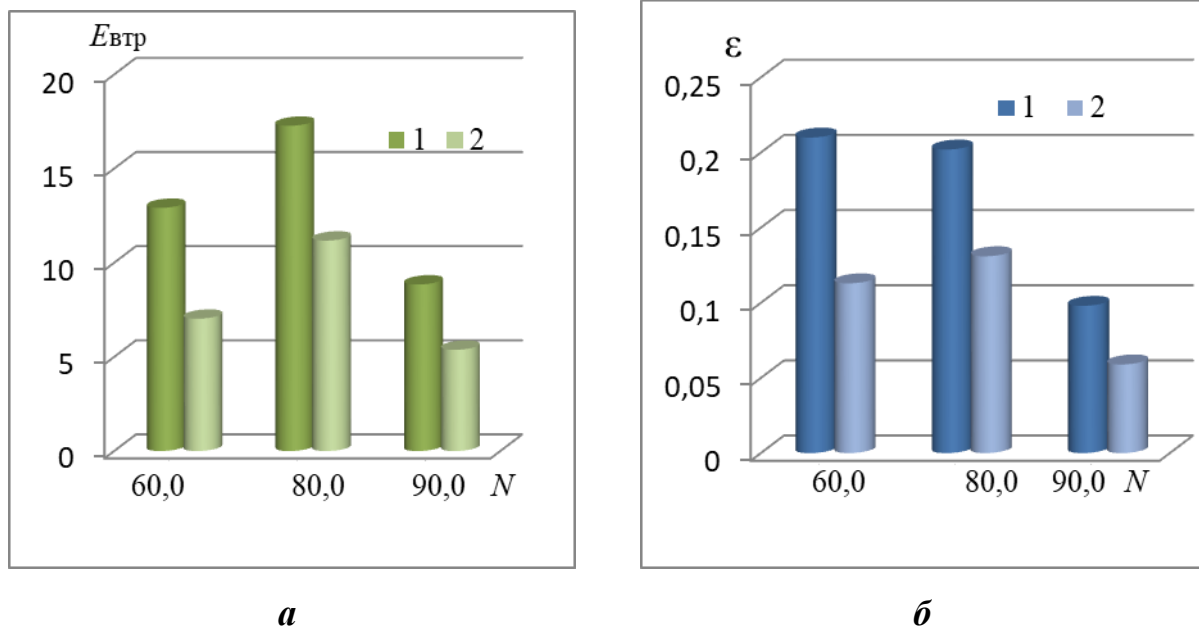


Рис.2. Залежність величини ексергетичних втрат $E_{\text{втр}}$ (а) та тепло-ексергетичного критерія ефективності ε (б) від теплопродуктивності теплоутилізатора N :

1-за відсутністю підмішуваного повітря; 2 - кількість підмішуваного повітря $L=16\%$

Визначення величин технологічних параметрів теплоутилізаційної системи, які відповідають оптимальним значенням критеріїв оцінки ефективності.

Найбільш істотно на ексергетичні характеристики теплоутилізаційної системи впливає 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 режиму роботи котла відповідно до його теплового навантаження.

При підмішуванні в димові гази після теплоутилізатора частини нагрітого повітря відбувається підвищення на вході в газовідвідні тракти температури суміші димових газів і повітря і зменшення її вологовмісту. Підвищення температури суміші зменшує величину зміни ексергії димових газів, а зменшення вологовмісту збільшує величину зміни ексергії димових газів. Спільний вплив зазначених

параметрів призводить до таких результатів. При збільшенні кількості підмішуваного повітря для всіх значень теплопродуктивності теплоутилізатора втрати ексергії і значення тепло-ексергетичного критерію зменшуються. Найменші значення ексергетичних втрат становлять 5-8 кВт, а теплоексергетичного критерія – 0,05-0,09 при теплопродуктивності теплоутилізатора $N = 90,7$ кВт і кількості нагрітого підмішуваного повітря $L=16$ %. Тобто при таких значеннях параметрів ексергетична ефективність теплоутилізаційної системи найбільша.

Наукова новизна отриманих результатів та практична цінність. Наукова новизна отриманих результатів полягає в застосуванні комплексної методики на основі ексергетичного підходу для оптимізації технологічних параметрів теплоутилізаційної системи котельної установки, в якій реалізовано тепловий метод антикорозійного захисту газовідвідних трактів - метод підмішування в димові гази частини нагрітого повітря. Практична цінність пов'язана з можливістю використання отриманих результатів при проектуванні оптимальних теплоутилізаційних схем з тепловими методами антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок.

Висновки і перспективи.

1. Для аналізу ексергетичної ефективності і оптимізації технологічних параметрів теплоутилізаційної системи, в якій реалізовано тепловий метод антикорозійного захисту газовідвідних трактів - метод підмішування в димові гази нагрітого повітря, вибрано критерії оцінки ефективності та основні технологічні параметри оптимізації.

2. На основі структурно-варіантних методів розроблено структурну схему для основних елементів теплоутилізаційної системи та складено ексергетичне балансове рівняння для визначення ексергетичних характеристик.

3. Розраховано критерії оцінки ефективності теплоутилізаційних систем при реалізації теплового методу підмішування.

4. Визначено оптимальні значення теплопродуктивності теплоутилізатора та кількості підмішуваного нагрітого повітря, які відповідають найменшим втратам ексергії і найменшим значенням теплоексергетичного критерію, тобто найбільшій ексергетичній ефективності системи.

Умовні позначення

c_p – питома теплоємність; E – ексергія; G – витрати теплоносія; h – питома ентальпія; L – величина кількості підмішуваного нагрітого повітря; N – теплопродуктивність теплоутилізатора; p – тиск; R – універсальна газова стала; s – питома ентропія; T – абсолютна температура; μ – молекулярна маса. **Індекси верхні:** дг, в, пов – димові гази, вода, повітря; c – суміш димових газів і повітря. **Індекси нижні:** втр – втрати; вх, вих – вхід, вихід; nc – навколишнє середовище; 2– теплоутилізатор; 3– димова труба.

Список використаних джерел

1. Sahin A. Z. (2014) Importance of Exergy Analysis in Industrial Processes. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228988818>.
2. Hajjaji N., Pons M.-N., Houas A., Renaudin V. Exergy analysis: An efficient tool for understanding and improving hydrogen production via the steam methane reforming process. *Energy Policy*. 2012. V. 42. P. 392-399. doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.003.
3. Cziesla F., Tsatsaronis G., Gao Z. Avoidable thermodynamic inefficiencies and costs in an externally fired combined cycle power plant. *Energy*. 2006. V. 31, Issues 10–11. P. 1472-1489. doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001
4. Yuan Yuan Jian, Shao Xiang Zhou. Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. Paper. 2010. # 11258018. P. 4. doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449523
5. Zare V., Moalemi A. Parabolic trough solar collectors integrated with a Kalina cycle for high temperature applications. *Energy, exergy and economic analyses. Energy Conversion and Management*. 2017. 151.681-692. [Link] [DOI:10.1016/j.enconman.2017.09.028].
6. 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>.
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. 6/8 (96). P.43-48. doi: 10.15587/1729-4061.2018.147526.
8. 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
9. 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.
10. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N. Arget functions of optimization of heat recovery systems. *International scientific journal "Internauka"*. 2020. 1/3 (83). P. 23-27.
11. 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), 38-46. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.

12. 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. 17(4). P.11-18. Doi.org/ 10.15407/scine17.04.011 ISSN 1815-2066.

13. 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). 38-46. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.

14. 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.

References

1. Sahin, A. Z. (2014) Importance of Exergy Analysis in Industrial Processes. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228988818>.

2. Hajjaji, N., Pons, M.-N., Houas A., Renaudin, V. (2012) Exergy analysis: An efficient tool for understanding and improving hydrogen production via the steam methane reforming process. *Energy Policy*, 42, 392-399. doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.003.

3. Czesla, F., Tsatsaronis, G., Gao, Z. (2006) Avoidable thermodynamic inefficiencies and costs in an externally fired combined cycle power plant // *Energy*, 31 (10–11), 1472-1489. doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001

4. 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. doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449523

5. Zare, V., Moalemi, A. (2017). Parabolic trough solar collectors integrated with a Kalina cycle for high temperature applications. *Energy, exergy and economic analyses. Energy Conversion and Management*, 151.681-692. [Link] [DOI:10.1016/j.enconman.2017.09.028].

6. 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. <https://doi.org/10.1002/er.1495>.

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. doi: 10.15587/1729-4061.2018.147526.

8. 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.

9. 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.

10. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Meranova, N. (2020). Arget functions of optimization of heat recovery systems. International scientific journal "Internauka", 1/3 (83), 23-27.
11. Stepanova, A. (2016). 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, 38(4), 38-46. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.
12. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Gnedash, G., Shevchuk, S. (2021). Complex metods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system. Scientific and innovation, 2021.17(4), 11-18. Doi.org/ 10.15407/scine17.04.011 ISSN 1815-2066.
13. Stepanova, A. (2016). 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, 38(4), 38-46. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.
14. 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. Doi 1015587/1729. 4061.2021/234026 ISSN 1729-3774 4061.2021/234026.

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE HEAT RECOVERY SYSTEM OF A BOILER PLANT WITH THE AIR PROTECTION METHOD OF GAS WATER TRACTS

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

Abstract. *The results of a study of the efficiency and optimization of technological parameters of the heat recovery system of a boiler plant, in which the method of mixing part of the heated air into the flue gases after the heat recovery unit, is implemented. The essence of the air method is to increase the temperature and decrease the relative humidity of the resulting mixture, which reduces the amount of condensate on the walls of the exhaust ducts. A gas-consuming boiler plant with a heat recovery system for heating heat supply water is considered. To optimize the technological parameters of the system in the implementation of this method, a complex technique based on exergy analysis was used. The technique combines structural-variant methods and balance integral methods of exergy analysis. This allows you to determine the exergy, heat engineering and technological characteristics that are included in the criteria for evaluating the efficiency of heat recovery systems. Due to the small number of parameters required for the calculation, and the simplicity of the calculation and analytical methods for obtaining exergy characteristics, the technique is convenient for research. The accuracy of the results obtained is 0.3-0.5%. A block diagram of a boiler plant with a heat recovery system in the implementation of the mixing method is given. In the block diagram, input and output excretory flows between individual elements are identified. The criteria for evaluating the efficiency of heat recovery and the main technological optimization parameters have been selected. Based on the general system of exergy, thermal and material balance equations in accordance with the structural scheme, an exergy balance*

equation was compiled, from which exergy losses and heat-exergy efficiency criteria were determined. The optimal values in the heat exchanger heat output and the amount of mixed air, which correspond to the high efficiency of the system, are determined.

Key words: *parameter optimization; exergy efficiency; mixing method; gas ducts*