УДК 621.036.7 DOI 10.31548/energiya2021.02.005

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРА КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ

Н. М. Фіалко, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент 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

Г. О. Сбродова, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

E-mail: nmfialko@ukr.net

Анотація. *Наведено результати оптимізації режимних параметрів повітрогрійного теплоутилізатора комбінованої теплоутилізаційної системи газоспоживального котла, призначеної для підігрівання води та дуттьового повітря. Підігрівання повітря в цьому теплоутилізаторі реалізується шляхом глибокого охолодження відхідних димових газів, тобто зі зміною їхнього вологовмісту в процесі теплоутилізації. Проаналізовано можливості використання для оптимізації цього теплоутилізатора комплексної методики на основі структурно-варіантного методу та методів ексергетичного аналізу. Наведено розроблену структурну схему котельної установки з ідентифікацією вхідних і вихідних ексергетичних потоків для всіх елементів установки. Встановлено, що зміна ексергетичних втрат у цьому теплоутилізаторі досить сильно впливає на зміну ефективності всієї теплоутилізаційної системи. Отже, оптимізація режимних параметрів зазначеного теплоутилізатора є необхідною умовою підвищення ефективності теплоутилізації в цілому. Обгрунтовано вибір цільових функцій оптимізації режимних параметрів досліджуваного повітрогрійного теплоутилізатора, ними слугують мультиплікативні ексергетичні критерії ефективності. Проаналізовано отримані залежності ексергетичних критеріїв ефективності від режимних параметрів теплоутилізатора, таких як відношення чисел Рейнольдса димових газів і повітря та відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів. Встановлено, що мінімум значень критеріїв ефективності, який відповідає максимальній ексергетичній ефективності, спостерігається в області значень відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів в межах від 2,4 до 3,0. Показано, що при значенні вказаного відношення 2,7 ексергетична ефективність досліджуваного теплоутилизатора не залежить від відношення чисел Рейнольдса димових газів і повітря. Встановлено, що відношення початкового і кінцевого вологовмісту*

димових газів, що дорівнює 2,7, та відношення чисел Рейнольдса димових газів і повітря, що дорівнюють 0,8 і 1,2 залежно від значень відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів, можна прийняти оптимальними значеннями режимних параметрів.

Ключові слова: ***теплоутилізаційні системи, ексергетична ефективність, комплексні методики***

Актуальність. Загальна проблема енергозбереження та екологічної безпеки в Україні пов'язана з необхідністю підвищення ефективності паливоспоживальних теплоенергетичних установок, зокрема їхніх систем утилізації теплоти відхідних газів. При утилізації теплоти відхідних газів таких установок (котлів, скловарних, випалювальних печей тощо) ефективним є застосування повітрогрійних теплоутилізаторів. Важливою та актуальною проблемою при експлуатації цих теплоутилізаторів є забезпечення мінімальних втрат ексергетичної потужності. Для реалізації умов ефективної експлуатації даних теплоутилізаторів їхні визначальні параметри мають бути оптимізовані.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Важливим аспектом досліджень ексергетичної ефективності енергетичних установок в Україні і світі є дослідження їхніх окремих елементів та виявлення елементів, які характеризуються високими ексергетичними втратами [1-10]. Так, у роботі [1] для різних схем утилізації теплоти газоспоживальних двигунів наведено результати аналізу їхніх енергетичних та ексергетичних показників. Запропоновано термодинамічну модель для оцінювання характеристик кожної схеми і виявлено оптимальну схему утилізації теплоти та її оптимальні експлуатаційні показники. Дослідження, наведені в [2], присвячено ексергетичному аналізу і термодинамічній оптимізації джерел тепла для вироблення електроенергії. У роботі [3] відзначено, що за допомогою методів ексергетичного аналізу доцільно визначати ті стадії технологічного процесу, для яких можлива оптимізація. У роботі [4] порівнюються різні системи утилізації теплоти з точки зору втрат ексергії і визначається система, яка має найвищу ексергетичну ефективність. Алгоритми оптимізації, побудовані на застосуванні методик, в яких використовується лише одна ексергетична характеристика, не дозволяють повністю оцінити термодинамічну досконалість системи. Роботи [5-10] присвячено розвитку

застосування комплексного підходу на основі методів ексергетичного аналізу для оцінювання ефективності енергетичних установок різного типу. Нові дослідження в цій терені сприяють створенню високоекономічного устаткування і значно розширюють можливості застосування методів ексергетичного аналізу в різних сферах знань.

Мета дослідження – підвищення ексергетичної ефективності комбінованої теплоутилізаційної системи для підігрівання води та дуттьового повітря котельної установки шляхом оптимізації режимних параметрів повітрогрійного теплоутилізатора.

Підігрівання повітря в цьому теплоутилізаторі реалізується шляхом глибокого охолодження відхідних димових газів, тобто зі зміною їхнього вологовмісту в процесі теплоутилізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести вибір комплексної методики та оцінювальних критеріїв для дослідження ефективності досліджуваного теплоутилізатора та оптимізації його режимних параметрів;
- розробити структурну схему установки з ідентифікацією вхідних і вихідних ексергетичних потоків та відповідно до структурної схеми розрахувати необхідні ексергетичні характеристики;
- отримати залежності критеріїв ефективності від обраних режимних параметрів теплоутилізатора;
- проаналізувати вплив режимних параметрів на критерії ефективності теплоутилізатора та визначити оптимальні області цих параметрів.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження ефективності повітрогрійного теплоутилізатора комбінованої теплоутилізаційної системи котельної установки та оптимізації його параметрів використано комплексну методику на основі структурно-варіантного методу, методів ексергетичного аналізу та мультиплікативних ексергетичних критеріїв оцінки ефективності.

Розглядалася комбінована теплоутилізаційна система з підігріванням тепломережної води та дуттьового повітря газоспоживального котла КСВа – 2,0Г,

параметри якого відповідали тепловому графіку системи опалення з розрахунковою температурою $t_{ро}$ = -20 °С та перепадом температур теплоносія 70-95 °С. Повітрогрійний теплоутилізатор компонувався із пакетів пластин із нержавіючої сталі. Вихідні дані для виконання досліджень наведено в табл.1.

1. Вихідні дані

Найменування параметра	Значення
Теплопродуктивність котла, МВт	2,0…1,0
Коефіцієнт надлишку повітря	1,1
Температура навколишнього середовища, °С	-20 … 10
Температура зворотної води, °С	70…35
Температура відхідних газів котла, °С	160…95
Температура газів на вході повітрогрійного теплоутилізатора, °С	76…49
Температура газів на виході повітрогрійного теплоутилізатора, °С	55…46
Температура повітря на вході повітрогрійного теплоутилізатора, °С	-20…10
Витрата газів, кг/с	0,95…0,47
Витрата води, кг/с	19,4
Витрата повітря, кг/с	0,87…0,41
Вологовміст газів на виході з котла, кг/кг с.г.	0,13
Вологовміст газів на вході повітрогрійного теплоутилізатора, кг/кг с.г.	0,09…0,13
Вологовміст газів на виході повітрогрійного теплоутилізатора, кг/кг с.г.	0,04…0,09
Вологовміст повітря, кг/кг с.п.	0,01

Для оптимізації теплоутилізатора обрано такі режимні параметри: відношення чисел Рейнольдса димових газів і повітря $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$, яке змінювалось в межах від 0,80 до 1,20, та відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів $X^{г}_{вх}/X^{г}_{вих}$ відповідно до табл.1.

Результати досліджень та їх обговорення.

Вибір комплексної методики і оцінювальних критеріїв для дослідження ефективності теплоутилізатора та оптимізації його режимних параметрів. Нагальна необхідність оптимізації будь якого енергетичного об'єкту пов’язана з самою сутністю оптимізації, що полягає у виборі за допомогою певних оцінювальних критеріїв таких параметрів цього об'єкту, які забезпечують його максимальну ефективність. Окрім того, порівняльний аналіз роботи енергетичних

об'єктів певного типу і вибір серед них найбільш ефективних може бути виконаний лише у тому разі, якщо такі об'єкти максимально вдосконалені, тобто їхні параметри оптимальні.

Для дослідження ефективності комбінованої теплоутилізаційної системи для підігрівання тепломережної води і дуттьового повітря котельної установки обрано комплексну методику, яка поєднує структурно-варіантні методи та методи ексергетичного аналізу. Вибір вказаної методики заснований на необхідності виділення серед елементів теплоутилізаційної системи елемента, для якого зміна ексергетичних втрат найбільше впливає на зміну ефективності всієї теплоутилізаційної системи.

Розроблення структурної схеми котельної установки та розрахунок ексергетичних характеристик. У рамках структурно-варіантного методу розроблено структурну схему котельної установки з ідентифікацією вхідних і вихідних ексергетичних потоків для всіх елементів (рис. 1).

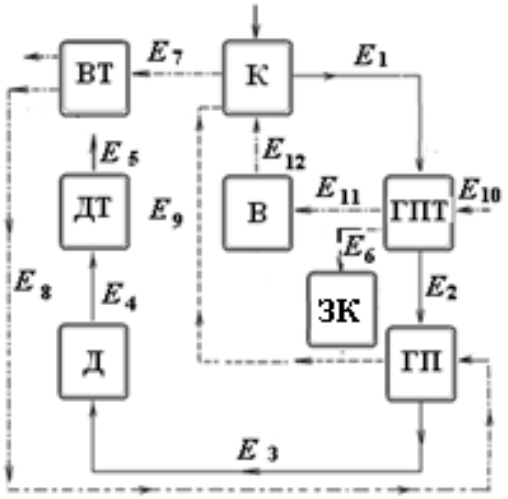
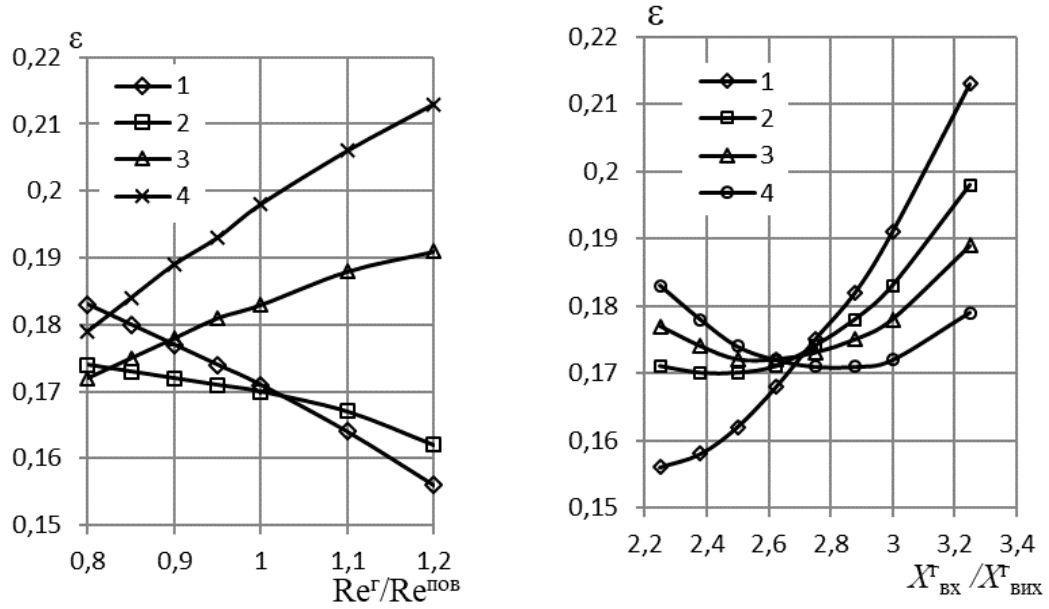


Рис. 1. Структурна схема котельної установки з комбінованою теплоутилізаційною системою для підігрівання води та дуттьового повітря з ідентифікацією вхідних і вихідних ексергетичних потоків:
К - котел; ГПТ - газоповітряний пластинчастий теплоутилізатор; ГП - газопідігрівач; Д - димосос; ДТ - димова труба; ЗБ - збірник конденсату; ВТ - водоводяний теплообмінник; В – вентилятор

За результатами теплових та ексергетичних розрахунків встановлено, що повітрогрійний теплоутилізатор наведеної установки є елементом, зміна ексергетичних втрат в якому суттєво впливає на зміну ефективності всієї

теплоутилізаційної системи. Тому оптимізація режимних параметрів цього теплоутилізатора є необхідною умовою підвищення загальної ефективності вказаної системи. Для оптимізації режимних параметрів теплоутилізатора здійснено вибір оцінювальних критеріїв ефективності, які можна застосовувати цільовими функціями оптимізації. Такими критеріями можуть слугувати розроблені мультиплікативні ексергетичні критерії оцінки ефективності теплоутилізаційних систем, які завдяки використанню в цих критеріях ексергетичних характеристик відзначаються високим ступенем чутливості до зміни варіаційних параметрів систем і тому успішно використовуються в дослідженнях цільовими функціями оптимізації.. Це тепло-ексергетичний $\varepsilon = E_{втр}/Q$; та ексерго-технологічний $k_т = E_{втр}m/Q^2$ критерії ефективності, де $E_{втр}$ – втрати ексергетичної потужності, Q – теплова потужність, m – маса.



a *b*

Рис. 2. Залежність тепло-ексергетичного критерію ефективності від відношення чисел Рейнольдса для димових газів і повітря *a* і відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів *b*:

a 1 – $X^{г}_{вх} / X^{г}_{вих}$ = 2,25; 2 – 2,5; 3 – 3,0; 4 – 3,25.

b 1 – $Re^{г} / Re^{пов}$ = 1,20; 2 – 1,00; 3 – 0,90; 4 – 0,80.

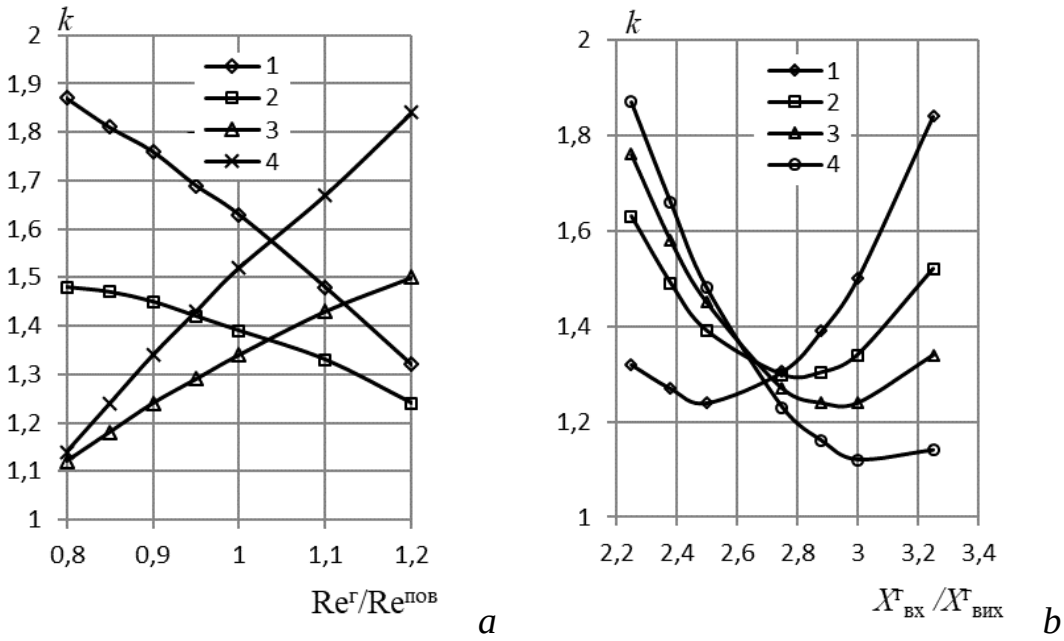


Рис. 3. Залежність ексерго-технологічного критерію ефективності від відношення чисел Рейнольдса для димових газів і повітря *a* і відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів *b*:

a) 1 – $X^{г}_{вх} / X^{г}_{вих}$ = 2,25; 2 – 2,5; 3 – 3,0; 4 – 3,25;

b) 1 – $Re^{г} / Re^{пов}$ = 1,20; 2 – 1,00; 3 – 0,90; 4 – 0,80.

Отримання залежностей критеріїв ефективності від режимних параметрів теплоутилізатора. На рис. 2, 3 наведено залежності тепло-ексергетичного та ексерго-технологічного критеріїв ефективності від режимних параметрів повітрогрійного пластинчастого теплоутилізатора.

Аналіз впливу режимних параметрів на критерії оцінки ефективності теплоутилізатора та визначення їхніх оптимальних областей. Як видно з рисунків, залежності ексергетичних критеріїв ефективності від $X^{г}_{вх} / X^{г}_{вих}$ для всіх значень $Re^{г} / Re^{пов}$ мають мінімум, який при збільшенні $X^{г}_{вх} / X^{г}_{вих}$ зміщується в бік більших значень $X^{г}_{вх} / X^{г}_{вих}$. Мінімум значень критеріїв ефективності, тобто максимальна ексергетична ефективність спостерігається в області значень $X^{г}_{вх} / X^{г}_{вих}$ = 2,4 ... 3,0. При значенні $X^{г}_{вх} / X^{г}_{вих}$ = 2,7 ексергетична ефективність теплоутилізатора не залежить від значень $Re^{г} / Re^{пов}$. Значення ексергетичних критеріїв в цій точці становлять: ε = 0,172, k =1,3. Залежності ексергетичних критеріїв ε и k від

$\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$ мають близький характер, а саме: при $X^{г}_{вх}/X^{г}_{вих}$ = 2,25 і 2,5 значення ексергетичних критеріїв зменшуються зі збільшенням $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$, тобто ексергетична ефективність теплоутилізатора збільшується, а при $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$ =3,0 і 3,25 з підвищенням $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$ його ексергетична ефективність зменшується. При цьому найнижчі значення тепло-ексергетичного і ексерго-технологічного критеріїв ε і k, тобто найбільша ефективність теплоутилізатора, відповідають значенням відношення чисел Рейнольдса димових газів і повітря $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$ на краях досліджуваного інтервалу значень $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$ і залежать від значень відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів $X^{г}_{вх}/X^{г}_{вих}$. Отже, оптимальними значеннями режимних параметрів можна прийняти $X^{г}_{вх}/X^{г}_{вих}$ = 2,7 і $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$ = 0,8 і 1,2 залежно від значень $X^{г}_{вх}/X^{г}_{вих}$. Максимальна ефективність досліджуваного теплоутилізатора має місце при невеликих величинах початкового вологовмісту $X^{г}_{вх}$, що пояснюється переважним зростанням його теплопродуктивності Q завдяки відносному збільшенню швидкості димових газів. У разі зменшення значення $\mathrm{Re}^{г}/\mathrm{Re}^{пов}$ мінімуми ексергетичних критеріїв зсуваються в бік зростання величини $X^{г}_{вх}$, при цьому збільшення Q відбувається переважно завдяки збільшенню різниці вологовмісту на вході і виході теплоутилізатора.

Висновки і перспективи.

1. Розроблено структурну схему котельної установки з комбінованою теплоутилізаційною системою для підігрівання води та дуттьового повітря з ідентифікацією вхідних і вихідних ексергетичних потоків окремих елементів.

2. Для оцінки ефективності повітрогрійного теплоутилізатора теплоутилізаційної системи використано комплексну методику на основі структурно-варіантного методу, методів ексергетичного аналізу та мультиплікативних ексергетичних критеріїв оцінки ефективності.

3. Отримано залежності обраних критеріїв ефективності досліджуваного теплоутилізатора від його режимних параметрів та визначено оптимальні області цих параметрів.

4. Вперше виконано аналіз ефективності та оптимізацію режимних параметрів повітрогрійного теплоутилізатора комбінованої теплоутилізаційної системи для підігрівання води і дуттьового повітря котельної установки. Практична цінність пов'язана з можливістю використання отриманих результатів при проектуванні тепло утилізаційних систем енергетичних установок.

Список використаних джерел

1. Valencia G., Fontalvo A., Cárdenas Y., Duarte J., Isaza C. Energy and Exergy Analysis of Different Exhaust Waste Heat Recovery Systems for Natural Gas Engine Based on ORC. Energies. 2019. 12. P. 2378.

2. Fontalvo A., Solano J., Pedraza C., Bula A., Quiroga A., Padilla R. Energy, Exergy and Economic Evaluation Comparison of Small-Scale Single and Dual Pressure Organic Rankine Cycles Integrated with Low-Grade Heat Sources. Entropy. 2017. 19. 476 p.

3. Sahin A. Z. Importance of Exergy Analysis in Industrial Processes// Опубликовано 21.05.2014 URL: https: // www. researchgate. net / publication / 228988818.

4. Mohammadi, M. Ali Ashjari, A. Sadreddini Exergy analysis and optimisation of waste heat recovery systems for cement plants. International Journal of Sustainable Energy. 2017. V. 37. P. 2.

5. 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.

6. Fialko N., Stepanova A., Navrodskaya 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). С. 61-63.

7. Fialko N., Stepanova A., Navrodskaya 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.

8. Степанова А.И. Анализ эффективности и оптимизация комбинированной теплоутилизационной системы котельной установки. Енергетика і автоматика. 2016. №1. С.119-128.

9. Степанова А.И. Оптимизация элементов теплоутилизационных систем энергетических установок. Енергетика і автоматика. 2016. № 2 . С. 128-138.

10. Степанова А.И. Оптимизация параметров теплообменной поверхности контактного пластинчатого воздухоподогревателя комбинированной теплоутилизационной системы котельной установки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. №242. С. 170-178.

References

1. Valencia, G., Fontalvo, A., Cárdenas, Y., Duarte, J., Isaza, C. (2019). Energy and Exergy Analysis of Different Exhaust Waste Heat Recovery Systems for Natural Gas Engine Based on ORC. Energies, 12, 2378.

2. Fontalvo, A., Solano, J., Pedraza, C., Bula, A., Quiroga, A., Padilla, R. (2017). Energy, Exergy and Economic Evaluation Comparison of Small-Scale Single and Dual Pressure Organic Rankine Cycles Integrated with Low-Grade Heat Sources. Entropy, 19, 476.

3. Sahin, A. Z. (2014). Importance of Exergy Analysis in Industrial Processes/ Available at: https: // www. researchgate. net / publication / 228988818.

4. Mohammadi, M. Ali Ashjari, A. Sadreddini (2017). Exergy analysis and optimisation of waste heat recovery systems for cement plants. International Journal of Sustainable Energy, 37, 2.

5. 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.

6. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodskaya, 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.

7. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodskaya, 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.

8. Stepanova, A. I. (2016). Analiz effektivnosti i optimizatsiya kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemy kotel'noy ustanovki. [Efficiency analysis and optimization of the combined heat recovery system of the boiler plant]. Energy and automation, 1, 119-128.

9. Stepanova A. I. (2016). Optimizatsiya elementov teploutilizatsionnykh sistem energeticheskikh ustanovok [Optimization of elements of heat utilization systems of power plants]. Energy and automation, 2, 128-138.

10. Stepanova A. I. (2016). Optimizatsiya parametrov teploobmennoy poverkhnosti kontaktnogo plastinchatogo vozdukhopodogrevatelya kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemy kotel'noy ustanovki [Optimization of parameters of the heat exchange surface of the contact plate air heater of the combined heat utilization system of the boiler installation]. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 242, 170-178.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

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

Аннотация. *Приведены результаты оптимизации режимных параметров воздухогрейного теплоутилизатора комбинированной теплоутилизационной*

системы газопотребляющего котла, предназначенной для подогрева воды и дутьевого воздуха. Подогрев воздуха в данном теплоутилизаторе реализуется путем глубокого охлаждения отходящих дымовых газов, то есть с изменением их влагосодержания в процессе теплоутилизации. Проанализированы возможности использования для оптимизации теплоутилизатора комплексной методики на основе структурно-вариантного метода и методов эксергетического анализа. Приведена разработанная структурная схема котельной установки с идентификацией входящих и исходящих эксергетических потоков для всех элементов установки. Установлено, что изменение эксергетических потерь в данном теплоутилизаторе достаточно сильно влияет на изменение эффективности всей теплоутилизационной системы. Таким образом, оптимизация режимных параметров указанного теплоутилизатора является необходимым условием повышения эффективности теплоутилизации в целом. Обоснован выбор целевых функций оптимизации режимных параметров исследуемого воздухогрейного теплоутилизатора, ими служат мультипликативные эксергетические критерии эффективности. Проанализированы полученные зависимости эксергетических критериев эффективности от режимных параметров теплоутилизатора, таких как отношение чисел Рейнольдса дымовых газов и воздуха и отношение начального и конечного влагосодержания дымовых газов. Установлено, что минимум значений критериев эффективности, который соответствует максимальной эксергетической эффективности, наблюдается в области значений отношения начального и конечного влагосодержания дымовых газов в пределах от 2,4 до 3,0. Показано, что при значении указанного отношения 2,7 эксергетическая эффективность исследуемого теплоутилизатора не зависит от отношения чисел Рейнольдса дымовых газов и воздуха. Установлено, что отношение начального и конечного влагосодержания дымовых газов, равное 2,7, и отношение чисел Рейнольдса дымовых газов и воздуха, равные 0,8 и 1,2 в зависимости от значений отношения начального и конечного влагосодержания дымовых газов, можно принять оптимальными значениями режимных параметров.

Ключевые слова: ***теплоутилизационные системы, эксергетическая эффективность, комплексные методики***

OPTIMIZATION OF OPERATING PARAMETERS A HEAT-RECOVERY EXCHANGER OF A BOILER PLANT BASED ON THE EXERGY APPROACH

N. Fialko, A. Stepanova, R. Navrodskaya, S. Shevchuk. G. Sbrodova

Abstract. *The results of operating parameters optimization of the air-heating heat-recovery exchanger of complex heat recovery system of a gas-fired boiler designed for heating water and blown air are presented. Air heating in this heat-recovery exchanger is realized by deep cooling of the waste exhaust gases, that is, with a change in their moisture content during the heat recovery process. The possibilities of using a complex technique based on the structural-variant method and exergy analysis methods for the optimization of the heat-recovery exchanger are analyzed. The developed structural scheme of the boiler plant with identification of input and output exergy streams for all elements of the installation is presented. The change of exergy losses in this heat-recovery*

exchanger has a rather strong effect on the change of the whole heat recovery system efficiency is established. Thus, the optimization of heat-recovery exchanger operating parameters of is a necessary condition for increasing the efficiency of heat recovery in general. The choice of multiplicative exergy efficiency criteria used as target functions of operating parameters optimization of the investigated air-heating heat exchanger is substantiated. The obtained dependences of exergy efficiency criteria on the operating parameters of the heat-recovery exchanger, such as the ratio of the Reynolds numbers of exhaust gases and air and the ratio of the initial and final moisture content of exhaust gases, are analyzed. It is established that the minimum values of the efficiency criteria, which corresponds to the maximum exergy efficiency, is observed in the range of values of the ratio of the initial and final moisture content of exhaust gases in the range from 2.4 to 3.0. It is shown that at a value of the specified ratio of 2.7, the exergy efficiency of the investigated heat-recovery exchanger does not depend on the ratio of the Reynolds numbers of exhaust gases and air. It is established that of initial and final moisture content ratio of exhaust gases, equal to 2.7, and the Reynolds numbers ratio of exhaust gases and air, equal to 0.8 and 1.2, depending on the values of initial and final moisture content ratio of exhaust gases, can be taken as the optimal values of the operating parameters.

Key words: ***heat-recovery exchangers, exergy efficiency, complex techniques***