

Технические науки

УДК 621.036.

Фиалко Наталия Михайловна

*доктор технических наук, профессор, член корреспондент НАН Украины,
Заслуженный деятель науки и техники Украины,
заведующая отделом теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of NAS of Ukraine,
Honored Worker of Science and Technology of Ukraine,
Head of the Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Степанова Алла Исаевна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Stepanova Alla

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Навродская Раиса Александровна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Navrodskaia Raisa

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Меранова Наталия Олеговна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Meranova Nataliia

*Candidate of Technical Sciences (PhD),
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

Шевчук Светлана Ивановна

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий
Институт технической теплофизики НАН Украины*

Shevchuk Svetlana

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher of the
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies
Institute of Engineering Thermophysics of
National Academy of Sciences of Ukraine*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЧНЫХ БАЛАНСОВ ДЛЯ АНАЛИЗА
ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В КОМБИНИРОВАННОЙ
ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ КОТЕЛЬНОЙ
УСТАНОВКИ**

**USE OF MATRIX BALANCES FOR ANALYSIS OF EXERGY LOSSES
IN A COMBINED HEAT RECOVERY SYSTEM OF A BOILER PLANT**

Аннотация. Приведены результаты анализа эксергетических потерь в отдельных элементах тепловой установки, содержащей газопотребляющий отопительный котел и комбинированную теплоутилизационную систему для подогрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха. Отмечено, что для определения потерь эксергии используется комплексная методика, сочетающая методы эксергетического анализа с одним из методов теории линейных систем, методом RP-представления термодинамических балансов в матричной форме. При реализации указанной методики для отдельных элементов теплоутилизационной системы записываются балансы массы, энергии и эксергии в матричной форме. На основе матричных балансов определена входная матрица, с помощью которой рассчитываются суммарные эксергетические потери в теплоутилизационной системе при различных режимах работы котла. Проанализированы результаты расчета относительного вклада эксергетических потерь в каждом элементе в суммарную необратимость процессов системы при различных режимах работы котла. Показано, что наименьшие потери в основных элементах теплоутилизационной системы происходят до 55 % номинальной тепловой мощности котла.

Ключевые слова: теплоутилизационная система, эксергетический анализ, матричные балансы.

Summary. *The results of the analysis of exergy losses in separate elements of the installation containing a gas-fired boiler and the combined heat recovery system for heating water and blast air are resulted. It is noted that a complex technique combining the methods of exergy analysis with one of the methods of the theory linear systems is used to determine exergy losses, namely, the method of RP-representation thermodynamic balances in matrix form. When implementing this technique for separate elements of the heat recovery system, the balances of mass, energy and exergy are recorded in matrix form. On the basis of matrix balances the input matrix by means of which total exergy losses in heat recovery system at various operating modes of a boiler are calculated is defined. The results of calculating the relative contribution of exergy losses in each element of the heat recovery system to the total irreversibility of processes in the system at different operating modes of the boiler are analyzed. It is noted that the smallest losses in the main elements of the heat recovery system occur when the boiler capacity is up to 55 % of the installed capacity.*

Key words: *heat recovery system, exergy analysis, matrix balances.*

Актуальность. При существующих в Украине тенденциях к повышению стоимости топлива рациональное использование энергоресурсов становится залогом энергетической безопасности и экономической стабильности страны. Один из важнейших путей в этом направлении - разработка теплоутилизационных технологий на базе современного теплообменного оборудования. Повышение эффективности такого оборудования является важной и актуальной задачей. В настоящей работе исследована эффективность основных элементов установки, содержащей газопотребляющий водогрейный котел и комбинированную теплоутилизационную систему для подогрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха [1]. Для предотвращения конденсатообразования в газоотводящем тракте котельной установки и в дымовой трубе данная

система снабжена дополнительным теплообменником-газоподогревателем, установленном за воздухоподогревателем [2].

Цель работы. Установление рабочих диапазонов тепловой мощности котла, при которой фиксируются наименьшие потери в основных элементах указанной установки.

Материалы и методы исследования. В настоящее время в Украине и в мире все чаще используются методы эксергетического анализа для оценки эффективности энергетических установок, в том числе теплоутилизационных систем [3-10]. В работах [5-10] показана целесообразность использования для оценки эффективности теплоутилизационных систем комплексных методов, сочетающих элементы эксергетического анализа с методами теории линейных систем, термодинамики необратимых процессов, многоуровневой оптимизации и др. Для анализа эффективности рассматриваемой установки использована комплексная методика, сочетающая элементы эксергетического анализа с одним из методов теории линейных систем, методом *RP*-представление термодинамических балансов в матричной форме.

Результаты исследований и их обсуждение. На основе матричных балансов определена входная матрица, с помощью которой рассчитаны суммарные эксергетические потери в рассматриваемой теплоутилизационной системе при различных режимах работы котла и определен относительный вклад каждого элемента теплоутилизационной системы в суммарную необратимость процессов системы (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Эксергетические потери при различных режимах работы котла

Потери эксергии	Мощность котла, % от установленной мощности			
	30	55	77	100
<i>E</i> , кВт	5,0	9,8	21,9	42,3

Из результатов, представленных на рис. 1, видно, что относительный вклад эксергетических потерь в основных элементах теплоутилизационной системы в суммарные эксергетические потери при увеличении мощности котла от 30 % до 100 % номинальной мощности увеличивается: в водогрейном теплоутилизаторе - от 6,0 % до 51,0 %, а в воздухогрейном - от 4,0 % до 6,0 %, в газоподогревателе - от 1,0 % до 2,0 %.

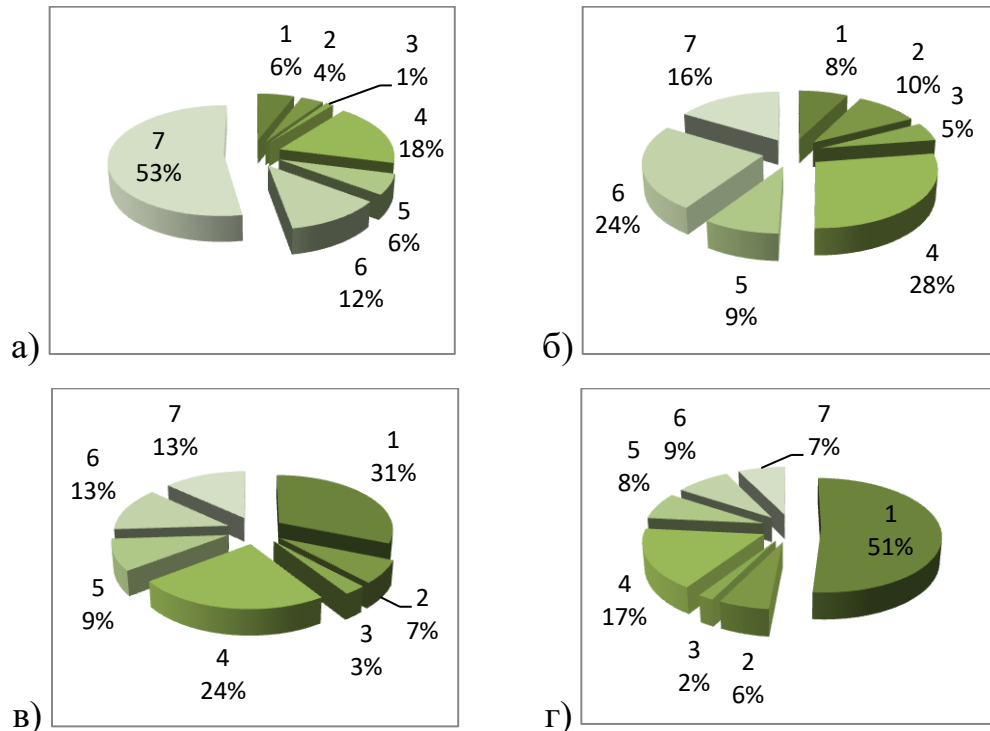


Рис.1. Относительный вклад потерь эксергии отдельных элементов в суммарные потери эксергии в теплоутилизационной системе при разных значениях относительной тепловой мощности котла:

1, 2 – водогрейный и воздухогрейный теплоутилизаторы;
 3 – газоподогреватель; 4 – дымосос; 5 – вентилятор; 6, 7 – насосы;
 а) 30 % номинальной мощности котла; б) 55 %; в) 77 %; г) 100 %.

Общий вклад эксергетических потерь в насосной системе в суммарные эксергетической потери теплоутилизационных систем довольно большой при всех значениях тепловой мощности котла. Он уменьшается от 89,2 % до 40,7 % при увеличении мощности котла от 30 % до 100 % установленной мощности. Таким образом, наименьшие потери в

основных элементах установки происходят при тепловой мощности котла до 55 % его номинальной мощности.

Научная новизна заключается в применении комплексной методики, сочетающей элементы эксергетического анализа и метод *RP*-представление термодинамических балансов в матричной форме, для исследования эксергетической потерь в котельной установке с комбинированной системой теплоутилизации теплоты отходящих дымовых газов.

Практическая ценность связана с возможностью использования полученных результатов при проектировании теплоутилизационных установок в газопотребляющих котельных коммунальной теплоэнергетики.

Выводы

1. Реализована комплексная методика, сочетающая элементы эксергетического анализа с методами теории линейных систем, для анализа эксергетических потерь в комбинированной теплоутилизационной системе водогрейного отопительного котла.

2. Рассчитаны суммарные эксергетические потери в комбинированной системе и определен относительный вклад каждого элемента системы в суммарную необратимость процессов данной системы при различных режимах работы котла.

3. Установлено, что наименьшие потери в основных элементах теплоутилизационной системы происходят при мощности котла, не превышающей 55 % его номинальной мощности.

Литература

1. Fialko N.M., Navrodskaia R.A., Shevchuk S.I., Stepanova A.I., Presich G.A., Gnedash G.A. Teplovye metody zashchity gazootvodiashchikh

- traktov kotelnykh ustanovok [Heat methods for the protection of the exhaust ducts of boiler plants]. Kyiv: «Pro format». 2018. 248 p.
2. Fialko N.M., Navrodska R.O., Presich G.O., Gnedash G.O., Shevchuk S.I., Stepanova A.I. Kombinovani teploutilizatsiini systemy dlia gazospozhyvalnykh kotliv komunalnoi teploenergetyky [Combined heat recovery systems for gas-fired boilers of municipal heat-power engineering]. Kyiv: «Pro format». 2019. 192 p.
 3. Cavalcanti E. JC. Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of an integrated solar combined cycle system // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. 67. P. 507-519.
 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 Plan // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. №41. PP.1-12.
 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). PP. 43-48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.147526.
 6. 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). PP. 61-63.
 7. 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). PP. 30-33.

8. Stepanova A. Efficiency analysis and optimization of the combined heat recovery system of the boiler plant // *Energy and automation*. 2016. №1. PP. 119-128.
9. Stepanova A. Optimization of elements of heat utilization systems of power plants // *Energy and automation*. 2016. № 2. PP. 128-138.
10. Stepanova A. 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*. 2016. №242. PP. 170-178.