

Технические науки

УДК 621.036.7

Фиалко Наталья Михайловна

доктор технических наук, член-корреспондент НАН Украины

Институт технической теплофизики

Национальной академии наук Украины

Fialko Natalia

Doctor of Technical Science,

Corresponding Member of the NAS of Ukraine

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Степанова Алла Исаевна

кандидат технических наук

Институт технической теплофизики

Национальной академии наук Украины

Stepanova Alla

Candidate of Technical Science

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Навродская Раиса Александровна

кандидат технических наук

Институт технической теплофизики

Национальной академии наук Украины

Navrodskaia Raisa

Candidate of Technical Science

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Пресич Георгий Александрович

кандидат технических наук

Институт технической теплофизики

Национальной академии наук Украины

Presich Georgiy

Candidate of Technical Science

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

**КОМПЛЕКСНЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ**

**INTEGRATED APPROACHES FOR ANALYZING THE EFFICIENCY
OF THE AIR HEATER OF HEAT RECOVERY SYSTEM**

***Аннотация.** На основе комплексных подходов исследуются причины возникновения эксергетических потерь и области их локализации в воздухонагревателе теплоутилизационной системы котельной установки. Определяется вклад каждого из диссипаторов эксергии и системы соединительных трубопроводов в эксергетические потери. Анализируются условия, при которых обеспечивается минимальный уровень эксергетических потерь.*

***Ключевые слова:** воздухонагреватель теплоутилизационной системы, эксергетические потери, эффективность теплоутилизационного оборудования.*

***Summary.** On the basis of complex approaches, the causes of exergy losses and the areas of their localization in the air heater of the heat utilization system of the boiler plant are investigated. The contribution of each of the exergy dissipators and the system of connecting pipelines to the exergy losses is*

determined. The conditions under which the minimum level of exergic losses is ensured are analyzed.

Key words: *air heater of heat recovery system, exergy losses, efficiency of heat recovery equipment.*

Разработка высококачественного теплоутилизационного оборудования для энергетических установок различного типа предполагает применение комплексных методик исследования эффективности и оптимизации теплоутилизационных систем, основанных на современных подходах к решению проблемы. Методы эксергетического анализа могут быть использованы для анализа эффективности энергетических установок различного типа [1-2]. Однако отсутствие соответствующей формальной процедуры [3] значительно ограничивает широту применения указанных методов. В настоящей работе используются методы эксергетического анализа в рамках комплексной методики, включающей также методы термодинамики необратимых процессов. Методика позволяет установить причины возникновения эксергетических потерь и области их локализации в воздухонагревателе теплоутилизационной системы котельной установки, а также определить значения параметров, в пределах которых обеспечивается минимальный уровень эксергетических потерь.

Эксергетические потери являются одной из причин снижения эффективности теплоутилизационных систем и их отдельных элементов. Такие потери связаны с гидродинамическим сопротивлением при движении теплоносителей, с необратимыми процессами при теплообмене между теплоносителями, с процессами теплопроводности. На базе комплексной методики, основанной на методах эксергетического анализа и термодинамики необратимых процессов, исследованы потери эксергетической мощности в воздухонагревателе теплоутилизационной системы котельной установки для котла ВК-21-М2. Рассматривалось семь

режимов работы котла, при этом нагрузка котла изменялась от максимальной до минимальной в соответствии с ее изменением в течение отопительного периода.

Потери эксергетической мощности, связанные с необратимыми процессами при теплообмене между теплоносителями, с процессами теплопроводности и с гидродинамическим сопротивлением при движении теплоносителей, характеризовались соответствующими диссипаторами эксергии:

$$R_{\alpha_{\text{дг}}} = \frac{T_0 Q^2}{\alpha_{\text{дг}} F T_{\text{дг}} T_{\text{ст1}}}, R_{\alpha_{\text{воз}}} = \frac{T_0 Q^2}{\alpha_{\text{воз}} F T_{\text{воз}} T_{\text{ст2}}}, R_{\lambda} = \frac{T_0 Q^2 \delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}} F T_{\text{ст1}} T_{\text{ст2}}},$$

$$R_{G_{\text{дг}}} = \frac{(G_{\text{дг}})^3 \xi_{\text{дг}} T_0}{2 T_{\text{дг}} (\rho_{\text{дг}})^2 (F_{\text{дг}})^2}, R_{G_{\text{воз}}} = \frac{(G_{\text{воз}})^3 \xi_{\text{воз}} T_0}{2 T_{\text{воз}} (\rho_{\text{воз}})^2 (F_{\text{воз}})^2}.$$

G – массовый расход теплоносителя, кг/с; Q – тепловая мощность, кВт; T – температура, К; $T_{\text{ст1}}$ ($T_{\text{ст2}}$) – температура стенки со стороны дымовых газов (воздуха), К; α_1 – коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к стенке, кВт/м² К; α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху, кВт/м² К; δ – толщина стенки, м; λ – коэффициент теплопроводности, кВт/м К; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления; ρ – плотность. **Индексы нижние:** дг-дымовые газы; воз- воздух; ст – стенка.

Результаты расчетов диссипаторов эксергии, суммарного диссипатора эксергии и общих потерь эксергетической мощности в воздухонагревателе приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов диссипаторов эксергии при различных режимах работы котла

Параметр	Режимы работы котла						
	1	2	3	4	5	6	7
Q , кВт	71,5	59,1	46,3	35,4	52,9	39,5	23,8
$R_{\alpha_{\text{дг}}}$, кВт	4,96	3,80	2,69	1,86	2,85	1,88	0,91
R_{λ} , кВт	0,88	0,61	0,38	0,23	0,49	0,28	0,11
$R_{\alpha_{\text{воз}}}$, кВт	7,66	5,61	4,05	2,70	4,17	2,66	1,26
$R_{G_{\text{дг}}}$, кВт	0,52	0,37	0,24	0,15	0,49	0,31	0,13
$R_{G_{\text{воз}}}$, кВт	0,28	0,20	0,14	0,09	0,30	0,20	0,08

$K_{R_{\text{дг}}}$, %	34,6	35,8	35,8	36,9	34,3	35,25	36,7
$K_{R_{\lambda}}$, %	6,1	5,8	5,1	4,5	5,9	5,3	4,3
$K_{R_{\alpha\text{воз}}}$, %	53,5	53,0	54,0	53,7	50,2	49,9	50,4
$K_{R_{G\text{дг}}}$, %	3,6	3,5	3,2	3,0	5,9	5,8	5,2
$K_{R_{G\text{воз}}}$, %	2,0	1,9	1,9	1,8	3,6	3,7	3,3
$R^{\text{сум}}$, кВт	14,3	10,6	7,5	5,0	8,3	5,3	2,5
$E^{\text{общ}}$, кВт	16,0	11,9	9,0	5,6	9,0	5,7	2,6

Как видно из таблицы, наибольшие потери эксергетической мощности в воздухонагревателе и соответственно наибольший относительный вклад K в суммарные потери $R^{\text{сум}}$, связаны с теплоотдачей от стенки к воздуху, наименьшие потери и вклад связаны с гидродинамическими потерями при движении воздуха. Эти характеристики остаются примерно постоянными при изменении теплопроизводительности Q . Потери эксергетической мощности в воздухонагревателе, характеризующиеся диссипаторами эксергии $R_{\alpha\text{дг}}$ и $R_{\alpha\text{воз}}$, больше (в 5-25 раз) потерь, характеризующихся диссипаторами R_{λ} , $R_{G\text{дг}}$, $R_{G\text{воз}}$, для всех режимов работы котла. С уменьшением теплопроизводительности котла эксергетические потери, определяемые теплоотдачей от стенки к воздуху и от дымовых газов к стенке, существенно уменьшаются (на 3-5кВт), при этом уменьшение потерь, связанных с теплопроводностью и движением теплоносителей, незначительно. Сравнительный анализ суммарных эксергетических потерь, связанных с процессами теплопередачи и гидродинамическими потерями, и общих потерь в воздухонагревателе $E_{\text{общ}}$ позволил выделить потери эксергетической мощности, приходящиеся на систему соединительных трубопроводов. Эти потери составили от 4% до 10%. Таким образом, наиболее эффективным для общего снижения потерь эксергетической мощности в воздухонагревателе является снижение потерь, связанных с теплоотдачей от стенки к воздуху. Изучены закономерностей влияния на диссипаторы эксергии коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху (рис.1).

Проанализированы закономерности изменения диссипаторов эксергии, связанных с теплоотдачей от стенки к воздуху при изменении коэффициента теплоотдачи. Увеличение коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху приводит к росту эксергетических потерь. Для значений коэффициента теплоотдачи (0,04-0,06) кВт/м²К этот рост незначителен, дальнейшее увеличение коэффициента теплоотдачи приводит к более существенному росту потерь. Определена область изменения коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху, в рамках которой обеспечивается минимальный уровень потерь эксергетической мощности. Оптимальная область изменения коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху составляет – 0,04-0,06 кВт/м²К.

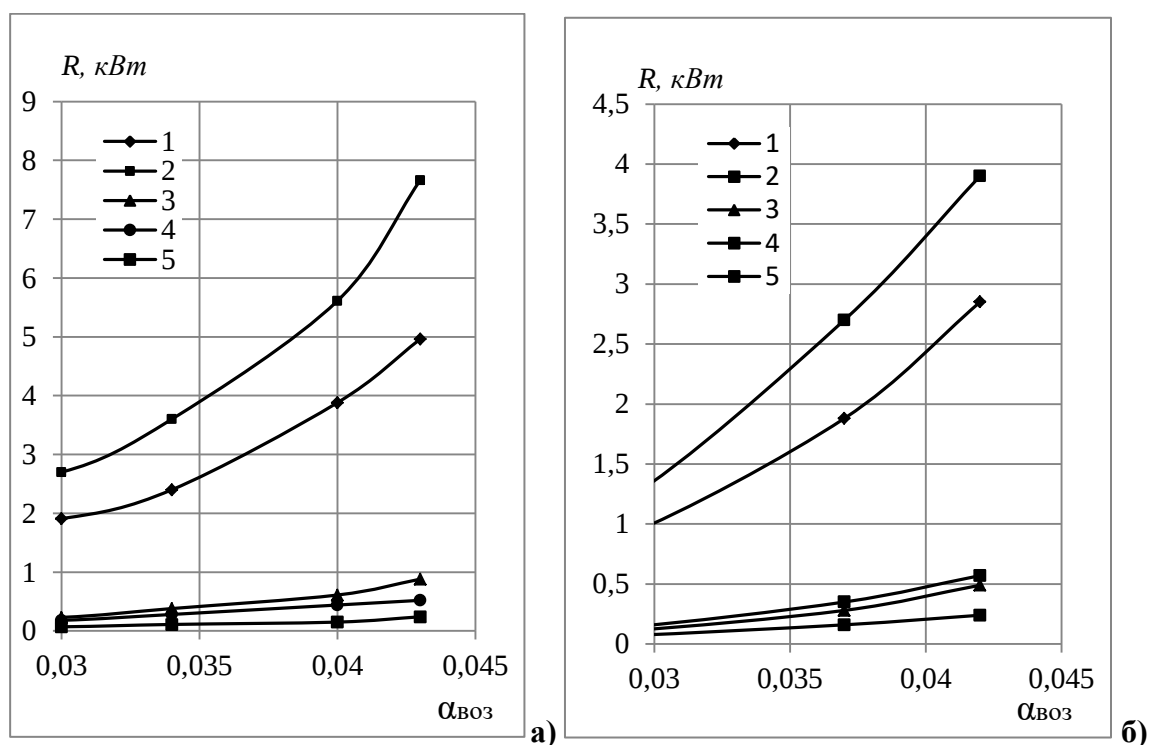


Рис. 1. Зависимость диссипаторов эксергии R от коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха α_{voz} : а) - режимы 1-4; б) - режимы 5-7; 1 - $R_{a_{дг}}$; 2 - $R_{a_{voz}}$; 3 - R_{λ} ; 4 - $R_{G_{дг}}$; 5 - $R_{G_{voz}}$

Выводы. Установлены причины возникновения эксергетических потерь и области их локализации в воздухонагревателе теплоутилизационной системы котельной установки.

1. Определен вклад каждого из диссипаторов эксергии и системы соединительных трубопроводов в эксергетические потери.
2. Изучены закономерности влияния на диссипаторы эксергии коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху и определена область его изменения, в рамках которой обеспечивается минимальный уровень эксергетических потерь.

Литература

1. 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.
2. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskiy J.. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2018. 6/8 (96). С. 43-48.
3. Tsatsaronis G., Morosuk T. Advanced thermodynamic (exergetic) analysis // Journal of Physics: Conference Series. 2012. V. 395. 012160. doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.001