

**РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ
ВТРАТ ПРИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ
СТІНКУ В ПОВІТРОГРІЙНИХ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРАХ**

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

Н. О. Меранова, 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. *Забезпечення високих економічних показників енергетичних установок різного призначення, які включають системи утилізації теплоти відхідних газів, можливо при застосуванні ефективного теплоутилізаційного обладнання. Одним із критеріїв оцінки термодинамічної досконалості енергетичних установок є величина ексергетичних втрат в структурних елементах установки. Зменшення ексергетичних втрат відповідає збільшенню ексергетичної ефективності. Визначення в теплоутилізаційній системі структурних елементів, в яких локалізовано максимальні ексергетичні втрати, дозволить спрямовано впливати на них з метою підвищення ексергетичної ефективності установки. У роботі наведено результати розробки комплексних методик розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки повітрогрійних теплоутилізаторів, які входять до теплоутилізаційних систем енергетичних установок різного призначення. Комплексні методики базуються на інтегральних рівняннях для розрахунку ексергетичних втрат, а також диференціальних рівняннях теорії теплопередачі в застосуванні до теплоутилізаційних систем. Проведено класифікацію ексергетичних втрат для теплоутилізаційних систем енергетичних установок та встановлено місце і тип локальних ексергетичних втрат. Розглянуто три типи локальних ексергетичних втрат: втрати при тепловіддачі від теплоносія до стінки, тепловіддачі від стінки до теплоносія та ексергетичні втрати в процесах теплопровідності. Розроблено системи інтегродиференціальних рівнянь та отримано аналітичні вирази для розрахунку локальних ексергетичних втрат в процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки повітрогрійних теплоутилізаторів. Впровадження нових комплексних методик досліджень розширює можливості використання методів ексергетичного аналізу для підвищення ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем. Дослідження з використанням вказаних методик*

дозволять розробляти теплоутилізаційні системи з високими показниками енергетичної та ексергетичної ефективності.

Ключові слова: *теплоутилізаційні системи; теплоутилізатори; ексергетичні втрати; процеси теплопередачі*

Актуальність Розробка теплоутилізаційного обладнання для створення і впровадження високоефективних систем утилізації теплоти відхідних газів енергетичних установок різного призначення є важливим аспектом загальної проблеми енергозбереження в країні. Одним із основних критеріїв оцінки термодинамічної досконалості енергетичних установок є величина ексергетичних втрат в структурних елементах установки. Визначення в теплоутилізаційній системі структурних елементів, в яких локалізовано максимальні ексергетичні втрати, розрахунок ексергетичних втрат та їх порівняльний аналіз дозволять спрямовано впливати на них з метою підвищення ексергетичної ефективності установки. Недосконалість існуючих методів аналізу ексергетичних втрат у теплоутилізаційних системах є однією з перешкод для впровадження у промисловість теплоутилізаційних систем із високими показниками ексергетичної ефективності. Наразі сучасні методики аналізу ексергетичної ефективності енергетичних установок включають, в основному, методи термоексергетичного аналізу, в яких використано теорії ексергетичної вартості, продуктивний структурний аналіз, структурна теорія термoeкономіки тощо. Зазначена проблема потребує більш глибокого вивчення із застосуванням комплексних методик на основі теплоксергетичного та ексерготехнологічного підходів. Такі підходи включають методи функціонального аналізу, теорії теплопередачі та інші сучасні методи дослідження щодо теплоенергетичних установок різного призначення. Дослідження з використанням вказаних методик дозволять розробляти теплоутилізаційні системи з високими показниками енергетичної та ексергетичної ефективності. Це визначає важливість та актуальність досліджень у цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Методи ексергетичного аналізу все частіше використовуються в світовій практиці для проектування та дослідження ефективності складних енергетичних систем різного типу. Наразі вказані методи

лежать в основі комплексних методик, які, в основному, базуються на використанні термо- та топологоексергетичних моделей. [1-4]. У роботі [1] зазначено, що ексергетичний аналіз дозволяє виявити всі аспекти, що впливають на глобальну ефективність систем, та запропонувати максимальну кількість можливих удосконалень. У роботі [2] аналіз енергетичних процесів у холодильній машині здійснюється на основі теорії вартості ексергії. У роботі [3] використано балансові методи ексергетичного аналізу для проведення порівняльних досліджень ексергетичних втрат в елементах багатофункціональної будівлі. Показано взаємозв'язок ексергетичних втрат в елементах та залежність втрат в елементах від ефективності експлуатації наступних по ходу теплоносія елементів. У роботі [4] модель виробничої структури енергоблоку є математичним описом роботи комплексу елементів енергоустановок, взаємопов'язаних потоками ексергії, з урахуванням процесу перетворення ексергії в кожному з них. За допомогою топологоексергетичної моделі встановлюється взаємозв'язок між ексергетичним ККД системи та ексергетичним ККД елементів. Впровадження в практику досліджень ексергетичної ефективності енергетичних установок комплексних методик, заснованих на теплоексергетичному та ексергетехнологічному підходах з використанням структурно-варіантних методів, методів багаторівневої оптимізації, теорії теплопровідності тощо, дозволяють визначити в енергетичній установці місця локалізації ексергетичних втрат і розрахувати їхню величину [5-10]. Такі дослідження є важливими та актуальними, оскільки дозволяють отримати необхідну інформацію при проектуванні оптимальних теплоутилізаційних систем для енергетичних установок різного типу.

Мета дослідження - розробка комплексних методик розрахунку ексергетичних втрат у процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки у повітрогрійних теплоутилізаторах енергетичних установок різного призначення. Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

- провести класифікацію ексергетичних втрат для теплоутилізаційних систем енергетичних установок та встановити місце та тип локальних ексергетичних втрат;

- розробити системи інтегродиференціальних рівнянь для розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки для повітрогрійних теплоутилізаторів;

- отримати аналітичні вирази для розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах тепловіддачі від теплоносія до стінки, тепловіддачі від стінки до теплоносія та у процесах теплопровідності для плоскої та циліндричної стінок.

Матеріали та методи дослідження. Для розробки комплексних методик розрахунку ексергетичних втрат у процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки в повітрогрійних теплоутилізаторах використано ексерготехнологічний підхід. Комплексна методика базується на інтегральних рівняннях розрахунку ексергетичних втрат, а також диференціальних рівняннях теорії теплопередачі в застосуванні до теплоутилізаційних систем. У рамках розробленої методики отримано аналітичні вирази для розрахунку ексергетичних втрат у процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки в повітрогрійних теплоутилізаторах енергетичних установок. Розглянуто три типи ексергетичних втрат: втрати при тепловіддачі від теплоносія до стінки, тепловіддачі від стінки до теплоносія та у процесах теплопровідності.

Результати досліджень та їх обговорення.

Класифікація ексергетичних втрат для теплоутилізаційних систем енергетических установок і встановлення місця та типу локальних ексергетичних втрат для повітрогрійних теплоутилізаторів котельних установок.

Досягнення високих економічних показників технологій утилізації теплоти відхідних газів енергетичних установок може бути забезпечено шляхом застосування ефективного теплоутилізаційного обладнання. Одним із показників ексергетичної ефективності теплоутилізаційного обладнання є величина ексергетичних втрат. Збільшення ексергетичних втрат відповідає зменшенню ексергетичної ефективності. Проведено класифікацію ексергетичних втрат у теплоутилізаційних системах. Ексергетичні втрати в таких системах можна класифікувати так:

- загальні ексергетичні втрати в теплоутилізаційній системі, що складаються з ексергетичних втрат в окремих елементах теплоутилізаційної системи та ексергетичних втрат у системі з'єднувальних трубопроводів;

- ексергетичні втрати в окремих елементах теплоутилізаційної системи, що складаються з локальних ексергетичних втрат внаслідок теплопередачі між теплоносіями, руху теплоносіїв, теплопровідності в стінках та змішування теплоносіїв;

- ексергетичні втрати в довкілля.

Розробка системи інтегродиференціальних рівнянь для розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки.

Для проведення аналізу локальних ексергетичних втрат у пластинчастих та гладкотрубних газоповітряних теплоутилізаторах розроблено комплексну методику. Методика базується на інтегральних рівняннях розрахунку ексергетичних втрат, а також диференціальних рівняннях теорії теплопередачі в застосуванні до теплоутилізаційних систем. Для розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах тепловіддачі від димових газів до стінки, тепловіддачі від стінки до повітря та в процесах теплопровідності через плоску та циліндричну стінки розроблені системи інтегродиференціальних рівнянь. Системи інтегродиференціальних рівнянь для розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах теплопровідності для плоскої стінки:

$$\begin{aligned} E_{\text{los},\lambda}^P &= -T_0 \int_v \frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial x} dv = \\ &= -T_0 \iint_F dy dz \int_0^\delta \frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial x} dx; \end{aligned}$$

$$E_{\text{los},\lambda}^P = -T_0 F \int_0^\delta \frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial x} dx;$$

$$E_{\text{los},\lambda}^p = T_0 F \lambda \int_0^\delta \left(\frac{dT}{dx} \right)^2 \frac{1}{T^2} dx;$$

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx};$$

$$T = T_{w1} - \frac{T_{w1} - T_{w2}}{\delta} x.$$

Для циліндричної стінки:

$$E_{\text{los},\lambda}^c = -T_0 \int_V \frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial r} dv;$$

$$E_{\text{los},\lambda}^c = -T_0 2\pi l \int_{r_1}^{r_2} r \left(\frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial r} \right) dr;$$

$$E_{\text{los},\lambda}^c = 2\pi l T_0 \lambda \int_{r_1}^{r_2} r \left(\frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 dr;$$

$$T = T_{w1} - \frac{(T_{w1} - T_{w2})}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \ln \frac{r}{r_1};$$

Отримання аналітичних виразів для розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах тепловіддачі від теплоносія до стінки, тепловіддачі від стінки до теплоносія, також у процесах теплопровідності для плоскої та циліндричної стінок.

Для отримання аналітичних залежностей ексергетичних втрат у процесах теплопровідності для плоскої стінки введемо такі позначення:

$$T_{w1} = a, T_{w2} = b, \quad T_{w1} - T_{w2} = c,$$

$$\frac{T_{w1} - T_{w2}}{\delta} = p, \quad T = a - px;$$

Тоді:

$$E_{\text{los},\lambda}^p = -T_0 F \lambda \int_a^{a-p\delta} \frac{p}{T^2} dT = T_0 F \lambda p \frac{1}{T} \Big|_a^{a-p\delta};$$

$$E_{\text{los},\lambda}^p = T_0 F \lambda p \left(\frac{1}{a - p\delta} - \frac{1}{a} \right);$$

$$E_{\text{los},\lambda}^p = \frac{T_0 F \lambda (T_{w1} - T_{w2})^2}{\delta T_{w1} T_{w2}};$$

$$E_{\text{los},\lambda}^p = \frac{T_0 Q^2 \delta}{\lambda F T_{w1} T_{w2}}.$$

У результаті аналогічних викладок для розрахунку ексергетичних втрат при тепловіддачі від димових газів до стінки та від стінки до повітря отримаємо:

$$E_{\text{los},\alpha 1}^p = \frac{T_0 Q^2}{F \alpha 1 T_{w1} T_{w2}};$$

$$E_{\text{los},\alpha 2}^p = \frac{T_0 Q^2}{F \alpha 2 T_{w1} T_{w2}}.$$

Для отримання аналітичних залежностей ексергетичних втрат у процесах теплопровідності для циліндричної стінки отримаємо:

$$E_{\text{los},\lambda}^c = \frac{2\pi l T_0 \lambda k \ln \frac{r_2}{r_1}}{T_{w1} T_{w2}} = \frac{2\pi l T_0 \lambda (T_{w1} - T_{w2})^2}{\ln \frac{r_2}{r_1} T_{w1} T_{w2}};$$

$$E_{\text{los},\lambda}^c = \frac{2\pi l T_0 \lambda Q^2 \ln^2 \frac{r_2}{r_1}}{(2\pi \lambda l)^2 \ln \frac{r_2}{r_1} T_{w1} T_{w2}} =$$

$$= \frac{T_0 Q^2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \lambda l T_{w1} T_{w2}};$$

$$E_{\text{los},\lambda}^c = \frac{T_0 Q^2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \lambda l T_{w1} T_{w2}}.$$

У результаті аналогічних викладок для розрахунку ексергетичних втрат при тепловіддачі від димових газів до стінки та від стінки до повітря:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{los}\alpha 1}^c &= -T_0 \int_v \frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial r} dv = \\
 &= -T_0 \int_0^{2\pi l} \int_0^{r_2+r_1} \int_{r_2} \frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial r} r dr; \\
 E_{\text{los}\alpha 1}^c &= -2\pi l T_0 \int_{r_2}^{r_2+r_1} \frac{q}{T^2} \frac{\partial T}{\partial r} r dr.
 \end{aligned}$$

На невеликій відстані від поверхні циліндра $r < r_1$ приймаємо лінійний розподіл температур в залежності від радіуса:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{(T_g - T_w)}{r_1} r + T_w; \\
 E_{\text{los}\alpha 1}^c &= -2\pi T_0 l \alpha_1 \frac{(T_g - T_w)}{r_1} \int_{r_2}^{r_2+r_1} \frac{r dr}{\left(\frac{T_g - T_w}{r_1} r + T_w \right)^2}; \\
 E_{\text{los}\alpha 1}^c &= \frac{k}{a^2} \left[\frac{ar_1}{(ar_2 + ar_1 + b)(ar_2 + b)} + \ln \frac{ar_2 + ar_1 + b}{ar_2 + b} \right];
 \end{aligned}$$

$$\text{Здесь: } a = \frac{T_g - T_w}{r_1}, \quad b = T_w, \quad k = 2\pi T_0 l \alpha_1 a..$$

Розрахунок $E_{\text{los}\alpha 1}^c$ за отриманим виразом представляє певні труднощі. Тому для полегшення розрахунків приймаємо:

$$T = \frac{T_g + T_w}{2};$$

Тоді:

$$E_{\text{los}\alpha 1}^c = \frac{2Q^2 T_0 (r_1 + 2r_2)(r_1 + r_2)}{r_2^2 F \alpha_1 (T_g + T_w)^2}.$$

Результат аналогічних викладок для розрахунку ексергетичних втрат при тепловіддачі від стінок циліндра для повітря:

$$E_{los\alpha 2}^c = \frac{2T_0 Q^2 (r_1 + r_2)}{r_1 F \alpha 2 (T_a + T_w)^2}.$$

Запропонована методика дозволяє розраховувати ексергетичні втрати при теплопередачі через плоску та циліндричну стінки в повітрогрійних теплоутилізаторах. Отримані результати можуть бути використані для порівняльного аналізу ексергетичної ефективності пластинчастих та гладкотрубних повітрогрійних теплоутилізаторів та визначення певних напрямів підвищення ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем. Розробка нових комплексних методик дослідження розширює можливості використання методів ексергетичного аналізу для підвищення ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем.

Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів. Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів полягає в розробці нових комплексних методик розрахунку ексергетичних втрат в процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки газоповітряних теплоутилізаторів опалювальних котельних установок, а також можливості використання отриманих результатів для підвищення ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем.

Умовні позначення

E – ексергія; Q – теплопродуктивність; q – потік теплоти; L – товщина труб; F – поверхня; r_1, r_2 – зовнішній та внутрішній радіуси труб; T – абсолютна температура; T_0 – температура довкілля; V – об'єм; δ – товщина стінки; α – коефіцієнт тепловіддачі; λ – коефіцієнт теплопровідності. **Верхні індекси:** g, a – димові гази, повітря; p – пластина; c – циліндр. **Нижні індекси:** los – ексергетичні втрати; los λ , los1, los2 – втрати при теплопровідності та тепловіддачі; in, out – вхід, вихід; w1 – стінка з боку димових газів; w2 – стінка з боку повітря; α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від димових газів до стінки; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря.

Висновки і перспективи. 1. Проведено класифікацію ексергетичних втрат для теплоутилізаційних систем енергетичних установок і встановлено місце та тип локальних ексергетичних втрат.

2. Розроблено системи інтегродиференціальних рівнянь для розрахунку локальних ексергетичних втрат у процесах теплопередачі через плоску та циліндричну стінки для газоповітряних теплоутилізаторів;

3. Отримано аналітичні вирази для розрахунку локальних ексергетичних втрат при тепловіддачі від теплоносія до стінки, тепловіддачі від стінки до теплоносія та в процесах теплопровідності для плоскої та циліндричної стінок.

Сисок використаних джерел

1. Calise F., Accadi, M., Macaluso A., Piacentino A., Vanoli L. Exergetic and exergoeconomic analysis of novel hybrid solar–geothermal polygeneration system producing energy and water. *Energy Convers. Manag.* 2016. 115. P.200 -220.

2. Kharlampidi D., Tarasova V., Kuznetsov M., Voytenko E. Thermodynamic analysis of air-compression refrigerating machine based on the exergy cost theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. Vol. 5. № 8 (89). P. 30–38. doi:10.15587/1729-4061.2017.112113.

3. Sayadi S., Tsatsaronis G., Morosuk T. “Splitting the dynamic exergy destruction within a building energy system in-to endogenous and exogenous parts using measured data from the building automation system”, *Int. J. Energy Res.* 2020, vol. 44, no. 6, Feb., pp. 4395–4410, doi: 10.1002/er.5213.

4. Bejan A., Tsatsaronis G. Purpose in Thermodynamics. *Energies.* 2021. Vol. 14. 408. doi: 10.3390/en14020408.

5. N. Fialko, A. Stepanova, R. Navrodska, N. Meranova, J. Sherenkovskii. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // *East European Advanced Technology Journal*, 2018, 6/8 (96). C.43-48.

6. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods. *International scientific journal "Internauka".* 2019. №15(1). C.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). P.30-33.

8. Stepanova, A. Analiz rabotosposobnosti ustanovki s kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemoy dlia podogreva vody i dutevogo vozdukhа 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). P. 38-46. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.

9. 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). 2021. P.42-49. Doi 1015587/1729. 4061.2021/234026 ISSN 1729-3774 4061.2021/234026.

10. 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.

References

1. Calise F., Accadi, M., Macaluso A., Piacentino A., Vanoli L. (2016). Exergetic and exergoeconomic analysis of novel hybrid solar–geothermal polygeneration system producing energy and water. Energy Convers. Manag. 115, 200 -220.

2. Kharlampidi D., Tarasova V., Kuznetsov M., Voytenko E. (2017). Thermodynamic analysis of air-compression refrigerating machine based on the exergy cost theory. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 5, № 8 (89), 30–38. doi:10.15587/1729-4061.2017.112113.

3. Sayadi S., Tsatsaronis G., Morosuk T. (2020). Splitting the dynamic exergy destruction within a building energy system in-to endogenous and exogenous parts using measured data from the building automation system”, Int. J. Energy Res., 44 (6), 4395–4410, doi: 10.1002/er.5213.

4. Bejan A., Tsatsaronis G. (2021). Purpose in Thermodynamics. Energies. 14, 408. doi: 10.3390/en14020408.

5. N. Fialko, A. Stepanova, R. Navrodska, N. Meranova, J. Sherenkovskii (2018). Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler. East European Advanced Technology Journal, 6/8 (96), 43-48.

6. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R. (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., 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.

8. 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>.

9. 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.

10. 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. 2021.17(4), 11-18. Doi.org/ 10.15407/scine17.04.011 ISSN 1815-2066.

DEVELOPMENT OF COMPLEX METHODS FOR EXERGETIC LOSSES CALCULATING IN HEAT TRANSFER THROUGH WALL IN AIR-HEATER HEAT UTILIZERS

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

Abstract. Ensuring high economic indicators of power plants of various purposes, which include waste gas heat utilization systems, is possible with the use of effective heat utilization equipment. One of the criteria for evaluating the thermodynamic perfection of power plants is the amount of exergy losses in the structural elements of the plant. A decrease in exergy losses corresponds to an increase in exergy efficiency. Determination of the structural elements in the heat utilization system, in which the maximum exergy losses are localized, will allow to influence them in a targeted manner in order to increase the exergy efficiency of the installation. The paper presents the results of the development of complex methods for calculating local exergy losses in the processes of heat transfer through flat and cylindrical walls of air-heated heat exchangers, which are included in the heat utilization systems of power plants of various purposes. Complex methods are based on integral equations for calculating exergy losses, as well as differential equations of heat transfer theory when applied to heat utilization systems. The classification of exergy losses for heat utilization systems of power plants has been carried out, and the location and type of local exergy losses have been determined. Three types of local exergy losses are considered: losses during heat transfer from the heat carrier to the wall, heat transfer from the wall to the heat carrier, and exergy losses in heat conduction processes. A system of integrodifferential equations was developed and analytical expressions were obtained for the calculation of local exergy losses in heat transfer processes through the flat and cylindrical walls of air-heating heat exchangers. The introduction of new complex research methods expands the possibilities of using exergy analysis methods to increase the exergy efficiency of heat utilization systems. Research using the specified methods will allow to develop heat utilization systems with high indicators of energy and exergetic efficiency.

Key words: *heat utilization systems; heat utilisers; exergy losses; heat transfer processes*