

Технічні науки

УДК 536.24:621.184.5

**Фіалко Наталія Михайлівна**

*доктор технічних наук, професор,  
член-кореспондент НАН України, завідувача відділу  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Fialko Nataliia**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member NAS of Ukraine, Head Department  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Навродська Раїса Олександрівна**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Navrodska Raisa**

*Candidate of Technical Sciences,  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Шевчук Світлана Іванівна**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Shevchuk Svitlana**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Щепетов Віталій Володимирович**

*доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Shchepetov Vitalii**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Сбродова Галина Олександрівна**

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
старший науковий співробітник  
Інститут технічної теплофізики НАН України*

**Sbrodova Galyna**

*Candidate of Physic & Mathematic Sciences,  
Associate Professor, Senior Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ ДИМОВИХ  
ГАЗІВ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК  
IMPROVING THE RELIABILITY OF FLUE GAS HEAT RECOVERY  
EXCHANGERS OF WASTE INCINERATION PLANTS**

***Анотація.** Розроблено захисне покриття від корозійного та ерозійного зношування робочих поверхонь теплоутилізаторів установок спалювання побутових відходів. Запропоноване покриття формується методом металізації. За результатами досліджень теплової ефективності повітрогрійного теплоутилізатора за умов застосування цього покриття встановлено його незначний (0,5 – 1,0 %) вплив на теплові показники теплоутилізатора.*

***Ключові слова:** повітрогрійні теплоутилізатори, захисні зносо- і корозійностійкі покриття, тепла ефективність.*

***Summary.** A protective coating against corrosion and erosion wear of the working surfaces of heat recovery exchangers of household waste incineration*

*plants has been developed. The proposed coating is formed by metallization method. According to the research results of the air-heating heat recovery exchangers thermal efficiency under the conditions of using this coating, its insignificant (5 – 10 %) influence on the heat recovery exchanger's thermal indicators was established.*

**Key words:** *air-heating heat recovery exchangers, protective wear and corrosion-resistant coatings, thermal efficiency.*

Термічне знешкодження (спалювання) твердих побутових відходів (ТПВ) є найефективнішим способом боротьби з їхніми екологічними загрозами [1; 2]. Будівництво і безпечна експлуатація сміттєспалювальних заводів (ССЗ), а також проблема енергетичної утилізації ТПВ є практично вирішеними [3]. Проте аналіз капітальних витрат на спорудження і утримування ССЗ показує, що вони є значно більшими у порівнянні із сміттєпереробними підприємствами і полігонами. Важливим напрямом скорочення витрат на експлуатацію ССЗ є підвищення енергетичної ефективності сміттєспалювальних установок (ССУ), яке реалізується, зокрема, і шляхом застосування технологій утилізації скидної теплоти димових газів. Однією з основних вимог під час створення відповідного теплоутилізаційного устаткування (теплоутилізаторів) є стійкість його робочих поверхонь до корозійної і ерозійної дії димових газів [4]. Інтенсивність цієї дії суттєво залежить від умов експлуатації теплоутилізаторів.

Аналіз тепловологісних режимів експлуатації запропонованого в [4] повітрогрійного теплоутилізатора для ССУ показує, що у разі охолодження димових газів не нижче 100 °С не відбувається конденсації вологи з димових газів, що сприяє відверненню корозії теплообмінних поверхонь за умов виготовлення їх із звичайної вуглецевої сталі. Проте, на деяких ділянках теплообмінної поверхні на вході повітря за низьких його

температур імовірна локальна конденсація вологи. Випадення вологи може мати місце і в часи пуску та зупинення роботи теплоутилізатора. Тобто, у виробничому процесі сміттєспалювальної установки виявляється дещо проблемною надійна і прогнозована робота теплоутилізатора, ушкодження якого, головним чином, пов'язані з розвитком небезпечних умов зношування поверхонь у корозійному середовищі. Отже, для підвищення надійності експлуатації такого устаткування необхідний захист його робочих поверхонь.

Одним із потужних технічних рішень покращення ефективності використання і підвищення експлуатаційної надійності теплообмінних поверхонь утилізаторів може бути використання захисних зносо- та корозійностійких покриттів. З цією метою для покращення експлуатаційних можливостей і подовження робочого ресурсу теплообмінних поверхонь утилізаторів розроблено захисні зносо- і корозійностійкі покриття, що формуються методом металізації [5].

Технологія металізації, як відомо, має визначені переваги перед іншими методами нанесення функціональних покриттів, а саме: значний термін використання, можливість нанесення матеріалів на будь-які вироби без обмежень за формами і габаритами.

Для умов застосування повітрогрійного теплоутилізатора відхідних газів ССУ, описаного в [4], розроблено захисне покриття. Теплообмінна поверхня вказаного теплоутилізатора компонується із сталевих панелей, утворених трубами з мембранами. Рух повітря – всередині труб, а димових газів – в міжпанельному просторі. Захисне покриття наноситься на зовнішню поверхню панелей і містить такі порошкові матеріали з їхніми частками: хром (15,0–19,0)%, нікель (12,0–14,0)%, молібден (2,5–3,0)%, алюмоборосилікатна склофаза (15,0–22,0)%, решта – залізо. Таке покриття найбільш придатне для захисту сталевих поверхонь. Основні характеристики покриття:

- щільність 8,0 г\см<sup>3</sup>;
- теплопровідність 20 Вт/(м·°С);
- твердість 200 – 250;
- межа міцності 500 – 550 МПа;
- максимальна робоча температура 600 °С;
- товщина 0,5 – 2 мм.

Виконано розрахункові дослідження щодо впливу розробленого покриття на теплові показники запропонованого в [4] повітрогрійного теплоутилізатора панельного типу. В табл. 1, 2 наведено, до прикладу, температурні показники теплоносіїв на виході з теплоутилізатора для його конкретних режимних параметрів (температури димових газів на вході  $t_{вх}^Г = 300^{\circ}\text{C}$  і коефіцієнті надлишку повітря в них  $\alpha = 2,0$ ) та у разі експлуатації ССУ за температур навколишнього середовища в діапазоні від -20 до +20 °С. На рис. 1 наведено значення теплопродуктивності теплоутилізатора для двох досліджуваних граничних значень початкової температури димових газів ( $t_{вх}^Г = 200^{\circ}\text{C}$  та  $t_{вх}^Г = 300^{\circ}\text{C}$ ).

Таблиця 1

**Температура димових газів  $t_{вх}^Г$  на виході з теплоутилізатора**

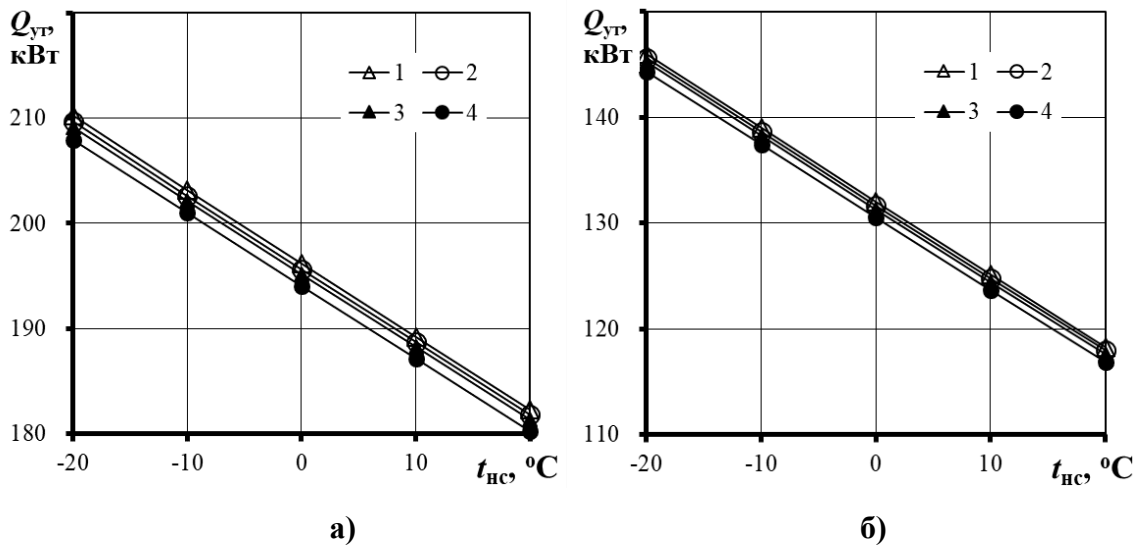
Товщина покриття $\delta_{пок}$ , мм	Температура димових газів $t_{вх}^Г$ при різних значеннях температури навколишнього середовища $t_{нс}$				
	-20	-10	0	10	20
0	195,3	199,0	202,5	206,0	209,5
1,0	194,6	198,2	201,7	205,2	208,7
1,5	194,4	197,9	201,5	205,0	208,6
2,0	194,1	197,7	201,3	204,8	208,4

Таблиця 2

**Температура повітря  $t_{вх}^П$  на виході з теплоутилізатора**

Товщина покриття $\delta_{пок}$ , мм	Температура повітря $t_{вх}^П$ при різних значеннях температури навколишнього середовища $t_{нс}$				
	-20	-10	0	10	20
0	209,1	211,2	213,3	215,5	217,8
1,0	209,9	212,0	214,0	216,2	218,4
1,5	210,5	212,5	214,6	216,7	218,9
2,0	211,1	213,1	215,1	217,3	219,4

Як видно з наведених даних, наявність покриття дещо (на 0,5 – 1,0 %) впливає на значення вихідних температур досліджуваних теплоносіїв ( $t_{\text{вих}}^r$  та  $t_{\text{вих}}^n$ ) та теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q_{\text{ут}}$ .



**Рис. 1.** Залежність від температури навколишнього середовища  $t_{\text{нс}}$  теплопродуктивності теплоутилізатора  $Q_{\text{ут}}$  при коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha = 2,0$  за різних температур димових газів на вході  $t_{\text{вх}}^r$  та товщин покриття  $\delta_{\text{пок}}$ :

1 –  $\delta_{\text{пок}} = 2,0$  мм; 2 – 1,5; 3 – 1,0; 4 – 0;

а)  $t_{\text{вх}}^r = 300$  °С; б)  $t_{\text{вх}}^r = 200$  °С.

Незначний вплив запропонованого покриття на теплові показники теплоутилізатора пояснюється тим, що це покриття має достатньо високу теплопровідність (20 Вт/(м·К)) та наноситься на розвинену теплообмінну поверхню з боку димових газів, де теплообмін є ефективнішим, ніж з боку нагріваного повітря.

Отже, виконані розрахункові дослідження свідчать про ефективність розробленого покриття для захисту робочих поверхонь запропонованого повітрогрійного теплоутилізатора панельного типу в умовах його використання для сміттєспалювальних установок.

## Література

1. Козій О. І., Петрук М. П., Витринкуш Н. М. Знешкодження і використання твердих продуктів сміттєспалювання. *Комунальне*

*господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура.* 2018. № 144. С. 51–56.

2. Крот О. П. Моделювання та оптимізація процесів термічного знешкодження побутових і промислових відходів у теплогенеруючих установках: дис. ... д-ра тех. наук: 05.23.03. Харків : Харківський нац. універ. буд. та архіт., 2019. 329 с.
3. Фоменко О. О., Маслова В. С. Аналіз технологій переробки твердих побутових відходів. *Науковий вісник будівництва.* 2016. №3. С. 267–270.
4. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Гнедаш Г. О. Утилізація теплоти димових газів установок спалювання побутових відходів. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука".* 2023. №15. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-15-9282>.
5. Кучеренко Ю. С., Матвійчук В. А. Основні технології та способи нанесення покриттів газотермічним напиленням. *Вісник Хмельницького національного університету.* 2021. № 6(303). С. 240-242. doi: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-303-6-240-242>.