

УДК 536.24:621.1.016.4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОГРІЙНИХ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ ПРОМИСЛОВИХ ПЕЧЕЙ

Фіалко Н.М., чл.-кор. НАН України, Прокопов В.Г., докт. техн. наук, Навродська Р.О., канд. техн. наук, Шевчук С.І., канд. техн. наук, Степанова А.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2022.10>

Наводяться дані досліджень теплових та аеродинамічних показників панельних утилізаторів теплоти відхідних газів скловарних печей. Виконано аналіз теплопродуктивності, коефіцієнта теплопередачі, товщини відкладень пилу і аеродинамічного опору пакетів панелей, а також визначено раціональні терміни їх очищення.

Приводятся данные исследований тепловых и аэродинамических показателей панельных теплоутилизаторов отходящих газов стекловаренных печей. Выполнен анализ теплопроизводительности, коэффициента теплопередачи, толщины отложений пыли и аэродинамического сопротивления пакетов панелей, а также определены рациональные сроки их очистки.

The data of studies of thermal and aerodynamic parameters of panel heat exchangers of exhaust gases of glass furnaces are given. The analysis of heating capacity, heat transfer coefficient, thickness of dust deposits and aerodynamic resistance of panel packets was carried out, as well as the rational terms of their cleaning were determined.

Бібл. 13, табл. 2, рис. 5

Ключові слова: утилізація теплоти, скловарні печі, відхідні газы, труби з мембранами.

G – витрата води, кг/с;

H – значення тяги димової труби;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°C);

l – довжина теплообмінних труб, м;

P – тиск води, кПа;

Q – теплопродуктивність, кВт;

t – температура води, °C;

V_{opt} – оптимальна швидкість очисного агента (повітря), м/с;

ΔP – аеродинамічний опір, Па;

$\delta_{відкл}$ – товщина шару відкладень, мм;

τ – час, доба;

Ψ_s – коефіцієнт забруднення.

Верхні індекси:

екс – експериментальний;

роз – розрахунковий.

Нижні індекси:

в – вода;

г – газы;

п – панелі;

тр – труби.

Вступ

Сучасні газоспоживальні промислові печі різного призначення характеризуються відносно високим температурним потенціалом газових викидів. Діапазон зміни температури цих викидів становить зазвичай 150...500 °C [1, 2] в залежності від технологічного типу печей (плавильні, випалювальні, хлібопекарські тощо) та виду викидів (відхідні газы чи охолоджувальне повітря). Окрім високої температури, вказані газові викиди характеризуються запиленістю різного рівня (від 50 до 300 мг/м³, а в деяких ситуаціях і вище) [3].

Для корисного використання (утилізації) скидної теплоти промислових печей застосовуються теплоутилізатори різних типів та призначення. Парові котли-утилізатори встановлюються зазвичай за печа-

ми з температурою та витратою відхідних газів понад 600...700 °C та 15 тис. м³/год відповідно [4, 5]. Однак, на багатьох підприємствах, що експлуатують ці печі, є потреби в гарячій воді на технологію та теплопостачання (опалення, вентиляцію, побутове гаряче водопостачання тощо). Утилізація газових викидів промислових печей могла б значною мірою компенсувати вказані потреби.

Слід зазначити, що використання водогрійного устаткування для утилізації теплоти газових викидів промислових печей практикується давно [6-8]. Для цієї мети застосовувались чавунні теплофікаційні економайзери ВТИ, блочні сталеві економайзери БВЕС, інші різні розробки водогрійних теплоутилізаторів, зокрема і розробки Інституту технічної теплофізики НАН України.

Так для утилізації теплоти відхідних газів скловарних печей успішно використовуються теплоутилізатори водогрійні модульні ТВМ панельного типу [9-15].

Мета роботи і постановка завдань досліджень

Мета роботи полягає у отриманні експериментальних даних щодо теплообміну та аеродинаміки в умовах утилізації теплоти запиленних відхідних газів промислових печей при використанні водогрійних теплоутилізаторів з пакетами панелей, утворених трубами з мембранами.

Основні завдання дослідження полягали:

- у визначенні та аналізі в процесі експлуатації вказаних теплоутилізаторів (типу ТВМ) у запиленних газових потоках основних експлуатаційних показників їхніх поверхонь теплообміну, таких як: теплопродуктивність, коефіцієнт теплопередачі, товщина шару відкладень пилу, аеродинамічний опір тощо;

- у встановленні на основі аналізу теплопродуктивності теплоутилізаторів раціональних термінів їх очищення від відкладень технологічного пилу.

Методика проведення досліджень.

Дослідження виконувались на експериментальній установці (рис. 1), розміщеній за скловарною піччю,

та в процесі пуско-випробувальних робіт при введенні до експлуатації теплоутилізаторів ТВМ на різних склоробних підприємствах. До експериментальної установки входить водогрійний теплоутилізатор, що складається із двох частин: трубної, скомпонованої з чавунних оребрених труб, і панельної, набраної з панелей, утворених трубами з мембранами (рис. 2).

Дослідження виконувались з використанням сучасної виміральної техніки за атестованими методиками служб метрологічного налагодження склоробних підприємств, за участю яких і здійснювались експерименти. В процесі досліджень визначались теплопродуктивність, середні значення коефіцієнтів теплообміну та аеродинамічного опору пакетів панелей в умовах утилізації теплоти запиленних газів скловарних печей. Вивченню підлягала також динаміка утворення шару відкладень технологічного пилу на поверхні панелей з газового боку та коефіцієнта забруднення поверхні. За даними теплопродуктивності теплоутилізаторів визначався раціональний період його експлуатації між очищеннями робочих поверхонь. Виконувались також зіставлення отриманих параметрів за експериментальними даними та їхніми розрахунковими значеннями, а також за даними інших дослідників.

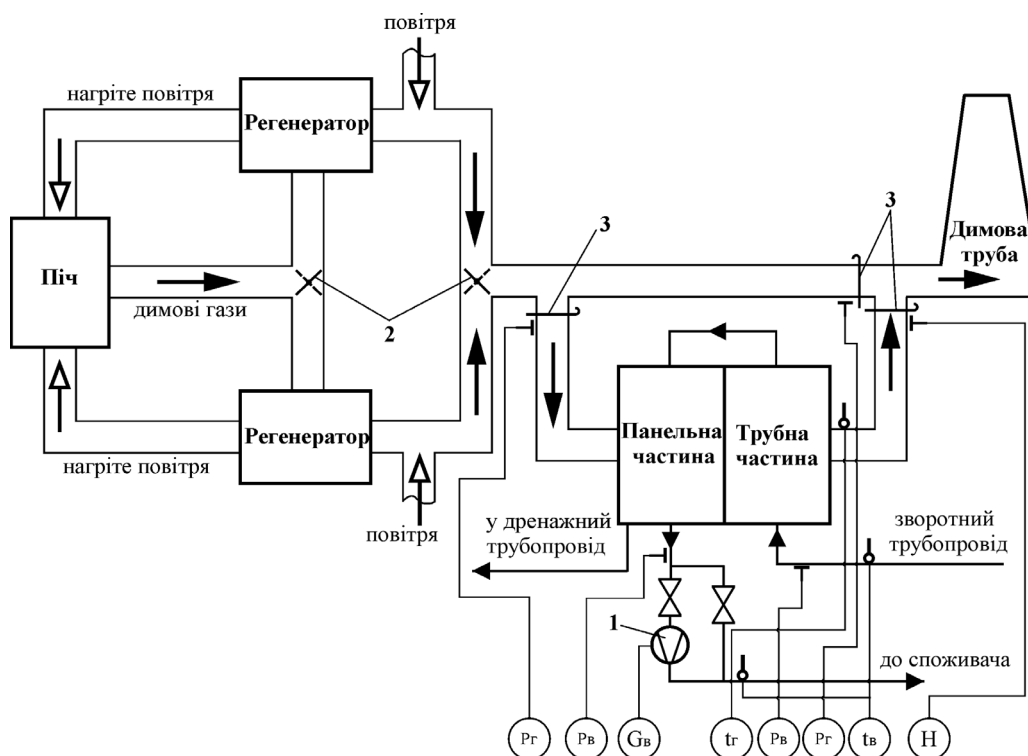


Рис. 1. Схема експериментальної установки за скловарною піччю:

1 – витратомір; 2 – поворотний шибер; 3 – висувний шибер; G_v , P_v , t_v – витрата, тиск та температура води; ΔP – аеродинамічний опір; t_g – температура газів; H – значення тяги димової труби

Результати досліджень та їх аналіз.

Характерні теплові і технічні характеристики теплоутилізатора експериментальної установки, отримані при виконанні досліджень, вказані в табл. 1.

На рис. 3.1а наведено результати визначення коефіцієнта теплопередачі K_p в панельній частині експериментального теплоутилізатора. Подані на даному рисунку графіки ілюструють зміну в часі експериментальних (крива 1) та розрахункових (крива 2) значень коефіцієнта K_p для конкретних умов виконання дослідів відповідно до режиму роботи експериментальної установки. Як видно з наведених даних, на початку проведення дослідів (при чистій теплообмінній поверхні) експериментальне та розрахункове значення K_p співпадають. В процесі запилення з газового боку поверхні панелей експериментальні значення зменшуються приблизно на 30 % і стабілізуються протягом 15...18 діб.

Дані рис. 3.2б ілюструють порівняння коефіцієнтів теплопередачі в трубній та панельній частинах теплоутилізатора. Результати досліджень свідчать про перевагу (за величиною коефіцієнта теплопередачі) панельних пакетів над пучками оребрених труб. Отримані дані показують також, що в умовах (при проходженні

запиленого потоку димових газів спочатку в панельній а потім в трубній частинах) темпи запилення розглянутих теплообмінних поверхонь є близькими.

Виконано також визначення коефіцієнта забруднення Ψ панельної поверхні нагрівання, який визначався як відношення коефіцієнтів теплопередачі при запиленій і чистій поверхні нагрівання. Відповідні дані щодо пакетів панелей, отримані при дослідженнях на експериментальній установці в умовах запиленості газового потоку 200...300 мг/м³, наведено на рис. 3.2 (графік 1). На цьому рисунку для порівняння подано також результати визначення коефіцієнтів забруднення (графік 2) для печей виробництва медичного скла, де рівень запиленості 300...1000 мг/м³. Графіки 3, 4 ілюструють динаміку запиленості поверхонь нагрівання усередині труб газотрубних теплоутилізаторів.

Результати порівняльного аналізу коефіцієнтів Ψ_3 свідчать, що за рівнем забрудненості поверхні теплообміну газотрубних теплоутилізаторів є гіршими порівняно з панельними. При цьому, у разі застосування турбулізаторів потоку в трубах газотрубних теплоутилізаторів ступінь запиленості робочої поверхні зростає.

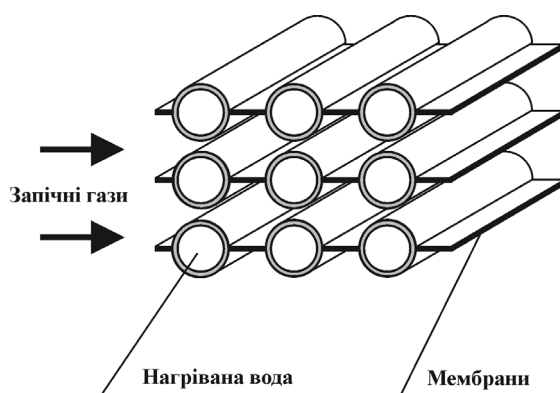


Рис. 2. Пакет панелей, утворених трубами з мембранами

Табл. 1. Основні характеристики теплоутилізатора експериментальної установки

Найменування показника, розмірність	Значення	Найменування показника, розмірність	Значення
Теплопродуктивність, МВт	0,33...0,53	Запиленість димових газів, мг/м ²	200...240
Температура води, °С:		Коефіцієнт надлишку повітря в газах	2,2...2,7
на вході	70	Аеродинамічний опір, Па	130...160
на виході	85...93	Гідравлічний опір, кПа	100
Температура димових газів, °С:		Витрата димових газів, кг/с	3,8...4,5
на вході	240...360	Витрата води, кг/с	5,4
на виході	200...300	Площа поверхні нагрівання, м ²	120

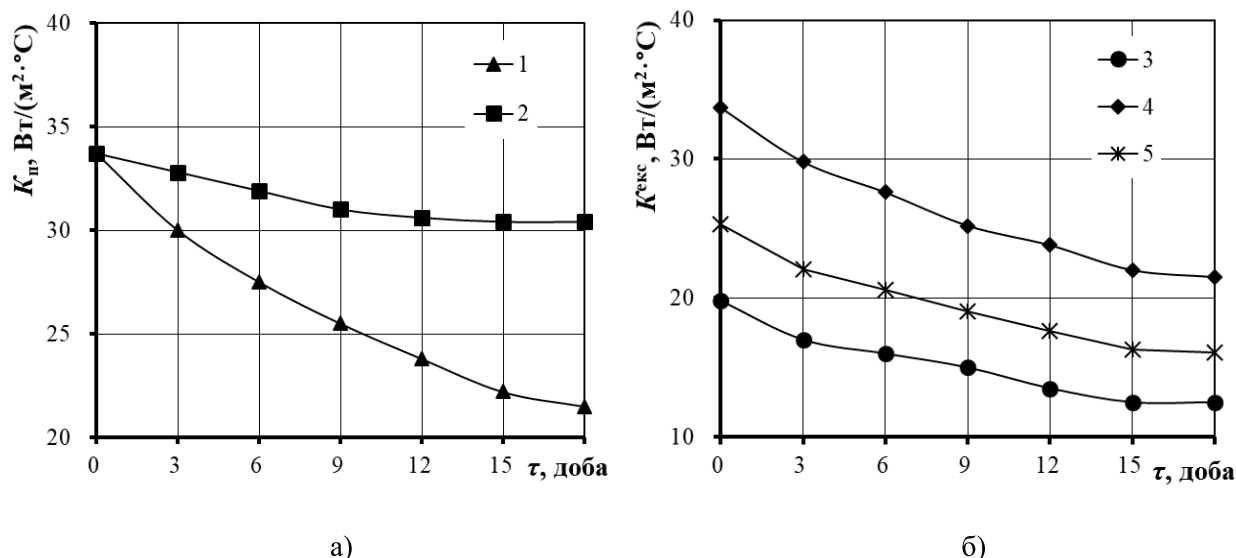


Рис. 3.1. Динаміка експериментального K_n^{exc} (1) та розрахункового K_n^{roz} (2) коефіцієнтів теплопередачі пакету панелей водотрубного теплоутилізатора (а) та експериментальних K_n^{exc} значень коефіцієнта теплопередачі в трубній (3), панельній (4) частинах теплоутилізатора та загального (5) в експериментальній установці (б)

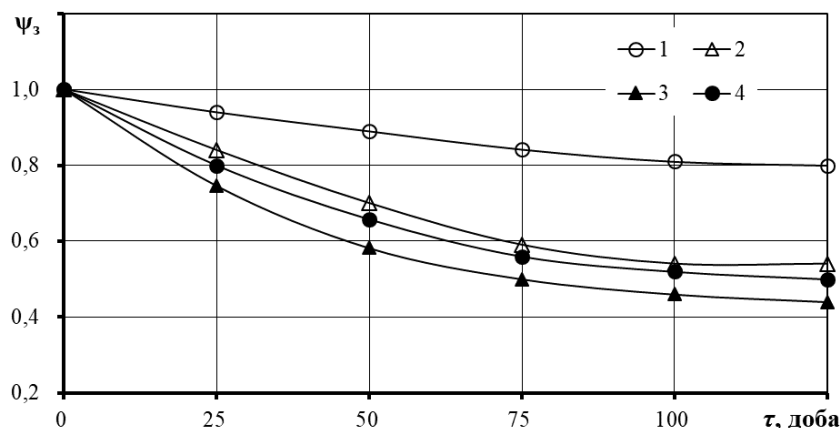


Рис. 3.2. Динаміка коефіцієнта забруднення Ψ_z різних поверхонь теплообміну:
 1 – панелі в теплоутилізаторі експериментальної установки;
 2 – панелі в теплоутилізаторі теплоутилізаційної установки печі виробництва медичного скла;
 3 – труби з кільцевими турбулізаторами; 4 – гладкі труби

Дані про коефіцієнти забруднення труб для газотрубних теплоутилізаторів при застосуванні теплообмінних поверхонь з гладких труб і труб з кільцевими турбулізаторами потоку на внутрішній поверхні труб отримані з літератури [8]. Слід зазначити, що дані щодо Ψ трубних поверхонь теплообміну стосуються досліджень з утилізації теплоти відхідних газів печей виробництва кришталю, де рівень запиленості потоку відповідає 400...1000 мг/м³.

Виконано дослідження щодо динаміки забруднюваності поверхні нагрівання теплоутилізаторів дозволили оцінити теплову ефективність цих поверхонь та визначити раціональний термін очищення теплообмінних поверхонь залежно від рівня запиленості потоку димових газів.

Для печей виробництва скляної тари рекомендований період роботи теплоутилізатора між очищеннями становить 10...14 діб. При виробництві медичного скла відрізок часу між очищеннями пропонується

у розмірі 6...8 діб. При використанні газотрубних теплоутилізаторів доцільний період між видаленнями пилових відкладень скорочується до 1,5...2 діб.

На рис. 3.3а наведено дані, що характеризують ефективність очищення водотрубного панельного теплоутилізатора. Очищення здійснювалось стисненим повітрям тиском 0,5 МПа. Як ілюструють наведені на рис. 3.3а результати, після проведення очищення теплова ефективність теплоутилізатора практично відновлюється до початкового значення.

За результатами проведених досліджень визначалася середня товщина відкладень у панельній частині теплоутилізатора експериментальної установки в період між очищеннями. Відповідні дані наведено на рис. 3.3б. Як видно з рисунку, шар відкладень збільшується в процесі експлуатації до максимального значення близького до 6 мм.

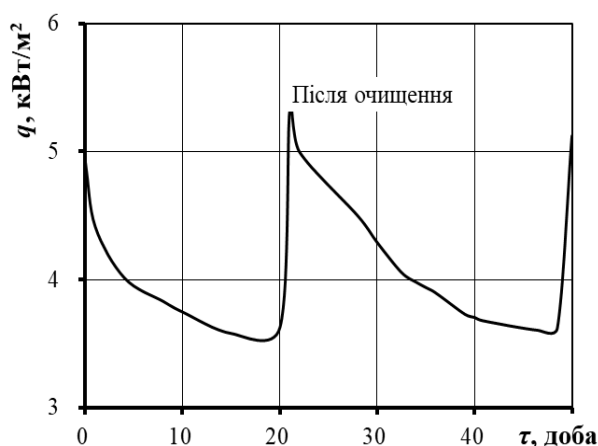
Для умов роботи в середовищі запилених газів скловарних печей експериментально встановлені

оптимальні швидкості очисного агента (повітря) V_{opt} залежно від довжини l теплообмінних труб в діапазоні її зміни від 1 до 2,5 м. Отримані дані оброблені у вигляді залежності

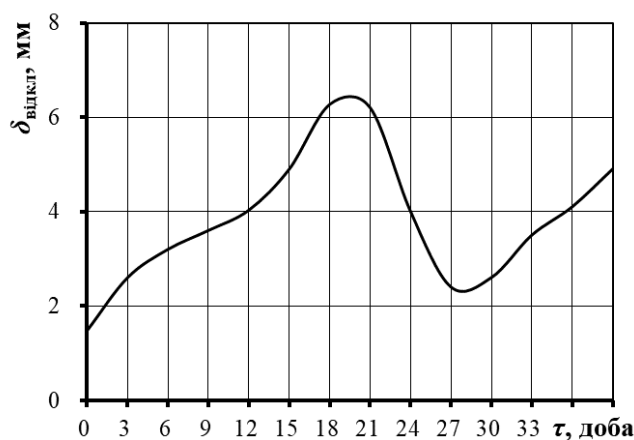
$$V_{opt} = 35 \cdot l^{0.5}.$$

У роботі виконано також дослідження стосовно аеродинаміки панельних водотрубних теплоутилізаторів. У табл. 2 наведено дані щодо зміни у часі аеродинамічного опору пакетів панелей і результати досліджень динаміки аеродинамічного опору в газотрубних теплоутилізаторах при використанні гладких труб і труб з турбулізаторами потоку на їх внутрішній поверхні.

Аналіз наведених у табл. 2 результатів свідчить, що панельні поверхні нагрівання характеризуються меншим рівнем зміни опору навіть за близьких величин його запиленості.



а)



б)

Рис. 3.3. Динаміка відносної теплопродуктивності q панельного водотрубного теплоутилізатора (а) та товщини $\delta_{\text{відкл}}$ шару відкладень на поверхні панелей в процесі експлуатації між очищеннями (б)

Табл. 2. Зміни у часі аеродинамічного опору поверхонь нагрівання водотрубних та газотрубних теплоутилізаторів

Час, година	Аеродинамічний опір експериментальних поверхонь нагрівання, Па			
	панелі експериментальної установки	панелі теплоутилізаційної установки печі виробництва медичного скла	труби з кільцевими турбулізаторами	гладкі труби
0	40	20	185	90
75	45	30	327	255
150	55	42	437	320
225	55	44	500	360
300	55	45	570	375
325	55	45	645	375

Висновки.

Виконано комплекс експериментальних досліджень щодо встановлення закономірності зміни у часі коефіцієнтів теплопередачі і аеродинамічного опору водотрубних мембранних теплоутилізаторів панельного типу за умов різного рівня запиленості димових газів. При цьому:

1. Отримано результати, що свідчать про високу теплову ефективність теплообмінних поверхонь із пакетів панелей, утворених трубами з мембранами, при їх застосуванні в тепло-утилізаторах запилених відхідних газів скловарних печей.

2. Досліджено динаміку середніх значень коефіцієнтів теплопередачі, товщини шару відкладень пилу і аеродинамічного опору вказаних пакетів панелей.

3. На основі даних щодо зміни теплопродуктивності теплоутилізаторів визначено тривалість циклів здійснення очищення мембранних поверхонь нагрівання від пилових відкладень: для печей виробництва скляної тари цей період склав 10...14, а для печей виплавлення медичного скла - 5...7 діб.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Буроков, А. В., Рахманов Ю. А. К вопросу рекуперации теплоты газов печей термообработки металлических изделий. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2014. №1.
2. Abd Alkarem, Y. M. A new review in glass furnaces energy saving field by pairing between recuperative and regenerative systems. International Journal of Advanced Research and Development. 2018. № 3. С. 17-20.
3. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Навродська Р. А., Шевчук С. І., Слюсар А. Ф. Исследование состава дымовых газов стекловаренных печей. Международный научный журнал "Интернаука". 2021. №6. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-6-7297>.
4. Тебеньков Б.П. Рекуператоры промышленных печей. Москва: Металлургия, 1975. 295 с.
5. Ильяшенко И.С., Попов О.П., Смулянский И.Б., Гуцнев А.Ф. Эксплуатации котлов-утилизаторов за стекловаренными печами. Стекло и керамика. 1986. № 1. С. 4-5.

6. Пиоро, Л.С. Экономия топлива в производстве стекла. Київ: Наукова думка, 1981. 139 с.

7. Гомон В.И., Аронов И.З., Ратушняк А.И., Навродская Р.А. Газотрубный утилизатор теплоты отходящих газов промышленных печей. Промышленная энергетика. 1990. № 6. С. 31-34.

8. Гомон В.И., Ратушняк А.И., Чернецкий В.Т., Хрипун А.Ф. Утилизация теплоты запыленных отходящих газов стекловаренных печей. Стекло и керамика. 1989. № 4. С. 3-5.

9. Фіалко Н. М., Степанова, А. И., Навродская Р. А. Эффективность теплоутилизаторов стекловаренных печей в условиях запыленности поверхностей нагрева. Энергетика і автоматика. 2016. № 3. С. 28-35.

10. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Пресіч, Г. О. Особливості застосування теплоутилізаційних технологій для газоспоживальних скловарних печей. Науковий вісник НЛТУ України. 2021. № 31(4). С. 109-113. <https://doi.org/10.36930/40310418>.

11. Фіалко Н.М., Навродская Р.А., Сарюгло А.Г., Слюсар М.А. Эффективные теплоутилизационные технологии для стекловаренных печей. Промышленная теплотехника. 2010. Т. 32, № 6. С. 84-90.

12. Фіалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Степанова А.И., Навродская Р.А., Шевчук С.И., Новаковский М.А. Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов стекловаренных печей. Промышленная теплотехника. 2009. Т. 31, №4. С. 78-85.

13. Фіалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Степанова А.И., Навродская Р.А., Сарюгло А.Г., Шевчук С.И. Эффективность теплоутилизаторов различного типа для стекловаренных печей. Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2010. № 5. С. 32-39.

14. Фіалко Н. М., Степанова А. І., Навродська Р. О., Шевчук С. І. Локалізація ексергетичних втрат в утилізаторі теплоти відхідних газів газоспоживальних теплових установок. Энергетика та автоматика. 2020. №3. С. 5-17. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.03.005>

15. Фіалко Н. М., Степанова А. І., Навродська Р. О., Шевчук С. І. Порівняльний аналіз ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем різного призначення. Энергетика та автоматика. 2020. № 1. С. 38-50. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.01.038>

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE HEAT ENGINEERING CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL FURNACE WATER-HEATING HEAT RECOVERY UNITS

Fialko N.M., Prokopov V.G., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., Stepanova A.I.

Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist str., Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2022.10>

The results of a complex of experimental studies of thermal and aerodynamic indicators of water-heating heat-recovery exchangers of dusty exhaust gases from glass-making furnaces are presented. The studies were carried out on an experimental installation located behind a glass-melting furnace, and in the process of start-up operations during the introduction into operation of modular-type water-heating heat exchangers (HWM) developed by IET NAS of Ukraine at various glass-producing enterprises. The studies were carried out using modern measuring equipment according to certified methods of the services of metrological adjustment of glass-making enterprises, with the participation of which the experiments were carried out. In the process of research, the heating capacity, average values of the heat transfer coefficients and aerodynamic resistance of heat exchange surfaces, which are assembled from of panel packages formed by pipes with membranes, under conditions of heat-recovery of dusty furnace gases, were determined. The dynamics of the formation of a layer of deposits of technological dust on the surface of the panels on the gas side and the contamination coefficient of surface were also subject to research. According to the data on the heat-recovery exchanger heating capacity, the rational period of its operation between cleaning the working surfaces was determined. The experimental parameters obtained were also compared with their calculated values, as well as with the data of other researchers. According to the results of the studies, it is shown that TVM heat exchangers when used in conditions of dusty furnace gases are characterized by high thermal efficiency due to the layout of the heat exchange surface from the packets of panels formed by pipes with membranes, and the possibility of cleaning these surfaces from deposits of technological dust with practical restoration of the initial indicators. Based on the data obtained, the duration of the cycles for cleaning membrane heating surfaces from dust deposits was determined: for furnaces for the production of glass packaging, this period was 10-14 days, and for furnaces for melting medical glass - 5-7 days.

References 13, tables 2, figure 5.

Key words: heat recovery, glass furnaces, exhaust gases, membrane pipes.

1. Burokova A.V., Rachmanov Y.A. K voprosu rekuperatsii teploty gazov pechey termoobrabotki metallich-eskikh izdeliy [On the question of gas heat recovery heat treatment furnaces metal products]. Scientific journal NRU ITMO Series "Economics and Environmental Management". 2014. No 1. (in Rus.)

2. Abd Alkarem Y. M. A new review in glass furnaces energy saving field by pairing between recuperative and regenerative systems. International Journal of Advanced Research and Development. 2018. No 3. P. 17-20.

3. Fialko, N. M., Prokopov, V. G., Navrodska R. A., Shevchuk S. I., Sliusar A. F. Issledovanie sostava dymovykh gazov steklovarenykh pechey [Research of the composition of exhaust gases of glassmelting furnaces]. International Scientific Journal "Internauka". 2021. No 6. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-6-7297> (in Rus.)

4. Tebenkov B.P. Rekuperatory promyshlennykh pechey [Recuperators of industrial furnaces]. Moscow: Metallurgy, 1975. 295 p. (in Rus.)

5. Iliashenko I.S., Popov O.P., Smuliansky I.B., Gutsiev A.F. Ekspluatatsii kotlov-utilizatorov za steklovarennyimi pechami [Operation of recovery boilers behind glass furnaces]. Glass and ceramics. 1986. No 1. P. 4-5. (in Rus.)

6. Pioro L.S. Ekonomii topliva v proizvodstve stekla [Saving fuel in glass production]. Kyiv: Naukova dumka, 1981. 139 p. (in Rus.)

7. Gomon V.I., Aronov I.Z., Ratushniak A.I., Navrodska R.A. Gazotrubnyy utilizator teploty otkhodiashchikh gazov promyshlennykh pechey [Gastube heat exchanger of industrial furnaces waste gases]. Промышленная энергетика [Industrial energy]. 1990. No 6. P. 31-34. (in Rus.)

8. Gomon V.I., Ratushniak A.I., Chernetskiy V.T., Khripun A.F. Utilizatsiia teploty zapylenykh otkhodiashchikh gazov steklovarenykh pechey [Recovery of heat of dusty exhaust gases of glassmaking furnaces]. Glass and ceramics. 1989. No 4. P. 3 – 5. (in Rus.)

9. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R. Effektivnost teploutilizatorov steklovarenykh pechey v uslovi-yakh zapylenosti poverkhnostey nagreva [Efficiency heat exchanger glass furnaces in dusty conditions of heating surfaces. Energetics and automation. 2016. No 3, P. 28-35. (in Rus.)

10. Fialko N. M., Prokopov V. G., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Presich G.O. Osoblyvosti zastosuvannya teploutylizatsiynykh tekhnologiy dlia gazospozhyvalnykh sklovarykh pechey [Some features of the heat recovery technologies application for gas-fired glass furnaces]. Scientific Bulletin of UNFU. 2021. No 31(4). P. 109–113. <https://doi.org/10.36930/40310418> (in Ukr.).

11. *Fialko N. M., Navrodska R.A., Sarioglo A.G., Sliusar M. A.* Effektivnye teploutylizatsionnye tekhnologii dlia steklovarenykh pechey [Efficient heat recovery technologies for glass furnaces]. *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*. 2010. Vol. 32, No 6. P. 84–90. (in Rus.)
12. *Fialko N.M., Sherenkovsky Ju.V., Stepanova A.I., Navrodska R.A., Shevchuk S.I., Novakovskiy M.A.* Effektivnost system utilizatsii teploty otkhodiashchikh gazov steklovarenykh pechey [Efficiency of heat recovery systems for waste gases of glassmaking furnaces]. *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*. 2009. Vol. 31, No 4. P. 78–85. (in Rus.)
13. *Fialko N.M., Sherenkovsky Ju.V., Stepanova A.I., Navrodska R.A., Sarioglo A.G., Shevchuk S.I.* Effektivnost teploutilizatorov razlichnogo tipa dlia steklovarenykh pechey [The Efficiency of Glass Furnaces Heat Utilizers of Different Types]. *Энерготехнологии и ресурсосбережение [Energy technology and resource conservation]*. 2010. No 5. P. 32–39. (in Rus.)
14. *Fialko N.M., Stepanova A.I., Navrodska R.O., Shevchuk S.I.* Lokalizatsiia eksergetychnykh vtrat v utylizatori teploty vidkhidnykh gaziv gazospozhyvalnykh teplovykh ustanovok [Localization of exergy losses in the exhaust gases heat-recovery exchanger of gasfired heat plants]. *Energetics and automation*. 2020. No 3, P. 5–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.03.005> (in Ukr.).
15. *Fialko N.M., Stepanova A.I., Navrodska R.O., Shevchuk S.I.* Porivnialnyy analiz eksergetychnoy efektyvnosti teploutylizatsiynykh system riznogo pryznachennia [Comparative analysis of exergy efficiency of heat recovery systems of various purpose]. *Energetics and automation*. 2020. No 1, P. 38–50. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.01.038> (in Ukr.).

Отримано 24.11.2021

Received 24.11.2021