

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

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 Scientific Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Пресіч Георгій Олександрович

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

Presich Georgii

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

Степанова Алла Ісаївна

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

Stepanova Alla

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

**ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРОГРІЙНИХ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ ДЛЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПЕЧЕЙ
ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУХОГРЕЙНИХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ ДЛЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ
APPLICATION OF AIR-HEATED HEAT RECOVERY UNITS FOR
INDUSTRIAL FURNACES**

***Анотація.** Описано особливості застосування розроблених повітрогрійних теплоутилізаторів, призначених для корисного використання скидної теплоти паливоспоживальних печей регенеративного типу. Охарактеризовано конструкційне виконання і визначено основні теплотехнічні характеристики цих теплоутилізаторів та вказано шляхи підвищення їхньої теплової ефективності. Запропоновано застосування комбінованої схеми теплоутилізації з використанням водо- та повітрогрійного устаткування. Показано, що комбінована схема забезпечує підвищення коефіцієнта використання теплоти палива печі (КВТП) в 1,5 рази більше у порівнянні з ситуацією використання лише повітрогрійних теплоутилізаторів.*

Ключові слова: скидна теплота, системи теплоутилізації, ефективність.

Аннотація. Описаны особенности применения разработанных воздухогрейных теплоутилизаторов, предназначенных для полезного использования сбросной теплоты топливопотребляющих печей регенеративного типа. Дана характеристика конструкционного исполнения и определены основные теплотехнические характеристики этих теплоутилизаторов, а также указаны пути повышения их тепловой эффективности. Предложено применение комбинированной схемы теплоутилизации с использованием водо- и воздухогрейного оборудования. Показано, что комбинированная схема обеспечивает повышение коэффициента использования теплоты топлива печи (КИТТ) в 1,5 раза больше по сравнению с ситуацией применения только воздухогрейных теплоутилизаторов.

Ключевые слова: сбросная теплота, системы теплоутилизации, эффективность.

Summary. The application peculiarities of the developed air-heating heat recovery units designed for useful use of the fuel-consuming regenerative furnaces waste heat are described. The constructive design is characterized and the main thermal technical characteristics of these heat exchangers are determined, and the ways to improve their thermal efficiency are indicated. The applying of a combined heat recovery scheme using water and air-heating equipment is proposed. It is shown that the combined scheme provides an increase in the efficiency of using the furnace fuel heat by 1.5 times more compared to the situation of using only air-heating heat exchangers.

Key words: waste heat, heat recovery systems, efficiency.

Вступ. Останнім часом через обмеженість паливно-енергетичних ресурсів та підвищення вимог щодо охорони довкілля при виробництві промислової продукції паливоспоживальними технологічними установками широко стали запроваджуватись енергозберезувальні заходи. До цих заходів для промислових печей регенеративного типу зокрема належить суттєве збільшення висоти регенераторів печей та використання технологій утилізації скидної теплоти димових газів, які забезпечують суттєве підвищення ККД чи коефіцієнта використання теплоти палива печі КВТП [1-3].

Для підвищення ефективності використання скидної теплоти шляхом застосування теплоутилізаційних технологій до прикладу в скловарних печах традиційно використовувались водогрійні теплоутилізатори, у яких зазвичай нагрівається вода для потреб опалення та гарячого водопостачання склоробних підприємств та прилеглих до них житлових і промислових об'єктів [4-6]. Ефективність таких технологій є недостатньою через обмеженість потреби в теплоенергії у вигляді гарячої води та сезонність її споживання. Переважно ж потенціал скидної теплоти сучасних скловарних печей є вищим у порівнянні з використовуваним у традиційних теплоутилізаційних технологіях. Збільшення тривалості експлуатації систем утилізації скидної теплоти протягом року може бути досягнуто шляхом її використання для попереднього нагрівання повітря на горіння перед надходженням його до регенераторів печей.

Встановлення поверхневих повітрогрійних теплоутилізаторів за промисловими печами донедавна було проблематичним через значні габарити та вартість цього устаткування. Однак, останнім часом розроблено нові конструкції повітрогрійних теплоутилізаторів, так званих кінцевих рекуператорів, які можуть завдяки цілорічному використанню конкурувати з водогрійними теплоутилізаторами [7].

Слід зазначити, що створення технологій використання скидної теплоти запічних газів часто пов'язане зі значними труднощами, зумовленими відносно високою температурою цих газів та наявністю в них технологічного виносу із вмістом пилу та шкідливих і хімічно агресивних сполук [6; 8].

Мета роботи полягає у дослідженні ефективності для скловарних печей регенеративного типу теплоутилізаційних систем з розробленими повітрогрійними теплоутилізаторами.

Методика проведення досліджень. Використовувалися відомі методи теплового розрахунку [9] поверхневих теплообмінників та результати власних досліджень щодо динаміки запиленості робочих поверхонь поверхневих теплоутилізаторів скловарних печей [6].

Результати досліджень. Виконано розрахунки теплових характеристик пропонованого теплоутилізатора для регенеративних скловарних печей виробництва тарної продукції. Принципова схема теплоутилізації наведена на рис.1, а основні вихідні дані вказані в табл.1.

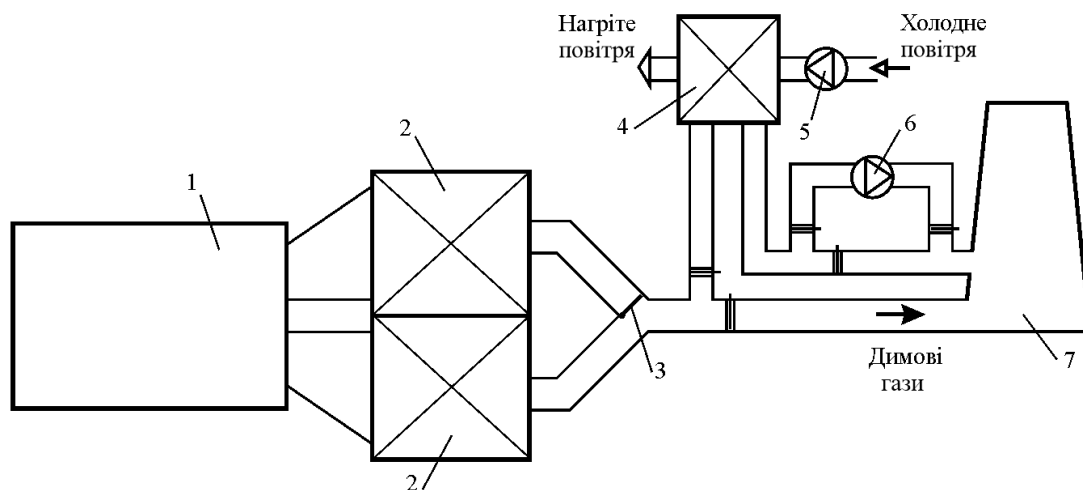


Рис. 1. Принципова схема регенеративної скловарної печі з повітрогрійним теплоутилізатором:

1 - піч; 2 - регенератор; 3 – регулювальний шибер; 4 – повітрогрійний теплоутилізатор;
5 – вентилятор; 6 – димосмок; 7 – димова труба

У застосованому теплоутилізаторі реалізується шляхом охолодження запічних газів попереднє підігрівання повітря перед надходженням його до регенераторів печі. Теплообмінна поверхня теплоутилізатора компонується із панелей, утворених трубами з інтенсифікаторами теплообміну на їхніх внутрішніх поверхнях та мембранами на зовнішніх. Таке конструкційне виконання дозволяє застосування даного устаткування для промислових печей з високими рівнями запиленості димових газів та здійснювати періодичне очищення поверхонь нагрівання [6]. Теплові розрахунки теплоутилізатора виконувались при середньому рівні запиленості поверхонь між очищеннями.

Таблиця 1

Характеристики кінцевого рекуператора

Найменування показника, розмірність	Значення показника
Теплопродуктивність, МВт	0,38–0,49
Витрата димових газів, кг/с	2,3
Витрата повітря, кг/с	2,1
Температура газів на вході, °С	400–500
Температура газів на виході, °С	238 – 300
Температура повітря на вході, °С	20
Температура повітря на виході, °С	201 – 251
Приріст ККД печі, %	8–10

Як видно з таблиці, використання повітрогрійного устаткування дозволяє суттєво підвищити ККД печі. Проте температура відхідних газів після нього є ще високою, що свідчить про недовикористання потенціалу скидної теплоти.

Одним із шляхів підвищення ефективності використання палива в системах теплоутилізації промислових печей може бути збільшення поверхні запропонованого теплоутилізатора з метою підвищення температури нагріваного повітря. Однак, як показали дослідження [7], підвищення цієї температури призводить до зниження ефективності регенератора печі, підвищення робочої температури поверхні

теплоутилізатора та необхідності через це застосування дорогих матеріалів для його теплообмінної поверхні.

Другим шляхом підвищення ефективності систем теплоутилізації може бути комбіноване використання утилізованої теплоти: для нагрівання повітря на горіння та води систем тепlopостачання (рис. 2). При цьому водогрійним теплоутилізаційним устаткуванням можуть слугувати розроблені авторами теплоутилізатори водогрійні модульні ТВМ панельного типу [8].

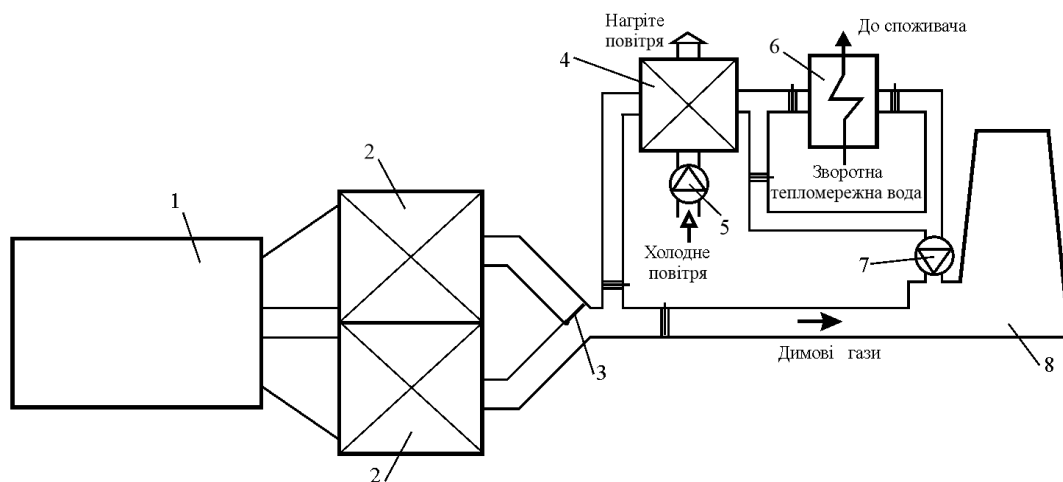


Рис. 2. Принципова схема регенеративної скловарної печі з повітрогрійним та водогрійним теплоутилізаторами:

1 - піч; 2 - регенератор; 3 – регулювальний шибер; 4 – повітрогрійний теплоутилізатор; 5 – вентилятор; 6 – водогрійний теплоутилізатор; 7 – димосмок; 8 – димова труба

Застосування даної схеми дозволяє в зимовий період суттєво підвищити теплопродуктивність теплоутилізації, до 0,6–0,8 МВт, знизити температуру вихідних газів до 155 – 180°C та підвищити коефіцієнт використання теплоти палива печі КВТП до 12 – 16%, що у 1,5 більше у порівнянні з ситуацією застосування лише теплоутилізаторів - повітрянагрівачів.

Висновки.

1. Запропоновано використання в теплоутилізаційних системах для паливоспоживальних промислових печей регенеративного типу нового

повітрогрійного устаткування, що забезпечує високу теплову ефективність та можливість очищення робочих поверхонь від твердого теплового виносу печі.

2. Застосування в системах теплоутилізації одиночних повітрогрійних теплоутилізаторів забезпечує протягом року приріст ККД печі на 8 – 10%.

3. У разі застосування комбінованих теплоутилізаційних систем з водо- та повітрогрійними теплоутилізаторами коефіцієнт використання теплоти палива КВТП печі в опалювальний період року підвищується на 12 – 16%.

Література

1. Буорокова 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. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-rekuperatsii-teploty-gazov-pechey-termoobrabotki-metallicheskih-izdeliy>
2. Єрофеєва А. А. Підвищення ефективності споживання природного газу промисловими камерними печами *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: збірник матеріалів 6-го міжнародного конгресу, Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), 2020. С. 166.
3. Ганжа А. М., Заєць О. М. Оцінка ефективності системи утилізації теплоти димових газів доменних повітронагрівачів (Doctoral dissertation, НТУ" ХПІ"). 2017.
4. Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Шеренковский Ю.В., Степанова А.И., Саригло А.Г. Утилизация теплоты отходящих газов стекловаренных печей с использованием мембранных труб. Киев : «София-А». 2016. 214 с.

5. Фиалко 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.
6. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Степанова А. І. Результати експериментальних досліджень теплотехнічних характеристик водогрійних теплоутилізаторів промислових печей // Теплофізика та теплоенергетика. 2022. т. 44, №1. С. 84–91. doi: <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2022.10>
7. 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. doi: <https://doi.org/10.36930/40310418>
8. Фиалко Н. М., Прокопов В. Г., Навродская Р. А., Шевчук С. И., Слюсар А. Ф. Исследование состава дымовых газов стекловаренных печей // Международный научный журнал "Интернаука". 2021. №6. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-6-7297>
9. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. М. : ЭКОЛИТ, 2011.1973. 296 с.