

Петраш Віталій Дем'янович

Доктор технічних наук, професор, зав. каф. ОБ та ОПБ, ORCID: 0000-0002-0413-233X

Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса

Полунін Юрій Миколайович

Асистент каф. ОБ та ОПБ, ORCID: 0000-0002-0752-5550

Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОАСОСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ

***Анотація.** Встановлено, що інтеграція контактної-рекуперативної і теплоасосної утилізації теплоти відпрацьованих газів за запропонованою схемою дозволяє заощаджувати паливо, що використовується у цементних та керамзитних печах, та підвищити ефективність використання первинної енергії в пічних агрегатах на основі теплоасосної трансформації енергетичних потоків охолодження відпрацьованих газів для промислового та комунально-побутового теплопостачання. Наведені результати дослідження можуть бути основою для практичного застосування з метою більш ефективного використання палива в обертових печах. Його економія для характерних типорозмірів цементних і керамзитних печей становить 51964 т/рік та 2401 т/рік відповідно з одночасним зниженням надходження найбільш шкідливих викидів в навколишнє середовище: - по SO₂ до 27,77% і в 48,51%, а - по NO₂ до 27,8% і до 48,56% відповідно для газового і вугільного палива.*

***Ключові слова:** термотрансформація; утилізація; обертові печі; енергоефективність*

Постановка проблеми

Обертові печі виробництва цементу і керамзиту характеризуються низькою ефективністю використання енергії палива, а також великими втратами теплоти з відпрацьованими газами [1, 2, 3]. Вони відрізняються порівняно низькою температурою (150-250 °С) і значними витратами, тому мають великий теплоенергетичний потенціал, який практично не використовується для промислового, теплотехнологічного і комунально-побутового теплопостачання

Аналіз основних досліджень та публікацій

Аналіз енергетичної ефективності систем рекуперативного, контактної і контактної-рекуперативного засобів відбору теплоти з відпрацьованих низькотемпературних газів свідчить про необхідність пошуку більш ефективних методів глибокого їх охолодження з одночасним підвищенням температури середовища, що нагрівається для абонентських систем. Відомі теплоасосні системи теплопостачання на основі охолодження відпрацьованих газів енергетичних установок мають підвищені можливості високоефективного відбору та утилізації теплоти. Однак їм властиві високі загальні витрати на

теплоасосні системи, при цьому вони не можуть бути безпосередньо адаптовані для вирішення поставленої задачі.

Основная часть

Запропонована [4] термотрансформаторна система відбору теплоти з відпрацьованих газів обертових печей для промислового теплопостачання, рис. 1., працює наступним чином. Після традиційного та тонкого очищення в фільтрі 26 відпрацьований газ надходить в теплообмінник попереднього охолодження 12, потім, проходячи через контактні камери 6 і 28 з різною щільністю зрощення, потрапляє в теплообмінник 7 для глибокого охолодження. В теплообміннику 8 він незначно підігрівається для виключення можливого випадання конденсату у димовій трубі. Підігріта в теплообміннику 15 частина вихідної водопровідної води проходить через випарник теплоасосного контуру 22, в якому тепловий потік, що відбирається підігріває частину води, що надходить з піддона 5, в конденсаторі 21 з метою нагріву енергоносіїв для систем опалення та гарячого водопостачання. Одночасно з піддоном 5 відбирається частина води на технологічне теплоспоживання по ділянці 29.

Надійність роботи системи забезпечується тим, що регенерація циркуляційної води в піддоні забезпечується ступенем споживання холодної води з трубопроводу 17 для технологічного теплоспоживання по дренажній ділянці 29.

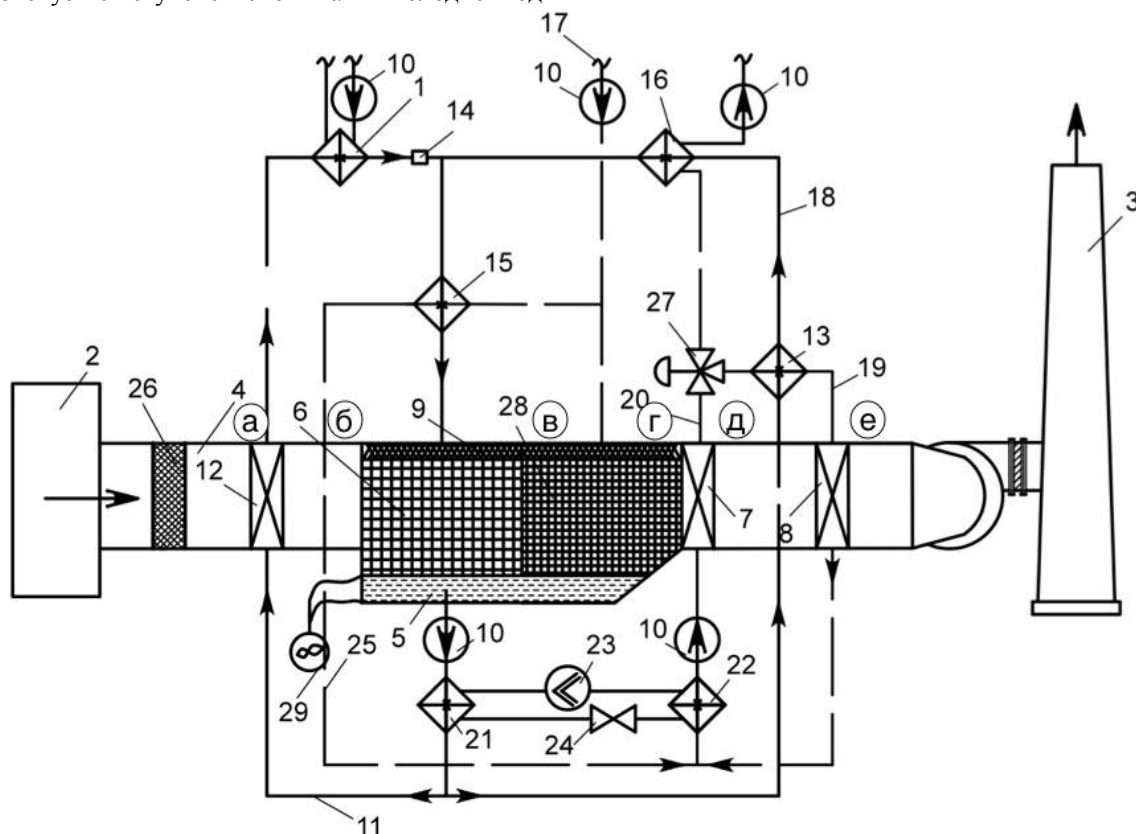


Рисунок 1 – Схема системи контактнo-рекуперативного відбору і трансформації теплоти з відпрацьованих газів обортових печей для промислового та комунально-побутового теплоснабження

Умовні позначення: 1-теплообмінник нагріву води для опалювально-вентиляційних систем; 2-газохід після традиційного очищення відпрацьованих газів з обортової печі; 3-димова труба; 4-газохід після тонкого очищення відпрацьованих газів; 5-піддон для збору води в контактній камері; 6-перша контактна камера попереднього зволоження; 7-теплообмінник глибокого охолодження газу; 8-підігрівач газу перед димовою трубою; 9-зрошувач; 10-циркуляційні насоси; 11, 18, 19, 20 - трубопроводи; 12 - теплообмінник попереднього охолодження газів; 13, 15, 16 - теплообмінники; 14-регулятор співвідношення витрат; 17-трубопровід подачі вихідної холодної води; 21-конденсатор; 22-випарник; 23-компресор; 24-дросельний вентиль; 25-трубопровід подачі води на гаряче водопостачання; 26-фільтр тонкого очищення; 27-трьохпозиційний регулятор витрати рідини; 28-друга контактна камера; 29-дренажна ділянка технологічного теплоспоживання з регенерацією води в піддоні 5.

Наявний тепловий потік в процесі охолодження газів обортових печей в результаті інтегрування контактнo-рекуперативного і термотрансформаторного відбору енергії визначається на основі відомої продуктивності печі $G_{\text{п}}$ і питомої теплоти відпрацьованих газів $q_{\text{ух}}$, що припадає на 1 кг клінкеру, відповідно до залежності:

$$Q_{\text{ух}}^{\text{кл}} = G_{\text{п}} \cdot q_{\text{ух}}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

Аналізований тепловий потік визначається також витратою відпрацьованих газів $G_{\text{г}}$ з відомою початковою і кінцевою температурами, тобто:

$$Q_{\text{ух}}^{\text{г}} = G_{\text{г}} \cdot c \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}}), \text{ Вт}, \quad (2)$$

де: $G_{\text{г}}$ - витрата газів, що видаляються, кг/год;

c – питома теплоємність відпрацьованих газів, що залежить від їх температур і складу, яка для аналізованого діапазону температур прийнята 0,35, кДж/кг;

$t_{\text{г}}$ - початкова температура відпрацьованих газів, що видаляються з печі, °С;

$t_{\text{о}}$ - кінцева температура після охолодження, яка згідно [5] приймається рівною 20 °С.

Результати розрахунку теплових потоків по залежностям (1) і (2) представлені в табл. 1 і табл. 2. З представлених даних випливає, що значення $Q_{\text{ух}}$, що визначаються за (1) і (2), дуже близькі за величиною утилізованого теплового потоку, в зв'язку з чим для встановлених значень може бути

визначена економія палива, що спалюється ΔB в печі за відповідний період по залежності:

$$\Delta B = \frac{Q_{\text{кл}}}{Q_{\text{н}}^p \cdot \eta}, \text{ кг/ч}; \quad (3)$$

де $Q_{\text{н}}^p$ - нижча теплота згоряння умовного палива;

η – ККД печі, прийнятий 0,5.

На основі встановленої витрати (3) визначається річна економія палива ΔB :

$$\Delta B = \Delta B \cdot n_{\text{сут}} \cdot n_{\text{год}} \cdot k_{\text{кна}}, \text{ т/год.} \quad (4)$$

де $n_{\text{сут}}$ - кількість робочих годин печі на добу, год;

$n_{\text{год}}$ - кількість робочих днів печі на рік, доб;

$k_{\text{кна}}$ - річний коефіцієнт обліку тривалості роботи печі, %.

Як впливає з результатів - економія палива, що спалюється в процесі охолодження відпрацьованих газів обертових печей виробництва цементу і керамзиту [1, 3] становить для цементних печей 7415 кг у.п./год, а для керамзитних печей 343 кг у.п./год. У перерахунку на річну економію спалювання палива в цементних печах заощаджується 51964 т/рік, а в керамзитних 2401 т/рік.

Таблиця 1 - Визначення наявного теплового потоку і економії палива в процесі охолодження відпрацьованих газів обертових печей

| Наявний тепловий потік | | | | | | | | | Економія палива |
|---|--------------|------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Витрата $Q_{\text{ух}}$ за матеріалом (клинкер) | | | | за параметрами газів, що відходять | | | | | ΔB , кг у.т. |
| № печі, діаметр, довжина | G^r , кг/ч | q , ккал/кг | $Q_{\text{ух}}$, ккал/год | G^r , кг/год | c , кДж/кг | t_r , °C | t_o , °C | $Q_{\text{ух}}^r$, Вт | |
| Цементна піч | | | | | | | | | |
| №6, 5,18x5 м | 72900 | 307 | 22380300 | 275000 | 0,35 | 252 | 20 | 22330000 | 7415 |
| Керамзитна піч | | | | | | | | | |
| 4x22 м | 9132 | 113 | 1031916 | 16000 | 0,35 | 200 | 20 | 1008000 | 343 |

Таблиця 2 – Економія палива, що заміщується

| Річна: $\Delta B = \Delta B n_{\text{сут}} n_{\text{год}} k_{\text{кна}}$ | | | |
|---|------------------------|------------------|-----------------------|
| $n_{\text{сут}}$, год | $n_{\text{год}}$, доб | $k_{\text{кна}}$ | ΔB , т/рік |
| Цементна піч | | | |
| 24 | 365 | 0,8 | 51964 |
| Керамзитна піч | | | |
| 24 | 365 | 0,8 | 2401 |

Висновки

Визначення техніко-економічної ефективності інтеграції контактної-рекуперативної та теплонасосної утилізації теплоти відпрацьованих газів дозволило встановити, що економія палива, яке спалюється, для характерних типорозмірів цементних і керамзитних печей становить 51964

т/рік та 2401 т/рік відповідно. Одночасно забезпечується зниження надходження найбільш шкідливих викидів в навколишнє середовище [6]: - за SO_2 до 27,77% та до 48,51%, а - за NO_2 до 27,8% та до 48,56% відповідно для газового та вугільного палива.

Література

1. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности Л.: Изд. Литературы по строительству, 1968г, 456с.
2. Древицкий Е.Г. и др. Повышение эффективности работы вращающихся печей М.:Стройиздат, 1990,с.225.
3. Онацкий С.П. Производство керамзита М.: Стройиздат, 1987г. 333с.
4. Петраш В.Д., Полунин Ю.Н. Отбор и трансформация энергии отработанных газов вращающихся печей для промышленного теплоснабжения / Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2013. - №6. – С. 59-66
5. Клименко В.Н. Некоторые особенности применения пароконденсационных тепловых насосов для утилизации сбросной теплоты отопительных котлов, Ж. Промышленная теплотехника № 5, 2011, с 42-48.
6. Полунин Ю.М. Енергоефективне теплопостачання на основі контактної-рекуперативної термотрансформації енергії відпрацьованих газів обертових печей, автореф. дис. на здоб. вч. ступ. канд. тех. наук (05.14.06) / Ю.М. Полунин // ОНАПТ, Одеса, 2017 – 23с.

Стаття надійшла в редколегію

Рецензент: д.т.н., проф. О.С. Тітлов, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса.

Петраш Віталій Дем'янович

Доктор технических наук, профессор, зав. каф. ОВ и ОБВ, ORCID: 0000-0002-0413-233X

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса

Полунин Юрий Николаевич

Ассистент каф. ОВ и ОБВ, ORCID: 0000-0002-0752-5550

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Аннотация. Установлено, что интеграция контактнo-рекуперативной и теплонасосной утилизации теплоты отработанных газов по предложенной схеме позволяет экономить топливо, используемое в цементных и керамзитных печах и повысить эффективность использования первичной энергии в печных агрегатах на основе теплонасосной трансформации энергетических потоков охлаждения отработанных газов для промышленного и коммунально бытового теплоснабжения. Приведенные результаты исследования могут быть основой для практического применения с целью более эффективного использования топлива во вращающихся печах. Его экономия для характерных типоразмеров цементных и керамзитных печей составляет 51964 т/год и 2401 т/год соответственно с одновременным снижением поступления наиболее вредных выбросов в окружающую среду: - по SO₂ до 27,77% и в 48,51%, а - по NO₂ до 27,8% и до 48,56% соответственно для газового и угольного топлива.

Ключевые слова: термотрансформация; утилизация; вращающиеся печи; энергоэффективность

Petrash Vitali

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Heating and ventilation department, ORCID: 0000-0002-0374-0827

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

Polunin Yuri

Assistant of the Heating and ventilation department, ORCID: 0000-0002-1709-2621

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

ECONOMIC EFFICIENCY OF HEAT PUMP RECYCLING OF THE ENERGY OF EXHAUST GASES OF ROTARY KILNS

Abstract. *It is established that integration of contact-recuperative and heat pump recycling of heat of exhaust gases according to the proposed scheme allows to save fuel used in cement and ceramsite furnaces and to increase the efficiency of primary energy use in furnace units on the basis of thermotransformation of energy flows of cooling of exhaust gases for industrial and municipal heat supply. The results of the study can be the basis for practical application with the purpose of more efficient use of fuel in rotary kilns. Its savings for typical sizes of cement and ceramsite kilns are 51964 t/year and 2401 t/year, respectively, with reducing the most harmful emissions to the environment: - by SO₂ up to 27.77% and 48.51%, and - to NO₂ up to 27.8% and up to 48.56% respectively for gas and coal fuel.*

Keywords: *thermotransformation; recycling; rotary kilns; energy efficiency*
