



## Теплоснабжения на основе термотрансформированной энергии стабилизирующего охлаждения печи и переохлаждения теплоносителя низкопотенциальных источников

В.Д. Петраш<sup>1</sup>, Э.А. Гераскина<sup>2</sup>, Н.В. Даниченко<sup>3</sup>, И.В. Чернышова<sup>4</sup>

### АННОТАЦИЯ:

В статье представлены исследования совместной работы отопления и горячего водоснабжения. Установлено, что эффективность системы возрастает с увеличением расхода теплоносителя на горячее водоснабжение, а также при снижении температуры теплоносителя в системе отопления. Аналитическим способом установлено для системы с доохлаждением рациональное сочетание исходных и режимных условий, которое в системе анализируемой структуры обеспечивает оптимальное значение коэффициента преобразования.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

отопление и горячее водоснабжение; эффективность системы; расход теплоносителя; коэффициент преобразования

## 1. Введение

В производстве строительных материалов и изделий проблема повышения эффективности использования топлива является наиболее актуальной для таких энергоемких видов продукции, как цемент, керамзит, известь, керамические стеновые материалы, сборные и монолитные железобетонные конструкции и т.д. На их производство ежегодно расходуется более 50% всех топливно-энергетических ресурсов, потребляемых в этой отрасли. В частности, в наиболее энергоемких печах производства вяжущих и стеновых материалов коэффициент использования топлива в 2–3 раза меньше, чем в генераторах традиционного теплоснабжения. Потери теплоты в окружающую среду с боковой поверхности, обычно не укрытой печи, достигают 6–7 кВт/м<sup>2</sup>. При этом эффективность сжигания топлива в таких агрегатах не превышает 40%, а потери теплоты с боковой поверхности достигают 10–30% его общего расхода. В условиях дефицита и высокой стоимости тепловой энергии в Украине актуальным является снижение расхода первичного топлива в технологических процессах, а также повышение эффективности отбора, преобразования и использования энергии для промышленного и коммунально-бытового теплоснабжения.

<sup>1</sup> Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина, e-mail: petrash@ukr.net, orcid id: 0000-0002-0413-233X

<sup>2</sup> Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина, orcid id: 0000-0002-3308-3776

<sup>3</sup> Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина, orcid id: 0000-0002-2344-948X

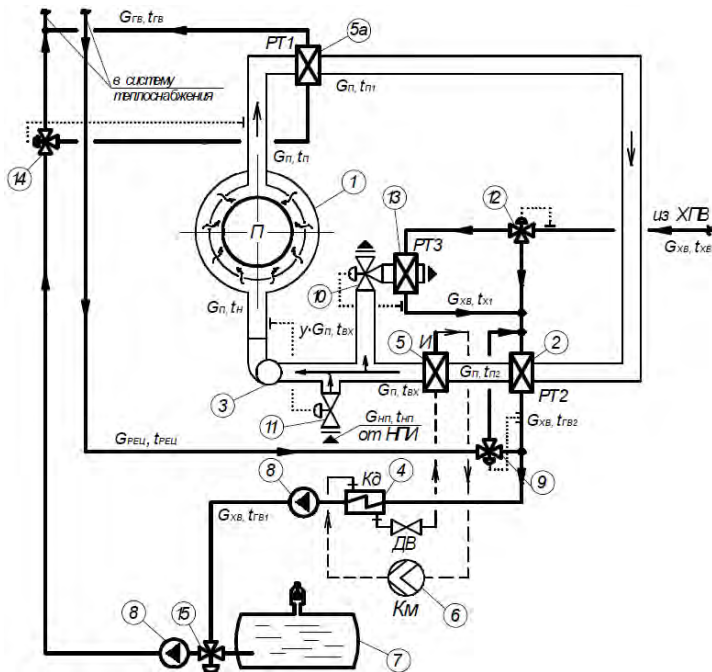
<sup>4</sup> Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина, orcid id: 0000-0003-3269-541X

## 2. Цель исследования

Перспективным представляется направление применения теплонасосных технологий для энергосбережения [1] в процессах производства строительных материалов во вращающихся печах с утилизацией низкотемпературных газоздушных потоков. Логично, что минимизация теплоты термотрансформаторной компоненты в общем энергетическом потоке должна быть доминирующей в системах энергосбережения на этой основе.

Цель исследования заключается в научно-техническом обосновании нового подхода и систем по разработке энергосберегающей технологии теплоснабжения на основе рекуперативно-термотрансформаторной утилизации теплоты стабилизирующего охлаждения вращающейся печи и смежных газоздушных потоков [2, 3]. Для достижения поставленной цели необходимо провести исследования интегрированной системы с доохлаждением рециркуляционного потока в режиме стабилизирующего охлаждения печи с использованием смежных газоздушных потоков для расширения энергетического ресурса промышленного теплоснабжения;

На рисунке 1 представлена система промышленного теплоснабжения [4, 5], которая позволяет интегрировать энергию охлаждения боковой поверхности и низкопотенциальных источников с термотрансформаторным доохлаждением рециркуляционного потока до необходимого уровня для снижения температуры исходной воды в теплый период года.



**Рис. 1.** Система теплоснабжения на основе термотрансформированной энергии стабилизирующего охлаждения печи и переохлаждения теплоносителя низкопотенциальных источников: 1 - укрытие печи; 2 - калорифер; 3 - вентилятор; 4 - конденсатор; 5 - испаритель; 6 - компрессор; 7 - бак-аккумулятор; 8 - насосы; 9 - регулятор расхода; 10, 11 - соответственно, сбросной и заборный патрубки с трехходовыми регуляторами расхода; 12, 14, 15 - трехходовой регулятор расхода; 13 - рекуперативный теплообменник

После охлаждения печи горячий воздух из теплообменника предварительного охлаждения 5а поступает в калорифер 2, где он охлаждается, нагревая воду. Охлажденный

рециркуляционный воздух после калорифера 2 в результате прохождения через испарительный теплообменник 5 доохлаждается. После прохождения через патрубок 10 воздух, охлаждая воду до 5°C, удаляется в атмосферу. Он заменяется теплым газоздушным потоком от низкопотенциального источника, поступаая через воздухозаборный патрубок 11. Автоматизированный процесс смешения переохлажденной части рециркуляционного потока и поступающего газоздушного энергоносителя от низкопотенциальных источников обеспечивает установленную температуру рециркуляционного потока на входе в укрытие печи, на уровне 5–10°C. Предложенная система исключает применение дополнительных источников энергии для догрева воды, как в рабочем режиме, так и в ремонтно-восстановительный период работы предприятия.

### 3. Энергетическая эффективность преобразования

Вертикали соединений полотен можно трактовать как остановки между разными моментами движения, что создает ощущение выпадения из времени. Это феномен «одновременности неодновременного» (Р. Козеллек).

Сукцесивность отражает процесс изменения изображений разных его фрагментов.

В работе «Count down» (рис. 2) В. Коваленчикова подчеркивает преемственность истории города и длительность времени. Левая и правая части триптиха представляют собой звенья одной цепи взаимосвязанных событий, происходящих в разное время в одном городском пространстве. Их соединяет линия горизонта, которая исчезает в вихре бумажных листов в центральной части композиции. Взлетевшие в воздух под порывом ветра чистые листы бумаги с порванными и загнутыми краями разрывают городское пространство-время и делают его обратимым. Расположенные на переднем плане массивные каменные ограждения набережной создают ощущение течения времени в разных направлениях, в левой и правой частях работы. По обе стороны от центра возникают две картины, каждая со своей перспективой и своим пространством-временем.

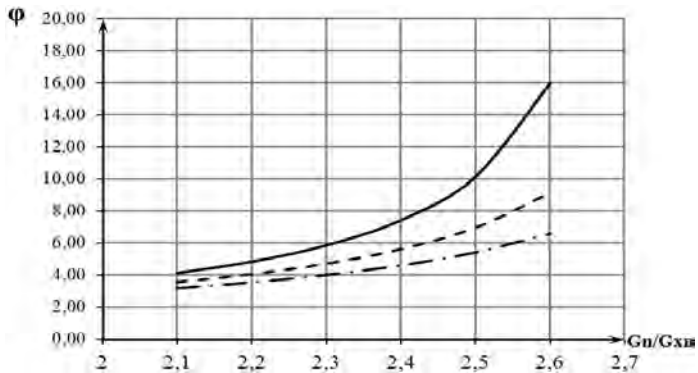


Рис. 2. Зависимость коэффициента преобразования от соотношения расходов греющего теплоносителя и нагреваемой среды: — при  $\mu = 0,2$ ; - - - при  $\mu = 0,25$ ; . . . при  $\mu = 0,3$

Энергетическая эффективность преобразования сопряженных энергетических потоков в анализируемой системе теплоснабжения выражается в виде зависимости коэффициента преобразования относительно определяющих исходных и режимных параметров, представляется в виде

$$\varphi = \frac{1}{1 - \frac{G_n \cdot c \cdot (t_{п2} - t_H - y \cdot t_{вх} + y \cdot t_{х1} - y \cdot \Delta t)}{G_{хв} \cdot c_B \cdot [(t_{ГВ1} - t_{ГВ2}) + \mu \cdot \beta \cdot (t_{ГВ1} - t_{РЕЦ])}}}. \quad (1)$$

При этом зависимость компенсирующей части поступающего теплоносителя от низкопотенциального источника для поддержания установленной температуры смеси потока  $t_H$  на входе в укрытие печи представляется следующим алгоритмом  $y = t_H - t_{BX} / t_{HP} - t_{BX}$ .

Полученная зависимость коэффициента преобразования, содержащая соотношение газовоздушного потока и нагреваемой среды, а также независимые исходные параметры и режимные условия, позволяет проанализировать эффективность трансформации сопряженных энергетических потоков и определить рациональное сочетание независимых переменных для достижения высокоэффективной работы интегрированной системы теплоснабжения при установленной мощности отбираемого теплового потока с охлаждаемой поверхностью вращающейся печи.

Из условий работы анализируемой системы (рис. 1), а также уравнения (1) следует, что увеличение расхода газовоздушного потока на единицу нагреваемой среды при установленной мощности отбора теплоты с охлаждаемой поверхности печи приводит к определенному росту температуры греющей среды перед испарителем.

Из представленных графиков на рисунке 2 следует, что в этих условиях коэффициент преобразования значительно возрастает.

При этом снижение расхода рециркуляционной части теплоносителя в процессе эксплуатации систем горячего водоснабжения с 0,3 до 0,2 оказывает более существенное влияние, чем увеличение удельного расхода газовоздушной среды, т.е.  $G_{II} / G_{XB}$ , обеспечивая существенные значения коэффициента преобразования. Очевидно, что влияние первого и второго параметров отражается на возрастании температуры газовоздушной среды на входе в испаритель, а соответственно, и на эффективность преобразования сопряженных энергетических потоков.

Данные представленных графиков (рис. 3) построенных согласно полученной зависимости (1), свидетельствуют о предпочтительном увеличении сбросной части рециркуляционного потока, причем с более низкой температурой теплоносителя, которая компенсируется расходом поступающего теплоносителя от низкопотенциального источника.

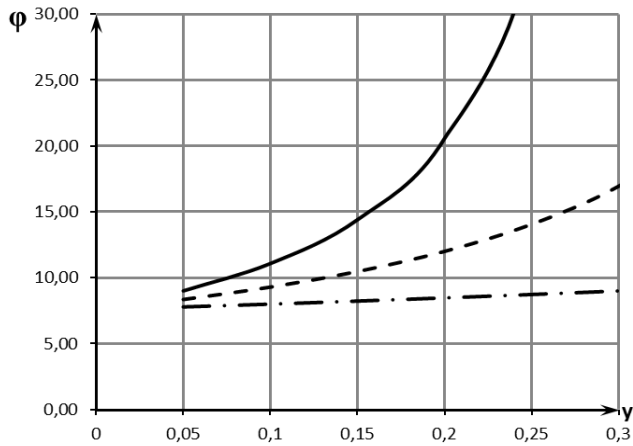


Рис. 3. Зависимость коэффициента преобразования от соотношения расходов теплоносителя низкопотенциального и рециркуляционного потока: при  $t_{HP} = 30^\circ\text{C}$ : — — —  $t_{BX} = -10^\circ\text{C}$ , - - -  $t_{BX} = -5^\circ\text{C}$ , — · —  $t_{BX} = 0^\circ\text{C}$

Таким образом, из результатов анализа следует, что вполне определенное балансное соотношение сбросной части доохлаждаемого рециркуляционного потока и компенсируемой части теплоносителя от низкопотенциального источника, обеспечивая поддержание установленной начальной температуры рециркуляционного потока на входе в укрытие печи, способно обеспечить достаточно высокие значения коэффициента преобразования, реально от 8 до 15 при  $y = 0,15 - 0,2$ .

#### 4. Заключение

1. Исследованием установлено, что при совместной работе отопления и горячего водоснабжения эффективность системы возрастает с увеличением расхода теплоносителя на горячее водоснабжение, а также при снижении температуры теплоносителя в системе отопления, как для расчетных условий, так и в процессе эксплуатационного регулирования.
2. Аналитическим исследованием системы с доохлаждением рециркуляционного потока [4] установлено рациональное сочетание исходных и режимных условий, которое в системе анализируемой структуры обеспечивает значение коэффициента преобразования не менее 7. Рациональное сочетание исходных параметров эксплуатационного режима способно обеспечить коэффициент преобразования до 12.

#### Литература

- [1] Petrash V.D., Povysheniye energotekhnologicheskoy effektivnosti vrashchayushcheyasya pechi i kachestva teplosnabzheniya na osnove termotransformatornogo tsikla utilizatsii teploty [Tekst] / V.D. Petrash, I.V. Sorokina (I.V. Chernysheva), D.V. Basist // Energotekhnologii i resursosberezheniye. Nauch.-tekhn. zhurn. In-ta Gaza NAN Ukrainy, K.: 2008, 4, 22-25.
- [2] Chernysheva I.V., Usloviya vysokoeffektivnogo teplosnabzheniya na osnove termotransformatsii integrirovannoy energii okhlazhdeniya pechi i nizkopotentsial'nykh istochnikov [Tekst] / I.V. Chernysheva // Visn. ODABA, ODABA, Odesa 2012, Vip. № 45, 290-298.
- [3] Chernyshova I.V., Teplopostachannya na osnovi intehratsiyi termotransformovanoi enerhiyi okholodzhennya pechi ta nyz'kopotentsial'nykh dzherel [Tekst] / I.V. Chernyshova // Ventylyatsiya, osvittennya ta teplohazopostachannya. Nauk.-tekhn. zb. KNUBA, KNUBA, Kyiv 2012, Vyp. № 16, 84-89.
- [4] Pat. 101512 Ukrayina, MPK (2013.01), F27D 9/00, F24D 17/02 (2006/01), F25B 29/00, F23J 15/00, F24F 5/00. Systema teplopostachannya na osnovi termotransformovanoi enerhiyi okholodzhennya pechi ta pereokholodzhennya teplonosiyi nyz'kopotentsial'nykh dzherel [Tekst] / Dorofyeyev V.S., Petrash V.D., Chernyshova I.V., Postolovs'kyi Yu.L. (Ukrayina); zayavn. ta vlasn. pat. Od. derzh. akad. bud-va ta arkh., № a 2011 01371; zayavl. 07.02.2011; opubl. 10.04.2013, Byul. № 7.
- [5] Petrash V.D., Zavisimost' effektivnosti preobrazovaniya energeticheskikh potokov ot udel'nogo raskhoda vozdukhа v sisteme stabiliziruyushchego okhlazhdeniya vrashchayushcheyasya pechi dlya promyshlennogo teplosnabzheniya [Tekst] / V.D. Petrash, I.V. Chernysheva // Vestn. GGTU im. Sukhogo P.O. Resp. Belarus', Gomel': GGTU - 2013, Vyp. 4(55), 72-78.

### Heat supply based on thermotransformed energy of stabilizing cooling of the furnace and supercooling of coolant of low-potential sources

#### ABSTRACT:

The article presents a study of the joint work of heating and hot water. It has been established that the efficiency of the system increases with an increase in the coolant flow rate for hot water supply, as well as with a decrease in the coolant temperature in the heating system. Analytically, a rational combination of initial and regime conditions is established for a system with subcooling, which in the system of the analyzed structure provides the optimal value of the conversion coefficient.

#### KEYWORDS:

heating and hot water supply; system efficiency; coolant flow rate; conversion rate