

## The New Approach for Blast-Furnace Coke Quality Increase

### Zolotariov I.V.<sup>1</sup>, Tamko V.A.<sup>2</sup>, Shendrik T.G.<sup>2</sup>, Zbykovsky E.I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Close JSC «Makeevkoks»

<sup>2</sup> The Institute of Physical Organic and Coal Chemistry of NASU, Donetsk

<sup>3</sup> Donetsk National Technical University

The methods of different type coke quality increase by coke post-furnace treatment by alkaline metals borates solutions with (or without) surface-active materials are developed. The results of reagents influence on the main quantity indexes of coke: reactivity index (CRI) and hot strength (CSR) are presented. Preliminary estimation of the proposed methods application and economical efficiency is performed.

**Key words:** coke, reactivity index, hot strength, borates.

Received December 2, 2009

УДК 621.577+697.1

## Энергетический анализ теплонасосной системы отопления

**Безродный М.К., Дроздова О.И.**

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев*

Проведен сравнительный энергетический анализ теплонасосной и традиционной систем отопления. Определена эффективность использования теплонасосной установки в качестве источника теплоты в сравнении с теплоснабжением от отопительной котельной. Проанализирована целесообразность установки низкотемпературных отопительных приборов при организации теплонасосной системы отопления.

**Ключевые слова:** теплонасосная установка, система отопления, отопительная котельная, низкотемпературные отопительные приборы.

Проведено порівняльний енергетичний аналіз теплонасосної та традиційної систем опалення. Визначено ефективність використання теплонасосної установки як джерела теплоти у порівнянні з теплопостачанням від опалювальної котельні. Проаналізовано доцільність встановлення низькотемпературних опалювальних приладів при організації теплонасосної системи опалення

**Ключевые слова:** теплонасосна установка, система опалення, опалювальна котельня, низькотемпературні опалювальні прилади.

Проблема рационального использования природных энергоресурсов может быть решена за счет снижения тепловых потерь и внедрения современной техники генерации, распределения, регулирования и потребления теплоты. Одним из наиболее эффективных видов современной техники, которые позволяют значительно снизить затраты энергии в низко- и среднетемпературных системах, являются тепловые насосы.

Теплонасосные технологии получили широкое развитие в мире, зарекомендовав себя как наиболее перспективные технологии теплоснабжения XXI ст. В последние годы в мире в целом и особенно в Европе наблюдается стреми-

тельное развитие этих технологий. Это говорит о том, что в ближайшем будущем тепловые насосы заместят большую часть традиционных технологий получения низкотемпературной теплоты.

По данным международного Энергетического Агентства, в развитых странах до 2020 г. доля теплонасосных систем в общих затратах теплоты на отопление и горячее водоснабжение составит 75 % [1]. Широкое внедрение тепловых насосов в системах теплоснабжения также предусмотрено в «Основных положениях энергетической стратегии Украины на период до 2030 года».

Отечественный и зарубежный опыт подтверждает, что для эффективного использова-

ния теплонасосных технологий в системах отопления необходимыми являются низкотемпературные системы. Главным препятствием на пути широкого внедрения тепловых насосов в Украине является распространенная практика строительства сооружений с высокотемпературными системами отопления.

Предварительно был проведен энергетический анализ теплонасосных систем отопления с целью определения оптимальных условий работы данного оборудования в условиях Украины [2]. В работе были получены значения критических температур окружающей среды и нижнего источника теплоты для теплового насоса, которые устанавливают нижний предел эффективного использования системы отопления с теплонасосной установкой (ТНУ). Установлено, что критическая температура нижнего источника теплоты изменяется в широком диапазоне в зависимости от температуры окружающей среды и слабо зависит от региона использования ТНУ.

В связи с этим на основе предварительно полученных данных рассмотрим энергетические показатели систем отопления ради определения оптимальных условий эффективного использования теплонасосных систем отопления в сравнении с традиционными системами с использованием в качестве источника теплоты отопительной котельной.

#### Традиционная система с отопительной котельной

На рис.1 показана принципиальная схема передачи теплоты от отопительной котельной к помещению.

На основе анализа данной схемы текущий тепловой поток  $Q_{\Pi}$ , необходимый для отопления помещения, и коэффициент первичного использования топлива данной системой определяются по следующим расчетным зависимостям:

$$Q_{\Pi} = Q_T \eta_{\text{КУ}} \eta_{\text{ТС}}; \quad (1)$$

$$\eta_{\text{ОК}} = Q_{\Pi} / Q_T = \eta_{\text{КУ}} \eta_{\text{ТС}}, \quad (2)$$

где  $Q_T$  — теплота сгорания топлива, которое используется на котельной;  $\eta_{\text{КУ}}$  — коэффициент полезного действия котельной установки;  $\eta_{\text{ТС}}$  — КПД тепловой сети.

#### Теплонасосная система с использованием в качестве холодного источника теплоты окружающей среды

Рассмотрим схему системы отопления помещения с использованием в качестве источника теплоты теплонасосной установки. В данном случае в качестве низкотемпературного источника теплоты для теплового насоса будем рас-

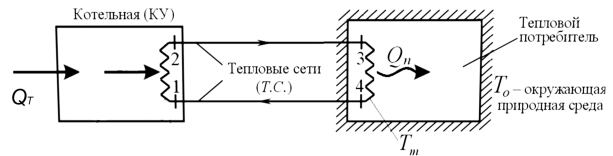


Рис.1.

сматривать окружающий воздух с температурой  $T_0$  (рис.2).

Из определения для коэффициента трансформации теплового насоса

$$\phi = Q_{\Pi} / N_{\text{ТН}}, \quad (3)$$

где  $\phi$  — действительный коэффициент трансформации теплового насоса,  $\phi = \eta_{\text{ТН}} \phi_T$  (здесь  $\phi_T$  — теоретический коэффициент трансформации;  $\eta_{\text{ТН}}$  — КПД реального теплового насоса);  $N_{\text{ТН}}$  — мощность теплового насоса.

Текущий тепловой поток  $Q_{\Pi}$ , необходимый для отопления помещения, определяется как  $Q_{\Pi} = N_{\text{ТН}} \phi$ , или

$$Q_{\Pi} = N_{\text{ТН}} \eta_{\text{ТН}} \phi_T = Q_T \eta_{\text{КЭС}} \eta_{\text{ТН}} \phi_T, \quad (4)$$

где  $\eta_{\text{КЭС}}$  — коэффициент полезного действия электростанции.

Таким образом, коэффициент первичного использования топлива в данном случае будет равным:

$$\eta_{\text{ТНС}} = \eta_{\text{КЭС}} \eta_{\text{ТН}} \phi_T. \quad (5)$$

#### Теплонасосная система с использованием в качестве нижнего источника теплоты вентиляционных выбросов

В данном случае в качестве холодного источника теплоты для теплового насоса будем рассматривать другие техногенные среды, например, вентиляционные выбросы сооружений с температурой  $T_x$ .

Аналогично (4) и (5) для данной схемы запишем:

$$Q_{\Pi} = N_{\text{ТН}} \eta_{\text{ТН}} \phi'_T = Q_T \eta_{\text{КЭС}} \eta_{\text{ТН}} \phi'_T; \quad (6)$$

$$\eta'_{\text{ТНС}} = \phi_{\text{КЭС}} \eta_{\text{ТН}} \phi'_T, \quad (7)$$

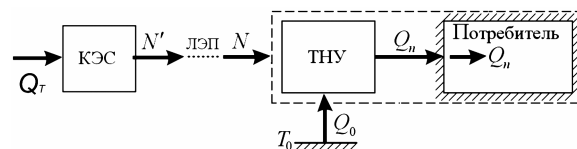


Рис.2. Схема системы теплоснабжения на базе ТНУ: КЭС — конденсационная электростанция;  $N = N_{\text{ТН}}$  — мощность теплового насоса; ЛЭП — линии электропередач.

где  $\varphi'_T$  — теоретический коэффициент трансформации теплового насоса с использованием в качестве холодного источника теплоты среды с температурой  $T_X$ .

### Сравнение вариантов отопления с использованием отопительной котельной (ОК) и на базе ТНУ

Для определения эффективности ТНУ в качестве источника теплоты в сравнении с традиционным видом отопления — теплоснабжением от отопительной котельной — проанализируем отношение коэффициентов первичного использования топлива для указанных схем. Так, на основе формул (2), (5) и (6) запишем:

$$\eta^0_{ТНС} = \eta_{ТНС} / \eta_{ОК} = (\eta_{КЭС} \eta_{ТН} \varphi_T) / (\eta_{КУ} \eta_{ТМ}); \quad (8)$$

$$(\eta^0_{ТНС})' = \eta'_{ТНС} / \eta_{ОК} = (\eta_{КЭС} \eta_{ТН} \varphi'_T) / (\eta_{КУ} \eta_{ТМ}). \quad (9)$$

Данные для текущих расчетов приведены ниже:

Расчетная температура в отопительном помещении $t_{п}$ , °C	— 20
Расчетная температура на отопление для Киева $t_0$ , °C	— -22
КПД конденсационной электростанции $\eta_{КЭС}$	— 0,38
КПД водогрейного котла при сжигании природного газа $\eta_{КУ}$	— 0,85
КПД конденсационного водогрейного котла при отнесении КПД к теплоте $Q_{нП}$ [3] $\eta_{КУ}$	— 1,05
КПД тепловой сети $\eta_{ТС}$	— 0,95
Коэффициент, учитывающий потери в теплообменниках, компрессоре, дросселе теплового насоса [4] $\eta_{ТН}$	— 0,60
Варианты реализации системы отопления $t_{гп}$ , °C:	
радиаторное с температурой греющего теплоносителя	— 80
панельное отопление	— 60
панельное с расчетной температурой теплоносителя	— 40

Учитывалось, что при повышении температуры окружающей среды выше расчетной температуры на отопление уменьшается температура теплоносителя в системе отопления. При этом имеет силу следующее уравнение, которое выводится на основе анализа процессов теплообмена в системе греющая вода — воздух в помещении — атмосферный воздух [5]:

$$t_T = t_{п} + (t_{гп} - t_{п})[(t_{п} - t_0) / (t_{п} - t_0^P)]^{1/(1+n)}, \quad (10)$$

где  $t_{гп}$  — расчетная температура греющего теплоносителя при  $t_0 = t_0^P$ ,  $n = 1/3$  для современных радиаторов и  $n = 0$  для панельного отопления;  $\varphi_T$  — теоретический коэффициент трансформации теплового насоса согласно теореме Карно:

$$\varphi_T = T_K / (T_K - T_B) = 1 / [1 - (T_B / T_K)], \quad (11)$$

где  $T_K$  — температура конденсации хладагента,  $T_K = T_{г} + \Delta T_K$  (здесь  $\Delta T_K$  — разность между температурой конденсации и температурой теплоносителя на выходе из теплового насоса, принятая равной 3 К);  $T_B$  — температура выпаривания хладагента,  $T_B = T_X - \Delta T_B$  (здесь  $\Delta T_B$  — разность между температурой нижнего источника теплоты и температурой выпаривания хладагента, принятая равной 5 К) [4].

С учетом вышеприведенных данных по соотношениям (8) и (9) построены графические зависимости  $\eta^0_{ТНС} = f(t_0)$  в случае использования в качестве холодного источника теплоты для теплового насоса окружающего воздуха (рис.3) и  $(\eta^0_{ТНС})' = f(t_0)$  в случае использования вентиляционных выбросов сооружений с температурой  $t_X$  соответственно 10 и 18 °C (рис.4).

Сравнение ТНС проводилось с отопительной котельной с традиционными водогрейными котлами, а также с использованием в качестве источника теплоты высокотехнологического оборудования, которое характеризуется использованием теплоты конденсации водяных паров, которые содержатся в продуктах сгорания, конденсационными котлами.

На рис.3 видно, что поле графика разделяется на две характерных зоны, в которых ис-

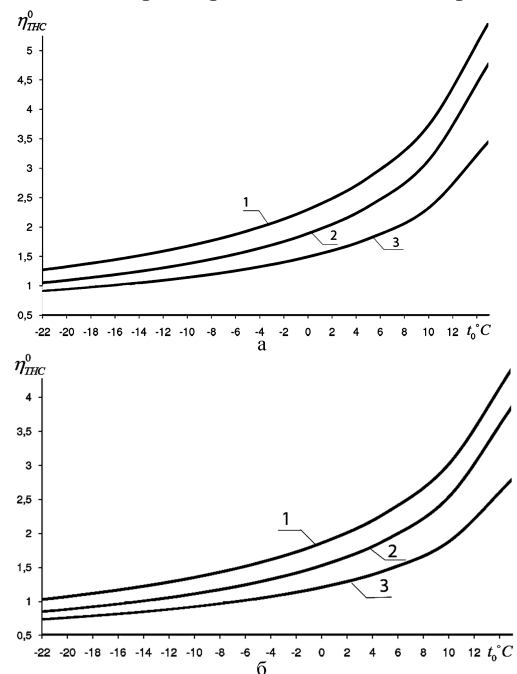


Рис.3. Зависимость отношения коэффициентов первичного использования топлива от температуры окружающей среды при сравнении ТНУ с традиционными водогрейными котлами (а) и с конденсационными котлами (б): 1 — панельное отопление с температурой греющего теплоносителя 40 °C; 2 — панельное (60 °C); 3 — радиаторное отопление с температурой греющего теплоносителя 80 °C.

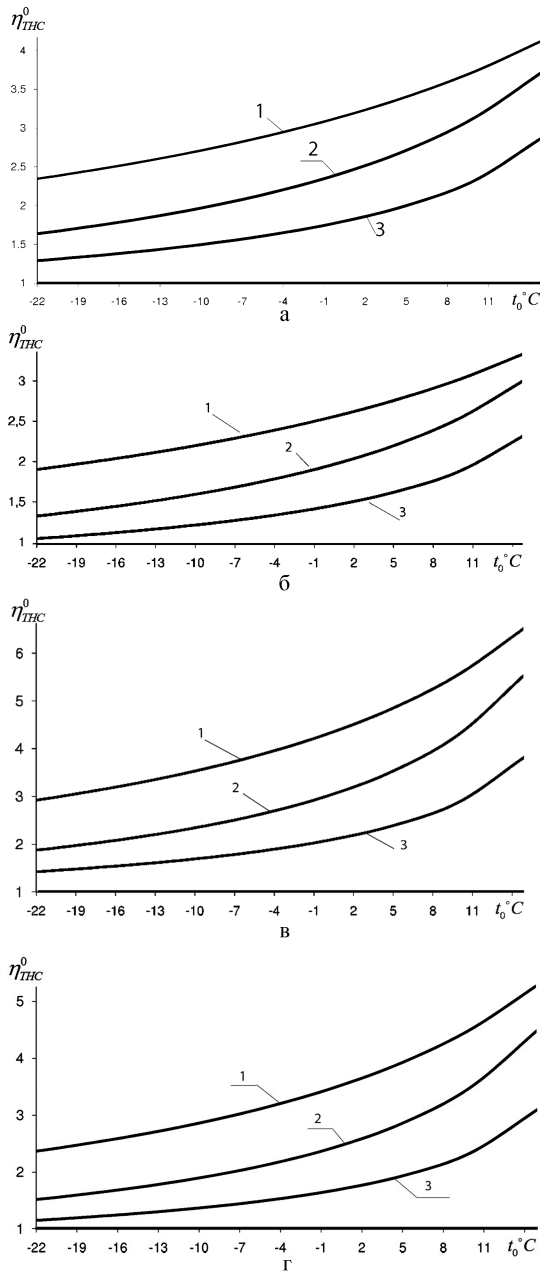


Рис.4. Зависимость отношения коэффициентов первичного использования топлива от температуры окружающей среды при сравнении ТНУ с традиционными водогрейными котлами (а, в), с конденсационными котлами (б, г) с  $t_x = 10^\circ\text{C}$  (а, б) и  $18^\circ\text{C}$  (в, г). Обозначение как на рис.3.

пользование теплонасосной системы является эффективным ( $\eta^0_{\text{ТНС}} > 1$ ) или неэффективным ( $\eta^0_{\text{ТНС}} < 1$ ) с точки зрения потребления первичной энергии топлива в сравнении с вариантом использования отопительной котельной. Характерно, что при сравнении с конденсационными котлами область эффективного исполь-

зования ТНУ смещается в сторону более высоких температур.

Использование в системе отопления теплоносителя с более низкой температурой и установка современных панельных отопительных приборов обеспечивает преимущество теплонасосных систем даже при низких температурах окружающего воздуха. Существенный энергетический выигрыш при использовании окружающей среды в качестве нижнего источника теплоты для теплового насоса имеет место только при относительно высоких температурах окружающего воздуха ( $t_0 > 0^\circ\text{C}$ ).

Как видно из рис.4, при использовании в качестве холодного источника теплоты для теплового насоса с высокой температурой (например грунт, вентиляционные выбросы сооружений и пр.) система теплоснабжения на базе ТНУ всегда будет использовать меньше первичной энергии в сравнении с отопительной котельной с традиционными водогрейными котлами и с конденсационными котлами. Причем эффективность значительно увеличивается при установлении низкотемпературных современных отопительных приборов, что особенно проявляется при низких значениях температуры окружающей среды.

## Выводы

При использовании окружающей среды в качестве нижнего источника теплоты для теплового насоса эффективность теплонасосной системы отопления зависит от температуры окружающей среды, типа отопительных приборов, а также базового варианта сравнения и не является однозначной во всем диапазоне параметров.

Система теплоснабжения на базе ТНУ с использованием в качестве холодного источника теплоты среды с высокой температурой (отличной от температуры окружающей среды) всегда будет использовать меньше первичной энергии в сравнении с отопительной котельной.

При низких значениях температуры окружающей среды применение теплонасосной системы отопления даже при использовании техногенных источников теплоты может иметь значительный энергетический эффект только при объединении в системе теплоснабжения теплового насоса с низкотемпературными отопительными приборами.

## Список литературы

1. Пасков В.В., Васильев Г.П. Рациональная интеграция тепловых насосов в систему централизованного теплоснабжения // АВОК : Вентиляция.

- Отопление. Кондиционирование. — 2009. — № 1. — С. 18–20.
2. Безродный М.К., Куделя П.П., Дроздова О.И. Порівняльний ексергетичний аналіз теплонасосних та традиційних систем опалення // Технич. теплофізика и пром. теплотехника. — Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2010. — Вип. 2. — С. 22–34.
  3. Vitodens. Газовые конденсационные котлы. Инструкция по проектированию. — Viessmann, 2004. — 144 с.
  4. Некрасова О.А., Синяк Ю.В. Исследование теплонасосных систем отопления (модельный подход) // Теплоэнергетика. — 1986. — № 11. — С. 30–34.
  5. Шубин Е.П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов. — М. : Энергия, 1979. — 359 с.

Поступила в редакцию 01.04.10

## Energy Analysis of Heat Pump Heating System

*Bezrodny M.K., Drozdova O.I.*

*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev*

The comparative energy analysis of heat pump and traditional heating systems is considered. The efficiency of heat pump installation as heat source in comparison with heating boiler heat supply is determined. The expediency of low-temperature heating units installation for heat pump heating system construction is analysed.

**Key words:** heat pump installation, heating system, heating boiler, low-temperature heating units.

Received April 1, 2010

УДК 621.517:697.34

## Использование тепловых насосов в системе централизованного теплоснабжения г. Севастополь

*Софийский И.Ю., Пухлий В.А., Мирошниченко С.Т.*

*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности*  
Рассмотрены тенденции использования тепловых насосов в системах теплоснабжения. Показано, что использование этой технологии позволяет в отопительный период значительно уменьшить потребление природного газа, а между отопительными сезонами горячее водоснабжение будет обеспечиваться за счет источника низкопотенциальной теплоты. Представлены результаты расчетов целесообразности создания теплонасосной станции для района г. Севастополя на базе его очистных сооружений.

**Ключевые слова:** тепловой насос, теплонасосная станция, теплоснабжение, источник низкопотенциальной теплоты.

Розглянуто тенденції використання теплових насосів у системах теплопостачання. Показано, що використання цієї технології дозволяє в опалювальний період значно зменшити споживання природного газу, а між опалювальними сезонами гаряче водопостачання забезпечуватиметься за рахунок джерела низькопотенційної теплоти. Представлено результати розрахунків доцільності створення теплонасосної станції для району м. Севастополя на базі його очисних споруд.

**Ключевые слова:** тепловий насос, теплонасосна станція, теплопостачання, джерело низькопотенційної теплоти.