

7. Волов Г.Я. Использование тепловых насосов на примере хлебзавода // Энергия и Менеджмент. – 2009, № 6. – с. 27-29.

8. Волов Г.Я. Моделирование работы вертикальных грунтовых теплообменников в теплый и холодный периоды // Энергия и Менеджмент. – 2010. - № 4. – с.21-23.

9. Двигатели внутреннего сгорания. КН. 3. Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС / под ред. Луканина В.Н., Шатрова М.Г. – М.: Высшая школа. – 2007. – 414 с.

УДК 621.577:697.9

## К РАСЧЕТУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА

Цубанов И.А., Цубанова И.А.

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь*

Утилизация теплоты удаляемого из помещений вытяжного воздуха является одним энергосберегающих мероприятий в системах вентиляции. С этой целью используют теплообменники-теплоутилизаторы для нагрева приточного воздуха за счет более теплого вытяжного. Однако они позволяют утилизировать, как правило, не более 40% теплоты, доступной для утилизации.

С целью более глубокой утилизации теплоты была разработана двухступенчатая схема теплоутилизационной установки, включающая теплоутилизатор и тепловой насос (ТН). [1]. Приточный вентилятор подает холодный наружный воздух через теплоутилизатор и конденсатор ТН а затем через распределительные воздухопроводы в вентилируемое помещение. Вытяжной вентилятор удаляет из помещения теплый загазованный воздух через теплоутилизатор и испаритель ТН. Тем самым организуется дополнительный нагрев приточного воздуха с помощью ТН.

При анализе эффективности предлагаемого энергосберегающего мероприятия была использована ожидаемая экономия энергоресурсов как один из технико-экономических показателей. Этот показатель непосредственно характеризует энергоэффективность энергосберегающих мероприятий и во многом определяет экономию текущих издержек за счет снижения расходов и стоимости потребляемых энергоресурсов.

Перед работой была поставлена задача: определить на первом этапе исследований ожидаемую относительную экономию топлива при использовании предлагаемой теплоутилизационной установки в системе вентиляции производственного помещения. Это позволило ограничиться выполнением расчетов по отношению к 1 кг воздуха.

Исходными данными являются:

– параметры внутреннего воздуха: температура  $t_1$ , °С, и энтальпия  $h_1$ , кДж/кг;

– параметры наружного воздуха: температура  $t_2$ , °С, и энтальпия  $h_2$ , кДж/кг;

– температурный коэффициент эффективности теплоутилизатора  $E$ .

Температура подаваемого воздуха была принята равная температуре внутреннего воздуха.

При анализе энергоэффективности необходимо рассчитать:

– температуру наружного, атмосферного воздуха на выходе теплоутилизатора

$$t_3 = t_2 + E(t_1 - t_2); \quad (1)$$

– удельную теплоту, передаваемую в теплоутилизаторе наружному воздуху, кДж/кг,

$$q_T = c_p(t_3 - t_2), \quad (2)$$

где  $c_p$  – удельная изобарная теплоемкость воздуха, которую допустимо принять равной 1,01 кДж/(кг×К);

– удельную теплоту, передаваемую в конденсаторе ТН наружному воздуху перед его подачей в помещение, кДж/кг,

$$q_K = c_p(t_1 - t_3), \quad (3)$$

– энтальпию удаляемого внутреннего воздуха на выходе теплоутилизатора, кДж/кг,

$$h_4 = h_1 - q_T. \quad (4)$$

Для расчета теплоты, передаваемой удаляемым внутренним воздухом в испарителе ТН, следует использовать систему уравнений:

$$q_{II} = q_K (1 - \mu^{-1}), \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент преобразования ТН;

$$\mu = 240(\Delta t_{ТН})^{-1,1}, \quad (6)$$

где  $\Delta t_{ТН}$  – разность температур конденсации и испарения рабочего вещества (хладоа) соответственно в конденсаторе и испарителе ТН, °С.

$$\Delta t_{ТН} = t_1 - t_5 + \Delta t_K + \Delta t_{II}, \quad (7)$$

где  $t_5$  – температура удаляемого внутреннего воздуха на выходе испарителя ТН;  $\Delta t_K$  и  $\Delta t_{II}$  – наименьшие температурные напоры в конденсаторе и испарителе ТН;

$$q_K = h_4 - h_5, \quad (8)$$

где  $h_5$  – энтальпия удаляемого внутреннего воздуха на выходе испарителя ТН, кДж/кг.

Уравнения (6) и (7) заимствованы из работы [2]. Для того, чтобы система уравнений стала совместной и имела решение, необходимо охарактеризовать зависимость температуры  $t_5$  от энтальпии  $h_5$ . Это можно сделать с помощью таблиц и диаграммы влажного воздуха [3], принимая относительную влажность воздуха равной 100%.

В таком случае следует решать систему уравнений методом подбора, задаваясь предварительно коэффициентом преобразования. После нахождения температуры  $t_5$  в зависимости от энтальпии  $h_5$ , определяют коэффициент преобразования по формуле (5) и сравнивают его значение с ранее принятым значением.

Коэффициент снижения расхода топлива при использовании ТН определяется как отношение расхода топлива на тепловых электростанциях (ТЭС) при производстве электроэнергии, потребляемой ТН, к расходу топлива при традиционном теплоснабжении:

$$k_T = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_3 \eta_4 \mu}, \quad (9)$$

где  $\eta_1$  и  $\eta_2$  – КПД котла (водонагревателя) и коэффициент потерь теплоты в тепловых сетях;  $\eta_3$  и  $\eta_4$  – КПД электростанции и коэффициент потерь электрической энергии в электросетях.

Относительная экономия топлива при использовании ТН:

$$b = 1 - k_T. \quad (10)$$

Общая относительная экономия топлива при использовании рассматриваемой схемы утилизации теплоты:

$$b_0 = [E + (1 - E)b] \times 100\%. \quad (11)$$

Выполним расчеты экономии топлива, достигаемой применением теплоутилизационной установки типа «теплоутилизатор – ТН» согласно вышеизложенной методике.

При этом принимаем:  $t_1 = 18^\circ\text{C}$ ,  $h_1 = 41,5$  кДж/кг;  $t_2 = -22^\circ\text{C}$ ,  $h_2 = -21$  кДж/кг;  $E = 0,4$ ;  $\Delta t_K = \Delta t_{II} = 7^\circ\text{C}$ ;  $\eta_1 = 0,9$ ;  $\eta_2 = 0,91$  и  $\eta_4 = 0,92$ .

КПД электростанции принимаем в двух вариантах: равным в среднем 0,38 на эксплуатируемых в настоящее время ТЭС или 0,51 при использовании парогазовых установок на ТЭС. Расчет выполнен при разных температурах наружного воздуха в течение холодного (отопительного) (табл.1).

Анализ результатов расчета позволяет заключить, что ожидаемая экономия топлива при использовании предлагаемого технического решения составляет от 72 до 87% в зависимости от температуры наружного воздуха и показателей эффективности производства и транспортирования тепловой и электрической энергии. ТН обеспечивает такую же экономию топлива в размере около 40%, как и теплоутилизатор.

Таблица 1. Результаты расчета

Параметры, единицы величин	Источник, номер формулы	$t_2$			
		-22°C	-10°C	0°C	5°C
$t_3, ^\circ\text{C}$	(1)	-6	1,2	7,2	10,2
$q_T, \text{кДж/кг}$	(2)	16,2	11,3	7,3	5,25
$q_K, \text{кДж/кг}$	(3)	24,3	17	10,9	7,9
$h_n, \text{кДж/кг}$	(4)	25,3	30,2	34,2	36,3
$\mu,$	Принято	5	6	7,5	8
$q_{II}, \text{кДж/кг}$	(5)	19,4	14,2	9,45	6,9
$h_s, \text{кДж/кг}$	(8)	5,9	16	24,75	29,4
$t_5, ^\circ\text{C}$	[3]	-2	3,8	8,3	10
$\Delta t_{TH}, ^\circ\text{C}$	(7)	34	28,2	23,7	22
$\mu,$	(6)	4,95	6,1	7,4	8
$\eta_3=0,38$					
$k_T$	(9)	0,47	0,38	0,32	0,3
$b$	(10)	0,53	0,62	0,68	0,7
$b_0, \%$	(11)	72	77	81	82
$\eta_5=0,51$					
$k_T$	(9)	0,35	0,29	0,24	0,22
$b$	(10)	0,65	0,71	0,76	0,78
$b_0, \%$	(11)	79	82	85	87

Решение вопроса о целесообразности применения подобной теплоутилизационной установки зависит от стоимости топлива, тарифов на тепловую и электрическую энергию и от капитальных затрат на ее сооружение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отопительно-вентиляционная система производственного помещения: пат. 13017 Респ. Беларусь, МПК (2009) F 24D 3/00 /А.Л.Синяков, И.А.Цубанова, И.А.Цубанов; заявитель Белорусский государственный аграрный технический университет. – №.а20071657, заявл.29.12.2007; опубл. 30.04.2010//Официальный бюлл. / Нац. центр интелект. собственности. – №2, 2010. – с.123. ..
2. Цубанов, А.Г. К расчету энергоэффективности применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения / А.Г. Цубанов, А.Л. Синяков, И.А.Цубанов // Агропанорама, №1, 2011. –С.22-26.
3. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушилки/ В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов – М.: Колос, 1982. – 239с.

УДК 621.382;621.315

### СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Русан В.И., д.т.н., профессор, Казакевич Д.М., аспирант  
 Белорусский государственный аграрный технический университет,  
 Минск, Республика Беларусь

Рост энергопотребления является одной из наиболее характерных особенностей деятельности современного человечества. До сегодняшнего дня в мире более 90% всей потребляемой человеком энергии, приходится на долю органического топлива. Однако этот ресурс рано или поздно закончится. Это говорит о необходимости принятия определенных мер для существенных структурных изменений в ресурсной основе всего мирового энергетического сектора. В связи с этим становится актуальным использование возобновляемых источников энергии.

Энергия возобновляемых источников поистине огромна и превышает объем годовой добычи всех видов углеводородного сырья. Важно отметить то, что их использование возможно практически во всех регионах мира, в том числе и в Беларуси. Положительной сторо-