

УДК 621.577

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ

**А. В. ОВСЯННИК, Д. С. ТРОШЕВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

### Введение

Согласно программе энергосбережения Республики Беларусь на 2011–2015 гг. утилизация тепловых вторичных энергоресурсов является приоритетным направлением государственной политики. Эффективной альтернативой различным отопительным системам по разумной цене является система воздушного обогрева помещений, применяемая более чем в 80 % коттеджей и частных домов северных стран [1]. В таких системах целесообразно использовать в качестве источника теплоты тепловой насос, работающий на теплоте вентвыбросов. Также следует рассмотреть комбинированную схему с использованием рекуператоров теплоты вентвыбросов. В качестве примера рассмотрены парокompрессионный тепловой насос серии ZUBADAN компании Mitsubishi Electric (Япония) и воздушная климатическая система компании УПЭК (Украина).

Целью данной работы является определение энергетической эффективности использования ТНУ в системах вентиляции и кондиционирования воздуха по сравнению с использованием традиционных схем с водяными подогревателями воздуха.

При этом выполнено следующее:

1. Рассмотрен рекуператор тепловой энергии системы вентиляции с расходом воздуха 1000 м<sup>3</sup>/ч.

Количество теплоты, идущее на нагрев приточного воздуха уходящим на 1000 м<sup>3</sup>/ч, Гкал [2]:

$$Q_{\text{ГОД}} = V_{\text{СР}} c_{\text{ВОЗД}} (t_{\text{СР}} - t_{\text{СР.ОТ}}) \rho N_{\text{РАБ}} \eta \cdot 10^{-6} =$$

$$= 1000 \cdot 1(18 - (-1)) 1,2 \cdot 188 \cdot 24 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6} / 4,19 = 14,8 \cdot 10^{-3} \text{ Гкал}, \quad (1)$$

где  $c_{\text{ВОЗД}} = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$  – теплоемкость воздуха;  $t_{\text{СР.ОТ}} = -1 \text{ } ^\circ\text{С}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха для г. Гомеля [3];  $\rho = 1,18 \text{ кг}/\text{м}^3$  – плотность воздуха;  $N_{\text{РАБ}}$  – число часов работы системы вентиляции за отопительный период, ч;  $\eta$  – эффективность рекуператора, для пластинчатых рекуператоров принимаем  $\eta = 0,6$ .

Годовая экономия тепловой энергии в т у. т.:

$$\Delta B_{\text{ТЭ}} = Q_{\text{ГОД}} \cdot 0,175 = 14,8 \cdot 0,175 = 2,59 \text{ т у. т.} \quad (2)$$

Увеличение расхода электрической энергии за счет принудительной вентиляции на 1000  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , тыс. кВт · ч [4]:

$$\Delta W_B = N_B T_{\text{РАБ}} = 2 \cdot 0,1 \cdot 24 \cdot 188 = 0,902 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3)$$

где  $N_B$  – мощность приточного (вытяжного) вентилятора, кВт [1]:

$$N_B = V_{\text{СР}} \rho \Delta H / (\eta_B \cdot 3600) = 1000 \cdot 1,18 \cdot 200 / (0,65 \cdot 3600) = 100 \text{ Вт}; \quad (4)$$

$T_{\text{РАБ}}$  – время работы вентилятора в году, ч.

Увеличение расхода электроэнергии в т у. т. [3]:

$$\Delta B_{\text{ЭЭ}} = \Delta W_B \cdot 0,28 = 0,902 \cdot 0,28 = 0,253 \text{ т у. т.} \quad (5)$$

Изменение расхода условного топлива:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{ТЭ}} - \Delta B_{\text{ЭЭ}} = 2,59 - 0,253 = 2,34 \text{ т у. т.} \quad (6)$$

2. Произведен расчет и анализ энергетической и экономической эффективности внедрения парокомпрессионного теплового насоса (ПТН) и воздушной климатической системы (ВКС) по сравнению с нагревом воздуха от газового котла с калорифером.

Удельный расход топлива на выработку теплоты в котлоагрегате, использующем теплоту сгорания органического топлива, составит [4]:

$$b_{\text{КА}} = \frac{1000}{29,3 \cdot \eta_{\text{КА}}} = \frac{1000}{29,3 \cdot 0,92} = 37,1 \text{ кг у. т./ГДж} = 155,4 \text{ кг у. т./Гкал}, \quad (7)$$

где  $\eta_{\text{КА}}$  – КПД котла (для газовых котлов не менее 92 %).

С учетом потерь в теплопроводах и рекуператоре удельный расход на отпуск составит 41,6 кг у. т./ГДж (174,4 кг у. т./Гкал).

В парокомпрессионном тепловом насосе (ПТН) при использовании электроэнергии на привод компрессора от тепловой электростанции удельный расход топлива, кг у. т./ГДж [1]:

$$b_{\text{ТН}} = \frac{1000}{29,3 \mu_{\text{ТН}} \eta_{\text{ЭЛ}} \eta_{\text{ЭЛС}}}. \quad (8)$$

Экономия условного топлива рассчитывается для каждого диапазона температур наружного воздуха по формуле (8), а затем суммируется за год:

$$\Delta B = (b_{\text{КА}} - b_{\text{ТН}}) Q_{\text{ОТП}}. \quad (9)$$

СОР для заданного теплоперепада определяем по характеристикам воздушного парокомпрессионного теплового насоса серии ZUBADAN (на японском языке это означает «суперобогрев») компании Mitsubishi Electric (рис. 1).

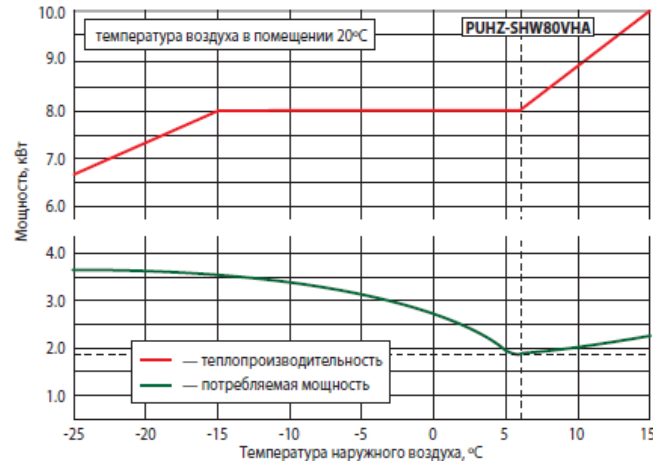


Рис. 1. Энергетические характеристики теплового насоса в зависимости от температуры наружного воздуха [5]

Расчеты для ВКС производятся аналогично ПТН. COP определяется исходя из данных производителя (рис. 2).

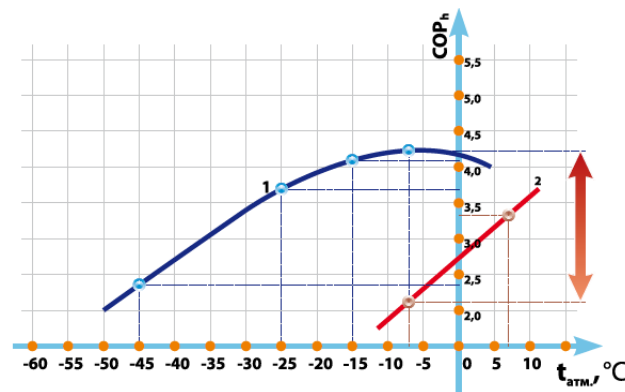


Рис. 2. Сравнение ВКС (1) и ПТН (2) в режиме отопления [6]

3. Рассчитана схема с совместным применением ПТН и рекуператора тепловой энергии (рис. 3).

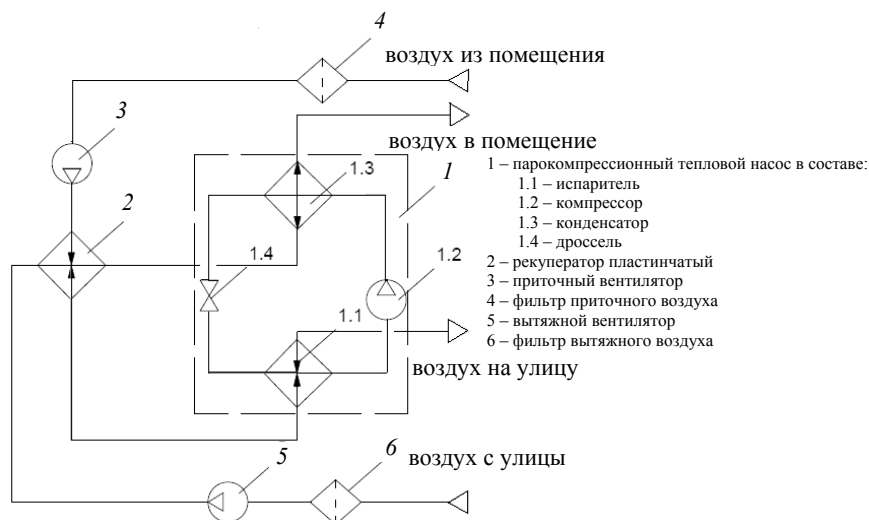


Рис. 3. Принципиальная схема ПТН с рекуператором

Из формул для определения количества теплоты, полученного в рекуператоре, определим температуры приточного  $t_{\text{вых}}^{\text{рек2}}$  и вытяжного  $t_{\text{вых}}^{\text{рек1}}$  воздуха на выходе из рекуператора:

$$\begin{aligned} Q_{\text{РЕК}} &= V_{\text{ВОЗД}} \rho c_{\text{В}} (t_{\text{вых}}^{\text{рек1}} - t_{\text{нар}}); \\ Q_{\text{РЕК}} &= V_{\text{ВОЗД}} \rho c_{\text{В}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \eta; \\ Q_{\text{РЕК}} &= V_{\text{ВОЗД}} \rho c_{\text{В}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{вых}}^{\text{рек2}}). \end{aligned} \quad (10)$$

Из уравнения (10) получаем:

$$t_{\text{вых}}^{\text{рек1}} = t_{\text{вн}} - \eta(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}); \quad (11)$$

$$t_{\text{вых}}^{\text{рек2}} = t_{\text{нар}} + \eta(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}). \quad (12)$$

Для нахождения COP для начала необходимо определить температуру низкопотенциального воздуха на выходе из ПТН. Для этого воспользуемся формулами для нахождения тепловых мощностей испарителя и конденсатора:

$$\begin{aligned} Q_{\text{КОНД}} &= V_{\text{ВОЗД}} \rho c_{\text{В}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}); \\ Q_{\text{ИСП}} &= V_{\text{ВОЗД}} \rho c_{\text{В}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{вых}}), \end{aligned} \quad (13)$$

где  $Q_{\text{ИСП}}$  – тепловая мощность испарителя, кВт;  $Q_{\text{КОНД}}$  – тепловая мощность конденсатора, кВт;  $t_{\text{нар}}$  – температура наружного воздуха, °С;  $t_{\text{вых}}$  – температура низкопотенциального воздуха на выходе из ПТН, °С;

$$Q_{\text{КОНД}} = \frac{\mu}{\mu - 1} Q_{\text{ИСП}}. \quad (14)$$

Из уравнений (13), (14) получаем:

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{вых}}^{\text{рек1}} - \frac{\mu - 1}{\mu} (t_{\text{вн}} - t_{\text{вых}}^{\text{рек2}}). \quad (15)$$

Однако так как COP также является функцией от температуры воздуха на выходе, то расчет ведем методом последовательных приближений до тех пор, пока разница в принятой и расчетной температуре выходящего воздуха не станет меньше 1 °С.

Экономия условного топлива рассчитывается как сумма экономии топлива от рекуператора и от ТН (определенного по формуле (6)).

### Заключение

1. По схеме с ПТН и ВКС:

– при использовании ПТН в качестве источника теплоты для системы вентиляции с часовым расходом воздуха 1 тыс. м<sup>3</sup>/ч (при расчетной температуре воздуха –11 °С) экономический эффект составляет за год 1542 кг у. т.;

– при использовании ВКС в тех же условиях экономический эффект составляет за год 1882 кг у. т.;

– экономический эффект от использования ПТН и ВКС в системах вентиляции ниже, чем от рекуператора теплоты с догревом воздуха от газового котла. Поэтому установка ПТН и ВКС без рекуперации теплоты не целесообразна.

2. По схеме с рекуператором и ПТН или ВКС в качестве догревателя:

– во всем диапазоне температур наружного воздуха в отопительный период г. Гомеля для систем вентиляции (от +8 до –11 °С) применение ПТН для догрева воздуха энергетически более выгодно по сравнению с газовым котлом с калорифером;

– общий годовой экономический эффект составит 2,79 т у. т., что выше чем в схемах с ВКС и рекуператором.

При анализе возможности применения тепловых насосов в системах вентиляции и кондиционирования воздуха было выявлено, что в системах вентиляции и кондиционирования самое оптимальное решение – это установка ПТН с рекуператором тепловой энергии. Однако при замене существующих источников тепловой энергии для вентиляции данное энергосберегающее мероприятие имеет высокие сроки окупаемости из-за значительной стоимости ТНУ. Но при внедрении ТНУ на строящихся объектах капвложения в традиционные источники тепловой энергии могут быть даже выше, чем в ТНУ. Кроме того, ТНУ в летний период может работать в качестве кондиционера, обеспечивая тем самым необходимый микроклимат в производственных и общественных помещениях.

### Литература

1. Воздушное отопление и кондиционирование. Использование воздушных тепловых насосов // Тепловые насосы. – 2014. – № 6 (15). – 25–29 с.
2. Трошев, Д. С. Оценка эффективности установки рекуператоров теплоты и теплонасосных установок для утилизации теплоты вентвыбросов птичников / Д. С. Трошев, А. В. Овсянник // Прил. к журн. «Холодильная техника и технология». – 2013. – № 6. – С. 66–73.
3. Строительная климатология. – Изменение № 1 СНБ 2.04.02–2000: 01.07.07. – Минск : М-ва архітэктуры і будаўніцтва Рэсп. Беларусь, 2007. – 35 с.
4. Трошев, Д. С. Анализ энергетической эффективности теплонасосных установок в системах индивидуального теплоснабжения : дис. ... магистра техн. наук / Д. С. Трошев. – Гомель, 2012. – 61 с.
5. Тепловые насосы. Mitsubishi Electric : информ. кат. – М., 2013. – 68 с.
6. Воздушные климатические системы, УПЭК : информ. кат. – Харьков, 2013. – 20 с.

*Получено 30.10.2014 г.*