

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ РЕКУПЕРАТОРОВ ТЕПЛОТЫ И ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЕНТВЫБРОСОВ

Д. С. Трошев

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

Целью данной статьи является сравнение эффективности установки рекуператора теплоты и воздушного теплового насоса для утилизации теплоты вентвыбросов.

Вариант 1. Установка рекуператоров теплоты вентвыбросов

Одними из высокотехнологичных агрегатов, обеспечивающих энергосбережение, являются рекуперативные теплообменники. Помимо использования в составе централизованных вентиляционных агрегатов, большой практический интерес рекуперативные теплообменники представляют сами по себе как наиболее доступное средство внедрения энергосберегающих технологий при реконструкции существующих систем вентиляции путем осуществления обмена теплом между притоком и вытяжкой. Установка рекуперативного теплообменника при этом принципиально возможна без замены основных узлов существующей системы. В зависимости от конструктивного исполнения пластинчатые теплообменники могут обладать эффективностью η , от 40 до 70 % и иметь потерю напора по притоку и вытяжке от 50 до 250 Па [1]. В качестве примера рассмотрим установку рекуператора в системе вентиляции птичника. Средняя температура в птичнике составляет +23 °С, а средний часовой расход воздуха – 16779 м³/ч.

По максимальному расходу воздуха (31 700 м³/ч) к установке примем 2 рекуператора PR 100-50 фирмы Kogf на 28 000 м³/ч [2].

Количество теплоты, идущее на нагрев приточного воздуха уходящим, Гкал:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Год}} &= V_{\text{CP}} C_{\text{ВОЗД}} (t_{\text{CP}} - t_{\text{CP.OT}}) \rho N_{\text{РАБ}} \eta \cdot 10^{-6} = \\ &= 16779 \cdot 0,24 \cdot (23 - (-1)) \cdot 1,2 \cdot 3505 \cdot 0,65 \cdot 10^{-6} = 264 \text{ Гкал}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $C_{\text{ВОЗД}} = 0,24$ ккал/(кг · °С) – теплоемкость воздуха; $t_{\text{CP.OT}} = -1$ °С – средняя за отопительный период температура наружного воздуха для г. Гомеля [3]; $\rho = 1,18$ кг/м³ – плотность воздуха; $N_{\text{РАБ}}$ – число часов работы системы вентиляции за отопительный период, ч:

$$N_{\text{РАБ}} = (N_{\text{OT}} - N_{\text{ПЕР}}) \cdot 24 = (188 - 3 \cdot 14) \cdot 24 = 3505 \text{ ч}, \quad (2)$$

$N_{\text{ПЕР}}$ – межпосадочный период, сут; η – эффективность рекуператора. Для пластинчатых рекуператоров принимаем $\eta = 0,65$.

Экономия тепловой энергии в т у. т. [4]:

$$\Delta B_{\text{ТЭ}} = Q_{\text{Год}} \cdot 0,175 = 264 \cdot 0,175 = 46,4 \text{ т у. т.} \quad (3)$$

Увеличение расхода электрической энергии за счет принудительной вентиляции, кВт · ч:

$$\Delta W_B = N_B \cdot T_{РАБ} = 2 \cdot 3,8 \cdot 3505 = 26,6 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \quad (4)$$

где N_B – мощность приточного (вытяжного) вентилятора, кВт; $T_{РАБ}$ – время работы вентилятора в году, ч.

Увеличение расхода электроэнергии в т у. т. [4]:

$$\Delta B_{ЭЭ} = \Delta W_B \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} = 26,6 \cdot 0,28 = 7,2 \text{ т у. т.} \quad (5)$$

Изменение расхода условного топлива:

$$\Delta B = \Delta B_{ТЭ} - \Delta B_{ЭЭ} = 46,4 - 7,2 = 39,2 \text{ т у. т.} \quad (6)$$

Экономический эффект: $\mathcal{E} = 39,2 \cdot 210 = 8232 \text{ у. е.} = 72\,442 \text{ тыс. р.}$

Вариант 2. Установка воздушного теплового насоса

Применение рекуператора тепловой энергии позволяет утилизировать до 70 % сбросного тепла. Для утилизации оставшейся части теплоты предлагается установить тепловой насос. Однако если его устанавливать только на нагрев приточного воздуха, то его эффективность по сравнению с пластинчатым рекуператором не является очевидной. Это связано с тем, что, во-первых, тепловой насос потребляет значительное количество электрической энергии, а во-вторых, по закону сохранения энергии при охлаждении воздуха до температуры ниже температуры окружающей среды может возникнуть превышение нормальной температуры воздуха в вентилируемом объеме и, как следствие, нарушение теплового режима помещения. Однако если часть тепла использовать для компенсации тепловых потерь через ограждающие конструкции, то это позволит значительно увеличить глубину утилизации теплоты вентвыбросов. Для этого часть приточного воздуха с более высокой температурой должна подаваться вблизи ограждающей конструкции, тем самым компенсируя тепловые потери.

Для птичников РУП «Белоруснефть-Особино» теплотери через ограждающие конструкции после терморенновации составляют приблизительно 250 Гкал/год.

Действительный коэффициент преобразования реального цикла можно рассчитать по формуле [5]:

$$\mu_{ПТН} = \mu_{ид} \varphi, \quad (7)$$

где $\mu_{ид}$ – коэффициент преобразования идеального цикла Карно; φ – коэффициент, учитывающий реальные процессы, осуществляемые рабочим телом в ПТН:

$$\mu_{ид} = \frac{T_K}{T_K - T_O}, \quad (8)$$

где T_K и T_O – температуры кипения и конденсации рабочего тела:

$$T_K = 273 + (t_{ср} + (5 \div 10)), \text{ К;} \quad (9)$$

$$T_0 = 273 + (t_{\text{ВЫБ}} - (2 \div 4)), \text{ К}, \quad (10)$$

где $t_{\text{СР}}$, $t_{\text{ВЫБ}}$ – температуры горячего источника теплоты (нагреваемого воздуха) на выходе из конденсатора и холодного источника теплоты (охлаждаемого воздуха) на выходе из испарителя ПТН.

Практические значения φ составляют 0,55–0,70, при этом более низкие значения соответствуют более крупным агрегатам [5].

Для нахождения минимальной температуры удаляемого воздуха после теплового насоса составим уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{КОНД}} = Q_{\text{ИСП}} - W_{\text{КОМ}} = \frac{\mu}{\mu - 1} Q_{\text{ИСП}} = \frac{\mu}{\mu - 1} V_{\text{СР}} C_{\text{ВОЗД}} (t_{\text{СР}} - t_{\text{ВЫБ}}) \rho N_{\text{РАБ}} \eta \cdot 10^{-6};$$

$$Q_{\text{КОНД}} = V_{\text{СР}} C_{\text{ВОЗД}} (t_{\text{СР}} - t_{\text{СР.ОТ}}) \rho N_{\text{РАБ}} \eta \cdot 10^{-6} + Q_{\text{ОТ}}^{\text{ГОД}}. \quad (11)$$

Так как $Q_{\text{ИСП}} = f(t_{\text{ВЫБ}})$ и $\mu = f(t_{\text{ВЫБ}})$, то задаваясь температурой $t_{\text{ВЫБ}}$, методом последовательных приближений уравниваем 2 уравнения системы уравнений (11). Таким образом, минимальная средняя температура выброса составит $-7,8$ °С.

Рассчитаем экономию условного топлива от применения теплового насоса, работающего на теплоте вентвыбросов при минимальной температуре выбросов.

Теплота, отобранная в испарителе:

$$Q_{\text{ИСП}} = V_{\text{СР}} C_{\text{ВОЗД}} (t_{\text{СР}} - t_{\text{ВЫБ}}) \rho N_{\text{РАБ}} \eta \cdot 10^{-6} = 519,8 \text{ Гкал}. \quad (12)$$

Количество электроэнергии, затраченное в компрессоре:

$$W_{\text{КОМ}} = \frac{\mu}{\mu - 1} Q_{\text{ИСП}} \cdot 1,16 = 157,1 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}. \quad (13)$$

Количество теплоты, отданное в конденсаторе:

$$Q_{\text{КОНД}} = \frac{\mu}{\mu - 1} Q_{\text{ИСП}} = 655,3 \text{ Гкал}. \quad (14)$$

Экономия тепловой энергии по формуле (3): $\Delta B_{\text{ТЭ}} = 114,68 \text{ т. у. т.}$

Увеличение расхода условного топлива за счет роста потребления электрической энергии:

$$\Delta B_{\text{ЭЭ}} = (\Delta W_{\text{В}} + W_{\text{КОМП}}) 0,28 \cdot 10^{-3} = 51,45 \text{ т. у. т.} \quad (15)$$

Изменение расхода условного топлива по формуле (6): $\Delta B = 63,23 \text{ т. у. т.}$

Экономический эффект: $\mathcal{E} = 63,23 \cdot 210 = 13278 \text{ у. е.} = 118177 \text{ тыс. р.}$

Также проследим зависимость изменения экономии условного топлива от внедрения теплового насоса в зависимости от температуры выброса охлажденного воздуха. Расчеты аналогичны вышеприведенным. Результаты представлены в таблице и на рис. 1.

**Результаты расчета экономии условного топлива
от внедрения теплового насоса при различных $t_{\text{выб}}$**

$t_{\text{выб}}, ^\circ\text{C}$	μ	$Q_{\text{исп}},$ Гкал	$Q_{\text{конд}},$ Гкал	$W_{\text{ком}},$ тыс. кВт · ч	$\Delta B_{\text{тэ}},$ т у. т.	$\Delta B_{\text{ээ}},$ т у. т.	$\Delta B_{\text{год}},$ т у. т.
-7,8	4,84	519,8	655,3	157,1	114,68	51,45	63,23
-7	4,93	506,3	635,0	149,3	111,12	49,24	61,88
-5	5,19	472,4	585,0	130,6	102,38	44,03	58,35
-3	5,48	438,6	536,4	113,4	93,86	39,21	54,65
-1	5,81	404,7	488,9	97,6	85,55	34,79	50,76
1	6,17	370,8	442,5	83,2	77,44	30,74	46,71
3	6,58	337,0	397,3	70,0	69,53	27,04	42,48
5	7,06	303,1	353,1	58,0	61,80	23,70	38,10
7	7,60	269,2	310,0	47,3	54,25	20,69	33,56

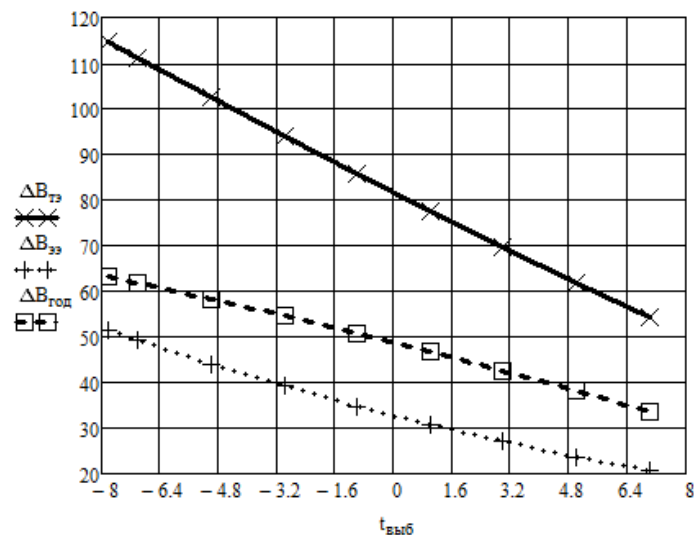


Рис. 1. Результаты расчета экономии условного топлива от внедрения теплового насоса в т у. т. при различных $t_{\text{выб}}, ^\circ\text{C}$

Выводы

Установка рекуператоров теплоты и тепловых насосов, утилизирующих теплоту вентвыбросов, значительно снижает потребление тепловой энергии и условного топлива на производство мяса птицы. Причем при утилизации теплоты при помощи теплового насоса при температуре выбрасываемого охлажденного воздуха ниже $+3 ^\circ\text{C}$ экономия топлива выше, чем от применения пластинчатого рекуператора. Однако при выборе к установке теплового насоса или рекуператора следует учесть более высокую стоимость теплового насоса и более высокие расходы на его содержание. Также следует рассматривать вариант совместной работы теплового насоса и рекуператора. Окончательный выбор того или иного варианта должен подтверждаться экономическим расчетом.

Литература

1. Вишневский, В. П. Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха / В. П. Вишневский. – 2004. – Режим доступа: <http://ecoteco.ru.id=?519>. – Дата доступа: 03.09.2013.
2. Пластинчатые рекуператоры PR KORF. – 2013. – Режим доступа: <http://neocond.by/index.pl?act=PRODUCT&id=105>. – Дата доступа: 03.09.2013.
3. Строительная климатология : СНБ 2.04.02–2000. – Изменение № 1. – Дата введения: 01.07.2007. – Минск : М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2007. – 35с.
4. Об утверждении государственной статистической отчетности по формам 4-сн, 11-сн и приложений 1, 2, 3 к ней : приказ М-ва статистики и анализа Респ. Беларусь от 21 дек. 1999 г. № 281. – 2006. – Режим доступа: <http://arc.pravoby.info/documentd/part3/aktd3567.htm>. – Дата доступа: 03.09.2013.
5. Проценко, В. П. Коэффициент преобразования пароком-прессионных тепловых насосов / В. П. Проценко, В. А. Радченко // Теплоэнергетика. – 1998. – № 8. – С. 32–42.