

пластину он начинает быстро нагреваться. Выделяемое тепло посредством теплопередачи через диэлектрические теплопроводящие прокладки передается на металлический столик с закрепленной на ней подложкой и равномерно нагревает подложку. Выход на оптимальный режим нагрева происходит в течение 3 – 5 минут.

В начальный момент процесса нагрева используются токи высокой плотности, в результате чего происходит скоростной нагрев столика, поскольку выделяемая тепловая энергия расходуется только на его нагрев, причем поверхность столика равномерно нагревается по всей плоскости соприкосновения с подложкой благодаря высокой теплопроводности диэлектрических прокладок и минимальному объему, занимаемому плоским нагревателем внутри столика.

После достижения необходимой температуры расход электроэнергии снижается в связи с уменьшением плотности тока нагревателя до значения, требуемого для поддержания оптимальной температуры подложки.

Потребляемая устройством нагрева подложек электрическая мощность  $P = U \cdot I$ , где  $U \cong 12$  В питающее напряжение, не превышает 5 Ватт, в то время как аналогичные нагревательные устройства потребляют электрическую энергию мощностью более 50 Ватт.

#### Литература

1. Бубенников А. Н. Физическое моделирование и технология полупроводниковых приборов и ИС. – М.: Высш. школа, 1989. – 360 с.
2. Сычик В. А. Измерительные преобразователи излучений на основе полупроводниковых приборных структур. – Мн.: Высш. школа, 1991. – 179 с.

**УДК 621.577**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ПТИЧНИКОВ**

Трошев Д.С.

*УО «Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь*

Расчет средней температуры и среднего расхода воздуха на содержание птицы. Так как при выращивании птицы в зависимости от

ее возраста температура изменяется, то определим среднюю температуру удаляемого из птичника воздуха, °С:

$$t_{CP} = \sum \frac{t_i \cdot \tau_i}{n} \quad (1)$$

где  $t_i$  - температура внутри птичника при определенном возрасте птицы, °С (данные из технологии выращивания бройлеров по РУП «Белоруснефть-Особино»);

$\tau_i$  - продолжительность периода с постоянной температурой, сут;

$n$  - продолжительность посадки птицы, сут.

$$t_{CP} = 961 / 42 = 22,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Средний расход воздуха составит, м³/ч:

$$V_{CP} = \sum \frac{v_i \cdot \tau_i}{n} \cdot z \quad (2)$$

где  $v_i$  - расход воздуха на одну птицу при определенном возрасте птицы, м³/ч (данные из технологии выращивания бройлеров по РУП «Белоруснефть-Особино»);

$\tau_i$  - продолжительность периода с определенным расходом, сут;

$z$  - количество птицы в птичнике;

$n$  - продолжительность посадки птицы, сут.

Таблица 1

Данные для расчета средней температуры в птичнике  
(для производства бройлеров)

Температура, $t_i$ , °С	Дни $\tau_i$	$t_i \cdot \tau_i$
30	2	60
29	4	116
27	3	81
26	3	78
25	3	75
24	3	72
23	3	69
22	3	66
21	5	105
19	5	95
18	8	144
Итого	42	961

По птичникам среднее количество птицы составляет 25000 шт. Тогда средний расход воздуха составит 16779 м³/ч.

Таблица 2

Исходные данные для расчета среднего расхода воздуха по птичникам  
(для производства бройлеров)

Масса птицы, кг	Воздухо- обмен на 1 голову, м <sup>3</sup> /ч	День достиже- ния массы	Средний воздухообмен за период содержания, м <sup>3</sup> /ч	Продолжи- тельность периода содержания
0,05	0,074	1	0,074	1
0,1	0,125	4	0,0995	3
0,2	0,21	6	0,1675	2
0,3	0,285	11	0,2475	5
0,4	0,353	14	0,319	3
0,5	0,417	16	0,385	2
0,6	0,479	18	0,448	2
0,7	0,537	19	0,508	1
0,8	0,594	21	0,5655	2
0,9	0,649	22	0,6215	1
1,4	0,904	26	0,7765	4
2	1,181	35	1,0425	9
2,4	1,354	42	1,2675	7

#### *Установка воздушного теплового насоса*

Для утилизации тепловой энергии вентвыбросов возможно два варианта: установка рекуператора теплоты или 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 мы не можем охлаждать воздух до температуры ниже температуры окружающей среды, так как это приведет к повышению температуры воздуха в птичнике и как следствие нарушению теплового режима содержания птицы. 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» теплопотери через ограждающие конструкции после терморенновации составляют приблизительно 250 Гкал/год.

Действительный коэффициент преобразования реально цикла можно рассчитать по формуле[1]:

$$\mu_{ПТН} = \mu_{ид} \cdot \varphi, \quad (3)$$

где  $\mu_{ид}$  – коэффициент преобразования идеального цикла Карно;

$\varphi$  – коэффициент, учитывающий реальные процессы, осуществляемые рабочим телом в ПТН.

$$\mu_{ид} = \frac{T_K}{T_K - T_O}, \quad (4)$$

где  $T_K$  и  $T_O$  – температура кипения и конденсации рабочего тела.

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

$$T_O = 273 + (t_{ВЫБ} - (2 \div 4)), \text{ К}, \quad (6)$$

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

Практические значения  $\varphi$  составляют 0,55–0,70, при этом более низкие значения соответствуют более крупным агрегатам[1].

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

$$Q_{конд} = \frac{\mu}{\mu - 1} \cdot V_{ср} \cdot C_{возд} \cdot (t_{CP} - t_{ВЫБ}) \cdot \rho \cdot N_{РАБ} \cdot \eta \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

$$Q_{конд} = V_{ср} \cdot C_{возд} \cdot (t_{CP} - t_{ср.от}) \cdot \rho \cdot N_{РАБ} \cdot \eta \cdot 10^{-6} + Q_{от}^{год}$$

где  $C_{возд} = 0,24$  ккал/(кг·°C) – теплоемкость воздуха;

$t_{ср.от} = -1$  °C – средняя за отопительный период температура наружного воздуха для г. Гомеля [2];

$\rho = 1,18$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха;  $N_{РАБ}$  – число часов работы системы вентиляции за отопительный период, ч:

$$N_{РАБ} = (N_{от} - N_{пер}) \cdot 24 \quad (8)$$

$N_{пер}$  – межпосадочный период, сут;

Т.к.  $Q_{\text{ИСП}} = f(t_{\text{ВЫБ}})$  и  $\mu = f(t_{\text{ВЫБ}})$ , то задавая температуру  $t_{\text{ВЫБ}}$ , методом последовательных приближений уравниваем 2 уравнения системы уравнений (7). Таким образом минимальная средняя температура выброса составит  $-7,8^\circ\text{C}$ .

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

Теплота, отобранная в испарителе, Гкал :

$$Q_{\text{ИСП}} = V_{\text{СР}} \cdot C_{\text{ВОЗД}} \cdot (t_{\text{СР}} - t_{\text{ВЫБ}}) \cdot \rho \cdot N_{\text{РАБ}} \cdot \eta \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

Количество электроэнергии, затраченное в компрессоре, тыс. кВт·ч:

$$W_{\text{КОМ}} = \frac{1}{\mu - 1} \cdot Q_{\text{ИСП}} \cdot 1,16 \quad (10)$$

Количество теплоты, отданное в конденсаторе, Гкал:

$$Q_{\text{КОНД}} = \frac{\mu}{\mu - 1} \cdot Q_{\text{ИСП}} \quad (11)$$

Экономия тепловой энергии, т у.т.[3]:

$$\Delta B_{\text{ТЭ}} = Q_{\text{ГОД}} \cdot 0,175 \quad (12)$$

Увеличение расхода условного топлива за счет роста потребления электрической энергии, т у.т.:

$$\Delta B_{\text{ЭЭ}} = (\Delta W_{\text{В}} + W_{\text{КОМП}}) \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

Изменение расхода условного топлива, т у.т.:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{ТЭ}} - \Delta B_{\text{ЭЭ}} \quad (14)$$

Таблица 3

Расчет экономии условного топлива от внедрения теплового насоса

$t_{\text{ВЫБ}},$ $^\circ\text{C}$	$\mu$	$Q_{\text{ИСП}},$ 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

Так же проследим зависимость изменения экономии условного топлива от внедрения теплового насоса в зависимости от температуры выброса охлажденного воздуха. Расчеты аналогичны вышеприведенным. Результаты приведены в таблице 3 и на рисунке 1.

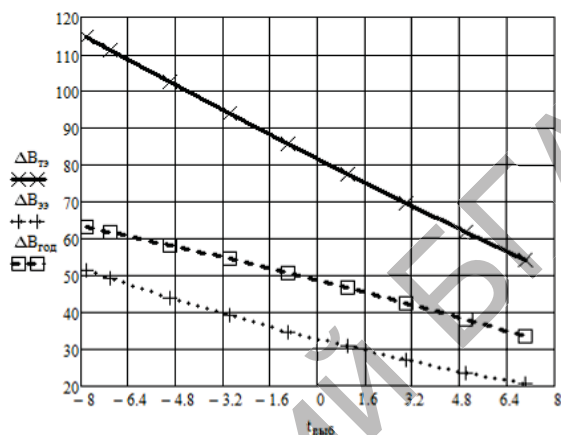


Рис. 1 – Результаты расчета экономии условного топлива от внедрения теплового насоса в т.у.т. при различных  $t_{\text{ВЫБ}}, ^\circ\text{C}$

Как видно из расчетов установка теплового насоса дает существенную экономию топливно-энергетических ресурсов.

#### Список использованных источников

1. Проценко В.П., Радченко В.А. Коэффициент преобразования парокон-прессионных тепловых насосов./ В.П. Проценко // Тепло-энергетика – 1998 – №8, С 32-42.
2. Строительная климатология/ Изменение № 1 СНБ 2.04.02-2000. Дата введения 01.07.2007г. – Минск : Міністэрства архітэктуры і будаўніцтва Рэспублікі Беларусь, 2007 – 35с.
3. Приказ Министерства статистики и анализа Республики Беларусь от 21 декабря 1999 г. №281 "Об утверждении государственной статистической отчетности по формам 4-сн, 11-сн и приложений 1, 2, 3 к ней" [Электронный ресурс] – 2006. Режим доступа <http://arc.pravoby.info/documentd/part3/aktd3567.htm> . Дата доступа 03.09.2013г.