

8. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Известно, что системы вентиляции являются вторым по значимости, а для общественных и промышленных зданий нередко и первым, потребителем тепловой энергии после системы отопления. Помимо тепловой энергии приточные вентиляционные системы потребляют электрическую энергию, на соотношения между ними таково, что тепловая энергия составляет примерно 90% общего потребления энергоресурсов.

Среди энергосберегающих мероприятий, связанных с совершенствованием процессов и элементов вентиляционных систем, можно выделить:

- правильный подбор вентилятора в соответствии с аэродинамической характеристикой сети;
- применение частотно- регулируемого электропривода вентиляторов с целью регулирования расхода воздуха;
- тепловую изоляцию воздуховодов в местах прокладки с пониженной температурой воздуха;
- использование теплоты вентиляционных выбросов; совместное применение общеобменной и местной вентиляции.

Воздушные завесы

Воздушные завесы предназначены для исключения (полного или частичного) проникновения холодного воздуха в обогреваемое помещение через открытую дверь или ворота. С этой целью в створе двери или ворот создается зона повышенного давления, что достигается направленным потоком воздуха в виде плоской струи, имеющего высокую скорость. Воздушная завеса препятствует

проникновению холодного воздуха внутрь помещения и выходу теплого воздуха из помещения.

Расход воздуха через проем двери или ворот зависит от разности давлений и температур внутри и снаружи, а также направления и скорости ветра. Теплый воздух внутри помещения имеет меньшую плотность по сравнению с холодным воздухом. Это вызывает разницу давлений в проеме двери. Холодный наружный воздух врывается в помещение через нижнюю часть проема двери, а теплый выдавливается через верхнюю часть.

Тепловые потери из-за проникновения холодного воздуха через незащищенные двери и ворота пропорциональны расходу холодного воздуха проникающего в помещение, и разности температур внутреннего и наружного воздуха. Задача заключается в определении расхода воздуха через проем ворот или двери. Существует несколько методик расчета расхода. Если температура внутреннего и наружного воздуха известны, то могут быть определены их плотности и, следовательно, разница давлений и расход воздуха через дверной проем. С учетом действия ветра расход воздуха может быть определен из уравнения [8]:

$$L_{\text{вп}} = BH \left[0,333 \cdot K_q \cdot (g \cdot H \cdot \Delta\rho / \rho)^{0,5} + 0,25v/2 \right] \quad (41)$$

где В- ширина двери, м; Н-высота двери ,м; K_q - коэффициент расхода воздуха (для незащищенных дверей 0,8- 1,0); $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, ускорение свободного падения; $\Delta\rho$ - разница плотностей воздушных масс; ρ - средняя плотность воздушных масс; v - скорость ветра под углом к двери, м/с; 0,25- частотный фактор направления ветра. Общих расходов воздуха через открытую дверь представляет собой сумму расходов, образующихся вследствие разницы давлений и воздействия ветра.

Воздушная завеса создает барьер в открытом проеме двери, который предотвращает нежелательный расход воздуха. Эффективность завесы определяется коэффициентом расхода воздуха через ворота (дверь), который зависит от расхода воздуха в завесе, конструкции завесы (односторонняя или двухсторонняя, угла подачи воздуха).

При проектировании воздушных завес у ворот (двери) необходимо определить $L_{\text{вп}}$ - количество наружного воздуха, врывающегося в ворота при работе завесы, в м³/ч; Q-расход тепла на нагрев наружного воздуха, врывающегося в помещение, в кВт; b-ширину щели завесы в м; L_3 -расход воздуха на завесу в м³/ч.

При проектировании завес у дверей общественных зданий количество наружного воздуха, проникающего в помещение можно рассчитать, например пользуясь формулой для $L_{\text{вп}}$.

Для производственных помещений массовый расход наружного воздуха $G_{\text{вп}}$ (кг/с), поступающего через ворота при отсутствии завесы, согласно рекомендациям [9], можно найти, руководствуясь правилами расчета аэрации. Для зданий со сравнительно небольшими тепловыделениями

$$G_{\text{вп}} = A + (\alpha + K \cdot v) \cdot F, \quad (42)$$

где A и α - расходы воздуха, определяемые в зависимости от расчетной температуры t_n наружного воздуха для проектирования отопления. Эти величины находятся по табл. 10; K- условный коэффициент, для ворот размером 3х3 м коэффициент K равен 0,25, для ворот размером 4х4 м- 0,20; v-скорость ветра в м/с; F- площадь сечения шахт и открываемых фрамуг в фонарях в м (значение A и α приведены в табл. 10 [9]).

Тепловая мощность (кВт), необходимая для нагрева воздуха, врывающегося в ворота, без завесы находится по формуле:

$$Q = G_{BP} \cdot c_p \cdot (t_B - t_H) \cdot k, \quad (43)$$

где G_{BP} -массовый расход врывающегося воздуха (кг/с), c_p - теплоемкость воздуха (кДж/(кг·К)), t_B - температура внутреннего воздуха; t_H - температура наружного воздуха; k -коэффициент, учитывающий фактическое время открывания ворот в течение часа ($k = \tau/60$, τ - время открывания ворот в минутах).

Тепловая мощность (кВт), необходимая для нагрева воздуха, врывающегося в ворота с работающей завесой, находится по формуле:

$$Q = G_{BP}^3 \cdot c_p \cdot (t_B - t_H) \cdot k, \quad (44)$$

Значение A и α при определении наружного воздуха, поступающего через ворота при отсутствии воздушной завесы

Таблица 10

Размеры ворот, м	Внутренняя температура воздуха, °С	Значения α и A , кг/с	Температура наружного воздуха t_H , °С						
			-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
3х3 и 4х4	+5	α	-	-	1,27	1,38	1,46	1,51	1,55
	+15		-	1,27	1,4	1,5	1,55	1,58	1,6
3х3	+5	A	6,0	5,0	5,8	6,6	7,4	8,1	8,9
	+15			6,5	7,3	8,0	8,8	9,4	10,0
4х4	+5	A	10,0	11,6	13	14,5	16	17,5	19
	+15		12,7	13,9	15	16,3	17,5	18,8	20

Расчет воздушной завесы производится по графику, приведенному на рис.3. На графике приведены кривые всасывания и

нагнетания. Кривыми нагнетания следует пользоваться, когда ворота находятся под непосредственным воздействием ветра. Угол наклона струи воздуха к плоскости ворот при боковых завесах рекомендуется задавать $\alpha = 45^\circ$; для нижних завес во избежание «налипания» струи на пол следует ограничиться углом $\alpha = 40-35^\circ$. При расчете завес с нижней подачей следует использовать кривой всасывания. По оси абсцисс отложено относительное количество воздуха, которое необходимо подавать тепловой завесой ($q = G_3 / G_{вр}^3$, здесь G_3 - расход воздуха, обеспечиваемый завесой; $G_{вр}$ - расход воздуха, врывающегося в помещение при наличии тепловой завесы), K_q - коэффициент расхода воздуха (относительный расход воздуха, прорывающегося в помещение) при работающей тепловой завесе. Чем больше производительность по воздуху тепловой завесы, тем меньше относительная доля воздуха, прорывающегося в помещение. В расчетах производительности тепловой завесы по воздуху задаются величиной K_q и по графику на рис.3 находят $q = G_3 / G_{вр}^3$, а затем необходимый расход воздуха, как $G_3 = q \cdot G_{вр}^3$.

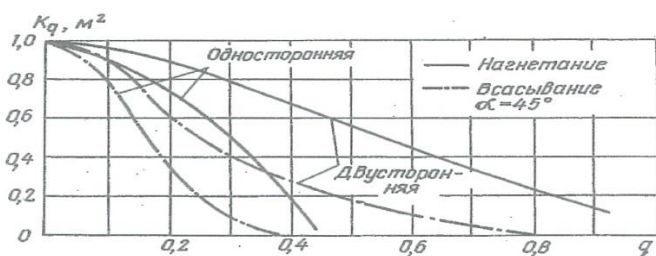


Рис. 3 Зависимость коэффициента расхода от относительного расхода воздуха в завесе

Расход тепла (кВт·ч) за период времени n (в часах) без действующей завесы:

$$Q_n = G_{BP} \cdot c_p \cdot (t_B - t_H) \cdot n \cdot k, \quad (45)$$

Расход тепла (кВт ч) за период времени n (в часах) с действующей завесой:

$$Q_n = G_{BP}^3 \cdot c_p \cdot (t_B - t_{cp}) \cdot n \cdot k, \quad (46)$$

Расход тепла на прогрев воздуха, врывающегося в помещение, учитывается в тепловом балансе при расчете отопления.

Относительная экономия тепловой энергии (относительное снижение потерь через проемы) при работающей тепловой завесе может быть вычислена по следующей формуле:

$$\frac{\Delta Q}{Q_{\text{пот}}} = 1 - \frac{K_q}{K_q + q} \left(K_q + q \cdot \frac{t_3 - t_B^P}{t_B^P - t_H^P} \right), \quad (47)$$

где $Q_{\text{пот}}$ - тепловые потери через проем без действующей тепловой завесы.

Если тепловой баланс здания представить как

$$Q_O^P = Q_{\text{отп}} + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{пот}} - Q_{\text{тв}}, \quad (48)$$

где Q_O^P - максимальная (при расчетных условиях) нагрузка по отоплению, а ($Q_{\text{пот}}$ - тепловые потери, связанные с проникновением холодного воздуха без действующей тепловой завесы, то относительное уменьшение максимальной отопительной нагрузки при действующей тепловой завесе (Q_O^3) можно записать в виде

$$\frac{Q_O^3}{Q_O^P} = 1 - \frac{Q_{\text{пот}}}{Q_O^P} \cdot \frac{K_q}{K_q + q} \left(K_q + q \cdot \frac{t_3 - t_B^P}{t_B^P - t_H^P} \right) \quad (49)$$

Уравнение получено при условии неизменности остальных составляющих теплового баланса. В уравнение входят два параметра: доля потерь через незащищенный проем от максимальной отопительной нагрузки и температура воздуха, подаваемого в помещение воздушной тепловой завесой.

Пример

Рассчитать энергосберегающий эффект от применения воздушной тепловой завесы у ворот производственного помещения при следующих условиях: размер ворот 4х4 м; площадь сечения шахт $F=2\text{ м}^2$; расчетная температура наружного воздуха $t_H = -26\text{ }^\circ\text{C}$; внутренняя температура $t_B = +15\text{ }^\circ\text{C}$, скорость ветра $v = 3\text{ м/с}$, ворота остаются открытыми в течении 20 мин ежедневно. Завеса двухсторонняя с боковой подачей воздуха.

Решение

Пользуясь табл. 10, определим количество воздуха, поступающего в помещение через ворота при отсутствии завесы:

$$G_{\text{вр}} = A + (\alpha + K \cdot v) \cdot F, \quad G_{\text{вр}} = 16,3 + (1,5 + 0,20 \cdot 3) \cdot 2 = 20,5 \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{вр}} = 20,5 \cdot 3600 = 73800 \text{ кг/ч};$$

Задаемся $K_q = 0,4$ (при $K_q \rightarrow 0$ производительность завесы по воздуху будет максимальной); тогда массовый расход воздуха, прорывающегося в помещение при наличие тепловой завесы, будет

$$G_{\text{BP}}^3 = 0,4 G_{\text{BP}} ; \quad G_{\text{BP}}^3 = 0,4 \cdot 73800 = 29520 \text{ кг/ч};$$

$$G_{\text{BP}}^3 = 29520 / 3600 = 8,2 \text{ кг/с}.$$

По графику на рис. 3 определяем, что относительный расход воздуха, подаваемого воздушной завесой, составляет $q = 0,65$. Массовый расход воздуха, подаваемого воздушной завесой составляет

$$G_3 = q \cdot G_{\text{BP}}^3 = 0,65 \cdot 29520 = 19188 \quad \text{кг/ч}.$$

Тепловая мощность, затрачиваемая на подогрев воздуха:

- без завесы

$$Q = 20,5 \cdot 1,005 \cdot [15 - (-26)] \cdot (20/60) = 281,6 \text{ кВт};$$

-с завесой производительностью 19188 кг/ч по воздуху

$$Q = 8,2 \cdot 1,005 \cdot [15 - (-26)] \cdot (20/60) = 112,7 \text{ кВт}.$$

Максимальная экономия тепловой энергии будет при $K_q \rightarrow 0$ и теоретически составит 281,6 кВт, при этом расход воздуха, подаваемого завесой должен быть 73800 кг/ч.

Исходные данные

Таблица 11

№ вари-анта	Размеры ворот, м	F, м ²	t_H , °C	t_B , °C	V, м/с	K	τ , мин
1	3x3	1,2	-10	+15	5	0,25	10
2	4x4	2	-15	+16	4,9	0,2	11
3	3x3	1,3	-20	+17	4,8	0,25	12
4	4x4	2,1	-25	+18	4,7	0,2	13
5	3x3	1,4	-30	+19	4,6	0,25	14
6	4x4	2,2	-35	+20	4,5	0,2	15

7	3x3	1,5	-40	+25	4,4	0,25	16
8	4x4	2,3	-40	+15	4,3	0,2	17
9	3x3	1,6	-35	+16	4,2	0,25	18
10	4x4	2,4	-30	+17	4,1	0,2	19
11	3x3	1,7	-25	+18	4,0	0,25	20
12	4x4	2,5	-20	+19	3,9	0,2	21
13	3x3	1,8	-15	+20	3,8	0,25	22
14	4x4	2,6	-10	+21	3,7	0,2	23
15	3x3	1,75	-10	+22	3,6	0,25	24
16	4x4	1,9	-15	+23	3,5	0,2	25
17	3x3	1,65	-20	+24	3,4	0,25	26
18	4x4	1,8	-25	+25	3,3	0,2	27
19	3x3	1,55	-30	+15	3,2	0,25	28
20	4x4	1,7	-35	+16	3,1	0,2	29
21	3x3	1,45	-40	+17	3,0	0,25	30
22	4x4	1,6	-40	+18	2,9	0,2	28
23	3x3	1,35	-35	+19	2,8	0,25	26
24	4x4	1,5	-30	+20	2,7	0,2	24
25	3x3	1,25	-25	+21	2,6	0,25	22
26	4x4	2	-20	+22	2,5	0,2	20
27	3x3	1,15	-15	+23	2,4	0,25	18
28	4x4	2,25	-10	+24	2,3	0,2	16
29	3x3	1,1	-10	+25	2,2	0,25	14
30	4x4	2,45	-40	+15	2,1	0,2	12