Библиотека СОК

ниями выхода струи завесы и плоскостью ворот выбирается 45° С. Забор воздуха для завесы производится из верхней зоны помещения.

3. Чтобы обеспечить требуемую температуру смеси $t_{см}$ без дополнительного подогрева воздуха, подаваемого в завесу, выбирается $q = 0{,}8$, при этом

$$t_{см} = t_н + (t_з - t_н)\, q \left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right) =$$

$$= -26 + (25 + 26) \cdot 0{,}8\,(1 - 0{,}12) = 9{,}9°\,\text{С};$$

при расчете принимается $t_з = t_{ух} = 25°$ С; $\frac{Q'}{Q_з} = 0{,}12$ по графику (см. рис. 27, *б*) при $q = 0{,}8$ и $\overline{F}_{щ} = {}^1/_{18}$.

Полученная при данных параметрах воздушной завесы температура $t_{см}$ удовлетворяет санитарным требованиям (см. § 5), по которым температура в районе ворот при открытии их на короткое время должна быть не меньше 8° С при тяжелой физической работе.

4. Находим по номограммам (см. рис. 17 и 18) коэффициент расхода воздуха при действии завесы и при $\overline{F}_{щ} = {}^1/_{18}$ и $\alpha = 45°$ С; по номограмме (см. рис. 18) $q\sqrt{D} = 0{,}8 \cdot 3{,}75 = 3{,}0$; при $\mu_0 = 0{,}69$ и $q\sqrt{D} = 3{,}0$ по номограмме (см. рис. 17) $\mu = 0{,}226$.

5. Величину разрежения в цехе при действии завесы определяем, решая путем подбора уравнение воздушного баланса, которое в данном случае имеет вид

$$G_{пр} - G_з + G_{прит_1} + G_{прит_2} - G_{выт} - \Delta G_{мех.\ вент} = 0. \qquad (102)$$

Выражая величины расхода через значения, от которых они зависят, получим

$$(1 - q)\, G_{пр} + (\mu F)_{прит_1} \sqrt{2g\Delta P_{прит_1}\gamma_н} + (\mu F)_{прит_2} \sqrt{2g\Delta P_{прит_2}\gamma_н} -$$

$$- (\mu F)_{выт} \sqrt{2g\Delta P_ф \gamma_{ух}} - \frac{120\,000 - 50\,000}{3600} = 0, \qquad (103)$$

где $\Delta P_{прит}$ — разность давлений на высоте приточных окон в *кг/м²*;

$\Delta P_ф$ — разность давлений на высоте середины фонаря в *кг/м²*.

Расчет сведен в табл. 16.

Таким образом, значение P_x, при котором уравнение воздушного баланса превращается в тождество, $P_x = -0{,}15$ *кг/м²*.

6. Определяем количество воздуха, проходящего через ворота при действии завесы:

$$G_{пр} = 14{,}4 \cdot 0{,}226 \sqrt{19{,}6\,(1{,}52 - P_x) \cdot 1{,}252} = 20{,}9\ \text{кг/сек} =$$

$$= 75\,250\ \text{кг/ч}.$$

Таблица 16

Расчетные формулы	P_x в *кг/м²*		
	−0	−0,2	−0,15
$\Delta P_{прит_1} = k_1 P_{вет} - P_x = 0{,}8 \cdot 1{,}9 - P_x = 1{,}52 - P_x$	1,52	1,72	1,67
$(1 - q)\, G_{пр} = (1 - q)\, F_в \mu \sqrt{2g\Delta P_{прит_1}\gamma_{см}} = (1 - 0{,}8) \times$ $\times 14{,}4 \cdot 0{,}266 \sqrt{19{,}6\Delta P_{прит_1} 1{,}25}$	4,00	4,21	4,14
$G_{прит_1} = (\mu F)_{прит_1} \sqrt{2g\Delta P_{прит_1}\gamma_н} =$ $= 8 \sqrt{19{,}6\Delta P_{прит_1} 1{,}429}$	52,3	55,6	54,7
$\Delta P_{прит_2} = K_2 P_{вет} - P_x - (h_2 - h_1)\Delta\gamma =$ $= 0{,}7 \cdot 1{,}9 - (5 - 2) \cdot 0{,}229 - P_x$	0,643	0,843	0,793
$G_{прит_2} = (\mu F)_{прит_2} \sqrt{2g\Delta P_{прит_2}\gamma_н} =$ $= 9{,}5 \sqrt{19{,}6\Delta P_{прит_2} 1{,}429}$	40,3	46,1	44,8
$\Sigma G_{прит} = (1 - q)\, G_{пр} + G_{прит_1} + G_{прит_2}$	96,60	105,91	103,64
$\Delta P_ф = P_x - (h_ф - h_1)\Delta\gamma - k_ф P_{вет} = P_x +$ $+ (14 - 2) \cdot 0{,}229 + 0{,}3 \cdot 0{,}19$	3,32	3,12	3,17
$G_{выт} = (\mu F)_{выт} \sqrt{2g\Delta P_ф \gamma_{ух}} = 10 \sqrt{19{,}6\Delta P_ф \cdot 1{,}181}$	87,6	85	85,75
$\Sigma G_{выт} = G_{выт} + \Delta G_{мех.\ вент} = G_{выт} + 19{,}4$	107,0	104,4	104,15

Примечания:
h_1 — высота от пола до середины ворот в *м*;
h_2 — высота от пола до середины приточных окон в *м*;
$h_ф$ — высота от пола до середины створок в фонаре в *м*.

7. Необходимый расход воздуха на завесу будет составлять

$$G_з = 0{,}8 \cdot 20{,}9 = 16{,}72\ \text{кг/сек} = 60\,200\ \text{кг/ч},$$

или 51 000 *м³/ч* при температуре воздуха 25° С.

ГЛАВА V

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС, ВСТРОЕННЫХ В ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

§ 16. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС, ВСТРОЕННЫХ В ОБОРУДОВАНИЕ

Воздушные завесы с успехом могут быть применены при проектировании и устройстве автоматических линий. В автоматических линиях в отличие от оборудования, применяемого при прерывных процессах, аппараты и машины не могут быть полностью закрыты. В них должны быть устроены отверстия для постоянной подачи и выдачи обрабатываемых изделий. С помощью воздушных завес можно предотвратить проникновение через эти отверстия воздуха из аппаратов в рабочее помещение. Это необходимо, так как во многих случаях воздух, находящийся внутри аппаратов, нагрет до высокой температуры и содержит большое количество вредных для здоровья людей веществ. В ряде случаев воздушные завесы могут решать чисто технологические задачи. Так, с помощью воздушных завес можно предотвратить попадание в нагревательные печи кузнечных цехов воздуха из помещения, содержащего кислород.

Воздушные завесы могут быть также применены для поддержания в оборудовании повышенного или пониженного давления (по сравнению с атмосферным) при наличии в стенке этого оборудования отверстий. Так, с помощью воздушных завес можно поддерживать значительную разность давлений, измеряемую тысячами *мм вод. ст.*

Следует отметить, что в машиностроении еще далеко не полностью используются возможности воздушных завес. Широкое их применение во многих случаях сделает оборудование более эффективным и безопасным. Специалистам-машиностроителям совместно со специалистами по промышленной вентиляции предстоит дальнейшая работа в этом направлении.

§ 17. РАСЧЕТ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС, ВСТРОЕННЫХ В ОБОРУДОВАНИЕ

Расчет воздушных завес, встроенных в оборудование, производится в основном по формулам, приведенным в гл. I и II. Однако в расчете воздушных завес, встроенных в оборудование, имеются некоторые специфические особенности.

Рассмотрим случаи устройства воздушных завес на входе и выходе из сушильной камеры, установленной в автоматической

линии окраски изделий. В сушильной камере в соответствии с технологическим процессом поддерживается повышенная температура воздуха (100—200° С). При сушке изделий происходит испарение растворителей, и концентрация их в сушильной камере достигает 4000 *мг/м*³. Вне сушильной камеры, в помещении надо поддерживать концентрацию не выше предельно допустимой санитарными нормами СН-245-63.

В зависимости от растворителя предельно допустимые концентрации находятся в пределах от 20 *мг/м*³ (бензол) до 300 *мг/м*³ (бензин — растворитель).

В данном случае воздушная завеса является барьером не только для холодного и нагретого, но также и для загрязненного воздуха.

Из-за высокой температуры воздуха внутри сушильной камеры создается большой тепловой напор. Если проемы для входа и выхода изделий находятся на одном уровне (рис. 56), то через нижнюю часть обоих проемов воздух будет входить в камеру, а через верхнюю выходить. Нейтральная зона находится в пределах проема. В данном случае задача воздушной завесы не только не допустить выхода горячего и загрязненного воздуха из сушильной камеры в помещение, но также не допускать и входа «холодного» воздуха из помещения в камеру, так как это может нарушить процесс сушки изделий, находящихся в нижней части камеры. Рассмотрим сначала случай подачи в воздушную завесу воздуха из помещения, в котором она установлена.

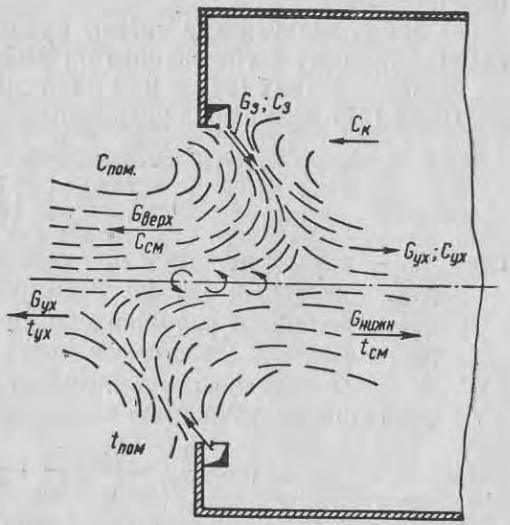


Рис. 56. Схема потоков воздуха в проеме сушильной камеры при устройстве воздушных завес

В нижней части проема воздух подается под углом 30—45° наружу, а в верхней части под тем же углом к плоскости проема внутрь камеры.

В зависимости от соотношения размеров проема и формы окрашиваемого изделия могут быть применены разные типы воздушных завес. Около высоких и узких проемов рекомендуется устраивать боковые завесы односторонние или двусторонние, при

квадратных или вытянутых в горизонтальном направлении — нижние и верхние завесы. Рассмотрим случай расчета таких завес, когда вытяжки из сушильной камеры нет или она полностью компенсируется притоком воздуха, подаваемого непосредственно в камеру.

В этом случае можно воспользоваться расчетом, сделанным для воздушных завес у ворот в низких зданиях без фонарей ($h'_{н.з} < H_в$), когда $\Delta G = 0$.

В данном случае будет пригодно решение по формулам, начиная с уравнения (57) до (64), с учетом некоторых отклонений:

а) забор воздуха для завесы производится не из сушильной камеры, поэтому в уравнении (57) выпадет третий член $G_з$;

б) в уравнениях (61) и (62) надо считать $q = 0$.

Тогда (62) примет вид уравнения

$$h'_{н.з} = \frac{H_{пр}}{1 + \left(\frac{\mu_{нижн}}{\mu_{верхн}}\right)^{2/3} \left(\frac{\gamma_{см.н}}{\gamma_{см.в}}\right)^{1/3}}, \qquad (62'')$$

где $H_{пр}$ — высота проема в *м*;

$\gamma_{см_н}$ — удельный вес смеси воздуха завесы и воздуха, проходящего через нижнюю часть проема в камеру;

$\gamma_{см_в}$ — удельный вес смеси воздуха завесы и воздуха, выходящего из сушильной камеры в помещение.

С достаточной точностью можно считать, что

$$\mu \approx \frac{1}{\sqrt{\overline{D}}} = \left(\overline{F}_{щ} \frac{\gamma_з}{\gamma_{см}} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}\right)^{1/2}.$$

Тогда при одинаковой конструкции воздушных завес в верхней и нижней частях проема, равной подаче в обе части завесы воздуха и одинаковой температуре, коэффициенты расхода будут пропорциональны:

$$\frac{\mu_{нижн}}{\mu_{верхн}} = \left(\frac{\gamma_{см_в}}{\gamma_{см_н}}\right)^{1/2}. \qquad (104)$$

Подставляя уравнение (104) в формулу (62″), заключаем, что в рассматриваемом случае нейтральная зона расположится на середине проема. Следовательно, количество воздуха, проходящего в камеру через нижнюю часть проема или выходящего из камеры через верхнюю часть проема, будет составлять:

$$G_{нижн} = G_{верхн} = {}^2/_3 \cdot 3600 \mu \frac{F_{пр}}{2} \sqrt{2g \frac{H_{пр}}{2} (\gamma_{пом} - \gamma_к) \gamma_{см}} \ кг/ч, \qquad (105)$$

где $F_{пр}$ — площадь проема в $м^2$;

$\gamma_{пом}$ — удельный вес воздуха в помещении в $кг/м^3$;

$\gamma_к$ — удельный вес воздуха в сушильной камере в $кг/м^3$.

Температуру смеси воздуха можно определить по формуле, аналогичной формуле (40):

а) для воздуха, проходящего через нижнюю часть проема:

$$t_{см_{нижн}} = t_{пом} + (t_з - t_{пом})\, q \left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right); \qquad (106)$$

б) для воздуха, проходящего через верхнюю часть проема,

$$t_{см_{верхн}} = t_к - (t_к - t_з)\, q \left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right). \qquad (107)$$

Необходимое количество воздуха для завесы, как и прежде, будет по формуле

$$G_з = qG_{пр}.$$

Из формулы (105) видно, что с помощью завесы можно значительно уменьшить количество воздуха, проходящего через проем. Однако исключить проход воздуха через проем с помощью завесы совершенно не представляется возможным. Правда, через проем в нижней и в верхней его частях при q, близких к единице, будет в основном проходить воздух, подаваемый в завесу. Однако из-за турбулентного перемешивания струи завесы с окружающим воздухом наружный воздух из помещения будет попадать в камеру и воздух из камеры, подмешиваясь к струе завесы, будет выходить наружу, в помещение.

Можно ориентировочно подсчитать, какое количество вредных веществ будет выходить из камеры через верхнюю часть проема. Для этого аналогично тому, как это было сделано при определении температуры смеси воздуха, проходящего через ворота (§ 6), составим баланс вредных примесей к воздуху в верхней части проема. За нулевой уровень концентрации, от которого при составлении баланса концентрации будет вестись отсчет количества вредных веществ, принимается концентрация в камере $c_к$. Тогда аналогично (39) будем иметь

$$G_з \left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right)(c_з - c_к) = G_{пр}\,(c_{см} - c_к). \qquad (108)$$

При решении уравнения (108) принимается, что процессы переноса тепла и примесей одинаковы и $\frac{Q'}{Q_з}$ берется по графикам рис. 27 и 28, откуда концентрация в воздухе, выходящем из сушильной камеры в цех, будет

$$c_{см} = c_к - (c_к - c_з)\, q \left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right) мг/м^3, \qquad (109)$$

где $c_к$ — концентрация вредных газов в камере в *мг/кг*;

$c_з$ — концентрация вредных газов в воздухе, подаваемом в завесу, в *мг/кг*.

В данном расчете для процесса с сильным изменением температуры и удельного веса воздуха концентрации целесообразно относить на 1 *кг* чистого воздуха. Значения концентраций, выраженных в *мг/кг*, в 1,2 раза меньше значений концентраций, выраженных в *мг/нм*^{3} (нормальный куб. метр при $t = 20°$ С, $P = 760$ *мм рт. ст.*, $\gamma = 1{,}2$ *кг/м*^{3}).

Если воздух, подаваемый в завесу, не содержит вредных примесей ($c_з = 0$), то формула (109) упрощается:

$$c_{см} = c_к - c_к q\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right). \qquad (110)$$

Для уменьшения значения величины $\frac{Q'}{Q_з}$ рекомендуется устраивать перед завесой открытые «тамбуры». Для верхней части завесы такой «тамбур» следует устраивать внутри сушильной камеры. Для повышения температуры смеси, поступающей в нижнюю часть сушильной камеры, рекомендуется и в нижней части проема перед завесой сделать «тамбур». Сделать его нужно снаружи сушильной камеры, не очень усложняя конструкцию устройства. Можно рекомендовать продлить «тамбур» внутрь камеры, в нижнюю часть проема, а снаружи в верхнюю часть камеры. Если такая конструкция «тамбуров» не мешает работе, то она приведет к улучшению действия воздушных завес. Длину «тамбура» рекомендуется принимать не меньше ширины проема, а то и 1,5—2 ширины проема, если это возможно конструктивно. Угол α выпуска струи завесы при устройстве «тамбуров» следует делать $\alpha = 45°$.

Количество вредного вещества, которое будет поступать из камеры в помещение, составит:

$$G_{вр.\,в} = G_{верхн} c_{см} \text{ мг/ч}. \qquad (111)$$

Пользуясь формулами (105)—(111), можно рассчитать воздушную завесу, которая позволит снизить количество вредного газа, поступающего из сушильной камеры, до заданной величины.

Используя воздушную завесу, необходимо снизить количество вредных выделений настолько, чтобы их можно было удалять с помощью общеобменной вентиляции при наиболее целесообразных воздухообменах.

Поясним рекомендуемый способ на примере.

Пример 15. Рассчитать воздушные завесы в проемах для входа и выхода в сушильную камеру окрашенных шасси автомобиля. Размер проема $0{,}6 \times 6$ *м*; кромки стенок, ограждающих проем, острые ($\mu_0 = 0{,}64$). Окрашенные рамы, будучи прикреплены к крюку тележки, двигающейся по монорельсу в вертикальном положении, проходят через сушильную камеру.

Температура воздуха в сушильной камере $t_к = 140°$ С ($\gamma_к = 0{,}855$ *кг/м*^{3}), концентрация в камере паров растворителя (толуола) $c_к = 1200$ *мг/нм*^{3} $= 1000$ *мг/кг* (предельно допустимая концентрация толуола в воздухе рабочей зоны производственных помещений согласно санитарным нормам СН-245-63) $c_{пдк} = 50$ *мг/нм*^{3} $= 41{,}7$ *мг/кг*. Температура в воздухе помещения, в котором установлена сушильная камера, $t_н = 20°$ С ($\gamma_н = 1{,}205$ *кг/м*^{3}). Воздух для завесы забирается из верхней зоны помещения и подогревается до 50° С ($\gamma_з = 1{,}082$ *кг/м*^{3}). Концентрация в верхней зоне помещения, откуда устраивается вытяжка и забор воздуха для завесы, $c_з = c_{ух} = 60$ *мг/нм*^{3} $= 50$ *мг/кг*.

Р е ш е н и е.

1. Поскольку окрашиваемое изделие (шасси) — не сплошная конструкция и, проходя мимо завесы, не преградит путь потоку воздуха, идущего из воздуховыпускной щели, то в этом случае с успехом может быть применена односторонняя боковая завеса. Перед завесой устраивается «тамбур» длиной 1,5 ширины проема — 0,75 *м*; угол выхода струи завесы к плоскости ворот выбирается $\alpha = 45°$; в верхней половине проема струя направлена внутрь камеры, в нижней части — наружу.

2. Для определения оптимального значения параметров завесы сделаем расчет воздушных завес для разных $\bar{F}_щ$ и q.

3. Количество воздуха, выходящего через верхнюю часть проема, определяется по формуле

$$G_{верхн} = {}^2/_3 \cdot 3600 \mu \frac{F_{пр}}{2} \sqrt{2g \frac{H_{пр}}{2} (\gamma_{пом} - \gamma_к) \gamma_{см}} = 2400 \mu \frac{0{,}5 \cdot 6}{2} \times$$

$$\times \sqrt{19{,}62 \frac{6}{2} (1{,}205 - 0{,}855) \gamma_{см}} = 16\,300 \mu \sqrt{\gamma_{см}} \text{ кг/ч}.$$

4. Температура смеси воздуха, выходящего через верхнюю часть проема, рассчитывается с помощью формулы (107)

$$t_{см_{верхн}} = t_к - (t_к - t_з) q\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right) = 140 - (140 - 50) q\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right) =$$

$$= 140 - 90 q\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right).$$

5. Концентрацию в воздухе, выходящем через верхнюю часть проема, находим по формуле (109)

$$c_{см} = c_к - (c_к - c_з) q\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right) = 1000 - (1000 - 50) q\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right) =$$

$$= 1000 - 950 q\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right) \text{ мг/м}^3.$$

6. По формуле (110) определяется количество вредного толуола, выделяющегося из камеры в помещение:

$$G_{вр.\,в} = G_{верхн} c_{см}.$$

7. Необходимый расход воздуха на завесу $G_з = qG_{верхн}$.

Все расчеты по указанным формулам для разных $\bar{F}_щ$ и q сведены в табл. 17.

Таблица 17

$\bar{F}_щ$	q	$\frac{Q'}{Q_з}$	$1-\frac{Q'}{Q_з}$	$t_{см}$ верхн в °С	$c_{см}$ в мг/кг	$\frac{\gamma_{см}}{\gamma_з}$	$\sqrt{\frac{\gamma_{см}}{\gamma_з}}$	μ	$G_{верхн}$ в кг/ч	$G_{вредн.\,вещ}$ в г/ч	$G_{зав}$ в кг/ч
1/30	1	0,28	0,72	75	317	0,936	1,006	0,132	2165	686	2165
1/30	0,8	0,15	0,85	79	355	0,925	1,001	0,160	2610	927	2080
1/20	1	0,23	0,77	71	270	0,945	1,012	0,154	2542	686	2542
1/20	0,8	0,116	0,884	76,5	327	0,934	1,005	0,186	3045	996	2430
1/15	1	0,217	0,783	69,5	257	0,948	1,014	0,172	2845	731	2845
1/15	0,8	0,110	0,890	76,5	323	0,934	1,005	0,207	3395	1096	2714
1/10	1	0,20	0,800	68	240	0,955	1,017	0,176	2920	701	2920
1/10	0,8	0,106	0,894	75,5	320	0,934	1,005	0,211	3460	1107	2770
Без завесы		—	—	140	1000	0,795	0,928	0,64	9685	9685	—

Коэффициенты расхода воздуха через проем μ определяются по данным $\bar{F}_щ$, $\frac{\gamma_{см}}{\gamma_з}$, q (см. графики на рис. 16 и 18).

Из табл. 18 видно, что наименьшее количество выделяющихся в помещение вредных веществ будет при $q = 1$ и $\bar{F}_щ = 1/10$ и $1/20$. При $\bar{F}_щ = 1/20$ расход воздуха на завесу меньше, чем при $\bar{F}_щ = 1/10$. Поэтому выбираем завесу с относительной шириной щели $1/20$ и $q = 1$; $G_з = 2542$ *кг/ч*.

Таким образом, благодаря устройству воздушной завесы количество вредных веществ, выделяющихся из сушильной камеры в помещение, снижается в 14,1 раза (с 9700 до 686 *г/ч*). Если учесть еще, что завеса вентилирует воздух, дополнительно удаляя из него 2475 (50 — 5) = 110 *г/ч*, то окажется, что устройство завесы уменьшает количество вредных выделений, которые должны быть удалены общеобменной вентиляцией помещения, в 17,0 раз.

Необходимый воздухообмен в помещении, где установлена сушильная камера для удаления толуола, попавшего в помещение, будет составлять:

$$G_{вент} = \frac{G_{вр.\,в} - G_з(c_з - c_{прит})}{c_{ух} - c_{прит}} = \frac{(668 - 110)\cdot 1000}{50 - 5} = 12\,400\ кг/ч.$$

Пример 16. Рассчитать воздушную завесу у проема сушильной камеры, установленной в автоматической линии окраски изделий средних габаритов. Размер проемов: ширина $B = 0{,}8$ *м*, высота $H_{пр} = 0{,}9$ *м*. Верх проема находится в пределах рабочей зоны. Все остальные условия такие же, как и в примере 15.

Р е ш е н и е.

1. Так как проемы в стенке сушильной камеры расположены в пределах рабочей зоны, нельзя допускать, чтобы воздух, загрязненный растворителем, выходил через верхнюю часть проема. Поэтому принимается воздушная завеса с забором воздуха из сушильной камеры. Завеса рассчитывается таким образом, чтобы нейтральная зона проходила на уровне верха проема или выше его. При малой высоте проема ($H_{пр}$) этого можно достичь даже при значительной $\Delta\gamma = \gamma_{пом} - \gamma_к$. При высоких же проемах, как в примере 15, устройство такой завесы потребовало бы много воздуха — примерно 15 000 *кг/ч*, т. е. в 6 раз больше, чем это было рассчитано (см. табл. 17).

Воздух, забираемый из камеры и подаваемый в завесу, очищается от паров растворителя.

Если не представляется возможным осуществить рекуперацию растворителя и очистку от него воздуха, подаваемого в завесу, то из сушильной камеры надо устроить вытяжку в размере, равном или большем $G_з$, а для завесы забирать воздух из помещения. Чтобы избежать разрежения в помещении, которое может привести к выбиванию загрязненного воздуха из сушильной камеры, вся вытяжка из помещения, в том числе и объем воздуха, забираемый для завесы, должны быть полностью компенсированы притоком.

2. Количество воздуха, проходящего через нижнюю часть проема, рассчитываем по формуле (63′) при $q = 1$. При этом количество воздуха, проходящего через верхнюю часть проема, $G_{верхн} = 0$.

Если окрашиваемые детали имеют в основном вертикальные плоскости и площадь горизонтальных плоскостей невелика, может быть рекомендована нижняя односторонняя завеса.

Ширину щели следует выбирать с учетом конструктивных особенностей устройства воздушной завесы и возможности размещения вентиляционного агрегата рядом с сушильной камерой. Примем для данного расчета $\bar{F}_щ = 1/20$.

Чтобы часть струи завесы (см. рис. 25, *а*), которая вследствие турбулентного перемешивания с воздухом, находящимся внутри сушильной камеры, содержит пары растворителя, не попадала в помещение, рекомендуется устройство перед завесой открытого тамбура длиной не меньше ширины проема 0,8 *м*. Угол между струей завесы и плоскостью проема принимается $\alpha = 45°$.

3. Определим коэффициент расхода воздуха через проем защищенный односторонней воздушной завесы $\bar{F}_{щ} = {}^1/_{20}$; $\alpha = 45°$; $q = 1{,}0$. Воздух в завесу подается из помещения без дополнительного подогрева; $t_{см} = t_э$. Входные кромки проема острые, $\mu_0 = 0{,}64$. По табл. 1 приложения 1 находим $\mu = 0{,}153$.

4. Количество воздуха, проходящего через нижнюю часть проема, будет

$$G_{нижн} = {}^2/_3 \cdot 3600 F_{пр} \psi_{нижн} \sqrt{2gH_{пр}\Delta\gamma\gamma_{см}} =$$

$$= 2400 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}153 \cdot \sqrt{19{,}62 \cdot 0{,}9\,(1{,}205 - 0{,}855) \cdot 1{,}205} = 722 \text{ кг/ч}.$$

5. Необходимое количество воздуха на завесу для одного проема $G_э = G_{нижн} = 722$ кг/ч; для двух — 1440 кг/ч.

6. Если в проемах воздушные завесы не делать, то для того, чтобы воздух входил в камеру, по всей высоте отверстия необходимо удалить из камеры воздух в количестве

$$G = 2^2/_3 \cdot 3600 F_{пр} \mu_0 \sqrt{2gH_{пр}\Delta\gamma\gamma_{см}} = 2 \cdot 2400 \cdot 0{,}72 \cdot 0{,}64 \times$$

$$\times \sqrt{19{,}62 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}35 \cdot 1{,}205} = 6000 \text{ кг/ч}.$$

Такой большой объем вытяжки из сравнительно небольшой сушильной камеры привел бы к снижению температуры в ней и к понижению концентрации растворителя в удаляемом воздухе. Последнее не дало бы возможность успешно применить рекуперацию паров растворителя. При устройстве воздушной завесы рекуперация оправдана, вентиляционные и рекуперационные установки имеют небольшие размеры, и поэтому от сушильной камеры в наружный воздух пары растворителя выбрасываться почти не будут.

Пример 17. Рассчитать воздушную завесу у проема в стенке аппарата, в котором поддерживается избыточное давление $P = 300$ кг/м². Размер отверстия $0{,}2 \times 0{,}3$ м, коэффициент расхода воздуха через отверстие при отсутствии завесы $\mu_0 = 0{,}64$.

Температура воздуха в аппарате $t_в = 21°$ С.

Решение.

1. В тех случаях, когда это не мешает ведению технологического процесса, у проема в стенке снаружи установим патрубок (тамбур) с сечением, равным размерам проема, и длиной 0,5 м.

2. Устройство патрубка дает возможность принять угол выхода струи завесы по отношению к плоскости проема $\alpha = 60°$.

Принимается к установке односторонняя боковая завеса с относительной шириной щели $\bar{F}_{щ} = {}^1/_{40}$ и $q = 1$. Согласно табл. 1 приложения 1 при указанных данных $\mu = 0{,}11$.

3. Количество воздуха, проходящего через проем, будет составлять:

$$G = \mu F_{пр} \sqrt{2gP\gamma_в} = 0{,}11 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}3 \sqrt{19{,}62 \cdot 300 \cdot 1{,}2} = 0{,}56 \text{ кг/сек}.$$

4. Расход воздуха на завесу будет также

$$G_э = G_{пр} = 0{,}56 \text{ кг/сек}.$$

5. Если завесу не делать, то для поддержания в аппарате давления 300 кг/м², при наличии открытого проема $0{,}2 \times 0{,}3$ м, необходимо в аппарат подавать воздух в размере

$$G = 0{,}64 \cdot 0{,}06 \sqrt{19{,}62 \cdot 300 \cdot 1{,}2} = 3{,}23 \text{ кг/сек}.$$

Таким образом, с помощью воздушной завесы можно почти в 6 раз сократить количество воздуха, выходящего из отверстия, в то же количество раз сократить необходимый расход воздуха, подаваемого в аппарат, для поддержания в нем давления. По затратам электроэнергии воздушная завеса почти в 2 раза выгоднее, чем непосредственная подача воздуха в аппарат.

ГЛАВА VI

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС

§ 18. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС

Автоматизация воздушных завес должна решать следующие задачи:

1) пускать и останавливать электродвигатель вентилятора воздушной завесы в зависимости от положения ворот;

2) регулировать объем воздуха, подаваемого в завесу, в зависимости от разности температур воздуха внутри помещения и снаружи;

3) регулировать температуру воздуха, подаваемого в завесу;

4) пускать и останавливать агрегат воздушной завесы в зависимости от температуры воздуха в помещении около ворот.

Первая, третья и четвертая задачи ясны без пояснений, остановимся только на второй задаче.

В гл. II, § 8, была установлена зависимость между расходом воздуха на завесу и перепадом давления снаружи и внутри здания

$$G_з = qG_{пр} = qF_в\mu\sqrt{2g\Delta P\gamma_{см}}.$$

Так как воздушные завесы как отопительное устройство проектируются на минимальную расчетную температуру для отопления, то расчетный расход воздуха на завесу получается значительно больше необходимого при более высокой температуре наружного воздуха и отсутствии ветра. Как уже подчеркивалось в § 7, излишний объем подаваемого в завесу воздуха не только вызывает дополнительный расход электроэнергии, но и приводит к ухудшению действия завесы, к выбрасыванию наружу большого объема теплого воздуха и потерям тепла. Для того чтобы избежать потерь, необходимо уменьшить количество воздуха, подаваемого в завесу, пропорционально $\sqrt{\Delta P}$:

$$G_з \approx \sqrt{\Delta P}. \qquad (112)$$

Если считать, что перепад давлений создается в основном тепловым напором, то

$$G_з \approx \sqrt{\gamma_н - \gamma_{вн}} \approx \sqrt{t_{вн} - t_н}$$

или

$$\frac{G_з}{G_{з\min}} = \sqrt{\frac{t_{вн} - t_н}{t_{вн} - t_{н\min}}}. \qquad (113)$$

Воздушные завесы начинают эксплуатировать, когда температура наружного воздуха становится меньше 10 или 5° С.

В соответствии с этим регулирование количества воздуха, подаваемого в воздушные завесы, нужно осуществлять только в пределах до 38—50% от полной производительности. Этим значительно упрощается устройство автоматического регулирования воздушных завес.

§ 19. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ЗАВЕСУ

Устройство автоматического управления воротами дает возможность до минимума сократить время, в течение которого они открыты. Если при этом необходимо устройство воздушных завес, то их следует оборудовать автоматическим регулированием расхода воздуха.

Нерегулируемая завеса не будет эффективной. Даже кратковременная ее работа может вызвать выброс наружу значительной массы теплого воздуха, переохлаждение цеха и нарушение работы естественной вытяжки (фонарей, дефлекторов, шахт). Из-за повышения разрежения в цехе эти устройства могут начать работать «на приток», и загрязненный воздух из верхней зоны поступит в рабочую зону, загрязняя ее.

С другой стороны, наличие автоматического управления воротами облегчает возможность устройства автоматизации регулирования расхода воздуха, подаваемого в завесу, так как многие приборы будут общими для обеих систем автоматики.

Таким образом, при автоматизации управления воротами необходимы устройства для регулирования расхода воздуха. Устройство такого регулирования не только улучшает состояние воздушной среды в цехе, но и дает экономию в расходе электроэнергии и тепла. Эта экономия особенно значительна при устройстве автоматического регулирования у ворот, открываемых на длительное время.

Регулировать расход воздуха, подаваемого в завесу, можно по разности давлений внутри и снаружи здания и по разности температур.

Регулирование под непосредственным воздействием разности давлений более полно отражает условия, определяющие работу воздушной завесы. В этом случае будет учтено изменение давления не только из-за изменения разности температур, но также вследствие действия ветра и изменения состояния герметичности здания (открытия дверей или окон в нижней или верхней его части).

Необходимо заметить, что регулировать степень открытия регулирующего аппарата датчиком, воспринимающим разность давлений снаружи и внутри здания, можно только при закрытых

воротах, когда завеса не работает. Это объясняется тем, что при открытых воротах и действующей завесе воспринимаемая датчиком разность давлений будет зависеть не только от теплового напора, силы ветра и степени открытия приточных и вытяжных отверстий в цехе, но и от действия самой завесы. Если бы автоматика действовала при работе завесы, то с увеличением разрежения в цехе автоматика, увеличив расход воздуха, подаваемого в завесу, еще больше бы увеличила это разрежение. Таким образом, имел бы место несамотормозящийся процесс, приводящий регулирующий аппарат в крайнее положение. Поэтому в схемах автоматического регулирования с датчиками разности давлений автоматика должна подготовлять к моменту открытия ворот нужную степень открытия регулирующего аппарата. При открытых воротах механизм, регулирующий степень открытия, должен фиксироваться в том положении, в каком он был до момента открытия ворот. Когда ворота открыты и действует завеса, изменять положение регулирующего аппарата не следует.

Следовательно, если ворота открываются периодически на сравнительно небольшое время, то можно ставить датчик разности давлений. В случаях, когда ворота открыты длительно или совсем не закрываются во время работы цеха, использовать датчик разности давлений нельзя и нужно ставить температурный датчик. Регулирование по разности температур удовлетворительно обеспечивает соответствие объема подаваемого в завесу воздуха изменяющимся условиям работы завесы. Это объясняется тем, что в зимнее время тепловой напор, возникающий из-за разности температур, является основным фактором, создающим разность давлений вне здания и в нем.

Так как температура воздуха внутри здания поддерживается в течение отопительного периода примерно на одинаковом уровне, то регулирование можно вести только по температуре наружного воздуха. Это значительно упрощает устройство автоматики.

На рис. 57 изображена технологическая схема автоматического регулирования расхода воздуха, подаваемого в воздушную завесу с забором его из верхней зоны помещения без дополнительного подогрева.

Для упрощения рассматривается схема с ручным открыванием ворот. В этом случае для пуска завесы у ворот устанавливается конечный выключатель *2*, который через магнитный пускатель *4* включает вентилятор (см. рис. 57). Одновременно с пуском завесы открывается регулирующий аппарат *6*, который до этого был полностью закрыт. Таким образом, пуск вентилятора производится при закрытом клапане. Это дает возможность значительно уменьшить пусковой ток и использовать электродвигатели без дополнительного запаса мощности. Учитывая, что с расчетной максимальной производительностью агрегат воздушной завесы работает кратковременно, можно даже предусматривать установку электродвигателей с некоторой перегрузкой (до 15%) при расчетном режиме. Это даст возможность несколько снизить капитальные затраты, улучшить эксплуатационный косинус φ и к. п. д. электродвигателя.

Датчик *1*, воспринимающий разность давлений или температур внутри помещения и снаружи, определяет степень открытия регулирующего аппарата *6*. Чем больше эта разность, тем больше открывается регулирующий аппарат.

Кроме датчика *1*, может быть дополнительно установлен датчик температуры *3*, располагаемый в помещении около ворот.

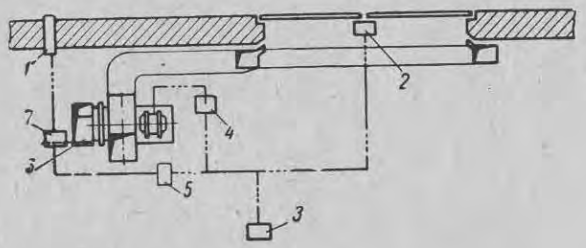


Рис. 57. Технологическая схема автоматического регулирования расхода воздуха, подаваемого в воздушную завесу (завеса без подогрева воздуха):

1 — датчик, воспринимающий разность давлений или разность температур в помещении и снаружи; *2* — конечный выключатель; *3* — датчик температуры; *4* — магнитный пускатель; *5* — электропневматическое реле; *6* — упрощенный направляющий аппарат; *7* — исполнительный механизм; штрих-пунктирные линии — линии связи автоматики

Этот датчик включает воздушную завесу и открывает аппарат *6*, когда ворота закрыты, но температура воздуха упала ниже допустимой. В этом случае завеса будет работать, как отопительный агрегат.

Если исполнительный механизм *7* является пневматическим, то в схему дополнительно включается электропневматическое реле *5*.

При регулировании воздушной завесы по температуре наружного воздуха в качестве датчиков могут быть применены дилатометрический пневматический датчик типа ДТДП, терморегулятор прямого действия, пропорциональный электрический дистанционный терморегулятор типа ТПД [31].

На рис. 58 показан узел регулирования расхода воздуха, подаваемого в завесу с дилатометрическим пневматическим датчиком типа ДТДП.

Термочувствительным элементом датчика *6* служит латунная трубка, внутри которой помещен стержень из стали инвар с малым коэффициентом температурного удлинения. Один конец

стержня скреплен с трубкой; на другом конце стержня укреплен клапан, перекрывающий канал в настроечном шпинделе. При изменении температуры наружного воздуха изменяется длина латунной трубки и перемещается клапан, в большей или меньшей степени открывая проход сжатого воздуха из питательного трубопровода *5* в трубопровод *8*, подведенный к исполнительному механизму *9*. На выходном канале корпуса датчика имеется клапан стравливания с регулируемой степенью открытия. Через клапан сжатый воздух выходит в атмосферу. Благодаря этому давление в трубопроводе *8* к пневмоприводу устанавливается пропорционально степени открытия клапана в датчике.

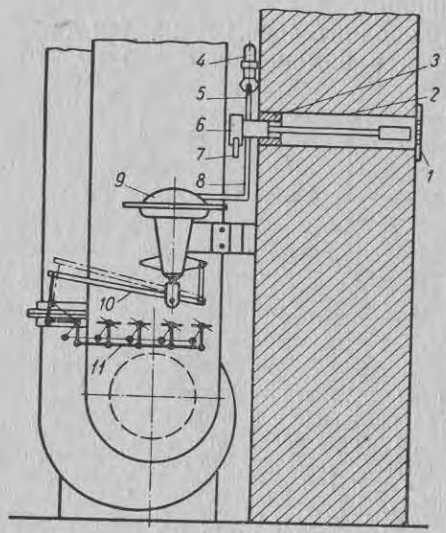


Рис. 58. Установка дилатометрического пневматического датчика типа ДТДП для регулирования объема воздуха, подаваемого в воздушную завесу:

1 — фланец с решеткой; *2* — стальная труба; *3* — теплоизоляционная заглушка; *4* — электропневматическое реле; *5* — трубопровод сжатого воздуха от датчика к исполнительному механизму; *6* — дилатометрический пневматический датчик температур ДТДП; *7* — дроссель для выпуска сжатого воздуха в атмосферу; *8* — трубопровод сжатого воздуха отдатчика к исполнительному механизму; *9* — пневматический привод типа МПП; *10* — рычаг исполнительного механизма; *11* — упрощенный направляющий аппарат

Увеличение диапазона температур, в котором будет перемещаться клапан датчика *6*, может быть достигнуто сокращением длины трубки и стержня или применением для них металлов с более низкими коэффициентами линейного расширения.

В схеме, изображенной на рис. 58, применяется датчик обратного действия ДТДП-0. При температуре наружного воздуха 5 или 10° С (в зависимости от настройки) клапан в датчике полностью закрывает проход воздуха в трубопровод *8* к пневматическому исполнительному механизму *9*. При понижении температуры наружного воздуха вследствие сокращения длины медной трубки клапан открывается и будет открыт при достижении минимальной температуры наружного воздуха. Датчик *6* устанавливается в толще стены в отрезке стальной трубы *2* диаметром 102 *мм* с толщиной стенки 3,75 *мм*. На конце трубы, выходящем наружу, укрепляется фланец *1* с решеткой. Конец трубы, выходящий внутрь помещения, заглушается теплоизоляционной заглушкой *3*.

При закрытых воротах сжатый воздух к дилатометрическому датчику не подводится и исполнительный механизм *9* держит регулирующий аппарат закрытым. Когда открываются ворота, подается ток на электропневматическое реле *4* и открывается доступ сжатого воздуха к датчику температуры *6*. После этого исполнительный механизм начинает открывать регулирующий аппарат и открывает его пропорционально степени открытия клапана в дилатометрическом датчике температур.

В качестве электропневматического реле *4* рекомендуется применять электромагнитный клапан ЭК-6 для переключения пневматических импульсных линий, разработанный Центральным конструкторским бюро арматуростроения и изготовляемый заводом «Знамя труда» в Ленинграде, а в качестве исполнительного механизма — мембранный пневмопривод МПП, изготовляемый заводом «Теплоавтомат» (г. Харьков).

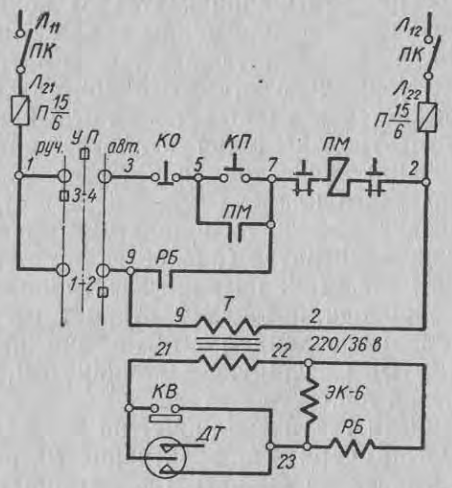


Рис. 59. Элементарная схема автоматического регулирования воздушной завесы без подогрева воздуха

Для рассматриваемых случаев (см. рис. 57 и 58) на рис. 59 изображена электрическая элементная схема автоматического регулирования воздушной завесы. При составлении этой схемы использована схема, разработанная «Сантехпроектом» [32] для автоматического пуска завесы, когда ворота открываются вручную.

Схема состоит из следующих элементов: конечного выключателя КВ; трансформатора Т типа ОСО-0,25; пакетного выключателя типа ПК-2-10; блокировочного реле РБ типа ЭП-41/21Б; универсального переключателя типа УП 5111/с-23; магнитного пускателя мотора ПМ; кнопок пуска КП и останова КО типа КУ-121/2; предохранителей П типа ПР-1, на 250 *в*, 15 *а*, с плавкой вставки на 6 *а*. Кроме этого, в схему входят уже описанные выше пневмопривод типа МПП, дилатометрический пневматический датчик температуры ДТДП и электропневматический клапан ЭК-6. Для включения завесы при понижении температуры

в цехе около ворот, когда они закрыты, применяются биметаллическое реле ДТ типа ДТК-3 или ДТК-4 или контактные термометры ТК-8 с магнитной перестановкой контакта с пределами температур 0—30° С.

Когда ворота раскрываются, то замыкаются контакты конечного выключателя КВ, которые находятся в разомкнутом состоянии, когда ворота закрыты.

При замыкании контактов конечного выключателя КВ срабатывает блокировочное реле РБ и подается ток в цепь катушки электромагнита электропневматического клапана ЭК-6.

Нормально открытый контакт блокировочного реле РБ замыкается и включает магнитный пускатель ПМ. Подается ток в электродвигатель вентилятора воздушной завесы.

При пуске тока в катушку электромагнита электропневматического клапана ЭК-6 в нем открывается клапан и сжатый воздух поступает к дилатометрическому пневматическому датчику температур (рис. 58).

Вследствие инерции электропневматического клапана и пневмопривода последний откроет регулирующий аппарат с некоторым опозданием. Этим обеспечивается пуск вентилятора с закрытым регулирующим аппаратом, что значительно снижает пусковой ток.

Для увеличения времени запаздывания открытия направляющего аппарата за электропневматическим клапаном может быть установлена емкость (небольшой воздушной бачок). Чем больше объем бачка, тем больше будет время запаздывания открытия регулирующего аппарата.

Для возможности ручного управления пуска и останова электродвигателя вентилятора завесы установлены кнопки КП и КО.

Переключение управления с автоматического на ручное производится переключателем УП.

На рис. 60 представлена схема регулирования расхода воздуха, подаваемого в воздушную завесу с помощью пропорционального электрического дистанционного терморегулятора ТПД, изготовляемого заводом «Теплоконтроль» (г. Львов). Парожидкостный патрон терморегулятора *1* укрепляется у наружной поверхности стены и измеряет температуру наружного воздуха.

Через балансирное реле *2* типа БР-3м (завод «Теплоконтроль», г. Львов) терморегулятор воздействует на исполнительный механизм *3* пропорционального действия типа ПР-1, который поворачивает лопатки регулирующего аппарата. При использовании терморегулятора ТПД в данной схеме необходимо его переделать, увеличив диапазон измеряемых им температур от —30 до +10° С.

Для того чтобы пуск вентилятора происходил при закрытом направляющем аппарате, в схему вводится дополнительное сопротивление R_3. При закрытых воротах это сопротивление включено. Сопротивление R_3 рассчитывается таким образом, чтобы при любом положении ползунка на потенциометре R_1 сила тока в катушке $Д_2$ балансирного реле *2* была меньше силы тока в катушке $Д_1$. При этом будет включен левый контакт *c* и электродвигатель исполнительного механизма будет находиться в крайнем положении, при котором регулирующий аппарат у вентилятора будет закрыт.

Когда открываются ворота, замыкается до этого открытый контакт конечного выключателя КВ. При этом пойдет ток через

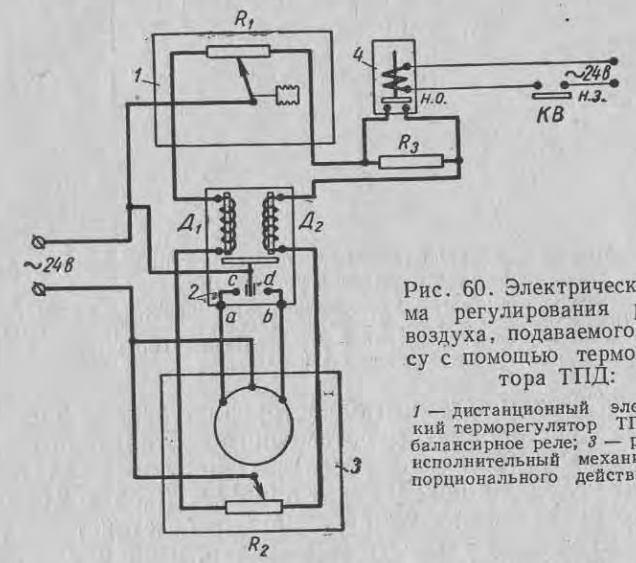


Рис. 60. Электрическая схема регулирования расхода воздуха, подаваемого в завесу с помощью терморегулятора ТПД:

1 — дистанционный электрический терморегулятор ТПД; *2* — балансирное реле; *3* — реле; *4* — исполнительный механизм пропорционального действия ПР-1

реле *4* и накоротко замкнется сопротивление R_3. Это приведет к включению контакта *d*, и электродвигатель исполнительного механизма начнет открывать регулирующий аппарат. Электродвигатель при своем вращении перемещает ползунок на потенциометре R_2. Электродвигатель будет действовать до тех пор, пока не уравняется сила тока в катушках $Д_1$ и $Д_2$ балансирного реле. При этом регулирующий аппарат будет установлен в положение, соответствующее температуре наружного воздуха в данный момент.

На рис. 60 показана только та часть схемы, которая дополнительно вводится в схему, изображенную на рис. 59, взамен электропневматического клапана ЭК-6, изображенного на этой схеме.

Для регулирования количества воздуха, подаваемого в завесу, могут быть использованы терморегуляторы прямого действия, воздействующие непосредственно на регулирующий клапан.

Установка двух вентиляторов на каждый стояк дает дополнительные возможности регулирования путем последовательного включения вентиляторов. При температурах наружного воздуха $= +5 \div +10°$ С, когда обычно начинают работать воздушные завесы, следует включать не оба вентилятора сразу, а сначала

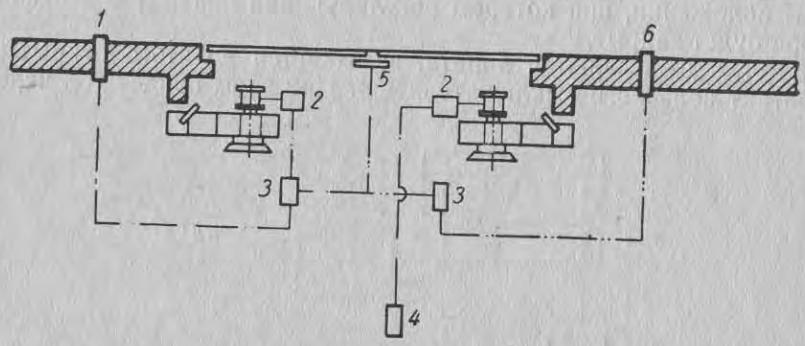


Рис. 61. Схема автоматического регулирования воздушных завес с двумя вентиляционными агрегатами:

1 — датчик температур, установленный на температуру $+5 \div +10°$; *2* — магнитный пускатель электродвигателя; *3* — реле; *4* — датчик температуры, устанавливаемый в помещении; *5* — конечный выключатель; *6* — датчик температур, установленный на температуру — $6{,}5 \div -16°$

только один. С учетом того, что односторонние завесы более эффективны, чем двусторонние, работа одного вентилятора на расчетную его производительность обеспечит требуемые санитарно-гигиенические условия в цехе у ворот при $\Delta t = (0{,}55 \div 0{,}6)\,\Delta t_{расч}$.

Только когда разность температур $t_{вн} - t_н$ станет больше чем 55—60% расчетной разности температур, необходимо будет включить второй вентилятор и подавать воздух в оба стояка.

На рис. 61 показана схема автоматического регулирования воздушных завес с двумя вентиляторами. Температурный датчик *1* включает первый вентиляционный агрегат воздушной завесы при температуре наружного воздуха $t_н = (+5) \div (+10°\,\text{С})$. Датчик температур *6* включает вторую установку воздушной завесы при более низкой температуре наружного воздуха. Если считать (это зависит от $\bar{F}_щ$ и q), что второй вентиляционный агрегат надо включать при $\Delta t = 0{,}57\,\Delta t_{расч}$, то в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха датчик температур *6* должен быть настроен на следующие температуры: при $t_{н\,расч} = -25°\text{С}$ на температуру $t_{д_2} = -6{,}5°\text{С}$; при $\Delta t_{н\,расч} = -30°\text{С}$ на $t_{д_2} = -9{,}4°$, при $t_{расч} = -35°\text{С}$ на $t_{д_2} = -12°\text{С}$ и при $t_{н\,расч} = -40°\text{С}$ на $t_{д_2} = -16°\text{С}$.

Период времени, в течение которого температура в пределах от $t_{д_1}$ до $t_{д_2}$, составляет довольно значительную часть отопительного сезона. Так, например, для Ленинграда при расчетной

температуре для отопления $t_{н\,расч} = -24°$ период температур от $+8°$ (средняя температура начала отопительного периода) до $-6{,}5°$ С составляет около 40% от всего отопительного периода для этого города.

С помощью простейших автоматических устройств можно значительно сократить расходы на эксплуатацию воздушных завес. Благодаря тому, что конечный выключатель *5* соединен с реле *3* (см. рис. 61), в зависимости от температуры наружного воздуха включается один или два вентиляционных агрегата только при открытых воротах. Дополнительный датчик температур *4* включает один из агрегатов воздушной завесы при температуре в районе ворот ниже установленной ($t_{см}$) при открытии дополнительных вытяжных отверстий, действии ветра и т. п.

Импульс от реле *4* передается непосредственно на магнитный пускатель электродвигателей вентиляционных агрегатов воздушной завесы. При завесах с подогревом воздуха необходимо автоматическое отключение подачи теплоносителя в неработающий агрегат только при теплоносителе — воде. При теплоносителе — паре благодаря действию конденсационного горшка подача теплоносителя будет прекращаться автоматически, если нет теплопотребления (агрегат завесы не работает). Схему автоматики, изображенную на рис. 61, можно упростить, оставив только один датчик температур *4*, и снять датчик температур *1* и *6* и конечный выключатель *5*. В данном случае датчик температур *4* при падении температуры воздуха в районе ворот ниже установленной $t_{см}$ будет последовательно включать первый вентиляционный агрегат, а при дальнейшем понижении температуры — второй. Включение второго агрегата будет примерно соответствовать температуре наружного воздуха $t_{д_2}$.

ГЛАВА VI

ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС

§ 20. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС

На основе разработанного метода расчета воздушных завес можно составить научно обоснованную методику их испытания [1].

Инструментальные испытания проводятся для определения степени герметичности здания, суммарной площади щели и отверстий в приточных окнах и суммарной площади щелей и отверстий в вытяжных окнах, а также для определения эффективности действия воздушной завесы.

Определение степени герметичности здания проводится при испытании воздушных завес для определения соответствия условий во время испытаний, предусмотренным в проекте, и в существующих зданиях перед проектированием воздушных завес для получения исходных данных для проектирования.

Испытания на герметичность здания не проводятся, если в здании нет фонарей или верхнего света и верхняя половина ворот «работает на вытяжку». Направление движения воздуха в воротах проверяется с помощью шелковых нитей, прикрепленных к шесту.

До проведения испытаний необходимо проверить исправность створок в приточных и вытяжных окнах, исправить или заменить плохо закрывающиеся створки, закрыть все проемы и двери в наружных ограждениях, оставив открытыми только те, которые должны быть открыты по технологическому режиму, а также оставив открытыми аэрационные отверстия с площадью, необходимой при данной температуре наружного воздуха.

Испытание рекомендуется проводить при сбалансированных объемах механического притока и вытяжки. Это достигается временным выключением или шибированием отдельных установок общеобменной вентиляции или проведением испытаний в нерабочее время при выключенной механической вентиляции. При наличии дисбаланса между притоком и вытяжкой механической вентиляции он должен быть замерен и учтен при определении площадей щелей. При данном испытании воздушная завеса не работает. Для упрощения методики испытаний рекомендуется проводить их при скоростях ветра, меньше указанных в табл. 18, так как при этом можно пренебречь воздействием ветра.

[1] В составлении методики испытания воздушных завес и в обработке данных производственных испытаний принимали участие инженеры Г. А. Кацнельсон [33] и П. Б. Орентлихер [34].

Таблица 18

Высота от середины ворот до середины вытяжных отверстий в *м*	Скорость ветра в *м/сек* при $t_{вн} - t_н$				
	15° С	20° С	30° С	40° С	50° С
6	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0
8	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2
10	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3
15	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
20	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9
25	1,2	1,3	1,6	1,9	2,1

Скорость и направление ветра следует определять во время испытаний на расстоянии 3—5 *м* от ворот.

Рекомендуется вблизи ворот снаружи в поле видимости установить пластинчатый анемометр и прерывать испытания, когда из-за большего ветра пластинка поднимается выше определенного уровня, соответствующего предельной скорости, указанной в табл. 18.

Испытания начинаются с проверки (с помощью шеста с прикрепленными к нему шелковыми нитями) направления движения воздуха по всей высоте ворот. Если ворота по всей высоте «работают на приток», приступают к проведению замеров. Если более чем на 0,4 высоты ворот наблюдается в верхней их части выход воздуха из помещения наружу, испытания на герметичность не проводятся.

В случае, если «на вытяжку» работает менее 0,4 высоты ворот и воздушная завеса устроена (или предполагается запроектировать ее) с забором воздуха из помещения, для возможности проведения испытаний временно (только на период данных испытаний) в фонаре или «в верхнем свете» открываются окна.

Площадь дополнительно открываемых окон должна быть достаточной, чтобы обеспечить работу ворот по всей высоте «на приток». Площадь дополнительных створок $F_{выт.\ доп}$ должна быть измерена и зафиксирована в протоколе испытаний. Рекомендуется угол открытия дополнительно открываемых створок брать 90°, при этом величина коэффициента расхода $\mu = 0{,}64$.

Если нельзя открыть дополнительные створки полностью, то угол открытия должен быть измерен и зафиксирован. Коэффициент расхода определяется в соответствии с углом по данным М. Ф. Бромлея [14].

Испытания заключаются в измерении разрежения в цехе внизу (у пола) и давления вверху (в фонарях).

Для определения действующего теплового напора необходимо замерить температуру по высоте цеха и температуру наружного воздуха. Разрежение у пола помещения — большей частью

величина малая от 0,05 *кг/м²* и обычными микроманометрами ее замерить трудно. Наиболее точно замерить ее можно с помощью прибора, изображенного на рис. 62. Благодаря коллектору и диффузору в цилиндрическом патрубке создается значительная скорость движения воздуха. Эта скорость измеряется анемометром, установленным в цилиндрическом патрубке. Прибор тарируется на специальной установке, в которой разность давлений регистрируется с помощью лабораторного микроманометра типа *М* (с делением по 0,02 *кг/м²*).

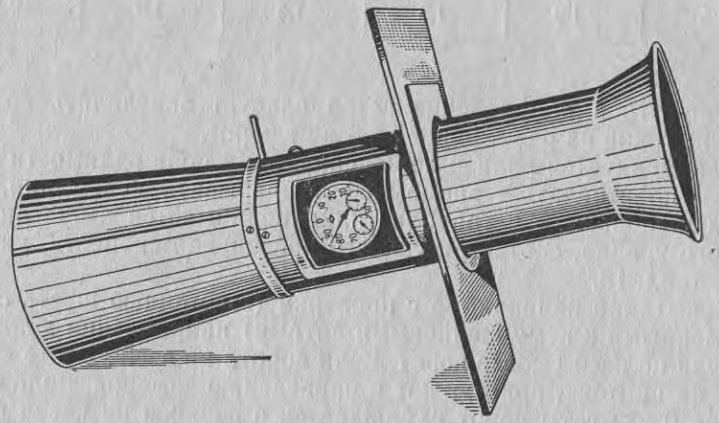


Рис. 62. Прибор для измерения малых перепадов давлений в производственных зданиях

Для измерения разрежения в цехе прибор устанавливают в проеме окна или в каком-либо другом проеме так, чтобы коллектор прибора был снаружи, а другой конец прибора был внутри помещения. Измерение разрежения проводят 2 раза: при полностью открытых воротах и при закрытых воротах.

Если испытание производится при наличии баланса между притоком и вытяжкой механической вентиляции, то площадь отверстия, умноженная на коэффициент расхода в вытяжных и приточных окнах, определяется по формулам [1]

$$(\mu F)_{выт} = \frac{F_в \mu_0}{\left(\sqrt{\frac{h\Delta\gamma}{P_{x_1}} - 1} - \sqrt{\frac{h\Delta\gamma}{P_{x_2}} - 1}\right)\sqrt{\frac{\gamma_{ух}}{\gamma_н}}}; \qquad (114)$$

$$(\mu F)_{прит} = (\mu F)_{выт}\sqrt{\left(\frac{h\Delta\gamma}{P_{x_2}} - 1\right)\frac{\gamma_{ух}}{\gamma_н}}, \qquad (115)$$

[1] Формулы (114), (115) и последующие в этом параграфе легко выводятся из уравнения воздушного баланса здания; вывод их приведен в первом издании книги.

где $(\mu F)_{выт}$ — произведение суммарной площади щелей в притворах створок фонаря или верхнего света на коэффициент расхода в $м^2$;

$(\mu F)_{прит}$ — произведение суммарной площади щелей в притворах окон, расположенных в нижней части здания, на коэффициент расхода в $м^2$;

μ_0 — коэффициент расхода через ворота или бездействии завесы; $\mu_0 = 0{,}64 \div 0{,}8$ (см. рис. 4);

$F_в$ — площадь полностью открытых ворот в $м^2$;

h — расстояние по высоте от места установки прибора для измерения разрежения до середины створок в фонаре;

$\Delta\gamma = \gamma_н - \gamma_{вн}$ — разность объемных весов воздуха при наружной температуре и средней температуре внутри помещения в $кг/м^3$;

P_{x_1} — разрежение в цехе на уровне замера скоростей при полностью открытых воротах в $кг/м^2$;

P_{x_2} — разрежение в цехе при закрытых воротах в $кг/м^2$.

Если обозначить через $M_1 = \sqrt{\left(\frac{h\Delta\gamma}{P_{x_1}} - 1\right)\frac{\gamma_{ух}}{\gamma_н}}$ и через $M_2 = \sqrt{\left(\frac{h\Delta\gamma}{P_{x_2}} - 1\right)\frac{\gamma_{ух}}{\gamma_н}}$, то формулы (114) и (115) запишутся в следующем виде:

$$(\mu F)_{выт} = \frac{\mu_0 F_в}{M_1 - M_2}; \qquad (114')$$

$$(\mu F)_{прит} = (\mu F)_{выт} M_2. \qquad (115')$$

Величина M может быть легко определена с помощью графика рис. 63 по данным P_x и $h\Delta\gamma$. Для упрощения расчетов принято постоянное значение $\sqrt{\frac{\gamma_{ух}}{\gamma_н}} = 0{,}94$, что соответствует среднему значению этой величины, колеблющейся в пределах 0,92—0,96. Таким образом, с помощью графика можно определить значения M с точностью $\pm 2\%$. График дает возможность производить все расчеты на месте испытаний. Он дает возможность отбросить случайные результаты, которые возможны из-за действия ветра или других каких-либо причин, меняющих воздушный баланс помещения (открывание других ворот, дверей или окон, включение дополнительно механической вентиляции и т. п.).

Если испытания на герметичность здания проводятся при несоответствии между вытяжкой и притоком механической вентиляции, то площади отверстий определяются по формулам

$$(\mu F)_{выт} = \frac{\mu_0 F_в - \frac{\Delta G}{\sqrt{2gP_{x_1}P_{x_2}\gamma_н}}\left(\sqrt{P_{x_2}} - \sqrt{P_{x_1}}\right)}{M_1 - M_2}; \qquad (116)$$

$$(\mu F)_{выт} = \frac{\Delta G}{\sqrt{2gP_{x_2}\gamma_н}} + (\mu F)_{выт} M_2, \qquad (117)$$

где ΔG — превышение производительности вытяжных установок механической вентиляции над производительностью приточных установок в *кг/сек*.

Формулы (114) и (117) можно использовать в случае, если приточные окна расположены на высоте, близкой к половине высоты ворот, а вытяжные отверстия — примерно на одной высоте. Отверстия, расположенные вблизи нейтральной зоны, не учитываются и в сумму отверстий, определяемую по формулам (114) и (117), не входят.

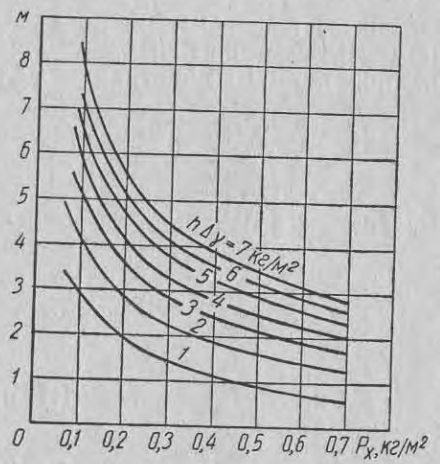


Рис. 63. График для определения величины M

Для накопления данных о размерах щелей в притворах створок фонарей и окон, необходимых для проектирования нового строительства, рекомендуется определять средний размер щели путем деления полученной площади щелей на длину притворов.

Для определения площади щелей из полученных значений $(\mu)F_{выт}$ и $(\mu)F_{прит}$ должны быть вычтены площади всех открытых в момент испытаний створок для аэрации, а также проемы, необходимые для прохода оборудования.

В случае превышения замеренных площадей щелей по сравнению с данными табл. 4 или с соответствующими площадями, предусмотренными в проекте, надлежит принять меры к уменьшению этих площадей. В таких случаях рекомендуется произвести ремонт створок и после ремонта испытание на герметичность произвести заново.

Перед испытанием воздушных завес следует произвести измерение проема ворот, толщины наружных стен, в которых устроены ворота, и измерения воздуховыпускных патрубков наружной завесы (ширина и площадь щели завесы, угол наклона воздуховыпускных патрубков к плоскости ворот); составить эскиз ворот и воздуховыпускных патрубков завесы; дать краткое описание установки воздушной завесы, характеристику вентиляционного оборудования и указать, откуда производится забор воздуха для завесы (из верхней зоны помещения, снаружи, над воротами).

Измерить максимальную производительность и полное давление, развиваемое вентилятором при наибольшем открытии шибера, при котором, однако, не наблюдается перегрева электродвигателя. Сопоставить полученные данные с проектными.

При испытании воздушных завес с подогревом воздуха в калориферах должны быть определены температура воздуха, подаваемого в завесу, и теплопроизводительность калорифера и сопоставлены с проектными.

Если испытания проводятся не при расчетной температуре воздуха $t_{н\,min}$, а при другой, более высокой температуре наружного воздуха $t_н$, то количество воздуха, подаваемого в завесу, во время испытания должно быть уменьшено и составит

$$G_з = G_{з\,расч}\sqrt{\frac{\Delta\gamma}{\Delta\gamma_{расч}}}, \qquad (118)$$

где $G_{з\,расч}$ — расчетное количество воздуха, подаваемого в завесу при $t_{н\,min}$, в *кг/ч*;

$\Delta\gamma_{расч}$ — расчетная разность объемных весов наружного воздуха с температурой $t_{н\,min}$ и внутреннего воздуха;

$\Delta\gamma$ — разность объемных весов воздуха, имевшая место во время испытания.

После того как производительность вентилятора отрегулирована на расход воздуха $G_з$, надо произвести визуальные наблюдения за движением воздушной струи завесы с помощью шелковых нитей, прикрепленных к шесту, или с помощью дымков. При этом следует установить угол направления струи воздушной завесы к плоскости ворот, проследить и зарисовать траекторию струи воздушной завесы, проверить, не настилается ли струя завесы на плоскость земли при нижних завесах или на плоскость стен проема ворот при боковых завесах.

Когда визуальными наблюдениями устанавливается явно неудовлетворительная работа воздушной завесы, то дальнейшие испытания до проведения наладочных работ (см. § 21) или полной реконструкции установки воздушной завесы не производятся.

Завеса работает неудовлетворительно:

а) если струя завесы настилается на плоскость земли при нижних завесах или на плоскость проема в стене при боковых завесах и, вытекая под углом, близким к 90°, к плоскости ворот, уходит наружу;

б) если струя завесы под действием потока наружного воздуха, врывающегося в цех, отбрасывается в помещение, не перекрывая значительной части проема ворот.

При удовлетворительной работе завесы (по визуальной оценке) проводится гигиеническая оценка ее работы. Для этого производится измерение температуры воздуха в рабочей зоне на высоте 0,5 и 1,5 *м* вдали от ворот и на расстоянии 1, 2, 3, 4, 5, 8, 12, 15 *м* по оси ворот.

Полученные данные сравниваются с допустимыми отклонениями температуры воздуха около ворот от средней температуры воздуха в рабочей зоне цеха, указанными в § 5.

Для получения полной характеристики работы воздушной завесы, необходимой для сравнения с проектом, а также для разработки инструкции по эксплуатации завесы и дальнейшего улучшения ее работы необходимо измерить количество воздуха, проходящего через ворота, $G_{пр}$, количество наружного воздуха, входящего в цех, $G_н$, а также температуру входящей в ворота смеси воздуха завесы и наружного.

Измерение расхода воздуха с помощью анемометров известно и не требует дополнительных пояснений. Однако этот процесс очень длительный и трудоемкий. Гораздо быстрее и с большей точностью количество воздуха, проходящего через ворота, может быть определено измерением разрежения в цехе у пола. Разрежение при этих испытаниях измеряется в трех случаях:

а) при полностью открытых воротах и бездействии завесы P_{x_1} *кг/м²*;

б) при полностью закрытых воротах P_{x_2} *кг/м²*;

в) при открытых воротах и работающей завесе $P_{x_з}$ *кг/м²*.

Для условий, когда воздух завесы забирается из помещения, а вытяжка и проток механической вентиляции равны друг другу, количество проходящего через ворота воздуха определяется по формуле

$$G_{пр} = F_в \mu_0 \frac{M_з - M_2}{M_1 - M_2} \sqrt{2gP_{x_з}\gamma_н} + G_з. \qquad (119)$$

В этой формуле

$$M_з = \sqrt{\left(\frac{h\Delta\gamma}{P_{x_з}} - 1\right)\frac{\gamma_{ух}}{\gamma_н}}.$$

Количество наружного воздуха, поступающего в помещение, в этом случае будет равно:

$$G_н = G_{пр} - G_з = F_в \mu_0 \frac{M_з - M_2}{M_1 - M_2} \sqrt{2gP_{x_з}\gamma_н}. \qquad (120)$$

Из формулы (120) видно, что когда $M_з > M_2$ (что будет иметь место при $P_{x_з} < P_{x_2}$, т. е. при действии завесы разрежение в помещении будет меньше, чем при закрытых воротах), наружный

воздух будет поступать в цех. При $M_з = M_2$ ($P_{x_2} = P_{x_2}$) наружный воздух не будет поступать в цех; при $M_з < M_2$ (когда $P_{x_з} > P_{x_2}$, т. е. разрежение в цехе при действии завесы больше, чем при закрытых воротах) завесой будет выбрасываться воздух из помещения наружу.

При несоответствии между притоком и вытяжкой механической вентиляции количество воздуха, проходящего через ворота, равно:

$$G_{пр} = \left[F_в \mu_0 \sqrt{2gP_{x_з}\gamma_н} - \Delta G\left(\sqrt{\frac{P_{x_з}}{P_{x_1}}} - \sqrt{\frac{P_{x_з}}{P_{x_2}}}\right)\right]\frac{M_з - M_2}{M_1 - M_2} + \\ + \Delta G\left(1 - \sqrt{\frac{P_{x_з}}{P_{x_2}}}\right) + G_з. \qquad (121)$$

При заборе воздуха для завесы снаружи из правой части формул (119)—(121) нужно вычесть G. По этому методу можно измерять количество воздуха, проходящего через ворота, и количество входящего наружного воздуха, и в случае, когда в воротах находится транспорт.

Если с достаточной точностью в ряде точек температура смеси воздуха, проходящего через ворота, измерена и найдено среднее ее значение, то количество воздуха, проходящего через ворота, может быть определено по формуле

$$G_{пр} = G_з \frac{t_з - t_н}{(t_{см} - t_н) : \left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right)}. \qquad (122)$$

или

$$q = \frac{(t_{см} - t_н) : \left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right)}{t_з - t_н}.$$

Формула (122) получается из (39). Величина потерь тепла $\frac{Q'}{Q_з}$, как указывалось, зависит от q. Поэтому, зная $t_з - t_н$ и $t_{см} - t_н$ для данной $\bar{F}_щ$ по графикам рис. 29, находим величину q и далее по рис. 28 определяем $\frac{Q'}{Q_з}$.

Так как графики зависимости $t_з - t_н$ от $t_{см} - t_н$ построены только для некоторых $\bar{F}_щ$ и при отсутствии перед завесой тамбура, то для всех остальных случаев, пользуясь этими графиками, надо сначала найти первое ориентировочное значение q, которое путем последовательного приближения может быть уточнено до необходимой степени (см. пример 2 этого параграфа).

При отсутствии дисбаланса расхода воздуха механической вентиляции и ветра разрежение у пола (P_x) не может быть ни

при каких условиях больше действующего теплового напора. Во всех случаях, когда получается $P_x > h\Delta\gamma$, то такие замеры должны быть отброшены сразу, так как они производились без учета изложенных выше условий.

Пример 1. Определить площадь щелей в фонаре и окнах, расположенных в рабочей зоне, в здании механического цеха. Здание имеет фонарь с одинарным остеклением в металлических рамах. Длина притворов в фонаре 1000 *м*. В окнах двойное остекление в деревянных рамах, длина притворов 1100 *м*. Ворота имеют ширину 4,0 *м* и высоту 3,0 *м*. Расстояние от середины ворот до середины створок в фонаре 15 *м*.

В цехе нет выделений тепла. Объем притока механической вентиляции соответствует объему вытяжки. Перед воротами имеется тамбур, первый проем которого постоянно открыт (ворот в этом проеме нет). Кромки стен у ворот скруглены ($\mu_0 = 0{,}8$). Ворота защищены от воздействия ветра соседними зданиями.

Решение.

1. В проеме окна, расположенного недалеко от ворот на высоте 1 *м* от пола, устанавливается прибор для измерения малых перепадов давлений.

Расстояние по высоте от места установки прибора до середины створок в фонаре 15,5 *м*.

2. Для проведения измерения осматриваются наружные ограждения и закрываются все отверстия, оказавшиеся случайно открытыми.

3. Проверяется, входит ли воздух в помещение по всей высоте ворот.

4. Производятся измерения разрежения с помощью прибора в цеху у пола (на высоте 1 *м*): а) при полностью открытых воротах и бездействующей завесе и б) при закрытых воротах. Одновременно измеряются скорость и направление ветра. Результаты измерений приведены в табл. 19.

Таблица 19

№ замеров	Положение ворот	Разрежение в цехе на высоте 1 *м*	Скорость ветра в *м/сек*	Направление ветра по отношению к плоскости ворот в *град*
1	Ворота открыты. Площадь ворот 4,0×3,0= = 12 *м²*	0,34	0,4	30
2		0,27	1,0	45
3		0,16	1,2	60
4		0,26	0,5	30
5	Ворота закрыты	1,40	0,5	45
6		1,34	0,6	30
7		1,21	0,7	45

5. Измеряется температура воздуха в помещении по двум вертикалям (результаты измерения см. табл. 20) и температура

наружного воздуха во время испытания $t_н = -5°$ С ($\gamma_н = 1{,}317$ *кг/м³*).

В расчет принимается средняя температура всех замеренных точек: $t_{вн} = 19{,}7°$ С ($\gamma_{вн} = 1{,}205$ *кг/м²*) и температура уходящего воздуха $t_{ух} = 21{,}5°$ С; $\gamma_{ух} = 1{,}200$ *кг/м³*.

Перепад температур $t_{вн} - t_н = 19{,}7 + 5 = 24{,}7°$ С;

$$\Delta\gamma = \gamma_н - \gamma_{вн} = 1{,}317 - 1{,}205 = 0{,}112 \text{ кг/м}^3.$$

6. Согласно данным (табл. 19) при $h = 15$ *м* и $t_{вн} - t_н = 24{,}7°$ С ветер можно не учитывать, если его скорость меньше 1,1 *м/сек*. Поэтому измерение 3 (табл. 19) из дальнейших расчетов исключаем.

Таблица 20

Высота точки замера от пола в *м*	Температура воздуха в помещении в °С	
	I вертикаль	II вертикаль
0,5	15	17
1,5	17,5	18
4	21	21,5
8	21,5	21,5
17	22	22

7. Среднее значение разрежения P_x в цехе на высоте 1 *м* будет:

а) при полностью открытых воротах

$$P_{x_1} = \frac{0{,}34 + 0{,}27 + 0{,}26}{3} = 0{,}29 \text{ кг/м}^2;$$

б) при закрытых воротах

$$P_{x_2} = \frac{1{,}40 + 1{,}34 + 1{,}31}{3} = 1{,}35 \text{ кг/м}^2.$$

8. По графику (рис. 63) определяем значение величины M при $h\Delta\gamma = 15{,}5 \cdot 0{,}112 = 1{,}736$ *кг/м²*.

Величина M равна:

а) при открытых воротах ($P_{x_1} = 0{,}29$ *кг/м²*) $M_1 = 2{,}17$;

б) при закрытых воротах ($P_{x_1} = 1{,}35$ *кг/м²*) $M_2 = 0{,}52$.

9. Определяем суммарную площадь щелей в притворах створок фонарей по формуле (114), учитывая, что объем вытяжки и притока механической вентиляции одинаков ($\mu_0 = 0{,}8$):

$$(\mu F)_{выт} = \frac{\mu_0 F_в}{M_1 - M_2} = \frac{0{,}8 \cdot 19}{2{,}17 - 0{,}52} = 5{,}82 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь щелей в притворах приточных окон определяется по формуле

$$(\mu F_{прит}) = (\mu F)_{выт} M_2 = 5{,}82 \cdot 0{,}52 = 3{,}03 \text{ м}^2.$$

Таким образом, на 1 *пог. м* притвора створок фонаря приходится $\frac{5{,}82}{1000} = 0{,}00582$ *м²/пог · м* площади щели, что в 1,46 раза больше, чем указано в табл. 4 для одинарных фонарей в металлической раме; в притворах окон — $\frac{3{,}03}{1100} = 0{,}00276$ *м²/пог · м*,

что в 1,38 раза больше площади щелей, приведенной в той же таблице для двойного остекления в деревянных рамах.

Таким образом, можно считать, что состояние рам в цехе удовлетворительное, так как для существующих зданий допускается превышение указанных в таблице 4 цифр в 1,5 раза.

Однако следует отметить, что не всегда результаты испытаний свидетельствуют о хорошей подготовке зданий к зиме.

Так, например, уже из первых замеров, произведенных в медно-прокатном цехе одного из заводов, было видно, что площадь вытяжных отверстий составляет 25—30 $м^2$.

В зимнее время в цехе небольшие избытки тепла, и для их удаления вполне достаточно имеющихся над источниками тепла шахт с общей площадью 2 $м^2$. Поэтому зимой створки в фонарях должны быть закрыты. Однако вследствие неисправности механизма, открывающего и закрывающего створки, они не были полностью закрыты. Оставалась щель около 8 *см* шириной (по всей длине фонаря около 360 *м*). Снизу, с пола цеха, эту щель не было видно и она была обнаружена только после испытания. Закрытие фонаря и ликвидация щели (в створках) привели к значительному повышению эффективности существующих воздушных завес и улучшению метеорологических условий в рабочей зоне цеха.

Испытания воздушной завесы в одном крупном универмаге также показали, что в здании имеется большая площадь вытяжных отверстий. Обследование стеклянного купола, перекрывающего значительную часть площади здания, показало, что стекла целы и хорошо промазаны. Обнаруженные щели в притворах открывающихся рам едва составляли 10% от определенной при испытании площади вытяжных отверстий. Оказалось, что вытяжными отверстиями являются шахты вытяжной вентиляции, действующей только в летнее время для удаления избытков тепла. В шахтах проектом не были предусмотрены клапаны, а так как в них были установлены осевые вентиляторы, то шахты представляли очень малое сопротивление проходу воздуха. Закрытие вытяжных шахт резко повысило температуру около входов в здание, и существующей производительности и тепломощности завес оказалось вполне достаточно. До проведения испытаний и закрытия шахт предполагалось увеличить производительность и тепломощность завес более чем в 2 раза.

Пример 2. Произвести испытание эффективности действующей воздушной завесы в здании, рассмотренном в примере 1.

Боковая двусторонняя завеса установлена у внутренних ворот тамбура. Угол между направлением воздуховыпускного патрубка и плоскостью ворот 45°. Ширина щели 0,075 *м*. Воздух для завесы забирается у пола цеха и подогревается в калорифере. Завеса рассчитана на минимальную температуру наружного воздуха $t_н = -26°$ ($\gamma = 1{,}429$ *кг/м³*). Температура в рабочей

зоне помещения $t_{р.з} = 18°$. Установлен вентилятор Ц4-70 № 10, число оборотов $n = 600$ в минуту, расчетная производительность $L_з = 16\,000$ *м³/ч*, напор $H = 60$ *кг/м²*. Проектом определено, что через ворота при $t_н = -26°$ будет проходить $G_{пр} = 35\,000$ *кг/ч* воздуха.

Р е ш е н и е.

1. Испытание завесы проводилось сразу же после измерений, указанных в примере 1, поэтому данные о температурах воздуха по высоте помещения, температуре наружного воздуха и о разрешении в цехе при полностью открытых и закрытых воротах принимаются такие же, как и в примере 1.

2. Производится измерение производительности вентилятора при полностью открытом шибере. Согласно измерениям расход воздуха $L = 16\,200$ *м³/ч*, полный напор $H = 60$ *кг/м²*, что хорошо совпадает с проектными данными.

3. Измеряется температура воздуха, подаваемого в завесу, $t_з = 33°$ ($\gamma = 1{,}157$ *кг/м³*).

4. В связи с тем, что испытание воздушной завесы производится не при минимальной наружной температуре, а при более высокой ($t_н = -5°$), уменьшаем количество воздуха, подаваемого в завесу [см. формулу (118)]:

$$G_з = G_{з.\,расч}\sqrt{\frac{\Delta\gamma}{\Delta\gamma_{расч}}} = 16\,200 \cdot 1{,}157\sqrt{\frac{1{,}317 - 1{,}205}{1{,}429 - 1{,}205}} = 13\,260 \text{ кг/ч}$$

или

$$L_з = 11\,500 \text{ м³/ч}.$$

5. С помощью шибера устанавливается производительность вентилятора $L_з = 11\,500$ *м³/ч*.

6. После этого визуально (с помощью шелковинок) определялась траектория струй воздушной завесы и было установлено, что струи завесы не выбрасываются наружу, а, изогнувшись, уходят в ворота.

7. Измерялось с помощью прибора разрежение в цехе на уровне 1 *м* при открытых воротах и действующей завесе. Результаты измерений см. табл. 21.

Таблица 21

№ замеров	Разрежение в цехе на высоте 1 *м*	Скорость ветра в *м/сек*	Направление ветра по отношению к плоскости ворот в *град*
1	1,25	0,4	30
2	1,22	0,9	45
3	1,22	0,7	30
4	1,23	0,5	30

Среднее значение разрежения в цехе при действии завесы

$$P_{x_з} = \frac{1{,}25 + 1{,}22 + 1{,}23 + 1{,}24}{4} = 1{,}235 \text{ кг/м²}.$$

Для этого значения $P_{x_з}$ и $h\Delta\gamma = 1{,}73$ *кг/м²* расчетом или по графику (рис. 63) находим величину $M_з = 0{,}62$.

8. По формуле (119) определяется количество воздуха, проходящего через ворота:

$$G_{пр} = 3600\mu_0 F_в \frac{M_з - M_2}{M_1 - M_2}\sqrt{2gP_{x_з}\gamma_н} + G_в =$$

$$= 3600 \cdot 0{,}8 \cdot 12\frac{0{,}62 - 0{,}52}{2{,}17 - 0{,}52}\sqrt{19{,}62 \cdot 1{,}23 \cdot 1{,}313} + 13\,260 = 25\,100 \text{ кг/ч}.$$

9. Для контроля проводились измерения расхода воздуха через ворота с помощью девяти анемометров, укрепленных на рейке. Рейка последовательно устанавливалась на разных высотах в сечении ворот. В местах крепления анемометров к рейке были прикреплены термометры. Одновременно с замерами скоростей определялись температуры воздуха в тех же точках. Замеренные таким образом поля скоростей и температур в дальнейшем графически интегрировались и определялись средняя скорость и температура по потоку воздуха, проходящему через ворота.

По известным средней скорости и площади сечения ворот было определено количество воздуха, проходящего через ворота, которое оказалось близко к величине, определенной выше по формуле (119).

10. Проверка количества воздуха, проходящего через ворота, была сделана и на основе теплового баланса воздушной завесы по формуле (122).

Средняя температура смеси потока воздуха, проходящего через ворота, была на основе замеров определена равной $t_{см} = 14°$.

Следовательно, $t_з - t_н = 33 + 5 = 38°$ и $t_{см} - t_н = 14 + 5 = 19°$. Так как для $\bar{F}_щ = 1/27$ и при устройстве перед завесой открытого тамбура графиков нет, то для первого ориентировочного определения q применим ближайший из имеющихся графиков для $\bar{F}_щ = 1/30$.

Для данных $t_з - t_н = 38°$ и $t_{см} - t_н = 19°$ по графику находим первое приближенное значение $q = 0{,}56$. По графику рис. 27, *б* определяем $\frac{Q'}{Q_з}$ для случаев устройства тамбура при $\bar{F}_щ = 1/27$; $q = 0{,}56$; $\frac{Q'}{Q_з} = 0{,}045$.

По формуле (123) определяем второе приближенное значение q_2:

$$q_2 = \frac{(t_{см} - t_н):\left(1 - \frac{Q'}{Q_з}\right)}{(t_з - t_н)} = \frac{19 : (1 - 0{,}045)}{38} = 0{,}525.$$

По этому значению $q = 0{,}525$ вторично по графику рис. 28, *б* находим $\frac{Q'}{Q_з} = 0{,}04$ и определяем третье приближенное значение

$q_з = \frac{19:(1-0{,}04)}{38} = 0{,}52$; ввиду того, что это значение отличается от предыдущего только в третьем знаке, принимаем его за искомое значение q.

Тогда количество воздуха, проходящего через ворота, будет равно:

$$G_{пр} = \frac{G_з}{q} = \frac{13\,260}{0{,}52} = 25\,500 \text{ кг/ч},$$

что хорошо совпадает с количеством воздуха, определенным по формуле (119) на основе замера разрежения в цехе.

§ 21. НАЛАДКА ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС

Если испытания показали неудовлетворительную работу воздушных завес, то для повышения их эффективности могут быть рекомендованы следующие технические мероприятия.

При наличии превышения вытяжки механической вентиляции над притоком следует увеличить производительность приточных установок. Если нет возможности в достаточном объеме увеличить приток механической вентиляции, необходимо организовать естественный приток. Для этого надо открыть окна на высоте 4—6 *м* от пола в местах расположения тепловыделяющего оборудования и где нет постоянных рабочих мест.

Когда приток равен вытяжке механической вентиляции, надо уменьшить площадь отверстий в фонарях и в верхних окнах; дополнительно открыть окна на высоте 4—6 *м* вблизи оборудования, выделяющего тепло; устроить перед завесой тамбур (навес) и увеличить угол выпуска воздуха из завесы до 45°.

Если вентилятор установки завесы не дает требуемой по проекту производительности, значит имеют место следующие недостатки, которые необходимо устранить:

а) между входным патрубком центробежного вентилятора и его колесом большой зазор; сократить зазор можно, установив патрубок из листовой резины;

б) значительное сопротивление отдельных участков воздуховода; заменить их участками с меньшим сопротивлением;

в) недостаточное число оборотов вентилятора; обеспечить нужное число оборотов, а в случае необходимости увеличить число оборотов до предела.

Если увеличение производительности завесы лимитируется мощностью установленного электродвигателя и шибер у вентилятора частично прикрыт даже при минимальной расчетной температуре наружного воздуха, рекомендуется взамен сопротивления, создаваемого шибером, соответственно уменьшить площадь щели завесы, сохранив неизменным расход воздуха, подаваемого в завесу. Площадь щели может быть уменьшена либо по всей ее

длине, либо в отдельных местах по всей ее ширине (при боковых завесах — вверху, при нижних завесах — в середине щели). Количество воздуха, проходящего через ворота, уменьшится в данном случае в следующем отношении:

$$\frac{G_{пр_2}}{G_{пр_1}} = \sqrt[3]{\frac{F_{щ_2}}{F_{щ_1}}}, \qquad (123)$$

где $G_{пр_2}$ и $F_{щ_2}$ — количество проходящего через ворота воздуха и суммарная площадь воздуховыпускной щели после ее уменьшения;

$G_{пр_1}$ и $F_{щ_1}$ — то же при испытании завесы (до уменьшения площади щели).

При неизменном количестве воздуха, подаваемого в завесу, уменьшение величины количества воздуха, проходящего через ворота, повлечет за собой и уменьшение количества прорывающегося в ворота наружного воздуха:

$$G_н = G_{пр} - G_з.$$

Если мощность электродвигателя позволяет увеличить количество воздуха, подаваемого в завесу, для усиления ее эффективности рекомендуется увеличить площадь воздуховыпускных щелей: при боковых завесах — путем устройства дополнительных воздуховыпускных патрубков снизу ворот, а при нижних завесах — путем устройства дополнительных воздуховыпускных патрубков по краям ворот.

Это мероприятие особенно целесообразно, когда сопротивление выходу воздуха из щели является основным сопротивлением сети и когда показатель режима работы вентилятора оказался на диаграмме его характеристики в левой части низких значений к. п. д., с левой стороны от кривой наибольших к. п. д.

Увеличение количества воздуха, подаваемого в завесу, в данном случае приведет к уменьшению количества воздуха, проходящего через ворота, в отношении

$$\frac{G_{пр_2}}{G_{пр_1}} \approx \sqrt{\left(\frac{G_{з_1}}{G_{з_2}}\right)^3} \cdot \sqrt[3]{\frac{F_{щ_2}}{F_{щ_1}}}, \qquad (124)$$

где $G_{пр_2}$, $G_{з_2}$ и $F_{щ_2}$ — соответственно количество воздуха, проходящего через ворота, количество подаваемого в завесу воздуха и площадь воздуховыпускной щели после увеличения ширины воздуховыпускной щели;

$G_{пр_1}$, $G_{з_1}$, $F_{щ_1}$ — то же при испытании завесы (до увеличения ширины щели).

В тех случаях, когда выполнение указанных мероприятий, не обеспечивает необходимого усиления эффективности завесы, рекомендуется увеличить производительность вентилятора, увеличивая скорость его вращения (если вентилятор не работает на предельном числе оборотов).

Количество проходящего через ворота воздуха при этом уменьшится в отношении

$$\frac{G_{пр_2}}{G_{пр_1}} \approx \sqrt{\left(\frac{G_{з_1}}{G_{з_2}}\right)^3}. \qquad (125)$$

Примечание. В случае, если мощность установленного электродвигателя окажется недостаточной для обеспечения увеличенной производительности установки, он должен быть заменен более мощным.

Если объем подаваемого в завесу воздуха настолько незначителен, что рекомендованными выше мероприятиями не может быть обеспечена эффективная работа завесы, необходимо разработать задание на проектирование реконструкции соответствующей установки.

Для определения необходимой производительности вентилятора завесы в этих случаях рекомендуется провести испытание завесы при более высокой температуре наружного воздуха (порядка от —5 до +3° С), при которой объем поступающего в завесу воздуха окажется достаточным для обеспечения ее эффективной работы. При этом испытании выявляется минимальный объем воздуха, подаваемого в завесу, при котором обеспечивается необходимое перекрытие проема ворот, и температура, предусмотренная в § 5.

Количество воздуха, на которое должна быть спроектирована завеса $G_{з_{расч}}$, определяется по формуле

$$G_{з_{расч}} = G_з \sqrt{\frac{t_{вн} - t_{н_{min}}}{t_{вн} - t_н}} \ кг/ч, \qquad (126)$$

$G_з$ — минимальное количество воздуха, обеспечивающее эффективную работу завесы при испытании, в *кг/ч*;

$t_{вн}$ — средняя температура воздуха по высоте цеха;

$t_н$ — температура наружного воздуха, при которой проводилось испытание;

$t_{н_{min}}$ — расчетная минимальная температура наружного воздуха.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСХОДА ВОЗДУХА μ ЧЕРЕЗ ВОРОТА ПРИ ДЕЙСТВИИ ОДНОСТОРОННИХ И ДВУСТОРОННИХ ЗАВЕС ($\mu_0 = 0{,}64$)

$q=\frac{G_з}{G_{пр}}$	Односторонняя завеса $\frac{F_щ}{F_в}=\frac{b}{H_в}$					Двусторонняя завеса $\frac{F_щ}{F_в}=\frac{2b}{B}$				
	1/40	1/30	1/20	1/15	1/10	1/40	1/30	1/20	1/15	1/10
Угол выпуска струи завесы 30° к плоскости ворот										
0,5	0,225	0,252	0,293	0,318	0,360	0,257	0,278	0,313	0,336	0,368
0,6	0,200	0,220	0,257	0,284	0,323	0,232	0,252	0,283	0,308	0,338
0,7	0,174	0,198	0,226	0,255	0,293	0,211	0,231	0,259	0,280	0,316
0,8	0,158	0,175	0,207	0,230	0,268	0,197	0,211	0,239	0,262	0,293
0,9	0,145	0,161	0,190	0,211	0,246	0,182	0,199	0,225	0,244	0,275
1,0	0,132	0,148	0,174	0,195	0,225	0,170	0,186	0,211	0,229	0,257
Угол выпуска струи завесы 45° к плоскости ворот										
0,5	0,200	0,221	0,261	0,285	0,327	0,233	0,253	0,287	0,307	0,340
0,6	0,173	0,195	0,223	0,253	0,293	0,210	0,229	0,259	0,280	0,315
0,7	0,153	0,170	0,201	0,223	0,261	0,191	0,207	0,233	0,255	0,286
0,8	0,137	0,155	0,180	0,204	0,237	0,174	0,191	0,216	0,236	0,266
0,9	0,125	0,141	0,166	0,184	0,217	0,163	0,179	0,202	0,219	0,249
1,0	0,117	0,128	0,153	0,169	0,201	0,154	0,167	0,190	0,206	0,232
Угол выпуска струи завесы 60° к плоскости ворот										
0,5	0,182	0,198	0,241	0,263	0,306	0,219	0,238	0,270	0,288	0,326
0,6	0,161	0,171	0,211	0,226	0,272	0,198	0,213	0,241	0,258	0,297
0,7	0,141	0,160	0,181	0,204	0,243	0,180	0,197	0,220	0,235	0,272
0,8	0,127	0,142	0,168	0,182	0,218	0,164	0,181	0,205	0,217	0,250
0,9	0,117	0,130	0,155	0,168	0,201	0,154	0,167	0,191	0,205	0,232
1,0	0,110	0,120	1,140	0,155	0,182	0,144	0,156	0,179	0,191	0,219

Таблица 2

КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА ВОЗДУХА μ ЧЕРЕЗ ВОРОТА ПРИ ДЕЙСТВИИ ОДНОСТОРОННИХ И ДВУСТОРОННИХ ЗАВЕС ($\mu_0 = 0{,}8$)

$q=\frac{G_з}{G_{пр}}$	Односторонняя завеса $\frac{F_щ}{F_в}=\frac{b}{H}$					Двусторонняя завеса $\frac{F_щ}{F_в}=\frac{2b}{B}$				
	1/40	1/30	1/20	1/15	1/10	1/40	1/30	1/20	1/15	1/10
Угол выпуска струи к плоскости ворот $\alpha = 30°$										
0,5	0,261	0,291	0,338	0,371	0,423	0,297	0,324	0,362	0,392	0,429
0,6	0,228	0,255	0,297	0,328	0,375	0,265	0,288	0,328	0,353	0,394
0,7	0,198	0,255	0,266	0,296	0,338	0,242	0,263	0,299	0,325	0,358
0,8	0,179	0,199	0,237	0,268	0,309	0,222	0,243	0,274	0,299	0,336
0,9	0,163	0,184	0,215	0,242	0,281	0,205	0,225	0,254	0,278	0,312
1,0	0,147	0,167	0,196	0,221	0,259	0,192	0,210	0,239	0,259	0,292

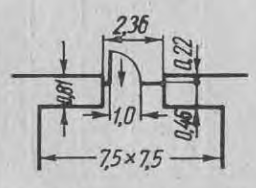
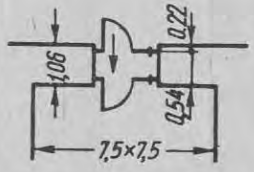
$q=\frac{G_з}{G_{пр}}$	Односторонняя завеса $\frac{F_щ}{F_в}=\frac{b}{H}$					Двусторонняя завеса $\frac{F_щ}{F_в}=\frac{2b}{B}$				
	1/40	1/30	1/20	1/15	1/10	1/40	1/30	1/20	1/15	1/10
Угол выпуска струи к плоскости ворот $\alpha = 45°$										
0,5	0,228	0,258	0,300	0,331	0,378	0,267	0,292	0,330	0,356	0,397
0,6	0,197	0,222	0,259	0,291	0,332	0,239	0,261	0,296	0,321	0,358
0,7	0,176	0,195	0,231	0,258	0,301	0,218	0,238	0,268	0,292	0,330
0,8	0,154	0,177	0,207	0,232	0,270	0,198	0,219	0,248	0,286	0,304
0,9	0,141	0,158	0,189	0,209	0,248	0,184	0,203	0,231	0,250	0,282
1,0	0,132	0,144	0,173	0,193	0,224	0,173	0,189	0,214	0,234	0,263
Угол выпуска струи к плоскости ворот $\alpha = 60°$										
0,5	0,211	0,238	0,277	0,310	0,355	0,252	0,275	0,310	0,338	0,378
0,6	0,184	0,222	0,241	0,269	0,312	0,227	0,246	0,278	0,304	0,341
0,7	0,161	0,183	0,215	0,239	0,278	0,205	0,226	0,253	0,276	0,312
0,8	0,145	0,162	0,191	0,212	0,252	0,188	0,206	0,233	0,253	0,288
0,9	0,314	0,146	0,175	0,194	0,229	0,175	0,191	0,217	0,237	0,266
1,0	0,125	0,137	0,158	0,178	0,208	0,163	0,177	0,201	0,221	0,249

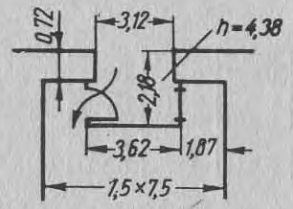
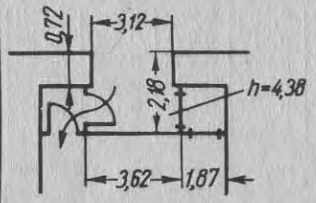
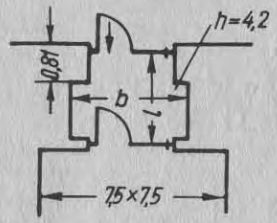
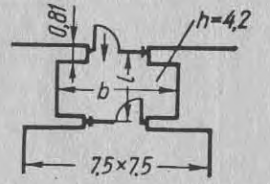
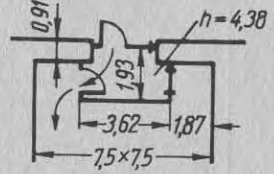
Примечание. Приведенные значения μ через ворота при действии завесы уточнены в соответствии с опытными данными, полученными в последнее время. По сравнению с первым изданием даются несколько меньшие коэффициенты расхода через ворота при действии завесы, т. е. принимается большая ее эффективность.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСХОДА μ_0 ДЛЯ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВХОДОВ ПО ДАННЫМ А. Н. СКАНАВИ [36]

(Коэффициенты отнесены к площади открытых наружных дверей)

№ по пор.	Характеристика входа	Схема входа	Коэффициент расхода воздуха через вход μ_0
1	Одинарная дверь в плоскости фасада		1,0
2	Двойная дверь в плоскости фасада		0,98

№ по пор.	Характеристика входа	Схема входа	Коэффициент расхода воздуха через вход μ_0
3	Наружная дверь в плоскости, перпендикулярной к фасаду; одинарная дверь		0,78
4	То же двойная с тамбуром		0,64
5	Двойные двери, тамбур, прямой проход		
6	То же зигзагообразный проход		
7	То же		0,58

b \ l	1,5	2	2,5	3	4	5
2,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95	0,90
3,2	1,0	0,95	0,95	0,93	0,86	0,8
6,3	0,97	0,95	0,91	0,89	0,84	0,75

b \ l	1,5	2	2,5	3	4	5
2,5	0,61	0,60	0,60	0,60	2,62	0,64
3,2	0,60	0,59	0,59	0,57	0,59	0,6
6,3	0,58	0,58	0,57	0,57	0,58	0,6

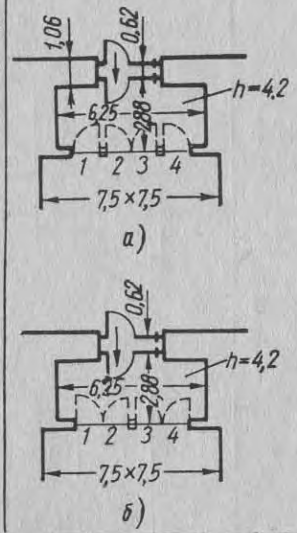
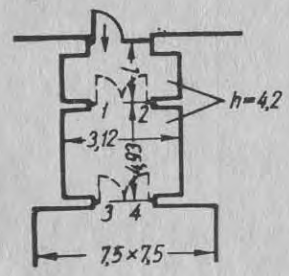
№ по пор.	Характеристика входа	Схема входа	Коэффициент расхода воздуха через вход μ_0
8	Тройные двери и тамбур		Открыты внутренние створки
9	Тройные двери в двух тамбурах одинаковой высоты		

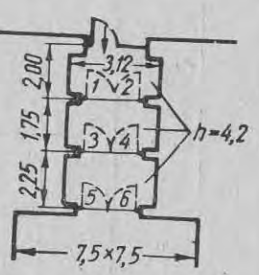
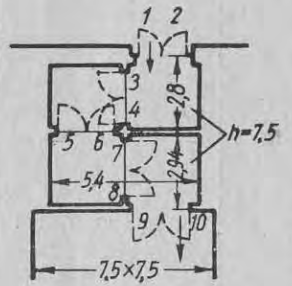
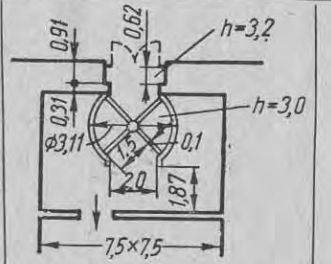
Схема	2	1	3	4
	Прямой проход	Зигзагообразный проход		
а	1,0	0,5	0,61	0,58
б	1,0	0,6	0,56	0,57

а) прямой проход, открыты створки внутренних дверей *1* и *3*

l	1,5	2	2,5	3	4
μ_0	0,87	0,80	0,74	0,68	0,61

б) зигзагообразный проход, створки открыты

1 и 4	2 и 4	2 и 3
0,57	0,49	0,43

№ по пор.	Характеристика входа	Схема входа	Коэффициент расхода воздуха через вход μ_0
10	Четыре распашные двери в трех тамбурах одинаковой высоты		Открыты створки внутренних дверей 1—3—5: μ_0 0,87 2—4—6: 0,54 2—4—5: 0,45 1—4—5: 0,45 2—3—5: 0,41 2—3—6: 0,37
11	Пять распашных дверей в четырех тамбурах		Открыты створки внутренних дверей 1—3—6—8—10: μ_0 0,47 1—3—5—7—10: 0,44 1—3—6—7—10: 0,40 1—4—5—8—10: 0,39 1—4—5—7—10: 0,36 Открыты створки внутренних дверей 1—3—6—7—9: μ_2 0,42 1—3—5—7—9: 0,38 1—4—5—7—9: 0,32 2—3—6—7—9: 0,36 2—3—5—7—10: 0,40
12	Вращающиеся четырехстворные двери (скорость вращения 12 оборотов в минуту)		а) Без входного тамбура и вестибюля $\mu_0 = 0,1$; б) при наличии наружного тамбура и вестибюля $\mu_0 = 0,093$

Примечания: 1. Размеры выражены по отношению к ширине открытой створки наружной двери, которая (ширина) принята за единицу.
2. Высота входной двери 3,125 ее ширины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Г. Ф. Проскура.* Опытное изучение воздушной завесы. «Технические новости». Бюллетень НТУ ВСНХ УССР № 31, 1929.
2. *В. В. Батурин* и *И. А. Шепелев.* Воздушные завесы. «Отопление и вентиляция», 1936, № 5,
3. *Г. Н. Абрамович.* Теория свободной струи и ее приложения. Труды ЦАГИ, 1936.
4. *Г. Н. Абрамович.* Теория турбулентных струй. Физматгиз, 1960.
5. *И. А. Шепелев.* Основы расчета воздушных завес, приточных струй и пористых фильтров. Стройиздат, 1950.
6. *В. В. Батурин.* Основы промышленной вентиляции. Профиздат, 1951.
7. *Г. Н. Уфимцев* и *Л. Б. Белотелов.* К расчету воздушных завес. — «Отопление и вентиляция», 1940, № 3.
8. *С. Е. Бутаков.* Аэродинамика систем промышленной вентиляции, Профиздат, 1949.
9. *М. И. Фильней.* Тепловые завесы, Сборник научно-исследовательских работ Новосибирского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева, Новосибирск, 1940.
10. *В. М. Эльтерман.* Расчет воздушных завес. «Сборник научных работ институтов охраны труда ВЦСПС», № 3, Профиздат, 1959.
11. *K. Köhler* und *G. Grühn.* Zur Theorie der Luftschleieranlagen «Heizung Luftung Haustechnik». Band 12, № 12, Dezember, 1961.
12. *П. Н. Каменев.* Динамика потоков промышленной вентиляции. Госстройиздат, 1938.
13. *В. Н. Талиев.* Аэродинамика вентиляции. Госстройиздат, 1964.
14. *М. Ф. Бромлей.* Структура потока в зоне действия всасывающего отверстия. — «Отопление и вентиляция», № 3, 1934.
15. *В. И. Ханжонков.* Уменьшение аэродинамического сопротивления отверстий кольцевыми ребрами и уступами, ЦАГИ, сб. № 12 «Промышленная аэродинамика». Оборонгиз, 1959.
16. *В. Н. Трояновский.* Вентиляция и отопление мокрых цехов кожевенных заводов. Профиздат, 1953.
17. *Г. Т. Татарчук.* Определение температуры воздуха, подаваемого в двусторонние боковые воздушные завесы. — «Водоснабжение и санитарная техника», № 10, 1964.
18. *М. И. Фильней.* К вопросу о расчете воздушных завес. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1963, № 2.
19. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий СН 245-63. Госстрой СССР. Госстройиздат, 1963.
29. *Г. А. Максимов.* Учет неорганизованного проникновения наружного воздуха в помещение. Научные труды Ленинградского инженерно-строительного института. Санитарно-технический и механический факультеты, Госстройиздат, М. — Л. 1950.
21. Инструкция по расчету воздушных и воздушно-тепловых завес, Госстрой СССР. Главное управление по строительству предприятий, зданий и сооружений, М. 1964.
22. *Л. Д. Богуславский.* Экономика систем отопления и вентиляции. Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, М. 1962.

23. *В. Е. Решетников*. Расширение области применения осевых вентиляторов, Конспект докладов научно-производственной конференции по промышленной вентиляции, МДНТП им. Дзержинского, 1959.
24. *Д. Д. Столер*. О выборе типа воздушных завес, «Водоснабжение и санитарная техника», № 3, 1960.
25. *I. Kläusler*. Luftschleusen für Geschäfts und Warenhauser «Gesundheits — Ingeneuer» Heft 10, Okt., 1958.
26. *W. Zimmerman*. Kaltluftabriegelung durch Warmluftschleiusen «Sanitare Technik», B 26, N 2, 1961.
27. *С. Н. Сыркин*. Упрощенные направляющие аппараты языкового типа, ЦКТИ, Уральское отд., Машгиз, 1944.
28. *М. И. Невельсон*. Аэродинамика центробежного вентилятора, «Труды ЦАГИ» № 580. Оборонгиз, 1946.
29. *И. М. Готгельф* и *В. К. Исаева*. Упрощенный направляющий аппарат для регулирования вентиляторов и дымососов. Информационное письмо ЦКТИ, № 10. Машгиз, 1944.
30. *И. Е. Идельчик*. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. — Л., Госэнергоиздат, 1960.
31. *П. В. Участкин*. Установки искусственного климата в горячих цехах. Профиздат, 1958.
32. Сантехпроект. Автоматическое регулирование санитарно-технических устройств, серия ОВ-04-05. Центральный институт типовых проектов Госстроя СССР, 1959.
33. *Г. А. Кацнельсон*. О расчете воздушных завес, Сборник «Наладка и проектирование систем промышленной вентиляции и кондиционирования воздуха». Центральное бюро технической информации. М. 1963.
34. Проектно-наладочное управление Главсантехмонтажа Министерства строительства РСФСР, Инструкция по испытанию и наладке вентиляционных устройств. Центральное бюро технической информации, 1960.
35. *И. М. Топольская*. Выбор оптимальных параметров воздушных завес для зданий с теплоизбытками в зимнее время. Научные труды институтов Охраны Труда ВЦСПС, № 5, Профиздат, 1965.
36. *А. Н. Сканави*. Воздухопроницаемость наружных входов многоэтажных зданий. — «Строительство и архитектура Москвы», 1964, № 4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 3
Глава I. **Теоретические основы расчета воздушных завес** 5
§ 1. Основные положения метода расчета воздушных завес . . . 5
§ 2. Теоретическое определение коэффициента расхода воздуха через проемы, защищенные воздушной завесой 6
§ 3. Экспериментальное подтверждение метода расчета воздушных завес 14
§ 4. Метод учета влияния ветра на действие воздушной завесы у ворот 26
Глава II. **Расчет воздушных завес у ворот и дверей промышленных зданий** 32
§ 5. Санитарно-гигиенические требования к воздушным завесам у ворот и дверей промышленных зданий 32
§ 6. Определение температуры воздуха, проходящего через ворота, и необходимой температуры воздуха, подаваемого в воздушную завесу 33
§ 7. Расчетные температуры наружного воздуха и скорость ветра для проектирования воздушных завес 42
§ 8. Определение расхода воздуха, проходящего через ворота и двери, защищенные завесой, и количества воздуха для завесы при сбалансированных расходах механической вентиляции 43
§ 9. Определение расхода воздуха, проходящего через ворота, защищенные завесой, и количества воздуха для завесы при дисбалансе расходов воздуха механической вентиляции . . 61
§ 10. Определение наиболее экономичных основных параметров воздушных завес 69
Глава III. **Конструктивные устройства воздушных завес и мероприятия по повышению их эффективности** 83
§ 11. Применяемые конструкции воздушных завес 83
§ 12. Конструктивные элементы воздушных завес 88
§ 13. Конструктивные устройства и мероприятия для повышения эффективности действия воздушных завес 94
Глава IV. **Проектирование воздушных завес у ворот зданий** 96
§ 14. Примеры расчета воздушных завес при сбалансированных расходах приточной и вытяжной механической вентиляции 96
§ 15. Примеры расчета воздушных завес при дисбалансе расходов воздуха механической вентиляции 112
Глава V. **Проектирование и расчет воздушных завес, встроенных в оборудование автоматических линий** 120
§ 16. Область применения воздушных завес, встроенных в оборудование 120
§ 17. Расчет воздушных завес, встроенных в оборудование . . . 120

Стр.

Глава VI. **Автоматическое регулирование воздушных завес** 130
§ 18. Технологические требования к автоматизации воздушных завес 130
§ 19. Автоматическое регулирование расхода воздуха, подаваемого в завесу 131

Глава VII. **Испытание и наладка воздушных завес** 140
§ 20. Методика испытаний воздушных завес 140
§ 21. Наладка воздушных завес 153
Приложения 156
Литература 161

Виктор Михайлович Эльтерман

«ВОЗДУШНЫЕ ЗАВЕСЫ»

Редактор издательства *Ф. И. Вид*, Технический редактор *Н. В. Тимофеева*

Корректор *Р. Ф. Цветкова*

Переплет художника *А. Г. Сорензон*

Сдано в производство 3/VIII 1965 г. Подписано к печати 14/I 1966 г. Т-00938
Тираж 8000 экз. Печ. л. 10,25. Бум. л. 5,13. Уч.-изд. л. 10.25
Формат 60×90¹/₁₆. Темплан 1966 г., № 415. Цена 64 коп. Зак. № 5-2250

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ», Москва, 1-й Басманный пер., 3.

Типоофсетная фабрика Комитета по печати при Совете Министров Украинской ССР.
Харьков, ул. Энгельса, 11.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
4	9-я снизу	и на получаемое	и получаемое
25	12-я сверху	45°C	45°
36	14 и 13-я снизу	так же определялось с учетом $t_н$, равным 0°C.	также определялось с учетом $t_н$, принятого за нулевой уровень.

ПОПРАВКА

В приложении 2 коэффициент μ_0 до 0,3 следует умножать на 0,98,

$\mu_0 = 0,3 \div 0,5$ на 0,93,

$\mu_0 = 0,5 \div 0,8$ на 0,85,

$\mu_0 = 0,8 \div 1$ на 0,75,

Заказ 5-2250. Эльтерман В. М. Воздушные завесы.