ЦНИИПРОМЗДАНИЙ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С НАПРАВЛЯЮЩИМИ СОПЛАМИ

gost.e-ecolog.ru

МОСКВА

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Технические решения систем	5
3. Расчет систем с горизонтальными направляющими соплами	8
4. Расчет систем с горизонтальными и вертикальными направляющими соплами	17
5. Примеры расчета	26
Список литературы	45

ЦНИИпромзданий Госстроя СССР
ЛенПСП Госстроя СССР
ЛенВНИИОТ ВЦСПС

Одобрены Главпромстройпроектом Госстроя СССР 6 июня 1983 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С НАПРАВЛЯЮЩИМИ СОПЛАМИ

Москва 1984

УДК 697

Рекомендации по расчету отопительно-вентиляционных систем с направляющими соплами (ЦНИИпромзданий, ЛенПСП, ЛенВНИИОТ. - М.: ЦНИИпромзданий, 1984.- 45 с.

Даны технические решения систем, область их целесообразного применения, а также формулы и графики для определения всех необходимых при проектировании характеристик систем.

Предназначены для специалистов по проектированию и эксплуатации систем отопления и вентиляции.

Рис. 8, список лит.: 5 назв.

Разработаны на основе результатов исследований, проведенных ЦНИИпромзданий, Ленинградским ВНИИОТ и Ленинградским Промстройпроектом (авторы: инж. Л.С.Виноградский, д-р техн.наук, проф. М.И.Гримитлин, инж. А.М.Живов, Г.А.Кононова, канд.техн.наук П.П.Мамкин, С.В.Нефелов, М.И.Пончек, инж. Ю.И.Тестоедов, канд.техн.наук Е.О.Шилькрот).

Замечания и предложения, а также сведения об использовании Рекомендаций просим направлять по адресам: 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, ЦНИИпромзданий, лаборатория отопления и вентиляции; 191187, Ленинград, ул. Фурманова, 3, ВНИИОТ, лаборатория промышленной вентиляции.

© Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИпромзданий), 1984

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации предназначены для применения при проектировании и эксплуатации систем общеобменной вентиляции и воздушного отопления в помещениях промышленных зданий, оборудуемых приточной общеобменной вентиляцией.

1.2. Отопительно-вентиляционные системы с направляющими соплами[1] подают в помещение нагретый (или охлажденный) воздух основными и направляющими струями (рис. 1). Основные струи 1 подаются через небольшое число воздухораспределителей 2 с малой начальной скоростью. Направляющие струи 3, имеющие большую начальную скорость, подаются через горизонтальные 4 и вертикальные 5 или только горизонтальные сопла малого диаметра, расположенные вдоль оси основного потока / 1-3 /.

Горизонтальные направляющие струи позволяют увеличить длину зоны эффективного действия системы и количество теплоты (холода) в приточном воздухе по сравнению с сосредоточенной подачей. Вертикальные направляющие струи эжектируют содержащийся в основных струях воздух (нагретый или охлажденный) и подают его на рабочие места.

Так как циркуляция воздуха в помещении определяется в основном направляющими струями, изменение расхода воздуха, подаваемого основными струями, практически не приводит к изменению схемы циркуляции. Это позволяет при уменьшении количества поступающих в помещение вредных веществ уменьшать расход приточного воздуха вплоть до расхода, подаваемого через сопла, что составляет 10-30 % максимального.

1.3. Отопительно-вентиляционные системы с направляющими соплами рекомендуется применять в помещениях, в которых:

---

[1] Прототипом систем с направляющими соплами послужила система "Диривент", предложенная шведской фирмой "Свенска Фляктфабрикен" и получившая большое распространение за рубежом.

длина превышает длину зоны эффективного действия приточных струй при сосредоточенной подаче воздуха не более чем в два раза;

технологическое оборудование имеет высоту более 2 м и занимает более 20 % площади поперечного сечения помещения, и при этом затруднительно обеспечить подачу воздуха в рабочую зону;

имеются переменные во времени (за счет изменения параметров наружного климата, режима технологии и др.) тепло-, газо- и влаговыделения, обусловливающие возможность уменьшения воздухообмена более чем на 30 % максимальной величины;

при сосредоточенной подаче воздуха не обеспечивается ввод в помещение необходимого количества теплоты или холода;

избыточные тепловыделения, как правило, не превышают 23 Вт/м^3/20 ккал/ч.м^3/, а максимальная кратность воздухообмена составляет 5 1/ч.

1.4. Исходными данными для расчета являются:

размеры помещения (длина $\ell_п$, м, ширина $в_п$, м, высота $h_п$, м);

расположение и размеры технологического оборудования, а также величина относительной площади $\sigma = \frac{F_о \delta}{F_п}$ поперечного сечения помещения, занимаемого этим оборудованием; наличие ферм, кранов и т.п.;

расположение рабочих мест;

требования к параметрам воздуха в рабочей зоне в теплый и холодный периоды года (температура $t_{р.з}^{норм}$ °С, скорость $u_{р.з}^{норм}$, м/с, относительная влажность воздуха $\varphi_{р.з}^{норм}$, %, ПДК, мг/м^3);

расчетные параметры наружного воздуха в теплый и холодный периоды (температура $t_н$,°С, относительная влажность $\varphi_н$,%); а также концентрация вредных веществ в приточном воздухе $z_н$, мг/м^3;

избыточные теплопоступления (отопительная нагрузка) $Q^{т(от)}$, Вт и количество вредных веществ G, г/с, поступающих в помещение в характерных

технологических режимах в расчетные периоды года;

расход $L_м$, м^3/с, и температура $t_м$, °С, воздуха, удаляемого местными отсосами.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ

2.1. Системы применяются:

с горизонтальными направляющими соплами (см. рис. 1,а),

с горизонтальными и вертикальными направляющими соплами (см. рис. 1,б).

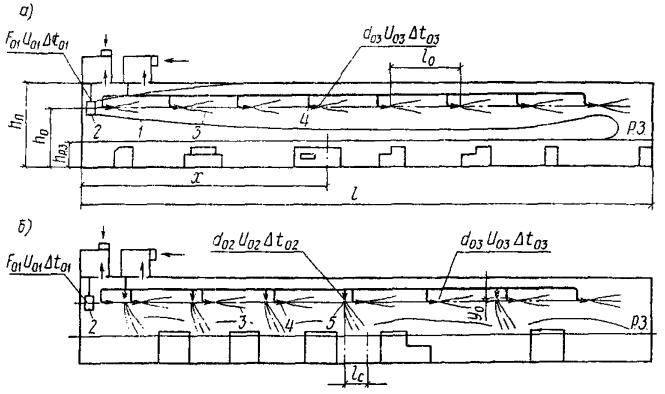

Рис. 1. Отопительно-вентиляционная система с направляющими соплами

а – горизонтальными; б – горизонтальными и вертикальными

2.2. Отопительно-вентиляционная система с направляющими соплами включает две самостоятельные приточные установки. Одна из них предназначена для подачи основных струй воздуха, другая – для подачи направляющих струй воздуха. Приточная установка, подающая основные струи, может состоять из нескольких вентиляторных агрегатов. Приточная установка, подающая направляющие струи, должна иметь резервный вентилятор.

2.3. Для подачи основных струй рекомендуется применять воздухораспределители, формирующие компактные струи, например, типа РР (серия 1.494-8) или ВГК (серия 4.904-63).

2.4. Для подачи направляющих струй рекомендуется применять конические сопла, характеризуемые скоростным коэффициентом $m = 6{,}2$, температурным коэффициентом $n = 5{,}1$ и коэффициентом местного сопротивления $\xi = 1{,}1$ (рис.2).

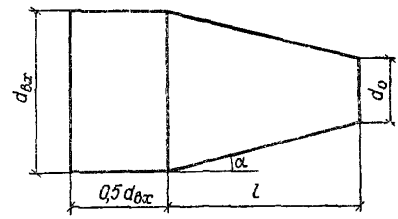

Рис.2. Направляющее сопло
$d_{вх} \geq d_0 + (0{,}5-1)l$;
$\alpha = 15-25^0$; $l \leq d_{вх}$

Максимальная скорость подачи воздуха из сопел $U_{0з}^{макс}$ не должна превышать 30 м/с, если приточные установки комплектуются кондиционерами КТЦ, и 40 м/с, если используются вентиляторы с давлением не менее 2 кПа (200 кгс/м^2).

2.5. Воздухораспределители, формирующие основные струи воздуха, рекомендуется располагать равномерно вдоль одной из сторон помещения, а при наличии вертикальных сопел таким образом, чтобы основные струи распространялись над рабочими местами.

2.6. Горизонтальные направляющие сопла устанавливают вдоль оси основных струй. Первое из них располагают непосредственно за воздухораспределителем, подающим основную струю.

2.7. В системах с горизонтальными направляющими соплами число сопел и расстояние между ними определяется расчетом (см. разд. 3).

2.8. В системах с горизонтальными и вертикальными направляющими соплами число вертикальных сопел N_2 должно соответствовать числу рабочих мест.

Допускается обслуживание одним вертикальным соплом двух рабочих мест, если расстояние между ними $l_р$, м, не превышает

$$\ell_p^{макс} = 0{,}6(h_0 - h_{р.з}) \qquad (2.1)$$

где

h_0 – высота оси основной струи; $h_{рз}$ – высота рабочей зоны, м.

При этом ось направляющей струи должна пересекать верхний уровень рабочей зоны между рабочими местами на расстоянии $\ell_р/2$ от них.

Расстояния от места выпуска вертикальных направляющих струй до центров рабочих мест (в плане) ℓ_c, м (рис. 1,б), и до оси основных струй (по высоте) y_0, м, определяются расчетом (см. разд. 4).

Горизонтальные сопла устанавливаются непосредственно за каждым вертикальным соплом. Общее число горизонтальных сопел N_3, шт., и расстояние между ними ℓ_0, м, определяются расчетом (разд. 4).

2.9. Вертикальные направляющие сопла следует присоединять к сети воздуховодов гофрированными шлангами (ТУ 400-2-157-7а) с возможностью монтажного регулирования положения сопел в плане и по высоте.

2.10. Системы с направляющими соплами позволяют подавать воздух в помещения:

основными и направляющими струями;

только направляющими струями.

2.11. Изменение производительности приточной установки, подающей основные струи, может осуществляться ступенчато (включением вентиляторных агрегатов, работающих на один коллектор, или самостоятельно), либо плавно (направляющими аппаратами, многостворчатыми клапанами и т.д.).

2.12. Поддержание и переключение режимов работы систем с направляющими соплами, а также синхронизация их работы с вытяжными системами производятся средствами автоматики.

3. РАСЧЕТ СИСТЕМ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ СОПЛАМИ /4/

3.1. При расчете рекомендуется последовательно определять:

расход приточного воздуха в расчетные периоды года для характерных технологических режимов;

число воздухораспределителей, подающих основные струи воздуха, и число направляющих сопел, подающих направляющие струи, и расстояния между ними;

размеры воздухораспределителей и сопел, расход, температуру и скорость подачи из них воздуха;

режим работы системы.

3.2. Расход приточного воздуха определяют в следующем порядке:

а) рассчитывают расход воздуха, необходимый для ассимиляции теплоизбытков $L_п^т$, м^3/с, и вредных веществ $L_п^z$, м^3/с, для характерных технологических режимов в расчетные периоды года в соответствии с приложением 11 главы СНиП П-33-75^х. Для расчета принимают параметры удаляемого воздуха такими же, как при сосредоточенной подаче (в первом приближении равными параметрам воздуха в рабочей зоне). Выбирают наименьшее $L_п^{мин}$, м^3/с, и наибольшее $L_п^{макс}$, м^3/с, значения из этих величин и величины расхода воздуха, $L_м$, м^3/с, удаляемого местной вентиляцией. Величина $L_п^{мин}$ должна быть не меньше величины минимально допустимого расхода приточного воздуха, принимаемого по приложению 13 главы СНиП П-33-75^х;

б) принимают расход воздуха через направляющие сопла $L_{оз}^{\Sigma}$, м^3/с, равным $L_п^{мин}$. При этом, если $L_п^{мин} < 0{,}1\, L_п^{макс}$, то $L_{оз}^{\Sigma} = 0{,}1\, L_п^{макс}$, а если $L_п^{мин} > 0{,}3\, L_п^{макс}$, то $L_{оз}^{\Sigma} = 0{,}3\, L_п^{макс}$;

в) определяют максимальный расход воздуха $(L_{о1}^{\Sigma})^{макс}$, м^3/с, через воздухораспределители, подающие основные струи воздуха;

$$(L_{0_1}^{\Sigma})^{макс} = L_{п}^{макс} - L_{0_3}^{\Sigma} \qquad (3.1)$$

3.3. Число и места расположения воздухораспределителей и направляющих сопел определяют следующим образом:

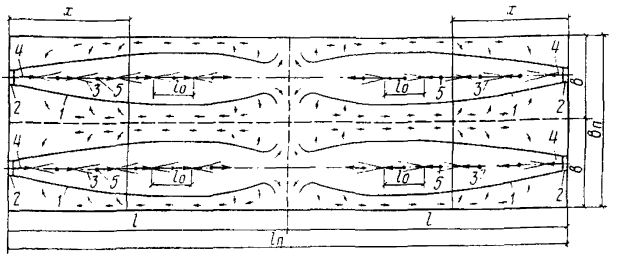

Рис.3. Схема распространения приточных струй в помещении

а) Рассчитывают число воздухораспределителей $N_1^{(1)}$, шт., подающих основные струи и устанавливаемых в одном ряду, а также длину зоны ℓ, м, обслуживаемой одним воздухораспределителем[1] (рис. 3):

$$N_1^{(1)} \geqslant \frac{\ell_п}{17{,}3\, h_п} \quad ; \qquad (3.2)$$

$$\ell = \frac{\ell_п}{N_1^{(1)}} \quad ; \qquad (3.3)$$

---

[1] При расположении рядов воздухораспределителей вдоль короткой стороны помещения в формулах (3.2) и (3.3) значение $\ell_п$ заменяется на $b_п$; соответственно в формуле (3.4) значение $b_п$ заменяется на $\ell_п$. Если $b < \frac{1}{h_п}\left(\frac{\ell_п}{10}\right)^2$, то увеличивают число воздухораспределителей $N_1^{(1)}$ на единицу.

б) Находят число продольных рядов воздухораспределителей $N_1^{(2)}$, шт., подающих основные струи, и ширину зоны b, м, обслуживаемой одним воздухораспределителем:

$$N_1^{(2)} = \frac{b_n}{b} , \qquad (3.4)$$

где

$$\frac{1}{h_n}\left(\frac{l}{10}\right)^2 \le b \le 3h_n ; \qquad (3.5)$$

в) принимают расстояние между направляющими соплами l_o, м, в диапазоне

$$l_o = (0,5 \div 1,3)\sqrt{F_n} , \qquad (3.6)$$

где $F_n = b h_n$;

г) рассчитывают число сопел $N_3^{(1)}$ вдоль оси основной струи (с учетом первого сопла непосредственно за воздухораспределителем, подающим основную струю)

$$N_3^{(1)} = \frac{l - \sqrt{F_n}}{l_o} ; \qquad (3.7)$$

д) определяют общее число воздухораспределителей, подающих основные струи:

$$N_1 = N_1^{(1)} N_1^{(2)} ; \qquad (3.8)$$

е) определяют общее число горизонтальных направляющих сопел, подающих направляющие струи:

$$N_3 = N_3^{(1)} N_1 ; \qquad (3.9)$$

ж) находят высоту установки h_o, м, воздухораспределителей, подающих основные струи, и горизонтальных направляющих сопел:

$$h_o \ge h_{р.з} + 0,43\sqrt{F_n} , \qquad (3.10)$$

3.4. Размеры воздухораспределителей и сопел, расходы, температуру и скорости приточного воздуха определяют в следующем порядке:

а) рассчитывают максимальный расход воздуха $L_{O_1}^{макс}$ через воздухораспределитель, подающий основную струю:

$$L_{O_1}^{макс} = \frac{(L_{O_1}^{\Sigma})^{макс}}{N_1} \quad ; \qquad (3.11)$$

б) рассчитывают расход воздуха L_{O_3}, м^3/с, через направляющее сопло, подающее направляющую струю;

$$L_{O_3} = \frac{L_{O_3}^{\Sigma}}{N_3} \quad ; \qquad (3.12)$$

в) определяют соотношение импульсов направляющей J_{O_3} и основной J_{O_1} струй $\bar{J} = \frac{J_{O_3}}{J_{O_1}}$, необходимое для обеспечения требуемой длины зоны эффективного действия одной приточной основной струи ℓ:

$$\bar{J} = 0{,}1 \quad \text{если} \quad x/\sqrt{F_п} \leq 0{,}31 m_1 ;$$

$$\bar{J} = i\left(\frac{m_1}{m_3}\right)^2, \quad \text{если} \quad x/\sqrt{F_п} > 0{,}31 m_1 ,$$

где X – расстояние, м, от места выпуска основной струи до сечения, в котором скорость воздуха в рабочей зоне максимальная, определяемое по формуле

$$x = \ell - 5\sqrt{F_п} \quad ; \qquad (3.13)$$

m_1 и m_3 – скоростные коэффициенты основных и направляющих струй, подаваемых соответственно воздухораспределителями и горизонтальными направляющими соплами;

i – параметр, определяемый по номограмме (рис.4);

г) рассчитывают площадь воздухораспределителя F_{O_1}, м^2, подающего основную струю:

$$F_{O_1} \geq \left(\frac{0{,}73\, L_{O_1}^{макс}}{U_{р.з}^{норм}}\right)^2 \frac{1 + S\bar{J}}{F_п} \qquad (3.14)$$

где S – наибольшее целое число, не превышающее отношение x/l_o.

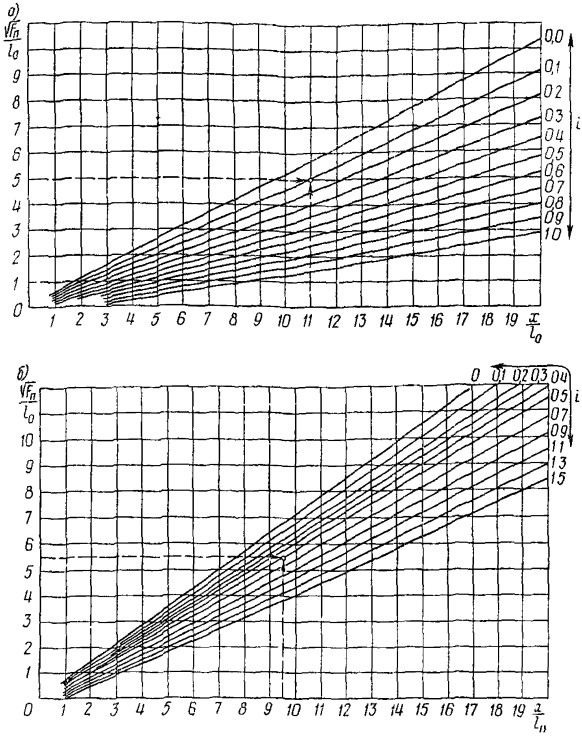

Рис.4. Номограмма для определения параметра i
а – при $m_1 = 6{,}2$; $m_3 = 6{,}2$; б – при $m_1 = 4{,}5$; $m_3 = 6{,}2$

Величину $U_{р.з}^{норм}$ принимают наименьшей из характерных для периода года, в который воздух подают основными струями.

Принимают типоразмер воздухораспределителя, имеющий площадь, наиболее близкую (в сторону увеличения) к F_{o1}. Если $F_{o1} > F_{o1}^{макс}$, характерного для наибольшего типоразмера, то увеличивают число воздухораспределителей $N_1^{(1)}$ или их рядов $N_1^{(2)}$.

д) находят скорость подачи основной струи $U_{O_1}^{макс}$, м/с, при максимальном расходе воздуха:

$$U_{O_1}^{макс} = \frac{L_{O_1}^{макс}}{F_{O_1}} \quad ; \qquad (3.15)$$

е) определяют диаметр d_{O_3}, м, выходного отверстия сопла:

$$d_{O_3} = \frac{L_{O_3}}{U_{O_1}^{макс}\sqrt{0{,}785 \bar{\gamma} F_{O_1}}} \quad ; \qquad (3.16)$$

ж) рассчитывают скорость U_{O_3}, м/с, выпуска направляющей струи:

$$U_{O_3} = \frac{L_{O_3}}{0{,}785\, d_{O_3}^2} \qquad (3.17)$$

Если скорость $U_{O_3} > U_{O_3}^{макс}$, то:

при скорости $U_{O_1}^{макс} > 4$ м/с увеличивают площадь F_{O_1};

при расходе воздуха $L_{O_3}^{\Sigma} < 0{,}3\, L_{п}^{макс}$ увеличивают расход воздуха $L_{O_3}^{\Sigma}$;

при расходе воздуха $L_{O_3}^{\Sigma} = 0{,}3\, L_{п}^{макс}$ уменьшают длину зоны ℓ за счет увеличения числа воздухораспределителей $N_1^{(1)}$ и повторяют расчет, начиная с соответствующего пункта;

з) определяют максимальную избыточную температуру воздуха $\Delta t_{O_3}^{макс}$, °С, и максимальное количество теплоты (холода) $(Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс}$, которое можно подать через направляющие сопла:

$$\Delta t_{O_3}^{макс} = 2{,}65\, \frac{m_3^2\, U_{O_3}^2\, d_{O_3}}{n_3\, \ell_0^2} \quad , \qquad (3.18)$$

где n_3 – температурный коэффициент горизонтальной направляющей струи;

$$(Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс} = 1220\, \Delta t_{O_3}^{макс}\, L_{O_3}^{\Sigma} \quad ; \qquad (3.19)$$

Если количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} \leq (Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс}$, то $Q^{от(т)}$ подают через направляющие сопла. Требуемая при этом избыточная температура воздуха Δt_{O_3} °С, подаваемого через направляющие сопла:

$$\Delta t_{O_3} = \frac{Q^{от(т)}}{1220\ L_{O_3}^{\Sigma}} \quad ; \qquad (3.20)$$

Если количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} > (Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс}$, то $Q^{от(т)}$ подают через воздухораспределители и направляющие сопла;

и) определяют максимальную избыточную температуру воздуха $\Delta t_{O_1}^{макс}$, °С и максимальное количество теплоты (холода), которое можно подать через воздухораспределители, формирующие основные струи

$$\Delta t_{O_1}^{макс} = \frac{5{,}9\, m_1^2 (U_{O_1}^{макс})^2 \sqrt{F_{O_1}}\, f}{n_1\ \ell_0^2} \quad , \qquad (3.21)$$

где n_1 – температурный коэффициент основных струй, подаваемых через воздухораспределители; f – параметр, определяемый по графику (рис. 5);

$$(Q_{O_1}^{\Sigma})^{макс} = 1220\, \Delta t_{O_1}^{макс}\, L_{O_1}^{\Sigma} \quad . \qquad (3.22)$$

Если количество теплоты (холода)

$$Q^{от(т)} > (Q_{O_1}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс}:$$

при скорости $U_{O_3} < U_{O_3}^{макс}$ увеличивают параметр f за счет повышения соотношения импульсов $\bar{J}$. Увеличение значений f и $\bar{J}$ допускается из условия, что расстояние x возрастает не более чем на величину $\sqrt{F_n}$;

при расходе воздуха $L_{O_3}^{\Sigma} < 0{,}3\, L_n^{макс}$ увеличивают расход $L_{O_3}^{\Sigma}$ до значений $L_{O_3}^{\Sigma} = 0{,}3\, L_n^{макс}$ и повторяют расчет, начиная с соответствующего пункта;

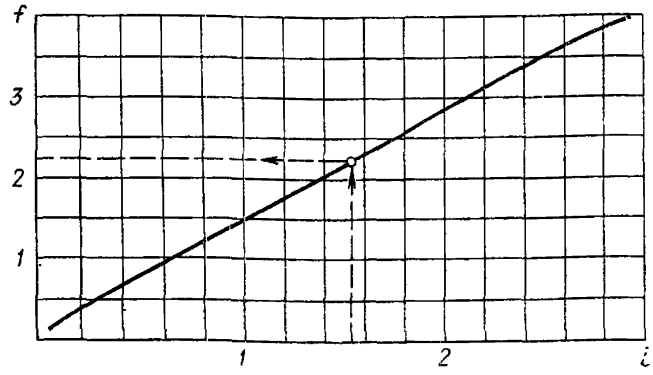

Рис.5. График для определения параметра f

при расходе воздуха $L_{0_3}^{\Sigma} = 0{,}3\, L_{п}^{макс}$ увеличивают расход $L_{п}^{макс}$ или недостающее количество теплоты (холода) $Q = Q^{от(т)} - (Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс} - (Q_{0_3}^{\Sigma})^{макс}$ подают в помещение другой системой.

Если количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} < (Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{0_3}^{\Sigma})^{макс}$, то определяют минимальную скорость выпуска основных струй $U_{0_1}^{мин}$, м/с, при которой можно подать требуемое количество теплоты (холода) $Q_{0_1}^{\Sigma}$, Вт (в диапазоне от нуля до $U_{0_1}^{\Sigma} = Q^{от(т)} - (Q_{0_3}^{\Sigma})^{макс}$):

$$U_{0_1}^{мин} = 0{,}054 \sqrt[3]{\frac{n_1 Q_{0_1}^{\Sigma} \ell_o^2}{m_1^2 F_{0_1}^{1,5} f N_1}} ; \qquad (3.23)$$

к) определяют требуемую избыточную температуру воздуха Δt_{0_1}, С, подаваемого через воздухо - распределители:

(3.24)

л) находят максимальную избыточную температуру воздуха $\Delta t_{р.з}^{макс}$, °С, в рабочей зоне:

$$\Delta t_{р.з}^{макс} = 2{,}5\, \Delta t_{о}^{ср} \sqrt{\frac{F_{о1}}{F_{п}}}, \qquad (3.25)$$

где

$$\Delta t_{о}^{ср} = \frac{Q^{от(т)}}{1220\,(L_{о1}^{\Sigma} + L_{о3}^{\Sigma})}. \qquad (3.26)$$

3.5. Расчет режима работы системы производится с целью выявления:

диапазона значений избыточных теплопоступлений (отопительных нагрузок) $Q^{от(т)}$, соответствующих им температур наружного воздуха $t_н$, при которых требуемое количество теплоты (холода) подают только направляющими струями или основными и направляющими струями,

начальной разности температур воздуха, подаваемого направляющими струями, при изменении значений $Q^{от(т)}$;

расхода и начальной разности температур воздуха, подаваемого основными струями, при изменении значений $Q^{от(т)}$

Порядок расчета приведен в примерах (см.разд.5).

Если $L_{п}^{\Sigma} \le L_{о3}^{\Sigma}$, то регулирование расхода воздуха осуществляют исходя из условия подачи в помещение требуемого количества теплоты (холода).

Если $L_{п}^{\Sigma} > L_{о3}^{\Sigma}$, то расход воздуха через воздухораспределители, подающие основные струи, равен наибольшей из величин $(L_{о1}^{\Sigma})^{т}$ и $(L_{о1}^{\Sigma})^{х}$.

4. РАСЧЕТ СИСТЕМ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ И ВЕРТИКАЛЬНЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ СОПЛАМИ /4.5/

4.1. При расчете рекомендуется последовательно определять:

расход приточного воздуха в расчетные периоды года для характерных технологических режимов;

число воздухораспределителей и направляющих сопел, подающих соответственно основные и направляющие струи, и расстояния между ними;

размеры воздухораспределителей и сопел, расход, температуру и скорость подачи из них воздуха;

высоту установки вертикальных направляющих сопел;

режим работы системы.

4.2. Расход приточного воздуха определяют в соответствии с п. 3.2, заменяя величину расхода воздуха $L^{\Sigma}_{0_3}$ на $(L^{\Sigma}_{0_2} + L^{\Sigma}_{0_3})$, где $L^{\Sigma}_{0_2}$ – расход воздуха через вертикальные направляющие сопла, $м^3/с$.

4.3. Число и места расположения воздухораспределителей и направляющих сопел определяют следующим образом:

а) рассчитывают число воздухораспределителей $N_1^{(1)}$, подающих основные струи и устанавливаемых в одном ряду, а также длину зоны помещения, обслуживаемой одним воздухораспределителем ℓ[x]:

$$N_1^{(1)} \geqslant \frac{\ell_п}{17{,}3\,(1-\varepsilon)\,h_п}\ ; \qquad (4.1)$$

$$\ell = \frac{\ell_п}{N_1^{(1)}}\ ; \qquad (4.2)$$

---

[x] См. примечание к п. 3.3,а.

б) находят число продольных рядов воздухораспределителей, подающих основные струи:

$$N_1^{(2)} = \frac{b_п}{b} \quad , \tag{4.3}$$

где $$\frac{1}{h_п(1-G)} \left(\frac{\ell}{10}\right)^2 \le b < 3h_п \; ; \tag{4.4}$$

в) определяют высоту установки воздухораспределителей, подающих основные струи, и горизонтальных направляющих сопел:

$$h_о \ge h_{р.з} + 0{,}43 \sqrt{(1-G)F_п} \tag{4.5}$$

г) принимают число вертикальных сопел $N_2^{(1)}$, шт., вдоль оси одной основной струи равным числу рабочих мест (см. п. 2.8);

д) выбирают расположение вертикальных и горизонтальных сопел в плане вдоль оси основных струй таким образом (см. рис. 1,б), чтобы расстояния от вертикального сопла до центра обслуживаемого им рабочего места ℓ_c и расстояния между горизонтальными соплами $\ell_о$ были равны:

$$\ell_c = (0{,}5 \ldots 0{,}9)(h_о - h_{р.з}) \; ; \tag{4.6}$$

$$\ell_о = (0{,}5 \ldots 1{,}3) \sqrt{(1-G)F_п}$$

е) рассчитывают число горизонтальных сопел $N_3^{(1)}$ вдоль оси одной основной струи:

$$N_3^{(1)} = \frac{\ell - \sqrt{(1-G)F_п}}{\ell_о} \; ; \tag{4.7}$$

ж) определяют общее число воздухораспределителей, подающих основные струи:

$$N_1 = N_1^{(1)} \; N_1^{(2)} \; ; \tag{4.8}$$

з) определяют общее число горизонтальных направляющих сопел:

$$N_3 = N_3^{(1)} N_1 \quad ; \qquad (4.9)$$

и) определяют общее число вертикальных направляющих сопел:

$$N_2 = N_2^{(1)} N_1 \quad ; \qquad (4.10)$$

4.4. Размеры воздухораспределителей и сопел, расходы, температуру и скорости приточного воздуха определяют в следующем порядке:

а) рассчитывают по п. 3.4, а максимальный расход воздуха через воздухораспределитель, подающий основную струю;

б) находят по п. 3, 4, в соотношение импульсов $\bar{J} = \frac{J_{0_3}}{J_{0_1}}$ заменив формулу (3.13) на следующую:

$$x = \ell - 5\sqrt{(1-\sigma)F_n} \quad ; \qquad (4.11)$$

в) рассчитывают по пп. 3.4,г и 3.4,д площадь воздухораспределителя (F_1), подающего основную струю, его типоразмер и скорость подачи $U_{0_1}^{макс}$ при условии, что $U_{0_1}^{макс} \leq 4$ м/с и F_n заменяют на $(1-\sigma)F_n$

г) определяют диаметр d_{0_3} выходного отверстия горизонтального сопла по формуле

$$d_{0_3} = \frac{c_o}{B_o} \quad , \qquad (4.12)$$

если $B_0 \geq 5$, и по номограмме на рис. 6, если $B_o < 5$.

На номограмме:

$$A_o = 0{,}085\sqrt{\ell_o} \quad ; \qquad (4.13)$$

$$B_o = 0{,}089\,\ell_o \left[\frac{N_3}{N_2} \frac{(U_{0_1}^{макс})^2 F_{0_1} \bar{J}}{(U_{р.з}^{норм})^2 (h_o - h_{р.з})^2}\right] ; \qquad (4.14)$$

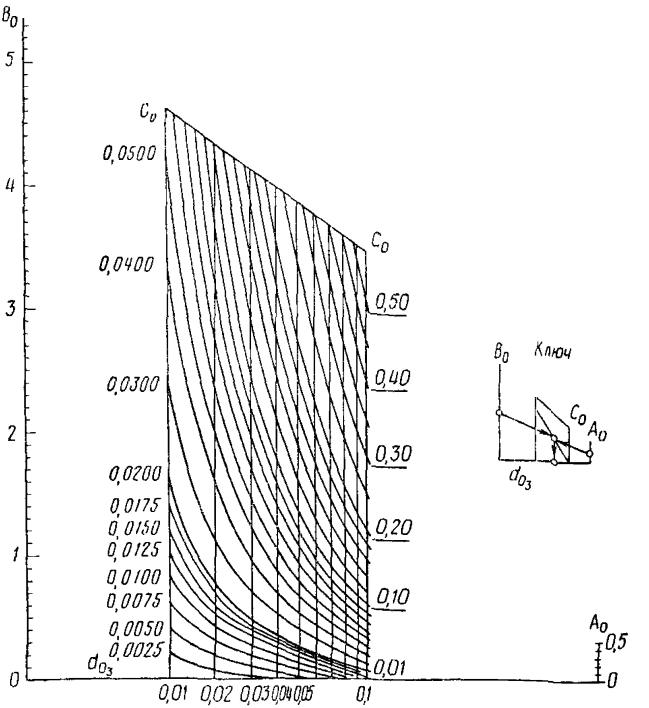

Рис.8. Номограмма для определения диаметра выходного отверстия горизонтального сопла

$$C_0 = \frac{0{,}1\,(L^{\Sigma}_{0_2} + L^{\Sigma}_{0_3})\;\rho_0\;\sqrt{\vartheta\,(U^{макс}_{0_1})^2\;F_{0_1}}}{N_2\,(U^{норм}_{р.з})^2\;(h_0 - h_{р.з})^2}\,. \qquad (4.15)$$

Скорость $U^{норм}_{р.з}$ принимают в формуле (4.14) наименьшей из характерных для периода года, в котором воздух подают основными струями, в формуле (4.15) – для теплого периода года;

д) рассчитывают скорости выпуска воздуха из вертикальных U_{0_2}, м/с, и горизонтальных U_{0_3}, м/с, направляющих сопел, принимая их одинаковыми:

$$u_{0_2} = u_{0_3} = \frac{1}{d_{0_3}} \sqrt{\frac{\bar{J}\, u_{0_1}^2 F_{0_1}}{0{,}785}} \quad ; \qquad (4.16)$$

Если $u_{0_2} = u_{0_3} > u_{0_3}^{макс}$, то при расходе воздуха $L_{0_2}^{\Sigma} + L_{0_3}^{\Sigma} < 0{,}3\, L_{п}^{макс}$ увеличивают $L_{0_2}^{\Sigma} + L_{0_3}^{\Sigma}$ до тех пор, пока $u_{0_2} = u_{0_3} = u_{0_3}^{макс}$;

если увеличение суммарного расхода $L_{0_2}^{\Sigma} + L_{0_3}^{\Sigma}$ не обеспечивает выполнения условия $u_{0_2} = u_{0_3} = u_{0_3}^{макс}$, то уменьшают соотношение импульсов $\bar{J}$ за счет уменьшения ℓ (увеличения $N_1^{(1)}$) и повторяют расчет, начиная с соответствующего пункта;

е) определяют диаметр d_{0_2}, м, выходного отверстия вертикального сопла:

$$d_{0_2} = \sqrt{\frac{L_{0_2}^{\Sigma} + L_{0_3}^{\Sigma}}{0{,}785\, u_{0_2} N_2} - \frac{d_{0_3}^2 N_3}{N_2}} \quad ; \qquad (4.17)$$

ж) находят расход воздуха $L_{0_3}^{\Sigma}$, м^3/с, через горизонтальные направляющие сопла:

$$L_{0_3}^{\Sigma} = L_{0_3} N_3 \quad , \qquad (4.18)$$

где $L_{0_3} = 0{,}785\, u_{0_3} d_{0_3}^2$

з) находят расход воздуха $L_{0_2}^{\Sigma}$, м/с, через вертикальные направляющие сопла:

$$L_{0_2}^{\Sigma} = L_{0_2} N_2 \quad , \qquad (4.19)$$

где $L_{0_2} = 0{,}785\, u_{0_2} d_{0_2}^2$;

и) определяют максимальную избыточную температуру воздуха $\Delta t_0^{макс}$, $^{\circ}$C, и максимальное количество теплоты (холода), которое можно подать только через направляющие сопла:

$$\Delta t_0^{макс} = \min\left(\Delta t_{0_2}^{макс};\ \Delta t_{0_3}^{макс}\right) , \qquad (4.20)$$

где $$\Delta t_{O_2}^{макс} = 32 \frac{U_{O_2}^2 d_{O_2}}{(h_o - h_{р.з})^2} \frac{1}{1 + 23{,}7\sqrt{\frac{d_{O_3}}{\ell_o}}}; \qquad (4.21)$$

$$\Delta t_{O_3}^{макс} = 2{,}65 \frac{m_3^2}{n_3} \frac{U_{O_3}^2 d_{O_3}}{\ell_o^2}; \qquad (4.22)$$

$$(Q_{O_2}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс} = 1220 \Delta t_o^{макс} (L_{O_3}^{\Sigma} + L_{O_2}^{\Sigma}). \qquad (4.23)$$

Если количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} \le (Q_{O_2}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс}$, то всю теплоту (холод) подают через направляющие сопла.

Требуемая при этом избыточная температура воздуха $\Delta t_{O_2} = \Delta t_{O_3}$, °С, подаваемого через сопла:

$$\Delta t_{O_2} = \Delta t_{O_3} = \frac{Q^{от(т)}}{1220(L_{O_3}^{\Sigma} + L_{O_2}^{\Sigma})}. \qquad (4.24)$$

Если количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} > (Q_{O_2}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс}$, то всю теплоту (холод) подают основными и направляющими струями соответственно через воздухораспределители и направляющие сопла;

к) определяют по п. 3.4 и максимальное количество теплоты (холода) $(Q_{O_1}^{\Sigma})^{макс}$, которое нужно подать основными струями.

Если количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} > (Q_{O_1}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{O_2}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{O_3}^{\Sigma})^{макс}$, то при скорости $U_{O_2} = U_{O_3} < U_{O_3}^{макс}$ увеличивают параметр f за счет повышения соотношения импульсов $\bar{J}$. Увеличение значений f и $\bar{J}$ допускается из условия, что расстояние x возрастает не более, чем на величину $\sqrt{(1-G)F_п}$;

при расходе воздуха $L^{\Sigma}_{0_2} + L^{\Sigma}_{0_3} = 0{,}3\,L_{п}^{макс}$ увеличивают $L^{\Sigma}_{0_2} + L^{\Sigma}_{0_3}$ до значений $L^{\Sigma}_{0_2} + L^{\Sigma}_{0_3} = 0{,}3\,L_{п}^{макс}$ и повторяют расчет, начиная с соответствующего пункта;

при расходе воздуха $L^{\Sigma}_{0_2} + L^{\Sigma}_{0_3} = 0{,}3\,L_{п}^{макс}$ увеличивают расход воздуха $L_{п}^{макс}$, или недостающее количество теплоты (холода) $Q_{доп} = Q^{от(т)} - (Q^{\Sigma}_{0_1})^{макс} - (Q^{\Sigma}_{0_2})^{макс} - (Q^{\Sigma}_{0_3})^{макс}$ подают в помещение другой системой.

Если количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} \le (Q^{\Sigma}_{0_1})^{макс} + (Q^{\Sigma}_{0_2})^{макс} + (Q^{\Sigma}_{0_3})^{макс}$, то определяют минимальную скорость выпуска основных струй, при которой можно подать требуемый расход теплоты (холода) $Q^{\Sigma}_{0_1}$, изменяемый в диапазоне от нуля до $Q^{\Sigma}_{0_1} = Q^{от(т)} - (Q^{\Sigma}_{0_2})^{макс} - (Q^{\Sigma}_{0_3})^{макс}$:

$$U_{0_1}^{мин} = 0{,}054 \sqrt[3]{\frac{n_1}{m_1^2}\,\frac{Q^{\Sigma}_{0_1}\,\ell_o^2}{F_{0_1}^{1,5}\,f\,N_1}}\;; \qquad (4.25)$$

л) принимают высоту установки всех вертикальных направляющих сопел относительно оси горизонтальных направляющих сопел одинаковой и равной:

$$y_o = \frac{1}{2}\,(y_o' + y_o'')\,, \qquad (4.26)$$

где y_o' и y_o'' – высота установки последнего (от места выпуска основной струи) вертикального направляющего сопла, м, определенная соответственно при наличии основной струи и при ее отсутствии ($\vartheta = \infty$); находится путем подбора в диапазоне $y_o = -0{,}6 \ldots +0{,}6$ м из зависимости

$$\ell_c = \frac{0{,}023\,m_2^2\,B\,J_1\,K_o}{2 e_m\,J_{0_2}}\,, \qquad (4.27)$$

где $$B = A\,(h_o - h_{р.з}) - E\ell_o\;; \qquad (4.28)$$

$$\mathcal{E}_m = \frac{1}{0{,}16 + 3{,}82\sqrt{\frac{d_{o_3}}{\ell_o}\left(K_{g_3} K_c^2 + 1\right)}} \quad ; \qquad (4.29)$$

$$\bar{J}_1 = J_{o_3} + \left[\frac{J_{o_3}}{\bar{J}} + \left(N_3^* - 1\right) J_{o_3} - N_2^* J_{o_2}\right] K_c^2 \quad ; \qquad (4.30)$$

$$J_{o_2} = 0{,}785 \rho_{o_2} d_{o_2}^2 u_{o_2}^2 \quad ; \quad J_{o_3} = 0{,}785 \rho_{o_3} d_{o_3}^2 u_{o_3}^2 \quad ; \qquad (4.31)$$

K_o – коэффициент, определяемый в зависимости от величины параметра

$$P = \frac{m_2^2 J_1 A}{\mathcal{E} J_{o_2}} \quad . \qquad (4.32)$$

Если $P < 70$, то $K_o = 3{,}3$; если $P > 70$, то $K_o = 2{,}4$.

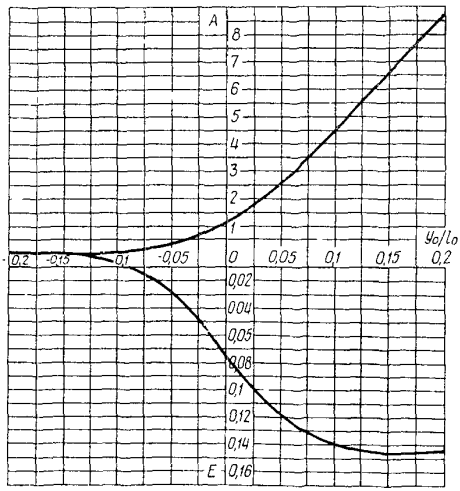

Рис.7. График для определения параметров A и E

А и Е – параметры, определяемые в зависимости от величины $\frac{x}{\sqrt{F_п}}$ по графику на рис.7.

$K_{в_3}$ и K_c – коэффициенты соответственно взаимодействия и стеснения, определяемые по графикам на рис. 8.

N_2^* и N_3^* – число соответственно вертикальных и горизонтальных сопел, расположенных до рассматриваемого вертикального сопла.

м) рассчитывают максимальную избыточную температуру воздуха $\Delta t_{р.з}^{макс}$, °С, в рабочей зоне:

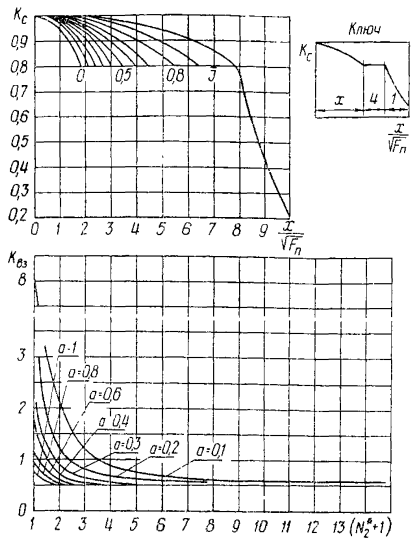

Рис.8. График для определения коэффициентов $K_{в_3}$ и K_c.

$$\Delta t_{р.з}^{макс} = max\,(\Delta t_1\,,\ \Delta t_2)\,, \qquad (4.33)$$

где

$$\Delta t_1 = 2{,}5\,\Delta t_o^{ср}\sqrt{\frac{F_{o_1}}{(1-\sigma)F_п}}\ ; \qquad (4.34)$$

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta t_{o_2}\, d_{o_2}}{(0{,}2+4{,}6\sqrt{\frac{d_{o_3}}{l_o}})(h_o - h_{р.з})}\ ; \qquad (4.35)$$

$$\Delta t_o^{ср} = \frac{Q^{от(т)}}{1220\,(L_{o_1}^{\Sigma} + L_{o_2}^{\Sigma} + L_{o_3}^{\Sigma})}\ . \qquad (4.36)$$

4.5. График работы системы составляют в соответствии с п. 3.5.

5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1.

Для помещения размерами $\ell_п$ = 94 м, $в_п$ = 18 м и $h_п$ = 10 м рассчитать отопительно-вентиляционную систему с горизонтальными направляющими соплами. В помещении размещено технологическое оборудование высотой $h_{об}$ = 1,5 м. Относительная площадь поперечного сечения помещения, занимаемая оборудованием, ε = 0,1. Рабочие места расположены равномерно по площади пола. Параметры воздуха в рабочей зоне в теплый период года: $u_{р.з}^{норм} \leq 0,7$ м/с, $\Delta t_{р.з}^{норм} \leq \pm 3\ ^{\circ}C$; в холодный и переходный: $u_{р.з}^{норм} \leq 0,4$ м/с, $\Delta t_{р.з}^{норм} \leq \pm 3\ ^{\circ}C$. Избыточные теплопоступления в теплый период года $Q^{т}$ = 107640 Вт (92570 ккал/ч). Отопительная нагрузка в рабочем режиме $Q^{от}$ = 56750 Вт (48800 ккал/ч), в режиме дежурного отопления $Q^{до}$ = 157950 Вт (135800 ккал/ч). Расход воздуха, необходимый для ассимиляции вредных веществ, $L_п^{z}$ = 2,22 м^3/с (8000 м^3/ч). Максимальная избыточная температура приточного воздуха в теплый период года (с учетом обработки в промывной камере кондиционера) $\Delta t_о$ = 8 °C. Работа в две смены. Отопительно-вентиляционная система комплектуется кондиционером КТЦ. Длина зоны эффективного действия приточной струи в этом помещении при сосредоточенной подаче воздуха составит (в соответствии с расчетом по "Рекомендациям"[x]) 58 м (при m_1 = 6,2), что меньше длины помещения.

Решение

Расход воздуха в теплый период года (п.3.2.а):

$$L_п^{т} = L_п^{макс} = \frac{107640}{1000 \cdot 1,2 \cdot 8} = 11,22 \text{ м}^3/\text{с} \ (40370 \text{ м}^3/\text{ч});$$

---

[x] Рекомендации по выбору и расчету систем воздухораспределения. АЗ-869. М., 1979.

в холодный период:

$$L_{п}^{от} = L_{п}^{мин} = 2{,}22 \text{ м}^3/\text{с} \ (8000 \text{ м}^3/\text{ч}).$$

Расход воздуха через направляющие сопла (п.3.2,б) $L_{0_3}^{\Sigma} = 2{,}22$ м^3/с. Расход воздуха через воздухораспределители, подающие основные струи (п. 3.2,в), $L_{0_1}^{\Sigma} = 11{,}22-2{,}22 = 9$ м^3/с.

Число воздухораспределителей, подающих основные струи и устанавливаемых в одном ряду (п.3,3,а):

$$N_1^{(1)} \geqslant \frac{94}{17{,}3 \cdot 10} = 0{,}54; \qquad N_1^{(1)} = 1 \text{ шт.}$$

Длина зоны, обслуживаемой одним воздухораспределителем, $\ell = 94$ м.

Число продольных рядов воздухораспределителей, подающих основные струи, определяем, принимая $\delta = 18$ м (п.3.3,б):

$$N_1^{(2)} = 1 \text{ шт}; \qquad 9 < \delta < 30.$$

Расстояние между направляющими соплами (п.3,3,в) $\ell_0 = 7$ м.

Число сопел вдоль основной струи (п. 3.3,г):

$$N_3^{(1)} = \frac{94 - \sqrt{18 \cdot 10}}{7} = 12 \text{ шт.}$$

Общее число воздухораспределителей, подающих основные струи (п. 3.3,д), $N_1 = 1$ шт., направляющих сопел (п. 3.3,е) $N_3 = 12$ шт.

Высота подачи основных и направляющих струй:

$$h \geqslant 2 + 0{,}43\sqrt{18 \cdot 10} = 7{,}8 \text{ м}, \qquad h_0 = 8 \text{ м}.$$

Максимальный расход воздуха через воздухораспределитель, формирующий основную струю (п. 3.4,а), $L_{0_1}^{макс} = L_{0_1}^{\Sigma} = 9$ м^3/с, через одно сопло (п. 3.4, б) $L_{0_3}^{макс} = 2{,}22/12 = 0{,}19$ м^3/с.

Соотношение импульсов, необходимое для обеспечения требуемой длины зоны эффективного действия основной струи (п. 3.4,в) $\bar{J} = 0{,}1$; $x = 94-5\sqrt{18 \cdot 10} = 27$ м;

$$\frac{x}{\sqrt{F_п}} = 2 > 0{,}31 \cdot 6{,}2 = 1{,}9; \qquad \frac{x}{\ell_0} = 3{,}9, \qquad \frac{\sqrt{F_п}}{\ell_0} = 1{,}9.$$

Площадь воздухораспределителя, подающего основную струю (п. 3.4,г):

$$F_{o_1} \geq \left(\frac{0,73 \cdot 9,0}{0,4}\right)^2 \cdot \frac{1 + 4 \cdot 0,1}{18 \cdot 10} = 2,1 \text{ м}^2.$$

Принимаем воздухораспределитель ВГК-4 ($F_{o_1} = 2,56$ м^2; $m_1 = 6,2$; $n_1 = 5,1$).

Скорость подачи основной струи (п.3.4,д):

$$U_{o_1}^{макс} = \frac{9}{2,56} = 3,5 \text{ м/с}.$$

Диаметр выходного отверстия сопла (п.3.4,е):

$$d_{o_3} = \frac{0,19}{3,5 \sqrt{0,785 \cdot 0,1 \cdot 2,56}} = 0,12 \text{ м}.$$

Скорость выпуска направляющей струи (п. 3.4,ж):

$$U_{o_3} = \frac{0,19}{0,785 \cdot 0,12^2} = 17 \text{ м/с} < U_{o_3}^{макс}.$$

Максимальная избыточная температура воздуха, подаваемого через направляющие сопла (п. 3.4,з):

$$\Delta t_{o_3}^{макс} = \frac{2,65 \cdot 6,2^2 \cdot 17^2 \cdot 0,12}{5,1 \cdot 7^2} = 14,1 \ ^\circ\text{C},$$

в теплый период года при расчетной температуре наружного воздуха $\Delta t_{o_3}^{макс} = 8 \ ^\circ\text{C}$.

Максимальное количество теплоты, которое можно подать направляющими струями в холодный период года (п. 3.4,з):

$$(Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\ от} = 1220 \cdot 14,1 \cdot 2,22 = 38200 \text{ Вт}.$$

Максимальное количество холода, которое можно подать направляющими струями в теплый период года:

$$(Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\ т} = 1220 \cdot 8 \cdot 2,22 = 21670 \text{ Вт}.$$

Поскольку $Q > (Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс}$, то требуемое количество теплоты (холода) подают основной и направляющими струями (п. 3.4,з). Максимальное количество теплоты (холода), которое можно подать основной струей (п. 3.4,и):

$$(Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс_т} = (Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс_{от}} = 1220 \cdot 4{,}4 \cdot 9 = 48\,310 \text{ Вт}$$

$$\Delta t_{0_1}^{макс} = \frac{5{,}9 \cdot 6{,}2^2 \cdot 3{,}5^2 \sqrt{2{,}56}}{5{,}1 \cdot 7^2} = 4{,}4\ ^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{0_1}^{от} = 4{,}4\ ^{\circ}\text{C}; \qquad f = 0{,}25.$$

Поскольку количество теплоты (холода) $Q^{от(т)} > (Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{0_3}^{\Sigma})^{макс}$ (кроме рабочего режима холодного периода года), а $U_{0_3} = 17$ м/с $< U_o^{макс}$, увеличиваем соотношение импульсов до $\bar{J} = 0{,}22$.

Повторив расчет, начиная с п. 3.4,г, получим:

$F_{0_1} = 2{,}56$ м^2; $U_{0_1}^{макс} = 3{,}5$ м/с; $d_{0_3} = 0{,}082$ м;

$U_{0_3} = 36{,}3$ м/с $> U_{0_3}^{макс}$; $f = 0{,}35$.

Поскольку приточные установки комплектуются кондиционерами КТЦ и в соответствии с п. 2.4 $U_{0_3}^{макс} = 30$ м/с, то увеличиваем расход воздуха $L_{0_3}^{\Sigma}$ до $L_{0_3}^{\Sigma} = 3{,}33$ м^3/с

Повторив расчет, начиная с п. 3.4,а, получим:

$L_{0_1}^{\Sigma} = 7{,}9$ м^3/с; $L_{0_3} = 0{,}278$ м^3/с; $\bar{J} = 0{,}31$;

$f = 0{,}6$. $F_{0_1} = 2{,}56$ м^2; $U_{0_1}^{макс} = 3{,}1$ м/с;

$d_{0_3} = 0{,}11$ м; $U_{0_3}^{макс} = 27{,}1$ м/с; $\Delta t_{0_3}^{от} = 32{,}9\ ^{\circ}$C;

$(Q_{0_3}^{\Sigma})^{макс_{от}} = 133780$ Вт;

$\Delta t_{0_3}^{т} = 8\ ^{\circ}$C; $(Q_{0_3}^{\Sigma})^{макс_т} = 32510$ Вт;

$\Delta t_{0_1}^{макс_{от}} = 8{,}4\ ^{\circ}$C; $(Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс_{от}} = 80600$ Вт;

$\Delta t_{0_1}^{макс_т} = 8\ ^{\circ}$C; $(Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс_т} = 77000$ Вт.

Поскольку количество теплоты для режима дежурного отопления $Q^{от} < (Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс} + (Q_{0_3}^{\Sigma})$, то определяем минимальную скорость выпуска основной струи, при которой можно подать требуемый расход тепла (п. 3.4,и):

$$(Q_{0_1}^{\Sigma})^{до} = 157950 - 133780 = 24170 \text{ Вт}$$

$$u_{o_4}^{мин\,д.о} = 0{,}054 \sqrt[3]{\frac{5{,}1 \cdot 24170 \cdot 7^2}{6{,}2^2 \cdot 2{,}56^{1{,}5} \cdot 0{,}6 \cdot 1}} = 2{,}2 \text{ м/с.}$$

Требуемая избыточная температура воздуха, подаваемого через воздухораспределители (п. 3.4,к)

$$\Delta t_{o_4}^{д.о} = \frac{24170}{1220 \cdot 2{,}2 \cdot 2{,}56} = 3{,}5\ ^{o}C.$$

Максимальная избыточная температура воздуха в рабочей зоне (п. 3.4,л):

$$\Delta t_{р.з}^{т} = 2{,}5 \cdot 8 \sqrt{\frac{2{,}56}{18.10}} = 2{,}4\ ^{o}C$$

В результате расчета системы выявлено (п.3.5):

в диапазоне от $Q^{т} = 107640$ Вт до $Q^{т} = 32510$ кВт требуемое количество холода подают основными и направляющими струями. Расход воздуха $(L_{o_4}^{\Sigma})^{т}$ и избыточная температура воздуха $\Delta t_{o_4}^{т}$, подаваемого через воздухораспределитель, в этом диапазоне могут меняться соответственно от $(L_{o_4}^{\Sigma})^{т} = 7{,}9$ м^3/с до $(L_{o_4}^{\Sigma})^{т} = 0$ и от $\Delta t_{o_4}^{т} = 8\ ^{o}C$ до $\Delta t_{o_4}^{т} = 0$.

Расход воздуха и начальная разность температур направляющих струй остаются неизменными и равными

$(L_{o_3}^{\Sigma})^{макс} = 3{,}33$ м^3/с; $\Delta t_{o_3}^{т} = 8\ ^{o}C$;

в диапазоне от $Q^{т} = 32510$ кВт до $Q^{т} = 0$ требуемое количество холода подают направляющими струями. Расход воздуха постоянен и равен: $L_{o_3}^{т} = 3{,}33$ м^3/с, избыточная температура изменяется от $\Delta t_{o}^{т} = 8\ ^{o}C$ до $\Delta t_{o}^{т} = 0$;

в диапазоне от $Q^{от} = 0$ до $Q^{от} = 56780$ Вт в рабочем режиме требуемое количество теплоты подают направляющими струями. Расход воздуха постоянен и равен: $L_{o_3}^{\Sigma} = 3{,}33$ м^3/с, избыточная температура воздуха изменяется от $\Delta t_{o_3}^{от} = 0$ до $\Delta t_{o_3}^{от} = 14\ ^{o}C$;

в диапазоне от $Q^{д.о} = 0$ до $Q^{д.о} = 133780$ Вт в режиме дежурного отопления требуемое количество теплоты подают направляющими струями. Расход воздуха

постоянен и равен: $L^{\Sigma}_{o_3} = 3{,}33$ м^3/с, избыточная температура воздуха изменяется от $\Delta t^{д.о}_{o_3} = 0$ до $\Delta t^{д.о}_{o_3} = 32{,}9$ °С;

в диапазоне от $Q^{д.о} = 113780$ Вт до $Q^{д.о} = 157950$ Вт в режиме дежурного отопления требуемое количество теплоты подают основными и направляющими струями. Расход воздуха и избыточная температура воздуха, подаваемого через направляющие сопла неизменны и равны соответственно: $L^{\Sigma}_{o_3} = 3{,}33$ м^3/с и $\Delta t_{o_3} = 32{,}9$ °С. Расход воздуха $(L^{\Sigma}_{o_1})^{д.о}$ и избыточная температура $\Delta t^{д.о}_{o_1}$ изменяются соответственно от $(L^{\Sigma}_{o_1})^{д.о} = 0$ до $(L^{\Sigma}_{o_1})^{д.о} = 3{,}63$ м^3/с и от $\Delta t^{д.о}_{o_1} = 0$ до $\Delta t^{д.о}_{o_1} = 3{,}5$ °С.

Пример 2.

Для помещения размерами $\ell_п = 44$ м; $b_п = 12$ м и $h_п = 8{,}6$ м рассчитать отопительно-вентиляционную систему с горизонтальными направляющими соплами. В помещении размещено технологическое оборудование высотой менее 1,5 м. Относительная площадь поперечного сечения помещения, занимаемая оборудованием, $\sigma = 0{,}1$. Рабочие места расположены равномерно по площади пола. Параметры воздуха в рабочей зоне в теплый период $U^{норм}_{р.з} \leq 0{,}7$ м/с; $\Delta t^{норм}_{р.з} \leq \pm 3$ °С, в холодный и переходный периоды $U^{норм}_{р.з} \leq 0{,}4$ м/с; $\Delta t^{норм}_{р.з} \leq \pm 3$ °С.

Избыточные теплопоступления в теплый период года $Q^{т} = 32470$ Вт, отопительная нагрузка $Q^{от} = 58620$ Вт. Расход воздуха, необходимый для ассимиляции вредных веществ, $L^{в}_{п} = 0{,}72$ м^3/с. Максимальная избыточная температура приточного воздуха в теплый период года (с учетом обработки в промывной камере кондиционера) $\Delta t_o = 8$ °С. Работа круглосуточная. Приточные установки комплектуются кондиционерами КТЦ.

Максимальное количество теплоты, которое можно подать в это помещение системой с сосредоточенной подачей воздуха, составит (в соответствии с расчетом по Рекомендациям АЗ-669):

$Q^{макс}_{от} = 38740$ Вт при $U_o = 7{,}2$ м/с; $F_o = 0{,}32$ м^2; $\Delta t_o = 12{,}7$ °С.

Решение

Расход воздуха:
в теплый период года (п.3,2,а):

$$L_п^т = L_п^{макс} = \frac{32470}{1000.1,2.8} = 3,38 \text{ м}^3/\text{с};$$

в холодный период года $L_п^{от} = L_п^{мин} = 0,72 \text{ м}^3/\text{с}.$

Расход воздуха через направляющие сопла (п.3.2,б): $L_{o_3}^{\Sigma} = 0,72 \text{ м}^3/\text{с}.$

Расход воздуха через воздухораспределители, формирующие основные струи (п. 3.2,в):

$$L_{o_1}^{\Sigma} = 3,38-0,72 = 2,66 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Число воздухораспределителей, подающих основные струи и установленных в одном ряду (п. 3.3,а):

$$N_1^{(1)} \geqslant \frac{44}{17,3 \cdot 8,6} = 0,3; \qquad N_1^{(1)} = 1 \text{ шт.}$$

Длина зоны, обслуживаемой одним воздухораспределителем, $\ell = 44$ м.

Число продольных рядов воздухораспределителей, формирующих основные струи, определяем, принимая $\ell = 12$ м (п.3.3,б):

$$N_1^{(2)} = 1 \text{ шт}; \quad 2,2 < \ell < 25,8.$$

Расстояние между направляющими соплами (п.3.3,в): $\ell_o = 6$ м.

Число сопел вдоль оси основной струи (п.3.3,г):

$$N_3^{(1)} = \frac{44 - \sqrt{12.8,6}}{6} = 5 \text{ шт.}$$

Общее число воздухораспределителей, формирующих основные струи (п. 3.3,д): $N_1 = 1$ шт., направляющих сопел (п. 3.3,е): $N_3 = 5$ шт.

Высота установки воздухораспределителей, подающих основные струи, и направляющих сопел:

$$h_o \geqslant 2 + 0,43 \sqrt{12.8,6} = 6,4 \text{ м}; \qquad h_o = 7 \text{ м}.$$

Максимальный расход воздуха через воздухораспределитель, формирующий основную струю (п. 3.4,а):

$L_o^{макс}$ = 2,6 м^3/с, через одно сопло (п. 3.4,б):

$$L_o^{макс} = \frac{0,72}{5} = 0,144 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Соотношение импульсов, необходимое для обеспечения требуемой длины зоны эффективного действия основной струи (п. 3.4,в): $\bar{J} = 0,1$; $X = 44 - 5\sqrt{12.8,6} = -6,8$ м;

$$\frac{X}{\sqrt{F_п}} \leq 0,31.6,2 = 1,9.$$

Площадь воздухораспределителя, подающего основную струю (п. 3.4,г):

$$F_{o_1} \geq \left(\frac{0,73 \cdot 2,66}{0,4}\right)^2 \cdot \frac{1}{12.8,6} = 0,23 \text{ м}^2.$$

Принимаем воздухораспределитель ВГК-1 (F_{o_1} = 0,32 м^2; $m_1 = 6,2$; $n_1 = 5,1$). Скорость подачи основной струи (п. 3.4,д):

$$U_{o_1}^{макс} = \frac{2,66}{0,32} = 8,3 \text{ м/с}.$$

Диаметр выходного отверстия сопла (п. 3.4,е):

$$d_{o_3} = \frac{0,144}{8,3\sqrt{0,785.0,1.0,32}} = 0,11 \text{ м}.$$

Скорость выпуска направляющей струи (п.3.4,ж):

$$U_{o_3} = \frac{0,144}{0,785 \cdot 0,11^2} = 15,2 \text{ м/с} < U_{o_3}^{макс}.$$

Максимальная избыточная температура воздуха, подаваемого через направляющие сопла (п. 3.4,з):

$$\Delta t_{o_3}^{макс} = \frac{2,65.6,2^2.15,2^2.0,11}{5,1 \cdot 6^2} = 14,1 \ ^\circ\text{C};$$

в теплый период года при расчетной температуре наружного воздуха - $\Delta t_{o_3}^{т} = 8 \ ^\circ$C.

Максимальное количество теплоты, которое можно подать направляющими струями в холодный период года (п. 3.4,з):

$(Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\,от} = 1220 \cdot 14{,}1 \cdot 0{,}72 = 12400$ Вт.

Максимальное количество холода, которое можно подать направляющими струями в теплый период года:

$(Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\,т} = 1220 \cdot 8 \cdot 0{,}72 = 7030$ Вт.

Поскольку $(Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\,от(т)} < Q^{от(т)}$, то требуемое количество теплоты (холода) подают основной и направляющими струями.

Максимальная избыточная температура воздуха (п.3.4,з), подаваемого через воздухораспределители ($f = 0{,}25$):

$$\Delta t_{o_1}^{макс} = \frac{5{,}9 \cdot 6{,}2^2 \cdot 8{,}3^2 \sqrt{0{,}32 \cdot 0{,}25}}{5{,}1 \cdot 6^2} = 12{,}1\ ^{\circ}C$$

в теплый период года при расчетной температуре наружного воздуха - $\Delta t_{o_1}^{т} = 8\ ^{\circ}C$.

Максимальное количество теплоты, которое можно подать основной струей (п. 3.4,и):

$(Q_{o_1}^{\Sigma})^{макс\,от} = 1220 \cdot 12{,}1 \cdot 2{,}6 = 36380$ Вт.

Максимальное количество холода, которое можно подать основными струями в теплый период года:

$(Q_{o_1}^{\Sigma})^{макс\,т} = 1220 \cdot 8 \cdot 2{,}6 = 25400$ Вт

Поскольку $Q^{от} > (Q_{o_1}^{\Sigma})^{макс\,от} + (Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\,от}$, а $u_{o_3} = 15{,}2$ м/с $< u_{o_3}^{макс}$, увеличиваем соотношение импульсов до $\bar{J} = 0{,}15$ (п. 4.4,и).

Повторив расчет, начиная с п. 3.4,г, получим:

$f_{o_1} = 0{,}32$ м^2; $u_{o_1}^{макс} = 8{,}1$ м/с; $d_{o_3} = 0{,}092$ м;

$u_{o_3} = 21{,}6$ м/с $< u_{o_3}^{макс}$; $\Delta t_{o_3}^{от} = 23{,}8\ ^{\circ}C$;

$\Delta t_{o_3}^{т} = 8\ ^{\circ}C$; $\Delta t_{o_1}^{от} = 17{,}5\ ^{\circ}C$; $\Delta t_{o_1}^{т} = 8\ ^{\circ}C$.

$(Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\,от} = 20920$ Вт;

$(Q_{o_3}^{\Sigma})^{макс\,т} = 7040$ Вт;

$(Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс\,от}$ = 55550 Вт;

$(Q_{0_1}^{\Sigma})^{макс\,т}$ = 25430 Вт.

Поскольку $Q^{от} < (Q_{01}^{\Sigma})^{макс\,от} + (Q_{0_3}^{\Sigma})^{макс\,от}$, то определяем минимальную скорость выпуска основной струи, при которой можно подать требуемое количество теплоты (п. 3.4,и):

$$(Q_{0_1}^{\Sigma})^{от} = (58620-20920) = 37700 \text{ Вт},$$

$$U_{0_1}^{мин\,от} = 0{,}054\sqrt{\frac{5{,}1 \cdot 37700 \cdot 6^2}{6{,}2^2 \cdot 0{,}32^{1{,}5} \cdot 0{,}38 \cdot 1}} = 7{,}4 \text{ м/с}.$$

Требуемая избыточная температура основной струи (п. 3.4,к):

$$\Delta t_{0_1}^{от} = \frac{37700}{1220 \cdot 2{,}38} = 13\ ^{\circ}\text{C}.$$

Максимальная избыточная температура воздуха в рабочей зоне (п.3.4,л):

$$\Delta t_{р.з}^{от} = 2{,}5 \cdot 14{,}5\sqrt{\frac{0{,}32}{12 \cdot 8{,}6}} = 2{,}1 < \Delta t_{р.з}^{норм};$$

$$\Delta t_{0}^{ср\,от} = \frac{58620}{1220 \cdot (2{,}6+0{,}72)} = 14{,}5\ ^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{р.з}^{т} = 2{,}5 \cdot 8\sqrt{\frac{0{,}32}{12 \cdot 8{,}6}} = 1{,}1 < \Delta t_{р.з}^{норм}.$$

В результате расчета системы выявлено (п.3.5):

в диапазоне от $Q^{т}$ = 32470 Вт до $Q^{т}$ = 7030 Вт требуемое количество холода подают основной и направляющими струями. Расход воздуха и избыточная температура основной струи в этом диапазоне могут изменяться соответственно от $L_{0_1}^{\Sigma т}$ = 2,66 м^3/с до $L_{0_1}^{\Sigma т}$ = 0 от $\Delta t_{0_1}^{т}$ = 8 °С до $\Delta t_{0_1}^{т}$ = 0. Расход воздуха и избыточная температура направляющих струй остаются неизменными и равными: $(L_{0_3}^{\Sigma})^{макс\,т}$ = 0,72 м^3/с; $\Delta t_{0_3}^{т}$ 8 °С;

в диапазоне от $Q^{т} = 7030$ Вт до $Q^{т} = 0$ требуемое количество холода подают направляющими струями. Расход воздуха постоянен и равен: $(L^{\Sigma}_{o_3})^{макс\,т} = 0{,}72$ м^3/с, избыточная температура изменяется от $\Delta t^{т}_{o} = 8\,^{o}$C до $\Delta t^{т}_{o} = 0$;

в диапазоне от $Q^{от} = 0$ до $Q^{от} = 20920$ Вт требуемое количество теплоты подают направляющими струями. Расход воздуха постоянен и равен: $(L^{\Sigma}_{o_3})^{макс\,от} = 0{,}72$ м^3/с, избыточная температура изменяется от $\Delta t^{т}_{o_3} = 0$ до $\Delta t^{т}_{o_3} = 23{,}8\,^{o}$C;

в диапазоне от $Q^{от} = 20920$ Вт до $Q^{от} = 58620$ Вт требуемое количество теплоты подают основными и направляющими струями. Расход воздуха через воздухораспределитель, подающий основную струю, изменяется от $(L^{\Sigma}_{o_1})^{от} = 0$ до $(L^{\Sigma}_{o_1})^{от} = 2{,}38$ м^3/с, а избыточная температура - от $\Delta t^{от}_{o_1} = 0$ до $\Delta t^{от}_{o_1} = 13\,^{o}$C. Расход воздуха и избыточная температура направляющих струй постоянны и равны соответственно: $(L^{\Sigma}_{o_3})^{макс\,т} = 0{,}72$ м^3/с, $\Delta t^{т}_{o_3} = 23{,}8\,^{o}$C.

Пример 3.

В помещении размерами $\ell_п = 126$ м, $b_п = 66$ м и $h_п = 11$ с крупногабаритным технологическим оборудованием рассчитать отопительно-вентиляционную систему с горизонтальными и вертикальными направляющими соплами. Технологическое оборудование высотой более 2 м размещено в восемь рядов, параллельных длинной стороне помещения.

Относительная площадь поперечного сечения помещения, занимаемая оборудованием, $\sigma = 0{,}25$. Вдоль каждого ряда оборудования расположено по восемь рабочих мест на расстоянии 12-15 м одно от другого. Параметры воздуха в рабочей зоне в теплый период года: $u^{норм}_{р.з} \leq 0{,}7$ м/с; $\Delta t^{норм}_{р.з} \leq +3\,^{o}$C, в холодный и переходный - $u^{норм}_{р.з} \leq 0{,}4$ м/с; $\Delta t^{норм}_{р.з} \leq \pm 3\,^{o}$C. Из-

быточные теплопоступления в теплый период года $Q^{т}$ = 1000820 Вт. Отопительная нагрузка в рабочем режиме $Q^{от}$ = 535160 Вт, в режиме дежурного отопления $Q^{до}$ = 319000 Вт. Расход воздуха, необходимый для ассимиляции вредных веществ, $L_{п}^{\Sigma}$ = 24,19 м^3/с. Избыточная температура приточного воздуха в теплый период года $\Delta t_{о}$ = 8 °С. Работа в две смены. Приточные установки комплектуются кондиционерами КТЦ. Размещение воздуховодов ниже отметки 8 м затруднено.

Решение

В теплый период года расход воздуха (п. 4.2):

$$L_{п}^{т} = L_{п}^{макс} = \frac{1000820}{1000 \cdot 1,2 \cdot 8} = 104,3 \text{ м}^3/\text{с};$$

в холодный период:

$$L_{п}^{от} = L_{п}^{мин} = L_{o_2}^{\Sigma} + L_{o_3}^{\Sigma} = 24,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход воздуха через воздухораспределители, формирующие основные струи:

$$L_{o_1}^{\Sigma} = 104,3 - 24,2 = 80,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Число воздухораспределителей, формирующих основные струи, в ряду (п.4.3,а):

$$N_1^{(1)} = \frac{126}{17,3\ (1-0,25)\ 11} = 0,88; \qquad N_1^{(1)} = 1 \text{ шт.},$$

Длина зоны, обслуживаемой одним воздухораспределителем:

$$\ell = \ell_{п} = 126 \text{ м}.$$

Продольные ряды воздухораспределителей, подающих основные струи, располагаем над рядами оборудования. При числе продольных рядов воздухораспределителей $N_1^{(2)}$ = 8 по п. 4.3,б получаем

$$б = \frac{66}{8} = 8,3 \text{ м} < 19 \text{ м}.$$

Принимаем: $N_1^{(1)} = 2$; $\ell = \frac{126}{2} = 63$ м; $4,8 \leq б \leq 33$ м.

Высота установки воздухораспределителей, подающих основные струи, и горизонтальных направляющих сопел (п. 4.3,в):

$$h_0 \geq 2 + 0{,}43\sqrt{(1-0{,}25)\ 8{,}3\ .\ 11} = 5{,}54 \text{ м}.$$

Принимаем в соответствии с исходными данными $h_0 = 8$ м.

Число вертикальных сопел в ряду вдоль оси одной основной струи (п. 4.3,г): $N_2^{(1)} = 4$ шт.

Расположение направляющих сопел в плане (п.4.3,д):

$$\ell_c = 3\ .\ .\ .\ 5{,}4 \text{ м}; \qquad \ell_0 = 6 \text{ м}.$$

Число горизонтальных сопел вдоль оси одной основной струи (п. 4.3,е):

$$N_3^{(1)} = \frac{63 - \sqrt{(1-0{,}25)\ .\ 8{,}3\ .\ 11}}{6} = 9 \text{ шт}.$$

Общее число воздухораспределителей, подающих основные струи (п. 4.3,ж):

$$N_1 = 2.8 = 16 \text{ шт.};$$

горизонтальных направляющих сопел (п. 4.3,з):

$$N_3 = N_3^{(1)} N_1 = 9\ .\ 16 = 144 \text{ шт.};$$

вертикальных направляющих сопел (п.4.3,и):

$$N_2 = N_2^{(1)} N = 4\ .\ 16 = 64 \text{ шт}.$$

Максимальный расход воздуха через воздухораспределитель, формирующий основную струю (п. 4.4,в):

$$L_{0_1}^{макс} = \frac{80{,}1}{16} = 5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Соотношение импульсов, необходимое для обеспечения требуемой длины зоны эффективного действия основной струи (п. 4.4,б):

$$\bar{J} = 0{,}25; \qquad x = 63-5\sqrt{(1-0{,}25)\ 8{,}3\ .\ 11} = 21{,}6 \text{ м};$$

$$\frac{x}{\sqrt{(1-0{,}25)\ F_n}} = 2{,}6 > 0{,}31\ .\ 6{,}2 = 1{,}9;$$

$$\left[\frac{x}{\ell_0} = 3{,}6; \qquad \frac{\sqrt{(1 - 0{,}25)\, F_п}}{\ell_0} = 1{,}38\right].$$

Площадь воздухораспределителя, подающего основную струю, (п. 4.4,в):

$$F_{o_1} \geq \left(\frac{0{,}73 \cdot 5{,}0}{0{,}7}\right)^2 \frac{1 - 3 \cdot 0{,}25}{(1 - 0{,}25)\, 8{,}3 \cdot 11} = 0{,}73 \text{ м}^2.$$

Принимаем воздухораспределитель ВГК-3 (F_{o_1} = 1,28 м^2; m_1 = 6,2; n_1 = 5,1).

Максимальная скорость истечения основной струи:

$$U_{o_1}^{макс} = \frac{5{,}1}{1{,}28} = 4 \text{ м/с}.$$

Диаметр выходного отверстия горизонтального сопла (п. 4.4,г):

$$d_{o_3} = 0{,}068 \text{ м}; \qquad A_o = 0{,}085\sqrt{6} = 0{,}21;$$

$$B_o = \frac{0{,}089 \cdot 6 \cdot 144 \cdot 4{,}0^2 \cdot 1{,}28 \cdot 0{,}25}{64 \cdot 0{,}7^2 \cdot (8-2)^2} = 0{,}31;$$

$$C_o = \frac{0{,}1 \cdot 24{,}2 \cdot 6\sqrt{0{,}25 \cdot 4{,}0^2 \cdot 1{,}28}}{64 \cdot 0{,}7^2 \cdot (8-2)^2} = 0{,}028.$$

Скорость подачи направляющих струй (п.4.4,д):

$$U_{o_2} = U_{o_3} = \frac{1}{0{,}068}\sqrt{\frac{0{,}25 \cdot 4{,}0^2 \cdot 1{,}28}{0{,}785}} = 34{,}7 \text{ м/с}.$$

Так как скорость $U_{o_2} = U_{o_3} > U_{o_3}^{макс} = 30$ м/с, то увеличивают расход воздуха ($L_{o_2}^{\Sigma} + L_{o_3}^{\Sigma}$) до значений (п.4.4,д):

$$(L_{o_2}^{\Sigma} + L_{o_3}^{\Sigma}) = 28\,\% \quad L_п^{мин} = 104{,}3 \cdot 0{,}28 = 29{,}2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Повторив расчет, начиная с п.4.4,а, получим:

$$L_{o_1}^{\Sigma} = 73{,}7 \text{ м}^3/\text{с}; \qquad L_{o_1}^{макс} = 4{,}61 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$F_{o_1} = 1{,}28 \text{ м}^2; \quad U_{o_1}^{макс} = 3{,}6 \text{ м/с}; \quad d_{o_3} = 0{,}074 \text{ м};$$

$$U_{o_2} = U_{o_3} = 30 \text{ м/с}.$$

Диаметр выходного отверстия вертикального сопла (п.4.4,е)

$$d_{o_2} = \sqrt{\frac{28,7}{0,785.30.64} - \frac{0,072^2 . 144}{64}} = 0,082 \text{ м.}$$

Расходы воздуха через сопла (пп. 4.4,ж - 4.4,з):

$$L_{o_2} = 0,785.30.0,082^2 = 0,158 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$L^{\Sigma}_{o_2} = 0,158.64 = 10,3 \text{ м}^3/\text{с;}$$

$$L_{o_3} = 0,785.30.0,074^2 = 0,129 \text{ м}^3/\text{с;}$$

$$L^{\Sigma}_{o_3} = 0,129.144 = 18,9 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Максимальная избыточная температура воздуха подаваемого через вертикальные направляющие сопла (п.4.4, и):

$$\Delta t^{макс}_{o_2} = \frac{32.30^2 .0,082}{(8-2)^2 (1+23,7\sqrt{\frac{0,074}{6}})} = 18 \ ^{o}\text{C.}$$

Максимальная избыточная температура воздуха, подаваемого через горизонтальные направляющие сопла (п.4.4,и):

$$\Delta t^{макс}_{o_3} = \frac{2,65.6,2^2 .30^2 .0,074}{5,1.6^2} = 37 \ ^{o}\text{C.}$$

Максимальная избыточная температура воздуха,подаваемого через направляющие сопла в теплый период года при расчетных параметрах наружного воздуха $\Delta t^{т}_{o_{2,3}} = 8 \ ^{o}\text{C}$:

$$\Delta t^{от}_{o_{2,3}} = \min (18; 37) = 18 \ ^{o}\text{C.}$$

Максимальное количество теплоты, которое можно подать направляющими струями (п. 4.4,и):

$$(Q^{\Sigma}_{o_2})^{макс_{от}} + (Q^{\Sigma}_{o_3})^{макс_{от}} = 1220.18.29,2 = 641230 \text{ Вт.}$$

Максимальное количество холода, которое можно подать направляющими струями в теплый период года при расчетных параметрах наружного воздуха:

$$(Q^{\Sigma}_{o_2})^{макс}_{т} + (Q^{\Sigma}_{o_3})^{макс}_{т} = 1220.8.28,2 = 285000 \text{ Вт}.$$

Поскольку $Q^{от} < (Q^{\Sigma}_{o_2})^{макс}_{от} + (Q^{\Sigma}_{o_3})^{макс}_{от}$,

то в отопительный период в рабочем режиме всю теплоту подают направляющими струями (п.4.4,и).

Требуемая избыточная температура воздуха, подаваемого через направляющие сопла:

$$\Delta t_{o_{2,3}} = \frac{535160}{1220 \cdot 29,2} = 15\ ^{\circ}C.$$

Поскольку $Q^{д.о} > (Q^{\Sigma}_{o_2})^{макс}_{д.о} + (Q^{\Sigma}_{o_3})^{макс}_{д.о}$ и $Q^{т} > (Q^{\Sigma}_{o_2})^{макс}_{т} + (Q^{\Sigma}_{o_3})^{макс}_{т}$, то в холодный период в режиме дежурного отопления и в теплый период всю соответственно теплоту или холод подают основными и направляющими струями (п.4.4,к):

$$\Delta t^{макс}_{o_1} = \frac{5,9.6^2 \cdot 3,6^2 \quad \sqrt{1,28 \cdot 0,45}}{5,1 \cdot 6,2^2} = 8\ ^{\circ}C;$$

$\Delta t^{д.о}_{o_1} = 8\ ^{\circ}C$; $\Delta t^{т}_{o_1} = 8\ ^{\circ}C$ (при расчетной температуре наружного воздуха в теплый период);

$$(Q^{\Sigma}_{o_1})^{макс}_{д.о} = 1220.8,2.73,7 = 737300 \text{ Вт};$$

$$(Q^{\Sigma}_{o_1})^{макс}_{т} = 1220.8.73,7 = 719300 \text{ Вт}.$$

Поскольку $Q^{д.о} < Q^{\Sigma}_{o_1}{}^{д.о} + Q^{\Sigma}_{o_2}{}^{д.о} + Q^{\Sigma}_{o_3}{}^{д.о}$, то для этого режима максимальная скорость выпуска и избыточная температура воздуха, подаваемого основными струями, равны (п.4.4,к):

$$u^{д.о}_{o_1} = 0,054 \sqrt[3]{\frac{5.1.177770.6^2}{6,2^2 \cdot 1,28^{1,5} \cdot 0,45.16}} = 2,3 \text{ м/с};$$

$$\Delta t_{o_1}^{\partial o} = \frac{177770}{1220.41,2} = 3,1\ ^{o}C;$$

$$Q_{o_1}^{\Sigma \partial o} = 819000-641230 = 177770\ Вт.$$

$$L_{o_1}^{\Sigma \partial o} = 47,1\ м^3/с.$$

Аналогично для теплового периода года:

$$u_{o_1}^{т} = 0,054\sqrt[3]{\frac{5,1.\ 715820\ .\ 6^2}{6,2^2.1,28^{1,5}.0,45.16}} = 3,6\ м/с;$$

$$\Delta t_{o_1}^{т} = \frac{715820}{1220.\ 72} = 8\ ^{o}C;$$

$$Q_{o_1}^{\Sigma т} = 1000820 - 285000 = 715820\ Вт;$$

$$L_{o_1}^{\Sigma т} = 72\ м^3/с.$$

Высота установки вертикальных сопел:

$$y_o = \frac{1}{2}(-0,48-0,42=) = -0,45\ м.$$

$$\frac{y_o}{e_o} = -0,08;\ A = 0,075;\ E = 0,01;\ B = 0,075(8-2) - 0,01.6 = 0,39,$$

$$\mathcal{R}_m = \frac{1}{0,16+3,28\sqrt{\frac{0,074}{6}(0,5.0,8^2+1)}} = 1,54;$$

$$K_c = 0,8; \qquad K_{вз} = 0,5:$$

$$J_{o_2} = 1,2.0,785.0,082^2.30^2 = 4,75\ Н;$$

$$J_{o_3} = 1,2.0,785.0,074^2.30^2 = 4,64\ Н;$$

$$N_2^{\times} = 3\ шт.; \qquad N_3^{\times} = 8\ шт.$$

$$J_1 = 4,75+[\frac{4,64}{0,25}+(8-1)\cdot 4,64-3.4,75]\ 0,8^2 = 28,2\ Н;$$

$$P = \frac{6,2^2.28,2.0,075}{1,54.4,74} = 11 < 70; \qquad K_o = 3,3;$$

$$\ell_c = 3 \div 5{,}4 = \frac{0{,}023 \cdot 6{,}2^2 \cdot 0{,}39 \cdot 28{,}2 \cdot 3{,}3}{1{,}54 \cdot 4{,}74} = 4{,}4 \text{ м};$$

$$y_o' = -0{,}48 \text{ м}.$$

Проведя аналогичные вычисления для y_o'', получим:

A = 0,15; B = 0,8; $\mathcal{Z}_m = 1{,}54$; $J_1 = 16{,}4$ Н;
$K_o = 3{,}3$; $\ell_c = 4$ м; $y_o'' = -0{,}42$ м.

Максимальная избыточная температура воздуха в рабочей зоне (п. 4.4, м):

$$\Delta t_{р.з} = \max(0{,}15;\ 2{,}7) = 2{,}7 < \Delta t_{р.з}^{норм};$$

$$\Delta t^{ср.т} = 8\ ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = \frac{8 \cdot 0{,}082}{(0{,}2 + 4{,}6\sqrt{\frac{0{,}074}{6}})(8-2)} = 0{,}15\ ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_1 = 2{,}5 \cdot 8\sqrt{\frac{1{,}28}{(1-0{,}25)8{,}3 \cdot 11}} = 2{,}7\ ^\circ\text{C}.$$

В результате расчета системы выявлено (п.4.5):

в диапазоне от $Q^т = 1000820$ Вт до $Q^т = 285000$ Вт требуемое количество холода подают основными и направляющими струями. Расход и избыточная температура воздуха, подаваемого основными струями, в этом диапазоне может изменяться соответственно от $L_{o_1}^{\Sigma т}$ = =72 м^3/с до $L_{o_1}^{\Sigma т} = 0$ и от $\Delta t_{o_1}^{т} = 8\ ^\circ$C до $\Delta t_{o_1}^{т} = 0$.

Расход и избыточная температура воздуха, подаваемого направляющими струями, неизменны и равны:

$$L_{o_2}^{\Sigma т} + L_{o_3}^{\Sigma т} = 28{,}2 \text{ м}^3/\text{с}, \quad \Delta t_{o_{2,3}}^{т} = 8\ ^\circ\text{C};$$

в диапазоне от $Q_т = 285000$ Вт и до $Q^т = 0$ требуемое количество холода подают направляющими струями. Расход воздуха, подаваемого направляющими струями, постоянен и равен $L_{o_2}^{\Sigma т} + L_{o_3}^{\Sigma т} = 28{,}2$ м^3/с, а его избыточная температура изменяется от $\Delta t_{o_{2,3}}^{т} = 8\ ^\circ$C до $\Delta t_{o_{2,3}}^{т} = 0$;

в диапазоне от $Q^{от} = 0$ до $Q^{от} = 535160$ Вт в рабочем режиме требуемое количество теплоты подают направляющими струями. Расход воздуха постоянен и равен $L^{\Sigma от}_{O_2} + L^{\Sigma от}_{O_3} = 29{,}2$ м^3/с, начальная разность температур изменяется от $\Delta t^{т}_{O_{2,3}} = 0$ до $\Delta t^{т}_{O_{2,3}} = 15$ °С;

в диапазоне от $Q^{д.о} = 0$ до $Q^{до} = 641230$ Вт в режиме дежурного отопления требуемое количество теплоты подают направляющими струями. Расход воздуха постоянен: $L^{\Sigma д.о}_{O_2} + L^{\Sigma д.о}_{O_{2,3}} = 29{,}2$ м^3/с. Начальная разность температур изменяется от $\Delta t^{до}_{O_{2,3}} = 0$ до $\Delta t^{д.о}_{O_{2,3}} = 18$ °С;

в диапазоне от $Q^{до} = 641230$ Вт до $Q^{до} = 819000$ Вт в режиме дежурного отопления требуемое количество теплоты подают основными и направляющими струями. Расход и начальная разность температур воздуха, подаваемого направляющими струями, неизменны и равны соответственно: $L^{\Sigma до}_{O_2} + L^{\Sigma до}_{O_3} = 29{,}2$ м^3/с; $\Delta t^{до}_{O_{2,3}} = 18$ °С. Расход и избыточная температура воздуха, подаваемого основными струями, может изменяться соответственно от $L^{\Sigma до}_{O_1} = 0$ до $L^{до}_{O_1} = 47{,}1$ м^3/с и от $\Delta t^{до}_{O_1} = 0$ до $\Delta t^{до}_{O_1} = 8$ °С.

Список литературы

1. Виноградский Л.С., Гапонов А.Е., Живов А.М., Пончек М.И. Новая отопительно-вентиляционная система для механических цехов. – Реф. информ.: Проектирование отопительно-вентиляционных систем и систем внутреннего водопровода и канализации. ЦИНИС. М., 1981, вып. 5.

2. Способ и устройство для вентиляции. Заявитель AB Svenska Fläktfabriken. Патент ФРГ № 2320134. 1977.

3. Гримитлин М.И., Живов А.М., Пончек М.И., Шалькрот Е.О. Подача воздуха в помещениях отопительно-вентиляционными системами с направляющими соплами. - В кн.: Новое в воздухораспределении/ Материалы семинара. М., 1983.

4. Живов А.М. Сосредоточенная подача вентиляционного воздуха с применением направляющих струй. - Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Ленинград, 1983.

5. Пончек М.И., Живов А.М., Виноградский Л.С. Новый способ подачи воздуха с использованием направляющих струй. - В кн.: Новые системы отопления и вентиляции промышленных зданий. М., 1982.

Р е к о м е н д а ц и и
по расчету отопительно-вентиляционных систем
с направляющими соплами

Редактор Л.Д.Спрыгина
Технический редактор П.И.Орехов
Корректор С.Ф.Домбровская

Л- 94680 Подписано в печать 25.06.1984 г.
Формат 60x90 1/16 Уч.-изд.л. 2 Печ.л. 2,75
Усл.кр.-отт. 2,94 Тираж 300 экз. Цена 16 коп. Заказ 1098
ЦНИИпромзданий, 127238, Москва, Дмитровское ш., 46.

ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР, 121471, Москва,
Можайское ш., 25.

gost.e-ecolog.ru