

Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий

Типы, область применения, принципы проектирования

А. М. Живов, канд. техн. наук, президент Zhivov&Associates

Peter V. Nielsen, профессор, Университет Аальборга, Дания

Gerald Riskowski, профессор, Университет Иллинойса

Е. О. Шилькрот, зав. лабораторией «ЦНИИПромзданий», вице-президент НП «АВОК»

Почти все системы вентиляции и кондиционирования воздуха в США по принципу действия можно отнести к перемешивающему (Mixing Ventilation, MV) типу. Приточный воздух смешивается с воздухом помещения, в результате устанавливается равномерное распределение температуры, относительной влажности и концентрации загрязнений по всему объему вентилируемого помещения. Вентиляция вытесняющего типа (Displacement Ventilation, DV) отличается тем, что создает некоторую неравномерность температуры и концентрации загрязнений внутри помещения.

Классификация

Термин «вытесняющая вентиляция», DV, используется в специальной литературе применительно к различным типам приточных систем. Предлагается следующая классификация DV:

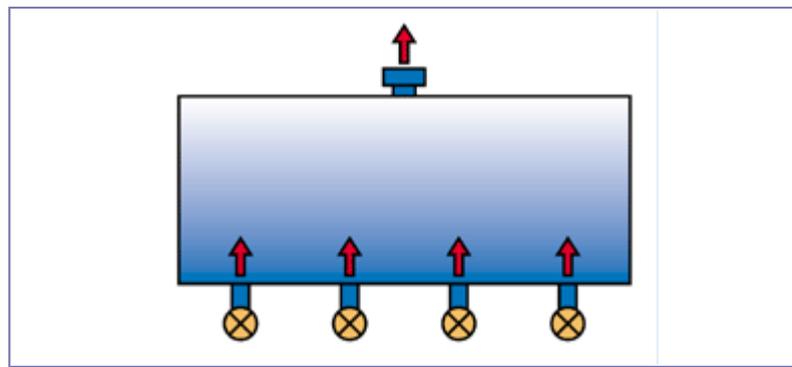


Рис.1.

Вертикальный однонаправленный поток воздуха, или система воздухораспределения поршневого типа. Печатается по AIR-IX,1987; LVIS, 1996.

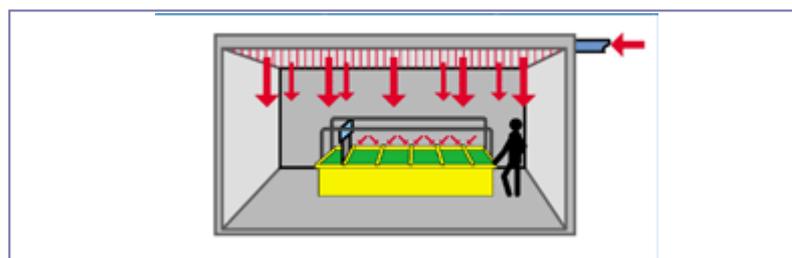


Рис.2.

Система воздухораспределения поршневого типа с подачей через перфорированный потолок. Этот способ может быть использован для вентиляции гальванических цехов. Печатается по AIR-IX,1987.

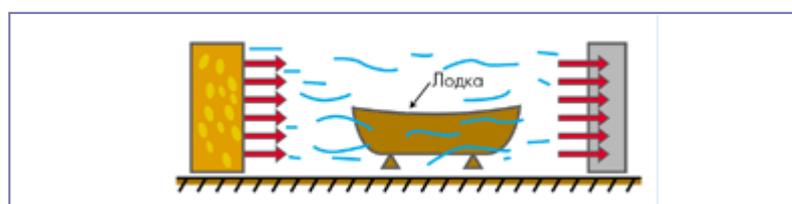


Рис.3.

Горизонтальный однонаправленный поток воздуха, или система воздухораспределения поршневого типа. Этот способ рекомендован для цехов по производству лодок из фибerglassа. Печатается по AIR-IX,1987,LVIS,1996.

• Системы, формирующие однонаправленный поток с низкой турбулентностью. Подача и удаление воздуха происходит с малой скоростью через приточные и вытяжные устройства с большой поверхностью, например, перфорированные панели. Поток воздуха в таких системах, часто называемых «системы с однонаправленным потоком» или «поршневые системы», может быть как вертикальным (воздух подается через потолок и удаляется через пол или наоборот (рис. 1, 2)), так и горизонтальным (воздух подается через одну стену, а удаляется через противоположную (рис. 3)). Приточные и вытяжные отверстия при этом равномерно распределены по потолку и полу или стенам. Создается практически равномерный поток, движущийся как поршень через все помещение. Системы вентиляции этого типа используются в основном для чистых комнат, где главной задачей является удаление загрязнений, или для цехов с большими теплоизбытками и/или высокой концентрацией загрязнений при наличии большого воздухообмена.

• Системы с приточными воздуховодами, проложенными под полом (фото А), и воздухораспределителями в полу, обеспечивающими быстрое затухание приточной струи. За счет внутренних тепловыделений воздух подогревается, поднимается вверх и удаляется из верхней зоны помещения.

• Низко-импульсные системы подачи охлажденного воздуха (фото В) с воздухораспределителями, расположенными на уровне потолка [1, 2, 3] или на высоте около 3 м [4, 5]. Обладая более высокой удельной плотностью, охлажденный воздух опускается по направлению к рабочей зоне, подмешивая некоторое количество воздуха помещения, распространяется вдоль пола, затапливает нижнюю зону помещения. Воздух помещения, нагретый от внутренних источников тепла, поднимается вверх и удаляется из верхней зоны. Небольшой объем подмешивания окружающего воздуха к приточным струям позволяет ограничить перенос загрязнений в рабочую зону. Такие системы, называемые иногда «активные термовытесняющие», обеспечивают более эффективное удаление теплоизбытков и загрязнений, чем перемешивающие системы.

• Системы, в которых охлажденный воздух с малыми скоростями подается через воздухораспределители со специальными соплами, установленными выше рабочей зоны, а удаление воздуха происходит из нижней зоны. Загрязненный воздух рабочей зоны прижимается к полу потоком вытесняющего приточного воздуха и вытесняется по направлению к напольным вытяжным отверстиям (рис. 4). Такая система обеспечивает стратификацию температуры и концентрации загрязнений выше уровня установки воздухораспределителей и препятствует попаданию загрязнений в воздух рабочей зоны. Эти системы также иногда относят к активным термовытесняющим.

• Системы, в которых приточный охлажденный воздух с малой скоростью подается непосредственно в рабочую зону, а удаляется из верхней зоны (рис. 5). Такие системы могут быть названы «пассивными термовытесняющими». Подача воздуха осуществляется параллельно полу, при этом вблизи пола формируется слой относительно холодного чистого воздуха. Источники тепла в рабочей зоне создают восходящие конвективные потоки нагретого воздуха, к которым подмешивается воздух рабочей зоны. Таким образом, теплый загрязненный воздух накапливается в верхней зоне помещения и удаляется через расположенные там вытяжные устройства. Приточные струи с низким уровнем турбулентности подсасывают небольшое количество окружающего воздуха и не способствуют перемешиванию верхней и нижней зон. Стратификация загрязнений обеспечивает высокое качество воздуха в рабочей зоне практически без увеличения эксплуатационных затрат.

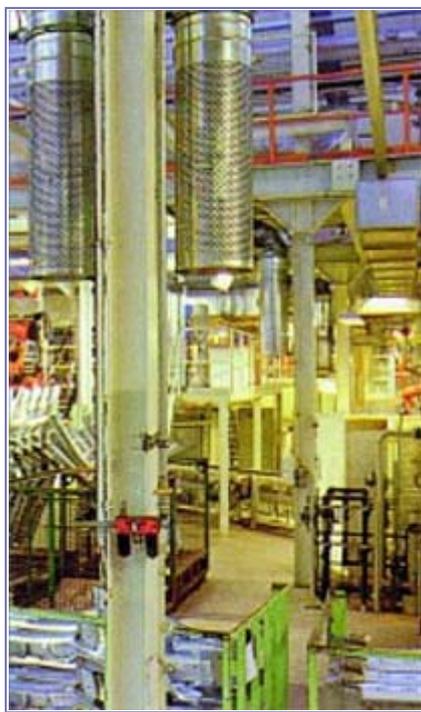


Фото В.

Низко-импульсное воздухо-распределение в цеху завода Volkswagen AG через перфорированные воздухораспределители, установленные на колоннах на высоте 3м



Фото А.

Подача воздуха через напольные воздухораспределители с закручиванием струи в аудитории Университета Амстердама

Пассивные термовытесняющие системы были первыми системами вентиляции вытесняющего типа, DV, и получили широкое распространение в промышленных зданиях Скандинавии за последние 30 лет. Они до сих пор остаются наиболее распространенными системами этого типа в Европе. С недавних пор область применения этих систем увеличилась за счет офисов и других коммерческих зданий, где наряду с качеством воздуха предъявляются высокие требования к комфорту.

Рис. 4
Активная
термовытесняющая
вентиляция

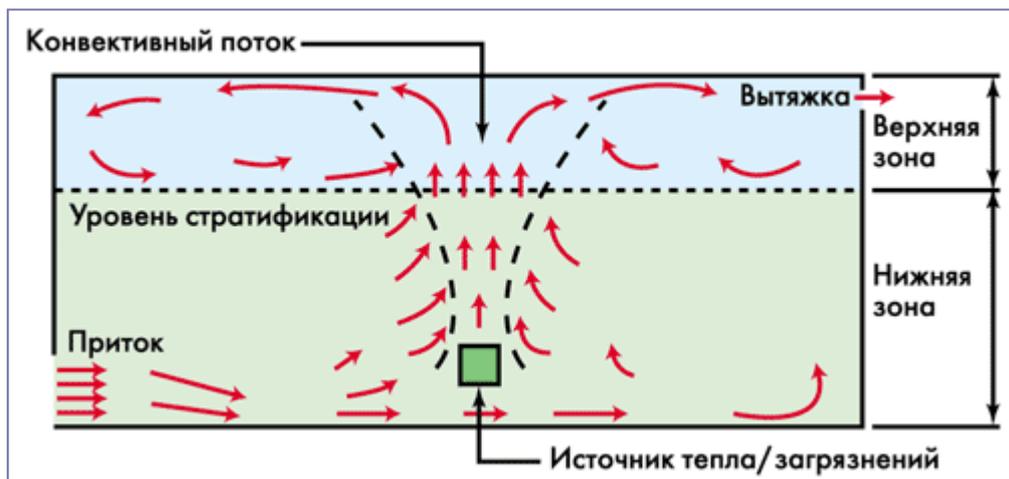
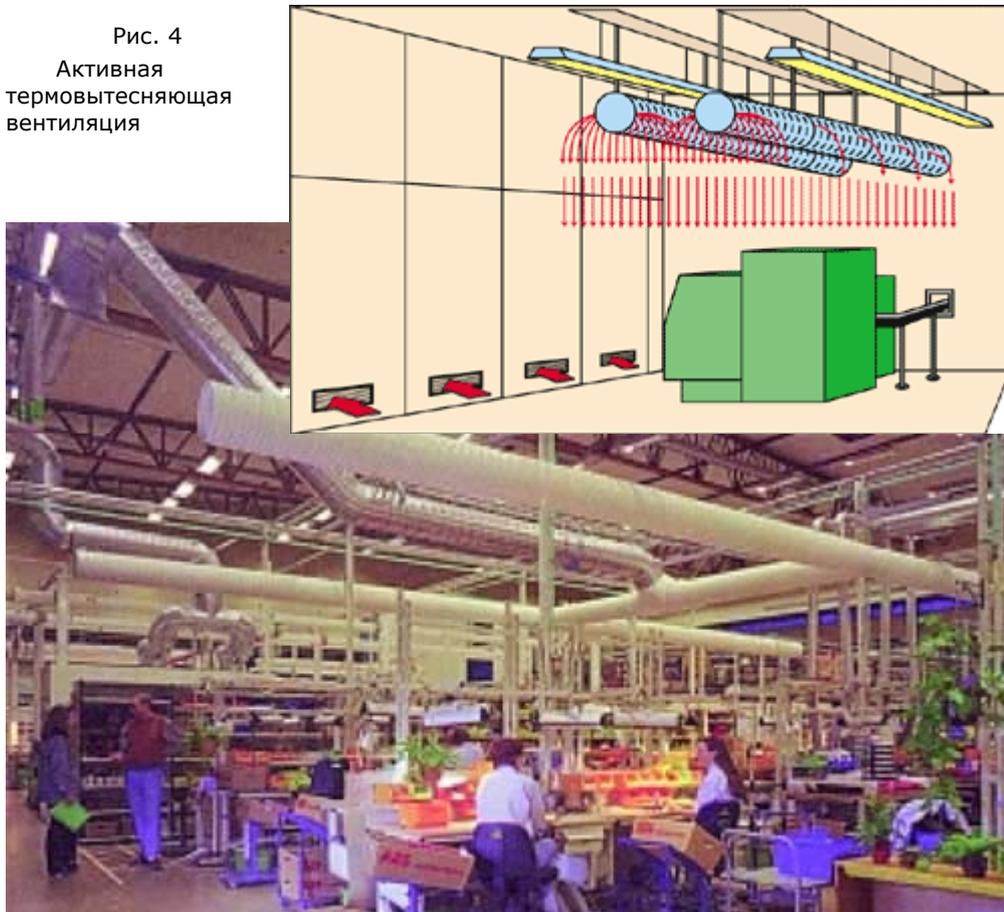


Рис. 5
Пассивная термовытесняющая вентиляция

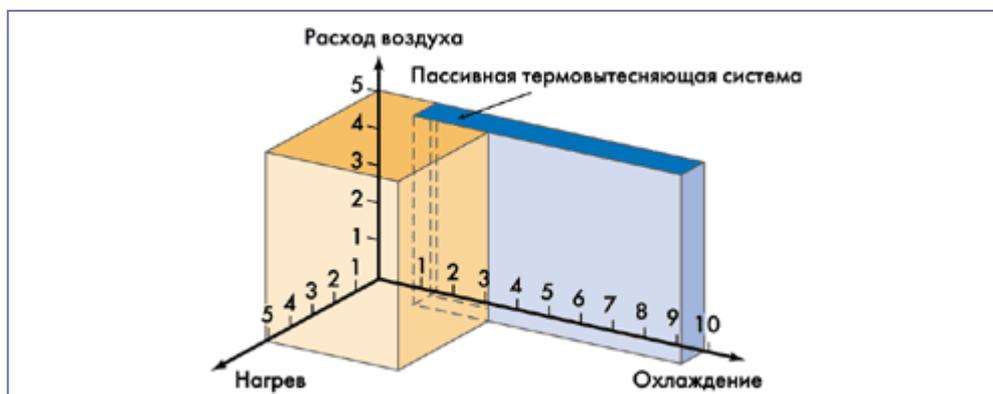


Рис. 6.
График для определения диапазонов расходов воздуха и нагрузки по теплу/холоду для систем смешивательной, фактивной термовытесняющей и пассивной термовытесняющей вентиляции. Цена деления шкалы по оси расхода воздуха соответствует 0,116 м, цена деления по оси тепловой/холодильной нагрузки - 15 Вт/м²•ч

Выбор способов воздухораспределения

К числу критериев, используемых для выбора способов воздухораспределения, относятся коэффициенты эффективности удаления теплоизбытков и загрязнений, K_t и K_c :

$$K_t = (t_{\text{exh}} - t_0) / (t_{\text{o.z.}} - t_0),$$
$$K_c = (C_{\text{exh}} - C_0) / (C_{\text{o.z.}} - C_0),$$

где:

t – температура воздуха;

C – концентрация загрязнений в приточном воздухе ($_0$), рабочей зоне ($_{\text{o.z.}}$) и удаляемом воздухе ($_{\text{exh}}$).

Другими критериями являются нагрузки по теплу/холоду и воздухообмен, предельно допустимый по условиям комфорта (сквозняки, значительная неравномерность распределения температур по помещению и др.) или по требованиям производственного процесса (снижение производительности местных отсосов, сдувание защитных воздушно-струйных укрытий у сварочных аппаратов и т. п.).

Использование вытесняющей вентиляции обеспечивает наиболее высокую эффективность по удалению теплоизбытков и загрязнений: коэффициенты эффективности воздухообмена K_t и K_c более 2 для «поршневых» систем. Соответственно, 1,8–2,5 для пассивных термовытесняющих систем и 1,2–1,8 для активных термовытесняющих систем.

В системах перемешивающей вентиляции при равномерном распределении температуры и концентрации загрязнений по помещению соответствующее значение эффективности очистки воздуха равно 1.

На рис. 6 показано сравнение значения воздухообмена и нагрузок по теплу и холоду, которые могут быть реализованы в помещении с системами вентиляции смешительного типа и с активной и пассивной термовытесняющими системами.

Благодаря первоначальному успешному применению системы вытесняющей вентиляции стали широко применяться в Европе (безотносительно к тому, обладают ли они в каждом конкретном случае преимуществами перед системами смешительного типа по обеспечению качества воздуха). Неправильного применения систем вытесняющей вентиляции можно избежать, если использовать полную информацию об этих системах и проводить расчеты экономической эффективности [7, 8, 9].

В настоящей статье рассматривается область применения и принципы проектирования традиционной системы вытесняющей вентиляции.

Область применения

К главным преимуществам вытесняющей вентиляции относятся высокое качество и малая подвижность воздуха почти во всем объеме рабочей зоны. Эффективность вытесняющей вентиляции особенно велика в случае, когда тепло и загрязнения поступают в помещение от единого источника. Если источник загрязнений не выделяет тепла и находится в стороне от тепловых источников, формирующих восходящие конвективные потоки, или эти потоки не обладают достаточной мощностью и не достигают уровня стратификации, вызванного температурным градиентом, то рабочая зона может оказаться сильно загрязненной.

Когда речь идет о вытесняющей вентиляции, необходимо иметь в виду следующее:

- Система работает наилучшим образом при высоте помещения более 3 м.
- Не рекомендуется применение вытесняющей вентиляции, если рядом с источником загрязнения не находится источник тепла, обладающий достаточной мощностью для формирования восходящих конвективных потоков, способных переносить загрязнения за пределы рабочей зоны.
- Температура приточного воздуха не может превышать расчетную температуру воздуха помещения. Таким образом, если в помещении требуется обогрев, систему вытесняющей вентиляции необходимо дополнить системой отопления – с местными отопительными приборами или с подвесными излучателями.
- Большие нагрузки по охлаждению не могут быть реализованы вследствие ограничения по охлаждению приточного воздуха. Разность температур приточного воздуха и воздуха в помещении должна обеспечивать формирование заданного температурного градиента в рабочей зоне: 1,8°C/м для коммерческих зданий, где работают стоя, или 2,5°C/м в случае сидячей работы. Одновременно разность температур приточного воздуха и воздуха помещения не должна превышать 3–4°C для коммерческих зданий и 4–6°C для промышленных цехов, где выполняется работа средней тяжести, во избежание превышения допустимой подвижности воздуха (сквозняков) на уровне пола. На основании имеющегося опыта установлено, что в системах вытесняющей вентиляции с типовыми воздухораспределителями нагрузки по холоду не должны превышать 40 Вт/м²•ч для коммерческих зданий и 80 Вт/м²•ч для промышленных цехов при работе средней тяжести, а при использовании воздухораспределителей эжекционного типа эти значения могут быть увеличены соответственно до 60 и 100 Вт/м²•ч. В районах с теплым климатом могут использоваться дополнительные системы охлаждения, например, охлаждающие потолки.
- Активная физическая работа в зоне действия вытесняющей вентиляции может уменьшить эффективность удаления теплоизбытков и загрязнений. Практический опыт показал, что вытесняющая вентиляция малоэффективна в кузовных и сварочных цехах, где широко применяются автоматы, так как движение кузовов автомобилей и перемещение автоматических манипуляторов нарушает стратификацию температуры и концентрации загрязнений по высоте помещения и, таким образом, сводит на нет преимущества вытесняющей вентиляции.

Принципы проектирования

Проектирование систем вытесняющей вентиляции основано на аналитических расчетах или на использовании компьютерных аэродинамических моделей (CFD-программы). При этом аналитические расчеты используются значительно чаще. Применение CFD-программ может оказаться полезным при проектировании систем для помещений большого объема, поскольку большие размеры помещений затрудняют выполнение необходимых натурных обследований и измерений, дополняющих аналитические расчеты, а проекты систем для таких помещений часто бывают уникальными. Однако практическое использование CFD-программ для трехмерного моделирования требует определенной квалификации и компьютерных ресурсов, которых у рядовых проектировщиков может не оказаться. Кроме того, картина распределения температур и скоростей воздуха по объему помещения, получаемая с помощью CFD, бывает недостаточно точной.

Опыт показывает, что аналитический метод позволяет получить сравнительно простую методику расчета, которая дает хорошие результаты для большинства случаев. При использовании аналитического метода проектировщик должен определить:

- расход воздуха, подаваемый приточной системой;
- распределение температур и концентраций загрязнений;
- конвективные потоки над источниками тепла в условиях стратификации;
- эффективность системы вытесняющей вентиляции.

Помещения с теплоизбытками

При расчете определяются следующие параметры:

- коэффициент эффективности воздухообмена, K_t ;
- расход приточного воздуха для ассимиляции теплоизбытков, $G_{от}$;
- температура приточного воздуха, T_o ;
- температура удаляемого воздуха, T_{exh} ;
- градиент температуры по высоте помещения, $\Delta t/H_r$.

Допущения

- Температурный градиент является линейным (нет скачкообразной стратификации, как в режиме удаления загрязнений),
- Тепловой баланс, лучистый и конвективный, в т. ч. турбулентный теплообмен, рассчитываются для двух зон: нижней (зоны пребывания людей) и верхней зоны.
- Температура рабочей зоны – это температура воздуха на высоте $h_{o.z.}=1$ м от пола для помещений с преобладанием сидячей работы и 1,8 м для помещений, где работают стоя. Температура в рабочей зоне на заданной высоте считается одинаковой для всей рабочей зоны вне области прямого воздействия приточных струй.
- Перепад температур по фигуре человека – от уровня головы ($h_{o.z.}=1$ или 1,8 м) до уровня лодыжек ($h_{o.z.}=0,1$ м) не превышает $2-3^{\circ}C$ во избежание дискомфорта. Отсюда вытекает ограничение величины градиента температуры по высоте помещения ($\Delta t/H_r$) значениями $2-2,50C/m$ или $1,2-1,80C/m$ в зависимости от положения человека при работе (сидя или стоя) [11, 12].

Предлагаемый порядок расчета

Этап 1. Составление перечня всех источников тепла в помещении.

Этап 2. Расчет среднего значения конвективной составляющей теплообмена, Ψ , исходя из мощности каждого источника тепла, W_i (Вт), конвективной составляющей тепловой мощности каждого источника тепла, Ψ_i , по формуле

$$\Psi = \frac{\sum (W_i \times \Psi_i)}{\sum W_i} \quad (1)$$

Этап 3. Расчет среднего значения лучистой составляющей теплообмена в рабочей зоне исходя из полной тепловой мощности и лучистой составляющей каждого источника тепла:

$$\varphi = \frac{\sum (W_{рад} \times \varphi_i)}{\sum W_{рад}} = \frac{\sum [\varphi_i \times (1 - \Psi_i) \times W_i]}{\sum [W_i \times (1 - \Psi_i)]} \quad (2)$$

Этап 4. Определение коэффициента эффективности воздухообмена, K_{to} , в первом приближении:

$$K_{to} = \frac{1}{\varphi(1 - \Psi)} \quad (3)$$

Этап 5. Выбор расчетной разности температур приточного воздуха и воздуха рабочей зоны, $\Delta t_o = t_{o.z.} - t_o$, на основе известных параметров воздухораспределителей, характера трудовой деятельности в помещении и расстояния от воздухораспределителя до ближайшего рабочего места.

Этап 6. Предварительный расчет величины воздухообмена, $G_{от}$, кг/с, принимая в первом приближении

$K_t = 0,5 K_{to}$:

$$G_{от} = \frac{\sum W_i}{C_p \Delta t_o K_t} \quad (4)$$

Этап 7. Определение коэффициента эффективности воздухообмена, K_t^* , с использованием методики и номограмм, приведенных в работе [13].

Этап 8. Сравнение значения K_t^* , вычисленного на этапе 7, с K_t , рассчитанным как $0,5 K_{to}$. Если величина $(K_t^* - K_t)/K_t^*$ окажется менее 0,1 – переходим к этапу 9. Если же эта величина более 0,1, принимаем $K_t = K_t^*$ и повторяем расчет этапа 6.

Этап 9. Расчет температуры удаляемого воздуха

$$t_{exh} = t_o + K_t \Delta t_o \quad (5)$$

Этап 10. Расчет температуры приточного воздуха, исходя из заданной температуры в рабочей зоне, $t_{o.z.}$, по формуле

$$t_o = t_{o.z.} - \Delta t_o \quad (6)$$

Этап 11. Расчет температурного градиента, $\Delta t/H$, по высоте помещения:

$$\frac{\Delta t}{H} = \frac{t_{enk} - t_{o.z.}}{H_{room} - h_{o.z.}} = \frac{\Delta t_o (K_t - 1)}{H_{room} - h_{o.z.}} \quad (7)$$

Если полученное значение $\Delta t/H$ больше нормативного (по условиям комфорта), следует уменьшить величину Δt_o и повторить расчет этапа 6.

Этап 12. Расчет приточного воздухообмена, G_o , с использованием окончательных значений K_t и Δt_o , по формуле

$$G_o = \frac{\sum W_i}{C_p \Delta t_o K_t} \quad (8)$$

Помещения с теплоизбытками и загрязнением воздуха

При расчете определяются следующие величины:

- коэффициент эффективности воздухообмена, K_c ;
- расход приточного воздуха для удаления теплоизбытков и загрязнений, G_o ;
- концентрация загрязнений в рабочей зоне, $C_{o.z.}$;
- концентрация загрязнений в удаляемом воздухе, C_{exh} ;
- концентрация загрязнений в зоне дыхания, C_e .

Допущения

• Распределение концентрации загрязнений по высоте помещения имеет ступенчатый характер. Высота «ступени», называемой уровнем стратификации (h_{str}), равна высоте подъема конвективных тепловых потоков над уровнем пола, при этом общий расход в конвективных струях, ΣG_i , равен расходу приточного воздуха, G_o .

• Уровень стратификации принимается не ниже 1,5 м в помещениях, где выполняется сидячая работа, и 2 м в помещениях, где работают стоя.

• Загрязнения, выделяемые источниками без нагрева (изотермическими), считаются пассивными. Они могут выделяться в зону ниже уровня стратификации в количестве Q_p^1 или в зону выше уровня стратификации в количестве Q_p^{up} . Если высота подъема конвективной струи над источником, выделяющим тепло и загрязнения, не достигает уровня стратификации вследствие воздействия температурного градиента, загрязнения, выделяемые этим источником, считаются пассивными, а конвективный поток от этого источника не учитывается при расчете уровня стратификации. Максимальная высота подъема конвективной струи может быть определена на основании данных [13], при этом температурный градиент рассчитывается с использованием процедуры этапа 4 предыдущего раздела. Загрязнения, выделяемые в помещении нагретыми источниками, Q_{conv} , переносятся в верхнюю зону, если высота подъема конвективных струй, рассчитанная с учетом температурного градиента, оказывается выше уровня стратификации.

• Концентрация загрязнений в рабочей зоне, $C_{o.z.}$, ограничена предельно допустимым значением (ПДК) или долей этого значения (аПДК).

• Фоновая концентрация загрязнений наружного воздуха или недостаточная очистка рециркуляционного воздуха могут вызвать загрязнение приточного воздуха, характеризуемое величиной C_o .

Предлагаемый порядок расчета

Этап 1. Расчет воздухообмена G_o и температурного градиента по высоте помещения $\Delta t/H$ в соответствии с процедурой этапа 4 предыдущего раздела, посвященного варианту для помещений с преобладанием теплоизбытков.

Этап 2. Используя данные таблицы [13, 14] для типовых источников тепловыделений и загрязнений, выполняется расчет высоты уровня стратификации, h_{str} , с учетом всех источников тепла в рабочей зоне. Общий расход конвективных потоков от источников тепла на уровне стратификации должен быть равен G_o , рассчитанному по уравнению (8). Расход воздуха в конвективных струях от каждого источника тепла должен определяться с учетом температурного градиента Δt_o .

Этап 3. Определение коэффициента K_c с использованием методики и расчетных номограмм, приведенных в работе [14].

Этап 4. Расчет концентрации загрязнений в удаляемом воздухе, C_{exh} , по формуле

$$C_{enk} = C_o + \frac{Q_p^l + Q_p^{up} + Q_{conv}}{G_o} \quad (9)$$

Этап 5. Расчет концентрации загрязнений в рабочей зоне, $C_{o.z.}$, по формуле

(10)

$$C_{o.z.} = C_o + \frac{C_{enk} - C_o}{K_c}$$

Этап 6. Определение концентрации загрязнений в зоне дыхания, C_e , следующим образом:

если $h_e < h_{str}$,

$$C_e = C_{o.z.}, \quad (11)$$

или

если $h_e > h_{str}$,

$$C_e = C_{o.z.} \left[K_c \left(1 - \frac{h_{str}}{h_e} \right) + \frac{h_{str}}{h_e} \right] \quad (12)$$

Этап 7. Если величина C_e оказалась меньше ПДК, переходим к выбору воздухораспределителей. Если же C_e больше ПДК, следует увеличить расход приточного воздуха G_o с соответствующим уменьшением перепада температур Δt_o и температурного градиента $\Delta t/H$, выполнить пересчет высоты уровня стратификации, h_{str} .

Выбор воздухораспределителей

Подбор воздухораспределителей производится на основе следующих величин:

- Расхода приточного воздуха, m^3/c .
- Перепада температур приточного воздуха и воздуха помещения, который обычно ограничен величиной 3–4°C для коммерческих зданий, если в системе вытесняющей вентиляции используются обычные (не эжекционные) воздухораспределители, или 5–6°C, если используются эжекционные воздухораспределители.
- Величины «ближайшей» зоны – допустимого расстояния от воздухораспределителя до ближайшего рабочего места. Эта величина зависит от места размещения воздухораспределителей. В результате для одного и того же помещения могут быть выбраны воздухораспределители различных типов, размеров и даже различной формы.
- Акустических ограничений (уровня шума).

Размещение воздухораспределителей и мест удаления воздуха

Воздухораспределители в системах вытесняющей вентиляции следует размещать таким образом, чтобы большие препятствия или стены под прямым углом к направлению потока находились на расстоянии не менее 1 м от «ближайшей» зоны.

Рекомендуемое минимальное расстояние между воздухораспределителями должно на 1 м превышать суммарную величину их «ближайших» зон.

Для сокращения длины воздуховодов часто стараются размещать воздухораспределители на одной стене. Однако размещение воздухораспределителей вдоль разных стен может обеспечить увеличение допустимой нагрузки по холоду для системы вытесняющей вентиляции.

При выборе местоположения воздухораспределителей следует принимать во внимание расположение источников тепла. Большой расход приточного воздуха вблизи мест активных тепловыделений позволит уменьшить распространение теплоизбытков по помещению и повысить эффективность их ассимиляции.

Места удаления воздуха следует размещать на потолке или вблизи него. Удаление теплоизбытков и загрязнений будет более эффективным, если вытяжные устройства разместить непосредственно над источниками тепла. В ресторанах с отдельными зонами для курящих и некурящих рекомендуется размещать вытяжные устройства в зоне для курящих, а места забора воздуха на рециркуляцию – в зоне для некурящих.

Выбор типа воздухораспределителей

Конструкция и форма воздухораспределителя оказывает существенное влияние на тепловой комфорт в рабочей зоне и на минимально допустимое расстояние до ближайшего рабочего места. Неудачно спроектированный воздухораспределитель может создавать зону с недопустимо высокой подвижностью воздуха (более 0,2 м/с) величиной в несколько метров.

В помещениях с большой нагрузкой по охлаждению предпочтительно использование воздухораспределителей эжекционного типа. В некоторых случаях применение эжекционных воздухораспределителей позволяет уменьшить диаметр воздуховодов в приточной системе. В исследованиях, проведенных в Университете Аальборга [15], сравнивались два возможных способа подачи воздуха при одной и той же нагрузке по холоду: 1 – воздух подается обычным воздухораспределителем с расходом 0,083 m^3/c при перепаде температур 53°C; 2 – воздух подается в количестве 0,033 m^3/c при перепаде температур 7,5°C. В том и в другом случае скорость воздушной струи на расстоянии 2 м не превышала 0,2 м/с.

Важно отметить, что эжекционные воздухораспределители способны создавать дискомфорт в случае применения в системах вентиляции с переменным расходом (VAV). Для эжекции (подсоса) воздуха помещения требуется определенный минимальный расход воздуха в приточной системе. В системах вентиляции с переменным расходом существует риск, что при снижении объема притока в помещение будет поступать чрезмерно холодный воздух.

Для предотвращения сквозняков рекомендуется использовать специальные воздухораспределители с внутренними соплами, направляющими воздух в стороны (вдоль стен).

Определение количества воздухораспределителей

Во всех случаях по условиям комфорта и эффективности лучше использовать большое количество малых воздухораспределителей, чем малое количество более крупных. Если есть возможность выбора, можно использовать воздухораспределители различной формы.

Оценка производительности

Наиболее простой подход к проектированию подразумевает, что в помещении используются одинаковые воздухораспределители и их количество минимально. В этом случае определяется допустимая величина «ближайшей» зоны. Наилучший результат достигается в том случае, если для разных мест размещения воздухораспределители подбираются отдельно.

В отличие от систем смесительной вентиляции, для проектирования вытесняющей вентиляции существенным является вопрос определения ядра приточной струи. Хотя скорость выпуска воздуха в системах вытесняющей вентиляции, как правило, меньше, чем в смесительных, вблизи воздухораспределителей может ощущаться неприятное дутье. Сочетание низкой скорости выпуска воздуха, перепада температур по притоку 2–40С и сравнительно большой поверхности воздухораспределителей может привести к тому, что значение критерия Архимеда окажется значительно выше, чем для смесительных систем. Влияние гравитационных сил в системах вытесняющей вентиляции может привести к изменению профиля скоростей в струе. Сравнительно равномерный профиль скоростей в сечении приточного отверстия вблизи пола деформируется таким образом, что максимальная скорость находится ближе всего к поверхности пола. Вследствие трансформации поля скоростей приточной струи на некоторых участках у пола может обнаруживаться превышение скорости по сравнению с первоначальной, с последующим затуханием. Чем больше перепад температур в приточной струе, тем большей может быть трансформация поля скоростей и, соответственно, тем сильнее возрастает скорость у поверхности пола.

Основываясь на материалах исследований воздухораспределителей, проведенных в Университете Аальборга, можно прийти к заключению, что перепад температур в приточной струе оказывает наибольшее влияние на минимально допустимое удаление воздухораспределителей от рабочей зоны. Если имеются данные изготовителя о рекомендуемом перепаде температур и производительности воздухораспределителя, следует определить минимально допустимое расстояние от воздухораспределителя до рабочего места, принимая граничное значение скорости воздуха 0,2 м/с.

Примерная скорость воздушной струи на расстоянии X от воздухораспределителя может быть определена по формуле

$$V_x = 0,2 \frac{l_{rest}}{X} \quad (13)$$

Если данные изготовителя отсутствуют, а проектировщику известен только тип воздухораспределителя, максимальную скорость в струе V_x можно определить, исходя из расхода воздуха, G_o , и расчетного перепада температур ($t_o - t_{o.z.}$) с использованием следующего уравнения:

$$\frac{V_x}{G_o} = K \frac{1}{X} \quad (14)$$

где:

K – характеристика воздухораспределителя, зависящая от его типа, формы и параметра $(t_o - t_{o.z.})/G_o^2$. Этот параметр можно считать модифицированным критерием Архимеда.

Данные, полученные в Университете Аальборга, показывают, что для первых поколений воздухораспределителей характерны высокие значения показателя K и радиальное распределение потока. У некоторых воздухораспределителей наблюдалось даже направленное движение воздуха вдоль оси при низких значениях критерия Архимеда, что ведет к увеличению значения K . Новое поколение воздухораспределителей обеспечивает настиление струи вдоль стен при незначительной скорости перпендикулярно к стенам. Этому соответствуют малые значения параметра K . Уравнение (14) справедливо при значениях X до 1,5 м от воздухораспределителя.

Примечание

Несмотря на то что настоящая статья написана по материалам проекта «Разработать руководство по проектированию систем вытесняющей вентиляции», финансируемого Philip Morris management Corp., и проекта «Руководство по системам вентиляции для автомобильной промышленности», все выводы и оценки принадлежат исключительно авторам.

Литература

1. Kvisgaard B., Madsen G. S. Низко-импульсные потолочные воздухораспределители для систем вытесняющей вентиляции. ROOMVENT'92. Труды третьей международной конференции по воздухораспределению в помещениях. Т. 3. Aalborg, 1992.
2. Kristensson J. A., Lindqvist O. A. Вытесняющая вентиляция в промышленных зданиях. Труды ASHRAE. Т. 99 (1).
3. Kristensson J. A. Экономические аспекты локальной подачи воздуха в системах вытесняющей вентиляции. Вентиляция'94. Труды пятого международного симпозиума по очистке воздуха средствами вентиляции. Часть 2. Стокгольм, 1994.
4. Krantz-TKT GmbH. Системы воздухораспределения. Применение в системах вытесняющей вентиляции.
5. Kessler, Luch. Промышленный каталог и техническая информация. 1994.
6. ABB Ventilation products AG. 1993. Floormaster. Технические данные для приточных устройств эжекционного типа. FR 10303 0393.
7. Seppanen O. A., Fisk W. J., Eto J., Grimsrud D. T. Сравнение традиционных систем вентиляции и кондиционирования воздуха смесительного типа с вытесняющими системами для коммерческих зданий США. Труды ASHRAE. Т. 95 (2).
8. Живов А. М., Рымкевич А. А. Сравнение потребления энергии системами ОВК смесительного и вытесняющего типа в режиме охлаждения и нагрева для обеденных залов ресторанов в различных климатических условиях. Труды ASHRAE. Т. 104 (2), 1998.