

СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

5.1. ВИДЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

По способу перемещения воздуха системы вентиляции делят на системы с естественным побуждением движения воздуха и системы с искусственным побуждением. В системах с естественным побуждением воздух перемещается за счет гравитационных сил, ветрового давления и их совместного действия. В системах искусственных побуждений воздух перемещается, как правило, посредством вентилятора, поэтому такие системы чаще называют системами механической вентиляции.

По назначению системы вентиляции подразделяют на приточные, вытяжные и рециркуляционные. Приточные системы подают воздух в помещения или в его отдельные зоны. Вытяжные системы удаляют загрязненный воздух из помещений, отдельных зон или от оборудования. Рециркуляционные системы перемещают воздух из помещений или его отдельных зон в эти же помещения или его отдельные зоны после соответствующей обработки этого воздуха.

По способу организации воздухообмена и удаления вредных выделений системы вентиляции бывают общеобменные и местные.

При общем объеме вентиляции воздух сменяется во всем объеме помещения или во всей его рабочей зоне, требуемое состояние воздуха обеспечивается во всем объеме помещения или его рабочей зоны. Общеобменную вентиляцию применяют при наличии в помещении рассредоточенных по всей его площади или значительной ее части рабочих мест либо животных, птиц и других открытых источников вредных выделений.

Требуемое состояние воздуха в помещении достигается подачей в помещение свежего, обычно должным образом подготовленного воздуха в количестве, достаточном для разбавления вредных выделений до ПДК во всем объеме рабочей зоны помещения. Воздух, проходя через помещение, ассимилирует вредные выделения и при достижении нормативных значений ПДК удаляется из помещения.

При общеобменной вентиляции поступающий в помещение воздух должен быть распределен так, чтобы весь его объем участвовал в ассимиляции вредных выделений, чтобы равномерным потоком воздуха была охвачена вся рабочая зона помещения, чтобы не было застойных зон с повышенной концентрацией вредных примесей и повышенных скоростей движения воздуха в помещении.

90°, со створками размерами $0,8 \times 2,5$ м. Температура наружного воздуха $t_n = -27^\circ\text{C}$. Температура воздуха в помещении $t_p = 20^\circ\text{C}$.

1. Расчетная разность давления по обе стороны входа [см. формулу (4.124)]

$$\Delta p_{вх} = 9,8(3 \cdot 3 - 0,5 \cdot 2,5)(1,437 - 1,205) = 17,6 \text{ Па.}$$

2. Удельный поток холодного воздуха [см. формулу (4.128)]

$$j_{вх} = 0,55(2 \cdot 1,437 \cdot 17,6)^{0,5} = 3,9 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

3. Количество холодного воздуха, поступающего в здание [см. формулу (4.122)].

$$G_{вх} = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 3,9 \cdot 0,8 \cdot 2,5 \cdot 1,5 \cdot 500 = 1,46 \text{ кг/с.}$$

4. Теплотрататы на нагрев холодного воздуха [см. формулу (4.120)]

$$Q = 1,46 \cdot 1005(20 + 27) = 68 \text{ 963 Вт.}$$

5. Расход холодного воздуха, подаваемого для воздушно-тепловой завесы, нагретого до $t_p = 50^\circ\text{C}$ [см. формулу (4.120)].

$$G_3 = \frac{68 \text{ 963}}{1005(50 - 20)} = 2,29 \text{ кг/с.}$$

т. е. объем подаваемого воздуха [см. формулу (4.111)]

$$L_3 = 3600 \frac{2,29}{1,098} = 7500 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

М е с т я в е н т и л я ц и я действует только в части помещения в части его рабочей зоны. Применяют ее в том случае, если не требуется обеспечивать должное состояние воздуха во всем помещении или рабочей зоне, если нормируется состояние воздуха только на отдельных участках помещения или на фиксированных рабочих местах либо если необходимо удалить вредные выделения непосредственно от мест их образования.

Местные приточные системы подают воздух непосредственно на рабочее место или в определенную зону помещения. Местные вытяжные системы применяют для удаления загрязненного воздуха непосредственно от источника вредных выделений.

Воздух в системах вентиляции перемещается по каналам или без каналов, например, через проемы в ограждениях.

В сооружениях агропромышленного комплекса и коммунального хозяйства применяют:

общественные приточные и вытяжные системы вентиляции с естественным и механическим побуждением движения воздуха;

местные приточные системы вентиляции с механическим побуждением движения воздуха;

местные вытяжные системы вентиляции с естественным и механическим побуждением движения воздуха.

Естественная вентиляция

Системы вентиляции с естественным побуждением движения воздуха могут обеспечивать организованное и неорганизованное проветривание помещений. В таких системах воздух перемещается под действием естественных сил природы — ветрового и гравитационного давлений.

Гравитационное давление возникает вследствие разности удельных весов воздуха внутри помещения и снаружи, которая, в свою очередь, обуславливается разницей температур воздуха в помещении и снаружи его. Если температура воздуха в помещении выше температуры наружного воздуха, то в помещении создается тепловое давление, которое в верхней части помещения больше, чем снаружи, а в нижней части, наоборот, меньше, чем снаружи. Вследствие разности давлений у вертикального ограждения помещения воздух, находящийся в верхней части, стремится выйти из помещения наружу, а в нижней части — снаружи проникнуть в помещение. Вот это давление, под воздействием которого происходит такое перемещение воздуха, называется гравитационным.

Гравитационное давление определяют как произведение разности удельных весов наружного и удаляемого из помещения воздуха на расстояние по вертикали от центра вентиляционного отверстия в помещении до центра воздуховыбросного отверстия (рис. 5.1):

$$H = h(\rho_n - \rho_w), \quad (5.1)$$

где h — расстояние по вертикали от центра вентиляционного отверстия до центра воздуховыбросного отверстия, м; ρ_n и ρ_w — удельные веса наружного и удаляемого воздуха, Н/м³.

Гравитационное давление — постоянно действующий фактор, изменяющийся лишь по значению.

Ветровым называется давление, оказываемое ветром на поверхность обдуваемых предметов. При набегающем воздушном потоке на препятствие динамическое давление преобразуется в статистическое. При этом с наветренной стороны создается избыточное давление, а с заветренной — разрежение. Возникающий таким образом перепад давления вызывает перемещение воздуха через неплотности, щели и отверстия в ограждениях или движение воздуха по каналам. Ветровое давление

$$H_n = A \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5.2)$$

где A — аэродинамический коэффициент, показывающий, какая доля динамического давления преобразовалась в статическое при взаимодействии воздушного потока с ограждением здания; v — скорость ветра, м/с.

Обычно давление, создаваемое естественными силами, невелико, и поэтому за счет него оказывается возможным осуществлять общеобменную вентиляцию или отсасывание воздуха в местных вытяжных системах при небольшой протяженности каналов (воздуховодов), а также через открываемые отверстия в ограждениях. Это давление зависит от состояния наружного воздуха (температуры, скорости и направления ветра), поэтому интенсивность смены воздуха в помещениях при естественной вентиляции оказывается зависимой от внешних факторов. Это является существенным недостатком естественной вентиляции.

В сооружениях агропромышленного комплекса и коммунального хозяйства применяют общеобменную и местную, приточную и вытяжную, канальную и бесканальную естественную вентиляцию. На рис. 5.1 представлена схема общеобменной естественной вентиляции однопролетного здания. Вследствие различия гравитационного давления для отверстий, расположенных на различных уровнях, перемещение воздуха через помещение при $t_n < t_w$ происходит так, как показано на схеме. Через нижние отверстия поступает в помещение наружный воздух, а через верхние отверстия выходит загрязненный воздух.

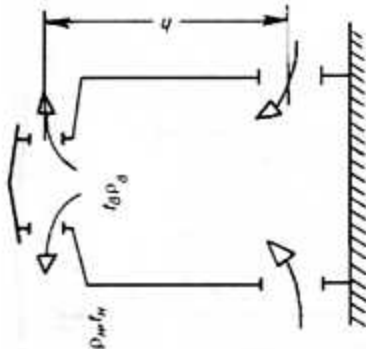


Рис. 5.1. Аэрация здания под воздействием гравитационного давления ($t_n < t_w$)

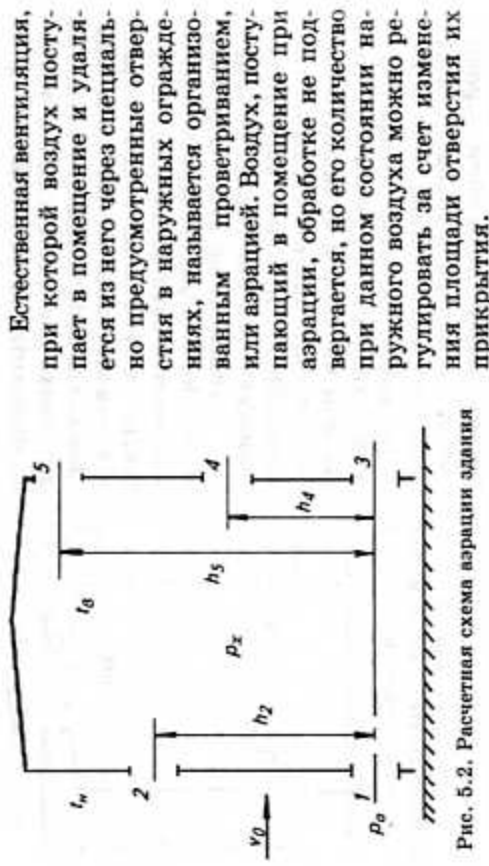


Рис. 5.2. Расчетная схема аэрации здания

В помещении животноводческих комплексов в переходный период года применяют активную аэрацию помещения. Для этого открывают оконные проемы и ворота, через которые поступает свежий и удаляется загрязненный воздух. Важно, чтобы подвижность воздуха в зоне содержания животных не превышала допустимую норму.

Аэрацию широко применяют для вентиляции помещений с большими избытками тепла. В таких помещениях не возникает опасности переохлаждения в зимний период. Кроме того, разность плотностей нагретого внутреннего и холодного наружного воздуха обеспечивает создание необходимого гравитационного давления. Основным видом вредных выделений, на которые рассчитывается аэрация, является избыточная теплота, поэтому максимальное количество воздуха при аэрации требуется в летний период, когда гравитационное давление вследствие незначительного различия температур внутреннего и наружного воздуха весьма мало. Зимой вследствие увеличения гравитационного давления требуемый воздухообмен достигается при меньшей площади отверстий.

Расход воздуха через отверстие в ограждении

$$L = \mu F v = \mu F \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (5.3)$$

где μ — коэффициент расхода воздуха, зависящий от конструктивных форм отверстия; F — площадь сечения отверстия, m^2 ; v — скорость движения воздуха в отверстии; m/c ; Δp — перепад давления по обе стороны стенки, Pa ; ρ — плотность воздуха, kg/m^3 .

Значение коэффициента расхода воздуха μ для проемов в ограждениях помещений колеблется в пределах от 0,6 до 0,7.

В условиях стационарного режима вентиляции количество поступающего в помещение воздуха $G_{пр}$ (kg/c) равно количеству удаляемого из помещения воздуха $G_{ух}$ (kg/c), т. е. $G_{пр} = G_{ух}$, или

$$\mu_{пр} F_{пр} \rho_n v_{пр} = \mu_{ух} F_{ух} \rho_n v_{ух}, \quad (5.4)$$

где ρ_n и ρ_n — плотности приточного и удаляемого воздуха.

Перепад давления определяют исходя из следующих положений. На уровне нижнего отверстия принимают давление снаружи P_n (рис. 5.2). Давление воздуха в помещении принимают условным, равным P_x , и считают его неизменным по высоте помещения, т. е. одинаковым для всех отверстий помещения. С учетом гравитационного при $t_n > t_n$ и ветрового при v_0 давлений перепад давления у отверстия 1

$$\Delta p_1 = P_n - A_1 \frac{v_0^2 \rho_n}{2} - P_x, \quad (5.5)$$

у отверстия 2

$$\Delta p_2 = P_x - \left[P_n + A_2 \frac{v_0^2 \rho_n}{2} - h(\gamma_n - \gamma_n) \right]. \quad (5.6)$$

Здесь A_1 и A_2 — аэродинамические коэффициенты для наветренной и подветренной сторон здания; γ_n и γ_n — удельные веса наружного и входящего из помещения воздуха, N/m^3 .

Расход воздуха через отверстие 1

$$G_1 = \mu_1 F_1 \rho_n \sqrt{\frac{2}{\rho_n} \left(P_n + A_1 \frac{v_0^2 \rho_n}{2} - P_x \right)}, \quad (5.7)$$

через отверстие 2

$$G_2 = \mu_2 F_2 \rho_n \sqrt{\frac{2}{\rho_n} \left[P_x - P_n - A_2 \frac{v_0^2 \rho_n}{2} + h(\gamma_n - \gamma_n) \right]}. \quad (5.8)$$

Приравняв $G_1 = G_2$, находят значение P_x . Получив значение P_x , вычисляют G_1 и G_2 .

При наличии большого числа отверстий в ограждениях однопроточного здания (рис. 5.2) составляют уравнение баланса воздуха $G_{пр} = G_{ух}$, предварительно распределив отверстия на приточные и вытяжные. Например, считаем отверстия 1, 2 и 3 приточными, отверстия 4 и 5 вытяжными. Тогда уравнение баланса расхода воздуха

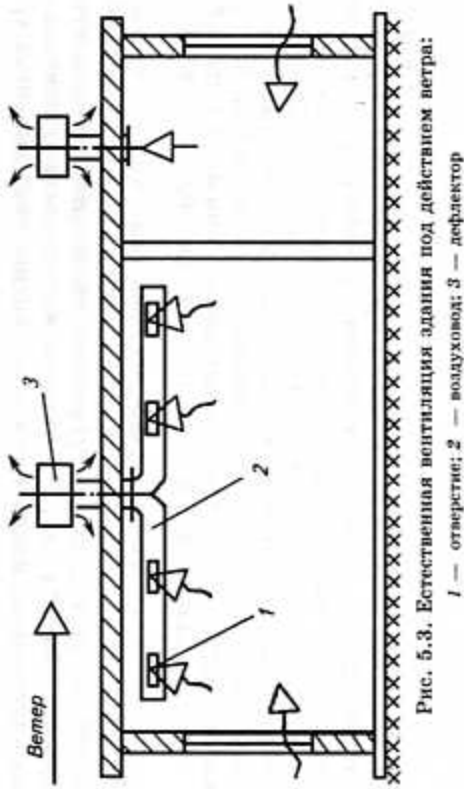


Рис. 5.3. Естественная вентиляция здания под действием ветра:
1 — отверстие; 2 — воздухолов; 3 — дефлектор

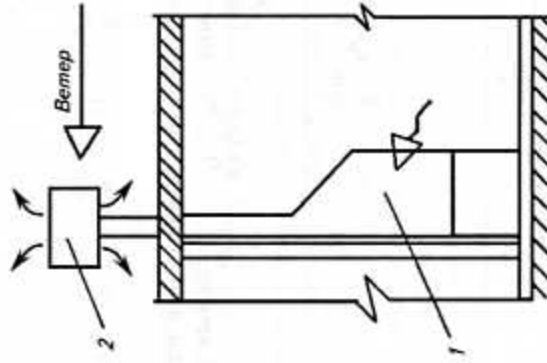


Рис. 5.4. Местная вытяжная система естественной вентиляции:
1 — вытяжной шкаф; 2 — дефлектор

$$\mu_1 F_1 \rho_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma_n} \left[p_n + A_1 \frac{v_0^2 \gamma_n}{2g} - P_x \right]} +$$

$$+ \mu_2 F_2 \rho_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma_n} \left[p_n + A_2 \frac{v_0^2 \gamma_n}{2g} - h_2 (\gamma_n - \gamma_n) - P_x \right]} +$$

$$+ \mu_3 F_3 \rho_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma_n} \left[p_n + A_3 \frac{v_0^2 \gamma_n}{2g} - P_x \right]} =$$

$$= \mu_4 F_4 \rho_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma_n} \left[p_x - p_n - A_4 \frac{v_0^2 \gamma_n}{2g} + h_4 (\gamma_n - \gamma_n) \right]} +$$

$$+ \mu_5 F_5 \rho_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma_n} \left[p_x - p_n - A_5 \frac{v_0^2 \gamma_n}{2g} + h_5 (\gamma_n - \gamma_n) \right]}.$$

Зная площади F , коэффициенты μ величины ρ_n , ρ_n , γ_n , γ_n , и приняв $p_n = 0$, находят значение p_x из уравнения баланса расхода

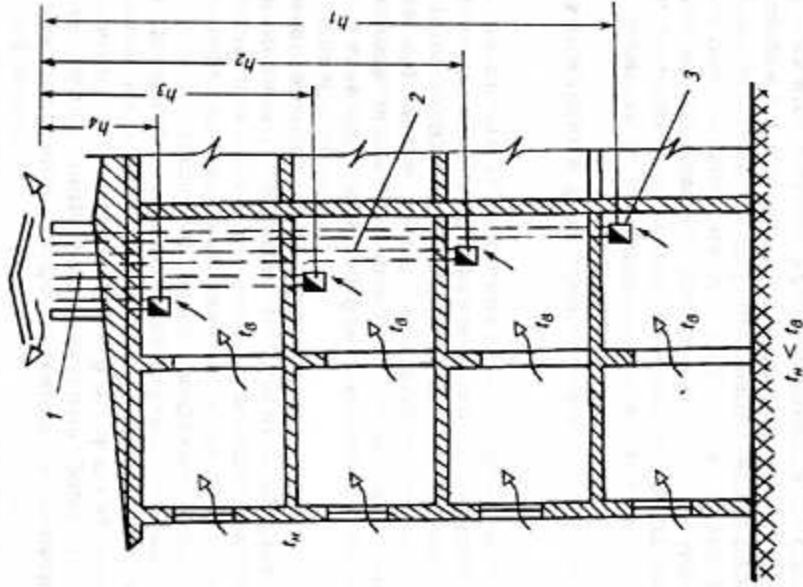


Рис. 5.5. Естественная гравитационная система вентиляции помещений многоэтажного здания:
1 — воздуховыбросная шахта; 2 — каналы; 3 — воздухоприемное отверстие

воздуха, после чего вычисляются расход воздуха через каждое отверстие. Баланс воздуха будет свидетельствовать о правильном разделении отверстий на приточные и вытяжные. Если баланс нет, то надо снова разделить отверстия на приточные и вытяжные, составив уравнение баланса и решив его повторить.

В системе общеобменной естественной вентиляции здания, показанной на рис. 5.3, используют ветровое давление. Ветер обдувает специальное устройство — дефлектор, позволяющий создавать разрежение при любых направлениях ветра. К отверстию дефлектора может быть присоединена сеть воздуховодов, через которую из различных точек помещения удаляется загрязненный воздух. Дефлекторы применяют в системах общеобменной вентиляции, а также для обеспечения местных отсосов воздуха. Пример местной вытяжной естественной вентиляции показан на рис. 5.4. Местная система удаляет загрязненный воздух из вытяжного шкафа. Воздух вытягивается за счет ветрового давления через дефлектор.

Для вентиляции жилых, общественных и некоторых производственных зданий применяют каналные гравитационные системы естественной вентиляции (рис. 5.5). В таких системах воздух удаляется из помещения по специальному каналу под действием гравитационного давления. Компенсация удаляемого воздуха осуществляется наружным воздухом, поступающим в помещение через неплотности или отверстия в ограждениях.

Гравитационные каналные системы естественной вентиляции широко применяются благодаря простоте их устройства, незначительным капитальным затратам по их возведению и мизерным эксплуатационным затратам.

Однако зависимость воздухообмена от параметров наружного воздуха не позволяет с помощью этих систем обеспечивать строго заданные параметры воздуха в помещениях.

Кроме того, радиус действия (транспортирования воздуха по горизонтальным каналам) гравитационных каналных систем из-за ограниченности гравитационного давления невелик.

Механическая (искусственная) вентиляция

Воздух в системах механической вентиляции перемещается с помощью специальных машин, называемых вентиляторами.

В отличие от естественной вентиляции системы механической вентиляции обеспечивают подачу воздуха на значительные расстояния непосредственно к рабочим местам или в определенную зону помещения в заданных количествах с необходимыми скоростями выпуска его, а также удаление воздуха из определенных мест помещения в необходимых объемах.

Воздух, подаваемый в помещения и удаляемый из них, может подвергаться необходимой обработке. Для этих целей в состав систем с механическим побуждением движения воздуха вклю-

чают комплекс оборудования. Количество подаваемого в помещения воздуха системами механической вентиляции и удаляемого из помещений не зависит от состояния наружного воздуха. Радиус действия таких систем определяется давлением, создаваемым вентилятором, и может быть весьма большим. Известны системы, в которых расстояние от вентилятора до наиболее удаленных точек сети воздуховодов составляет сотни метров.

Системы механической вентиляции применяют в тех случаях, если количество и токсичность вредных выделений требуют постоянной интенсивности смены воздуха в помещении независимо от внешних метеорологических условий, а также в случаях, если в помещении нет значительных избытков теплоты, необходимого для подогрева холодного наружного воздуха, поступающего в помещение при естественной вентиляции.

В сооружениях агропромышленного комплекса и коммунального хозяйства применяют каналные и бесканальные системы механической вентиляции, приточные и вытяжные, обеспечивающие общеобменную и местную вентиляцию. Очень часто здания имеют разнохарактерные помещения, образующие так называемую «чистую» и «грязную» зоны, причем воздух из помещений грязной зоны не должен попадать в чистую зону. В таких случаях отдельные помещения в зависимости от их назначения и характера вредных выделений оборудуют только приточной или только вытяжной системой. При этом часть помещений может иметь приточную и вытяжную системы.

На рис. 5.6 изображена принципиальная схема канальной общеобменной вентиляции с механическим побуждением движения воздуха.

Помещение I оборудовано только приточной системой, подающей в помещение расчетное количество воздуха. В общем случае в состав приточной системы вентиляции входят оборудование и устройства, забирающие наружный воздух, очищающие его от пыли, вредных веществ, паров и газов, нагревающие, перемещающие его по сети воздуховодов и подающие воздух в помещения в расчетных количествах. Поступающий в помещение воздух ассимилирует вредные выделения, разбавляет их до ПДК. Загрязненный воздух удаляется через неплотности в ограждениях или через специально устраиваемые для этой цели отверстия и каналы либо наружу, либо в соседнее помещение. Воздух удаляется под действием давления, создаваемого приточной системой. В установившемся состоянии количество подаваемого воздуха равно количеству удаляемого независимо от суммарной площади неплотностей или отверстий в ограждениях.

Приточную вентиляцию применяют для помещений чистой зоны, которые нужно оградить от проникания в них вредных газов из соседних помещений или холодного наружного воздуха.

Помещение II оборудовано приточной и вытяжной системами, с помощью которых организованно подается и удаляется воздух. В зависимости от соотношения количеств приточного и удаляе-

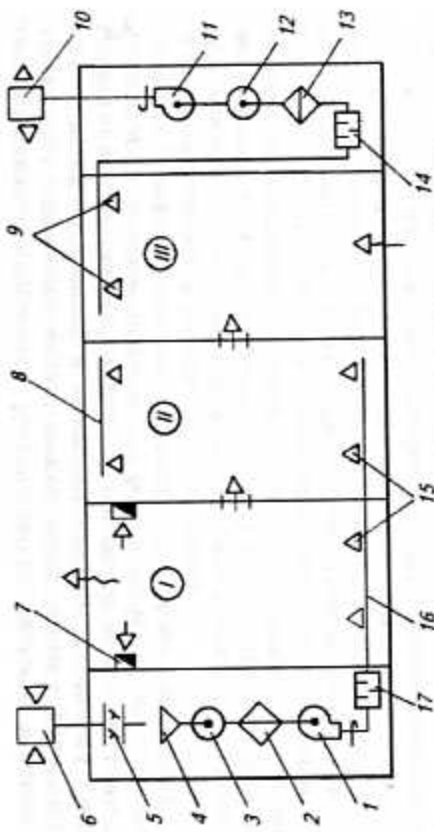


Рис. 5.6. Принципиальная схема общеобменной механической вентиляции:
 1 — вентилятор приточной системы; 2 — воздухоочистительная установка; 3 — фильтр для очистки воздуха от вредных паров и газов; 4 — фильтр для очистки воздуха от пыли; 5 — утепленный клапан; 6 — воздухозаборное устройство; 7 — канал для удаления воздуха; 8 — воздухоприемные отверстия; 9 — воздуховодные отверстия; 10 — воздуховод; 11 — вентилятор вытяжной системы; 12 — фильтр для очистки воздуха от вредных паров и газов; 13 — фильтр для очистки удаляемого воздуха от пыли; 14, 15 — шумоглушители; 16 — воздухоподогреватель; 17 — шумоглушитель; 18 — шумоглушитель приточной системы

мого воздуха в помещениях могут быть созданы подпор или разрежение. Устройство в одном помещении приточной и вытяжной систем обеспечивает наиболее организованное движение воздуха в нем и, как правило, применяется для помещений с большим расходом вентиляционного воздуха.

Помещение III оборудовано только вытяжной вентиляцией, состоящей из воздухоприемных устройств, воздухопроводов, устройств для очистки удаляемого воздуха от загрязняющих атмосферу веществ, вентилятора и воздуховыбросного устройства. С помощью такой системы загрязненный воздух забирается в расчетных количествах из определенных мест помещения, при необходимости очищается от вредных примесей, выброс которых в атмосферу недопустим.

Применение только вытяжной системы без организованной подачи воздуха в помещение создает в вентилируемых помещениях разрежение по отношению к соседним помещениям и атмосфере. Вследствие этого разрежения удаляемый из помещения воздух компенсируется наружным воздухом, поступающим в помещение через неплотности и отверстия в наружных ограждениях, или воздухом, поступающим из соседних помещений. Устройство только вытяжных систем необходимо для помещений, из которых загрязненный воздух не должен попадать в соседние помещения. К числу таких помещений, оборудуемых только вытяжными системами, относятся химические лаборатории, кухни, санузлы и т. п.

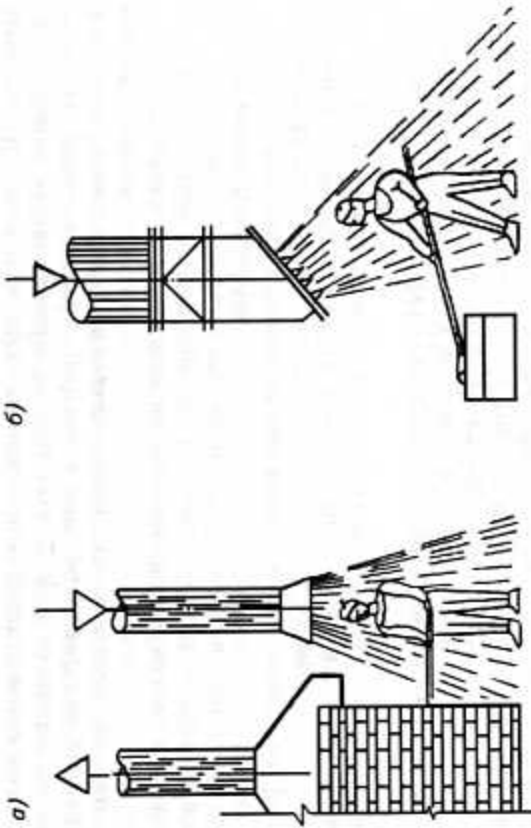


Рис. 5.7. Воздушный душ: вертикальный (а); наклонный (б)

Неорганизованный приток холодного наружного воздуха через неплотности в ограждениях обуславливает охлаждение помещений, а при больших количествах поступающего воздуха создает сквозняки. Кроме того, если наружный воздух загрязнен, он поступает в помещение без очистки. Если холодный наружный воздух поступает через неплотности в ограждениях, охлаждение помещения компенсируется увеличением теплоотдачи системы отопления. Возможная недоброкачественность засасываемого воздуха и холодное дутье не могут быть ликвидированы, что учитывается при устройстве вытяжных систем и их эксплуатации.

Кроме систем общеобменной вентиляции применяют местные системы механической вентиляции, реже приточные, чаще вытяжные. Местные приточные системы подают воздух в определенную зону помещения (чаще всего на рабочее место), в пределах которой создаются условия, отличающиеся от условий в остальном объеме помещения и удовлетворяющие требованиям к воздуху этой зоны.

К местным приточным системам вентиляции относятся воздушные души, воздушные и воздушно-тепловые завесы.

Воздушный душ (рис. 5.7) представляет собой направленный на рабочее место поток воздуха. В зоне действия воздушного душа создаются условия, благоприятные для человека по температуре, влажности, подвижности и чистоте воздуха и отличающиеся от условий во всем остальном объеме помещения. Воздушный душ устраивают на фиксированных рабочих местах, в ограниченных зонах преимущественного пребывания работающих в местах отдыха в производственных помещениях с большими тепловыде-

