

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

**ТЕМА:** ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И  
КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ,  
ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ  
СИСТЕМ

ГУСЕВ К.П.

Лекция

7

# *10 Принципиальные схемы и конструктивные решения вентиляции*

## **10.1 Принципиальные схемы решения вентиляции помещений в зданиях различного назначения**

Эффективность вентиляции помещения в большой мере зависит от **правильного выбора и расположения** устройств для подачи и удаления воздуха.

В первую очередь распределение параметров воздуха в объеме помещения определяется конструктивным решением приточных устройств.

Влияние вытяжных устройств на скорость движения и температуру воздуха в помещении обычно незначительно.

В то же время общая эффективность вентиляции зависит от правильной организации вытяжки воздуха из помещения.



Основные принципы организации вентиляции заключаются в следующем:

- местная вытяжная вентиляция должна локализовать вредные выделения в местах их образования, предотвращая распространение их по помещению;
- приточный воздух необходимо подавать так, чтобы он, поступая в зону дыхания людей (обслуживаемую зону помещения), был чистым и имел температуру и скорость движения в соответствии с требованиями санитарных норм;
- общеобменная вентиляция должна разбавлять и удалять вредные выделения, поступающие в помещение, обеспечивая в обслуживаемой зоне допустимые значения параметров — температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха и концентрации вредных веществ в нем;
- объемы приточного и вытяжного воздуха должны исключать с учетом воздушного режима здания перетекание загрязненного воздуха из помещений с выделением вредных веществ в другие помещения.

## Общие рекомендации:

- а) траектория подачи приточного воздуха не должна пересекать загрязненные участки помещения, обеспечивая поступление в обслуживаемую рабочую зону чистого воздуха;
- б) при значительных избытках явного тепла в помещении приточный воздух в холодный период года следует подавать с минимально допустимой температурой, имея в виду его подогрев за счет избытков тепла;
- в) в теплый период года во всех случаях предпочтительней подача приточного воздуха в обслуживаемую (рабочую) зону помещений;
- г) при решении воздухопраздачи необходима проверка уровня температуры и скорости движения воздуха на рабочих местах; при этом следует учитывать взаимное влияние струйных течений, стесненность струй ограждениями и технологическим оборудованием, свойство струй настиляться на поверхности и возбуждать циркуляционные потоки;
- д) при недостатках тепла в помещении и выполнении вентиляцией функций системы отопления приточный воздух нужно подавать в обслуживаемую (рабочую) зону помещения.

## **Жилые и общественные здания.**

По существующим нормам в этих зданиях устраивают вытяжную вентиляцию из верхней зоны помещений кухонь, санитарных узлов, ванных и душевых комнат, а в некоторых случаях и жилых комнат. Приточный воздух поступает неорганизованно через форточки и неплотности в ограждениях. Регулирование вентиляции и увеличение воздухообмена осуществляют открыванием окон.

**В административно-конторских и общественных зданиях** объемом до  $1500 \text{ м}^3$  вентиляцию помещений осуществляют в виде вытяжки из их верхней зоны с неорганизованным притоком через окна. В зданиях большего объема вытяжку из верхней зоны помещений компенсируют притоком также в их верхнюю зону («сверху — вверх»).

**Промышленные здания.** Возможно применение следующих схем:

- а) «снизу — вверх» — при одновременном выделении тепла и пыли; в этом случае воздух подают в рабочую зону помещения, а удаляют из верхней зоны;
- б) «сверху — вниз» — при выделении газов, паров летучих жидкостей (спиртов, ацетона, толуола и т. п.) или пыли, а также при одновременном выделении пыли и газов; воздух подают рассредоточено в верхнюю зону, а удаляют местной вытяжной вентиляцией из рабочей зоны помещения и системой общеобменной вентиляции из его нижней зоны;
- в) «сверху — вверх» — в производственных помещениях при одновременном выделении тепла, влаги и сварочного аэрозоля, а также во вспомогательных производственных зданиях при борьбе с теплоизбытками; обычно в этих случаях воздух подают в верхнюю зону помещения и удаляют из его верхней зоны;

г) «снизу — вверх и вниз» — в производственных помещениях при выделении паров и газов с различными плотностями и недопустимости их скопления в верхней зоне из-за опасности взрыва или отравления людей (малярные цехи, аккумуляторные и т. д.); в этом случае подачу приточного воздуха осуществляют в рабочую зону, а общеобменную вытяжку — из верхней и нижней зон;

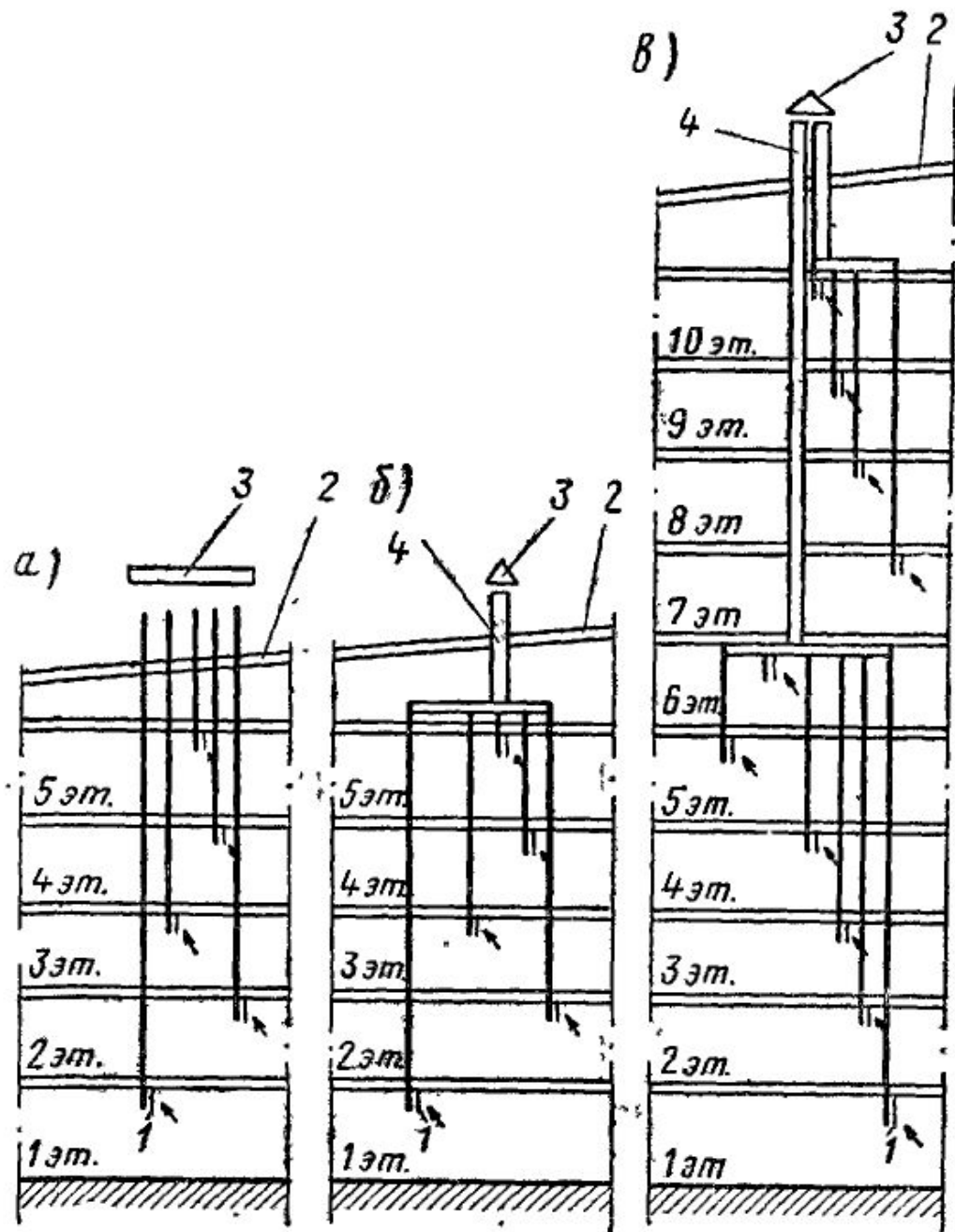
д) «сверху и снизу — вверх» — в помещениях с одновременным выделением тепла и влаги или с выделением только влаги при поступлении пара в воздух помещения через неплотности производственной аппаратуры и коммуникаций, с открытыми поверхностями жидкостей в ваннах и со смоченных поверхностях пола; в этих случаях воздух подают в две зоны — рабочую и верхнюю, а удаляют из верхней зоны. При этом для предотвращения туманообразования и капли с потолка приточный воздух, подаваемый в верхнюю зону, несколько перегревают по сравнению с воздухом, подаваемым в рабочую зону.

## 10.2 Конструктивные решения вентиляционных систем

**Жилые здания.** В жилых зданиях устраивают вытяжные канальные системы естественной вентиляции.

Наружный подогретый воздух можно подавать в помещения жилых зданий системами воздушного отопления; наружный неподогретый воздух поступает в помещения через открывающиеся форточки и фрамуги, неплотности в строительных ограждениях и специальные приточные отверстия (подоконные щели).





## **Общественные здания.**

В зданиях общественного и коммунального назначения возможно применение естественной и механической вентиляции. Вентиляционные установки этих зданий при большом их числе объединяют в вентиляционные центры. При этом приточные центры и кондиционеры размещают в подвальных и цокольных помещениях или на первом этаже обслуживаемых зданий. Отдельные приточные установки могут быть размещены и на этажах обслуживаемого здания. Вытяжные центры располагают, как правило, на технических или цокольных этажах.

**Промышленные здания.** Промышленные здания имеют системы вентиляции со своими специфическими особенностями устройства и размещения.

В промышленных зданиях возможно размещение вентиляционного оборудования в производственных помещениях или снаружи здания — на стенах или кровле, обеспечивающее удобное обслуживание вентиляционного оборудования и защиту его от возможной конденсации влаги. Внутри здания вентиляционное оборудование устанавливают в вентиляционных камерах, иногда допускается установка его непосредственно в обслуживаемом помещении. При проектировании систем вентиляции следует стремиться к наименьшей длине воздуховодов, определяемой их радиусом действия.

Экономические расчеты показывают, что радиус действия приточных установок зависит от скорости движения воздуха в воздуховодах. Так, при скорости 6—10 м/с рекомендуемый радиус действия установки 30—40 м, при скорости менее 6 м/с — 60—70 м. Радиус действия вытяжных установок 30—40 м, а в очень крупных цехах он может достигать 100—120 м.

При проектировании местной вентиляции следует к одной вытяжной системе присоединять не более 10—12 отсосов. При удалении местными вытяжными установками влажного воздуха или воздуха, содержащего вредные газы, радиус действия принимается равным 25—30 м.

## 10.3 Устройства для забора воздуха

Воздухоприемные устройства следует располагать так, чтобы в них поступал незагрязненный наружный воздух.

Конструктивное оформление воздухоприемных устройств должно быть увязано с архитектурным оформлением здания.

Воздухоприемные устройства необходимо располагать на расстоянии 10—12 м по горизонтали и 6 м по вертикали от мест загрязнения воздуха (котельных, уборных, кухонь, производственных помещений и т. п.). Воздухозабор как при механической, так и при естественной вентиляции следует осуществлять на высоте не менее 2 м от уровня земли (до низа проема); в случае расположения воздухоприемного устройства в зеленой зоне (вдали от здания) эта высота может быть уменьшена до 1 м.

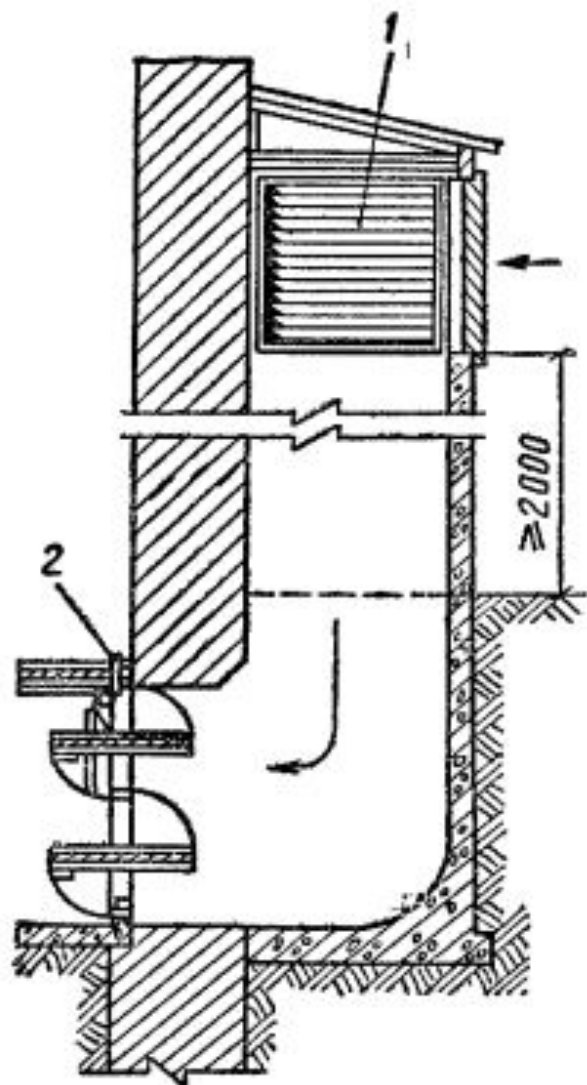


Рис. X 2. Приставная приточная шахта  
 1 — неподвижные жалюзи (воздухозаборная  
 решетка); 2 — утепленный дроссель-клапан

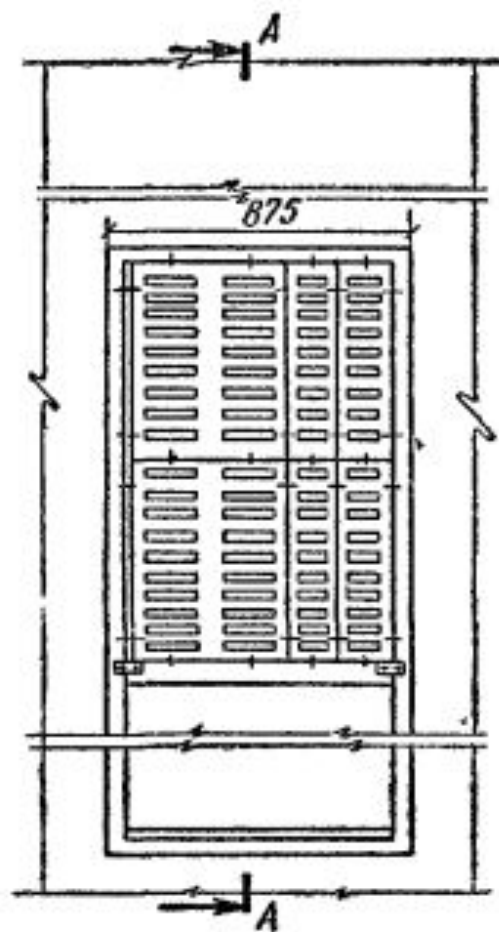
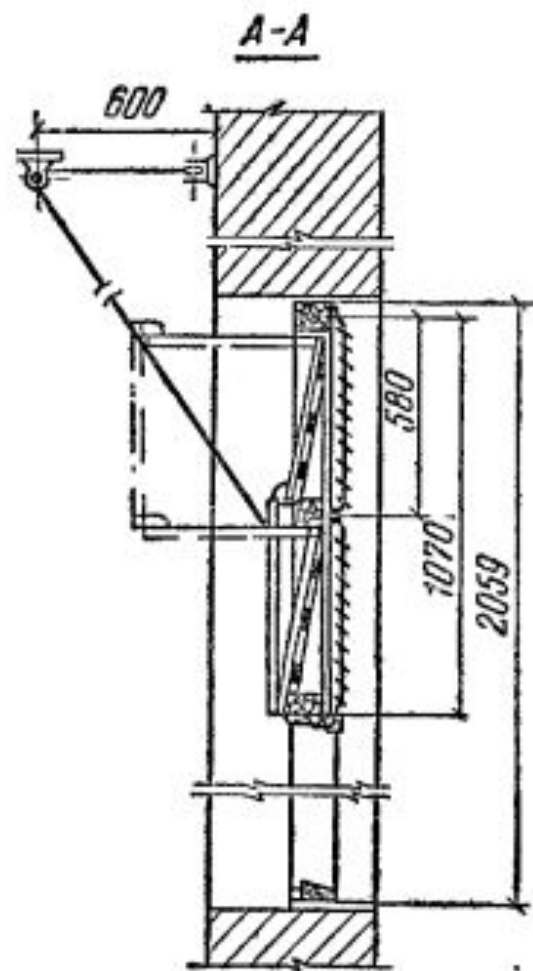


Рис. X 3. Устройство воздухозабора в  
 проеме окна



# 10.4 Приточные и вытяжные отверстия в помещениях

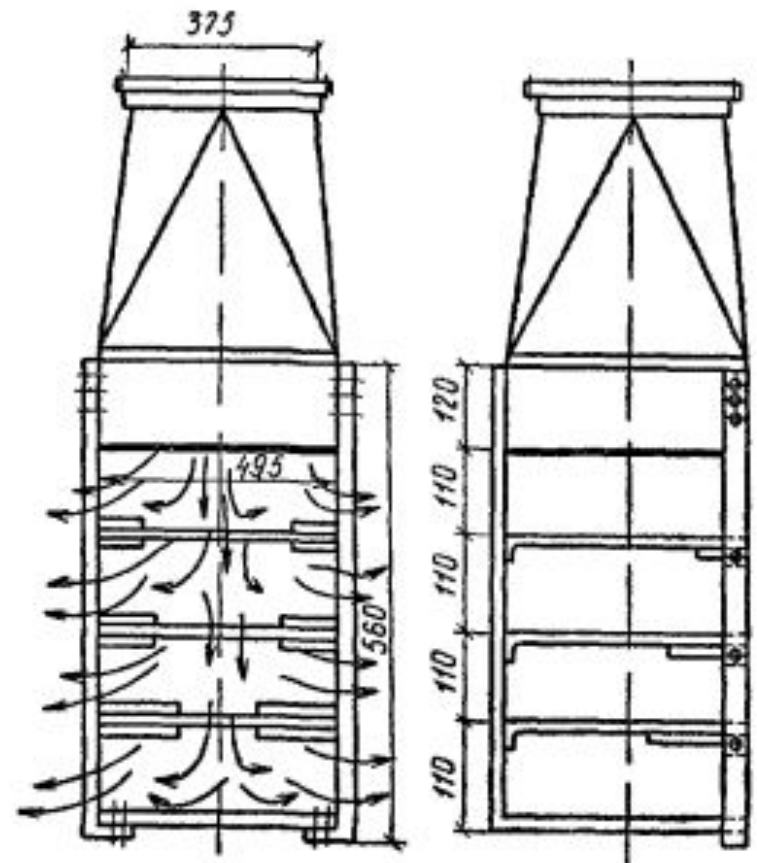
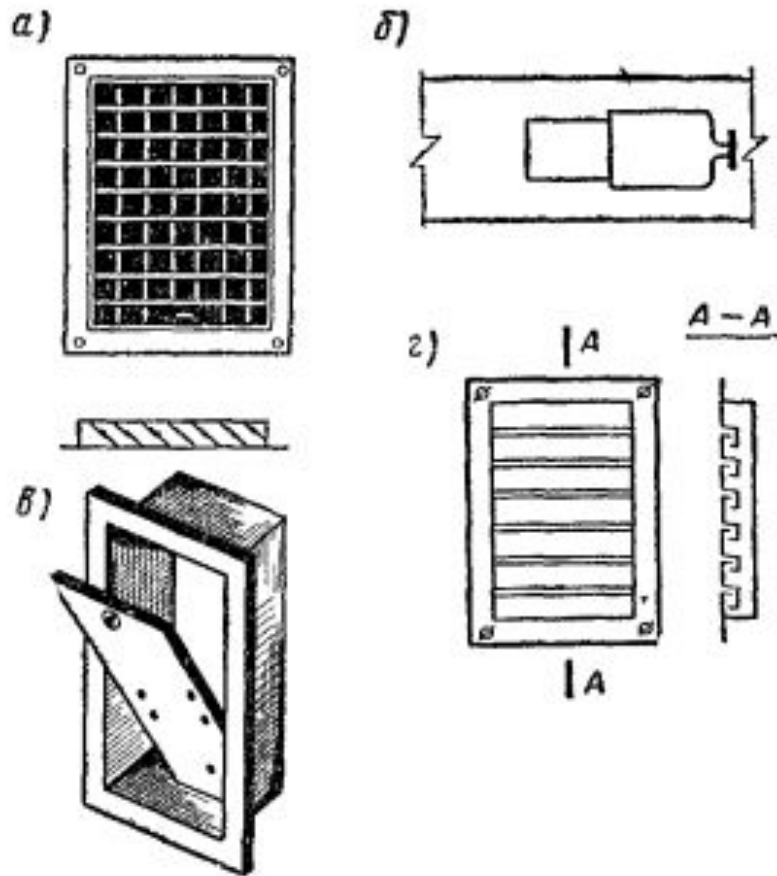


Рис. X.4. Приточные и вытяжные отверстия в помещениях

*a* — с подвижными жалюзи; *б* — с шибером в воздуховоде; *в* — «хлопушка»; *г* — для перетекания воздуха

Рис X.5. Трехсторонний прямоугольный насадок с полками

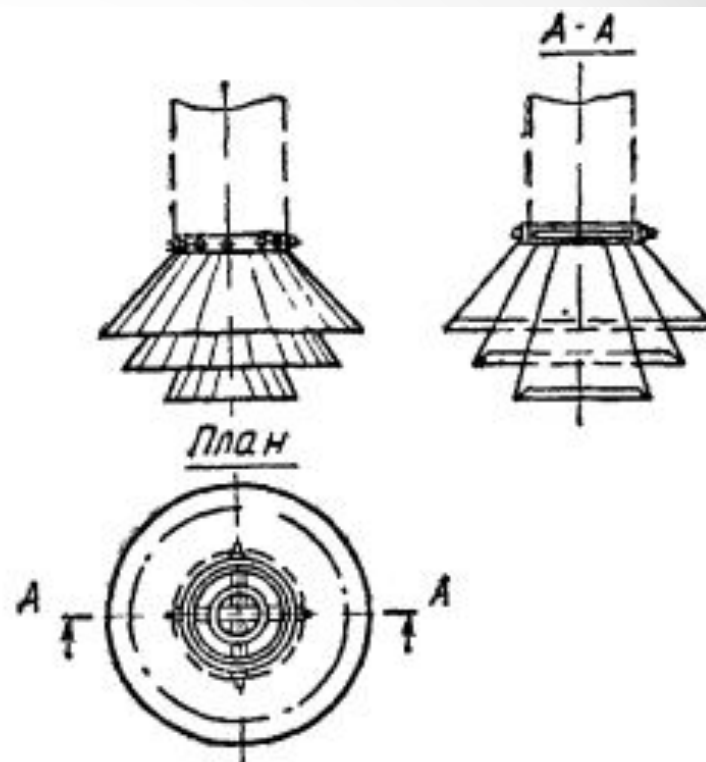
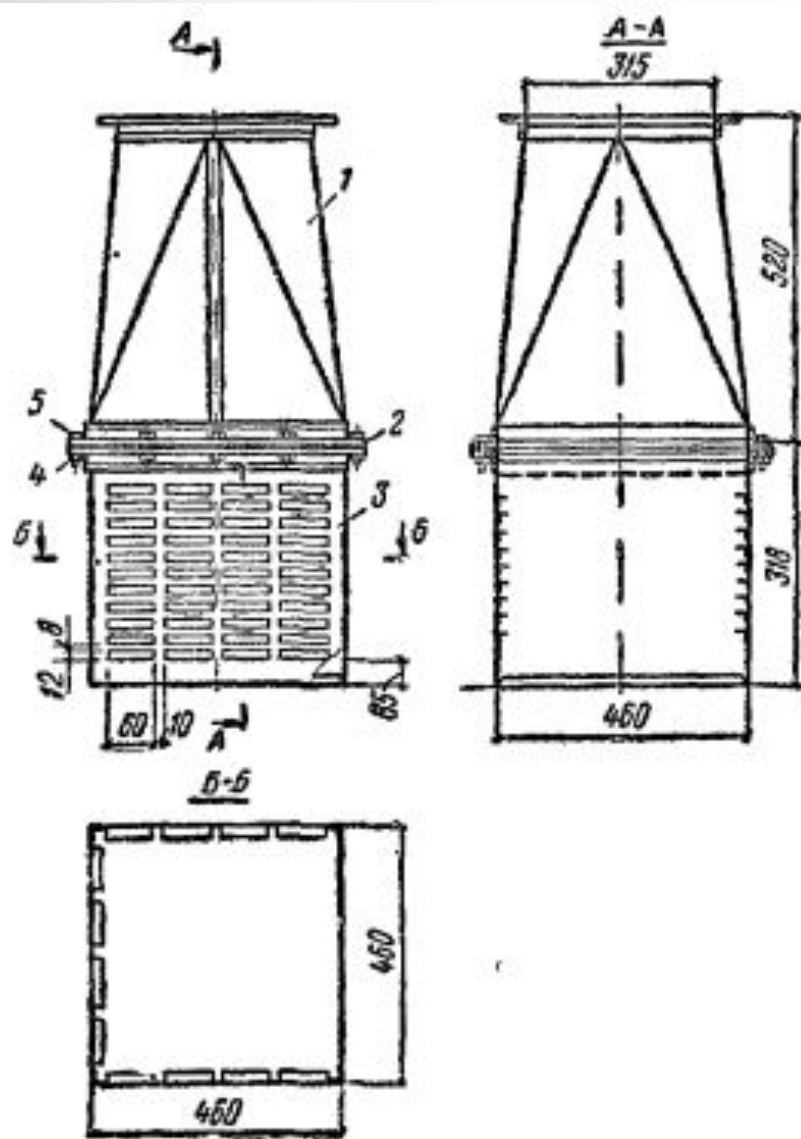


Рис. X.7. Трехдиффузорный насадок

◀ Рис. X.6. Воздухораспределитель пристенного типа с переходным патрубком для присоединения к воздуховодам круглого сечения

1 — патрубок переходный; 2 — прокладка;  
3 — корпус; 4 — гайка; 5 — болт



# 10.5 Вентиляционные камеры

В тех случаях, когда устанавливаемое внутри здания вентиляционное оборудование приточных и вытяжных установок создает шум при работе выше допустимого для обслуживаемого помещения или когда условия технологического процесса не позволяют размещать его в этом помещении, это оборудование размещают в изолированных помещениях, называемых вентиляционными камерами. Вентиляционные камеры должны соответствовать требованиям взрывопожарной, взрывной и пожарной безопасности, предъявляемым к тем помещениям, которые они обслуживают.

Вентиляционные камеры выполняют из негорюемых материалов для зданий I и II степени огнестойкости и из трудногорюемых материалов для зданий других степеней огнестойкости.



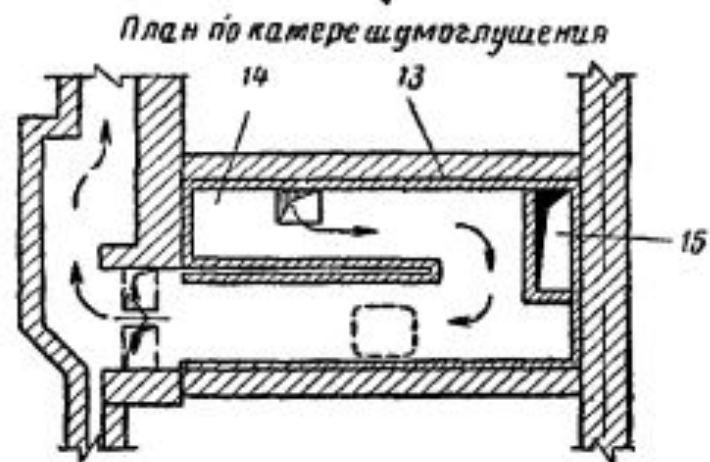
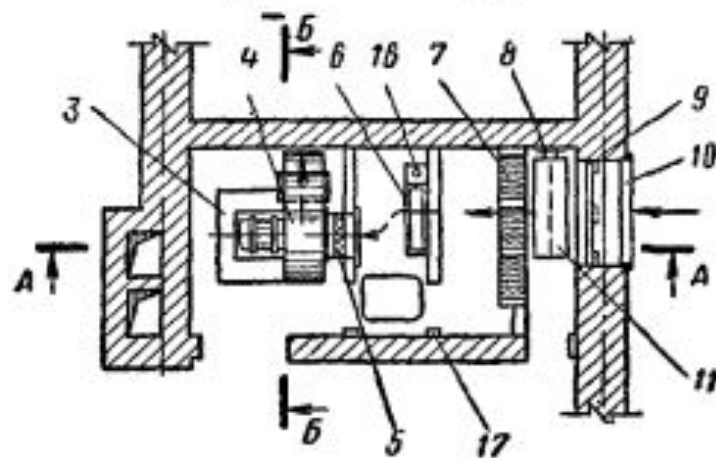
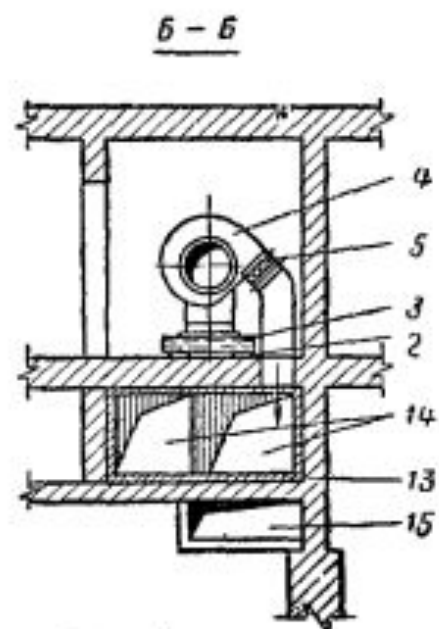
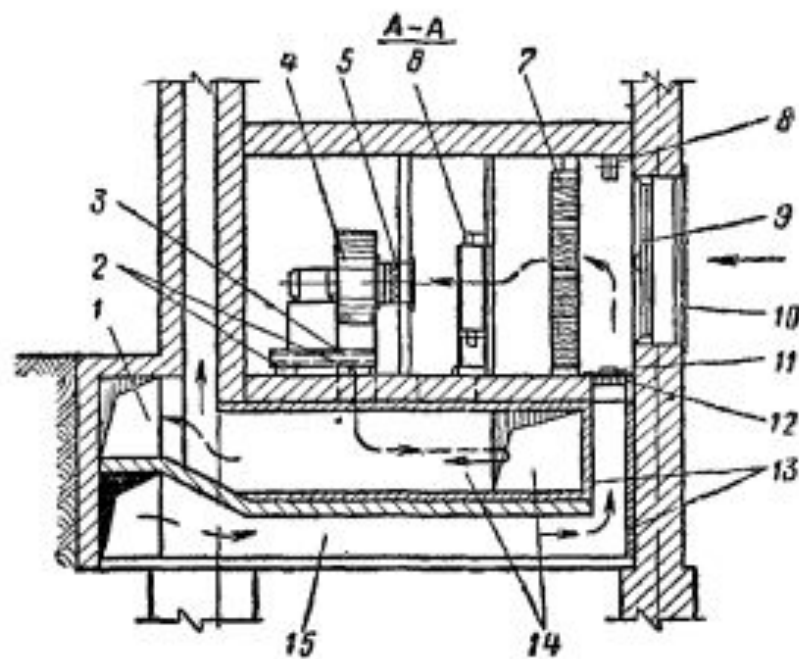
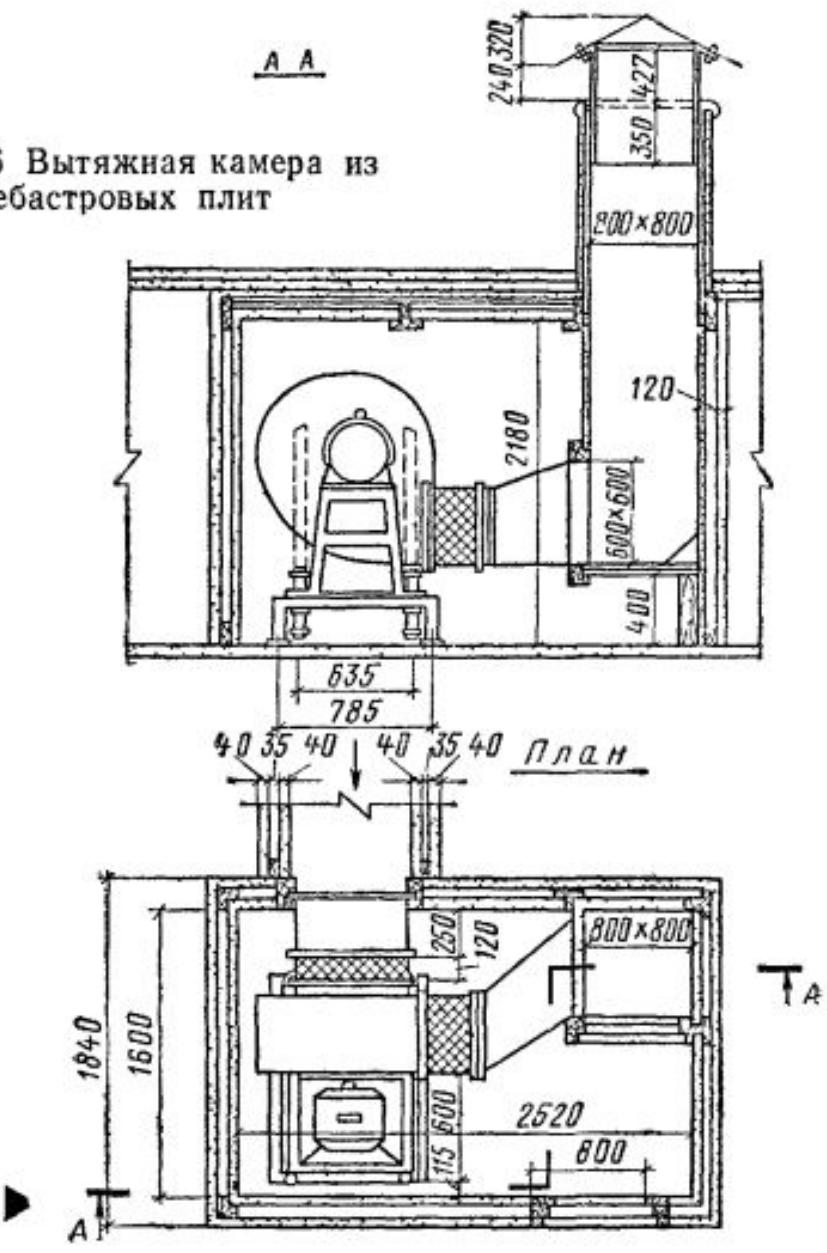


Рис. X.12. Приточная камера, размещенная на первом этаже здания

1 — приточный короб; 2 — виброизолятор; 3 — основание центробежного вентилятора; 4 — центробежный вентилятор; 5 — гибкая вставка; 6 — калорифер; 7 — фильтр; 8 — блочный привод для управления клапаном; 9 — приемный клапан; 10 — решетка-жалюзи; 11 — рециркуляционный клапан; 12 — рециркуляционное отверстие с решеткой; 13 — звукопоглощающий материал; 14 — короб шумоглушения; 15 — рециркуляционный короб; 16 — обводной клапан к калориферу; 17 — смотровой люк

В промышленных зданиях вытяжные вентиляторы устанавливают в камерах на технических этажах, на площадках и без камер на кровле зданий, кронштейнах, полу производственных помещений или на поверхности земли снаружи зданий.

Рис X 16 Вытяжная камера из  
шлакоалебастровых плит



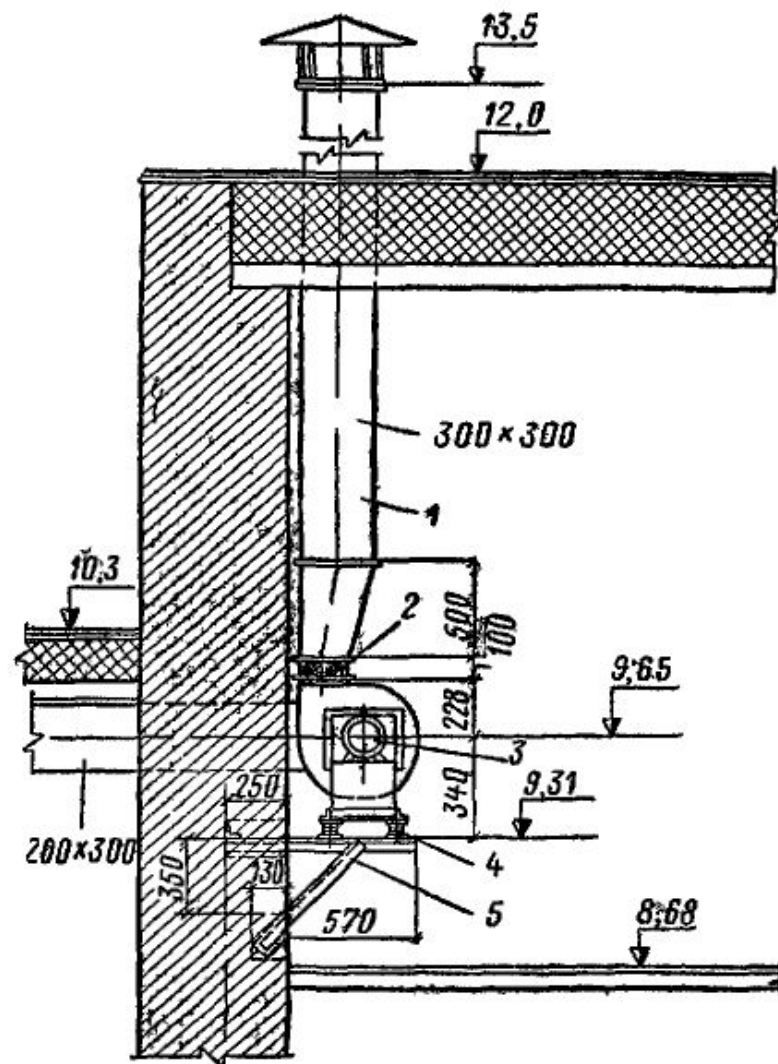


Рис X.18. Вытяжной вентилятор, размещенный на кронштейне

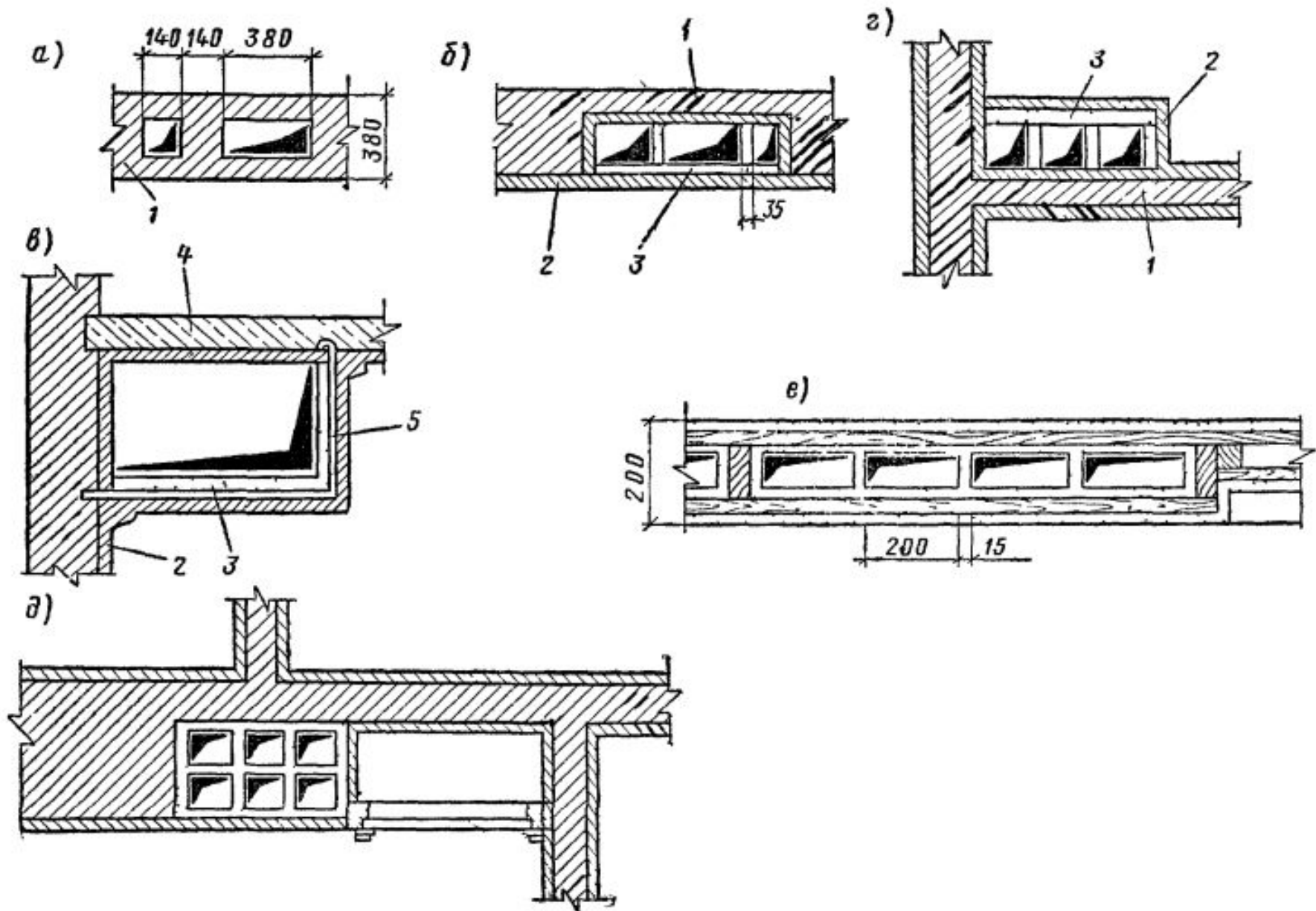
1 — металлическая шахта; 2 — гибкая вставка; 3 — центробежный вентилятор; 4 — виброизолирующее основание; 5 — кронштейн

# 10.6 Вентиляционные каналы и воздуховоды

В жилых, общественных и коммунальных зданиях вытяжные вентиляционные вертикальные каналы можно устраивать во внутренних кирпичных стенах, из специальных вентиляционных блоков, в пустотах внутренних стен из крупных блоков, в виде приставных каналов у внутренних стен и перегородок, в виде асбестоцементных каналов, располагаемых в пустотах кирпичных стен.

Не рекомендуется располагать вентиляционные каналы в толще стен помещений, имеющих повышенную влажность воздуха; не разрешается размещение вентиляционных вытяжных каналов в наружных стенах во избежание конденсации водяных паров.

Минимальное сечение вентиляционных каналов, устраиваемых во внутренних кирпичных стенах, должно составлять полкирпича на полкирпича (140X140 мм). Толщину стенок каналов и толщину простенков между одноименными каналами принимают не менее размера полкирпича, а толщину простенков между разноименными каналами — не менее размера кирпича (250 мм).



### Конструкции вентиляционных каналов

*а* — в кирпичной стене, *б* — в борозде в стене, заделываемой плитой *в* — подвесного горизонтального, *г* — приставных (пристенных) вертикальных, *д* — скомпонованных со встроенным шкафом; *е* — из сухой штукатурки в герегородке, *1* — кирпичная стена, *2* — штукатурка, *3* — шлакогипсовые плиты, *4* — перекрытие, *5* — подвеска стальная  $d=6$  мм

**В промышленных зданиях** в системах вентиляции применяют стальные воздуховоды круглого и прямоугольного сечения. Предпочтение следует отдавать воздуховодам круглого сечения. Применение воздуховодов прямоугольного сечения должно быть обосновано требованиями создания определенного интерьера в цехе или в помещении либо иными условиями.

Для перемещения воздуха с температурой до  $70^{\circ}\text{C}$  и нормальной влажностью можно применять воздуховоды из листовой или кровельной стали. При транспортировании воздуха с повышенной влажностью, а также при прокладке вентиляционных каналов вне помещения применяют воздуховоды из кровельной или листовой стали с покрытием из защитных водостойких лаков и красок, а также из полимерных материалов или из оцинкованной стали.

Для перемещения воздуха, содержащего химически активные газы и пары кислот или щелочей, применяют воздуховоды из кислотостойкой стали, листовой стали с защитными покрытиями, ставинила, винипласта, керамики и кислотоупорного бетона. В отдельных случаях возможно применение воздуховодов из алюминия. Для перемещения воздуха с температурой выше  $100^{\circ}\text{C}$ , не содержащего химически активных газов, применяют воздуховоды из листовой стали толщиной более 1 мм.



Для воздуховодов и фасонных частей круглого сечения установлены следующие диаметры: 100, 110, 125, 160, 200, 250, 280, 315, 400, 500, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600 мм.

Для систем аспирации (пылеудаления) дополнительно к перечисленным делают воздуховоды диаметром 140, 180, 225, 355, 560 мм.

Для воздуховодов прямоугольного сечения, выполняемых из стального листа толщиной 0,7 мм, установлены следующие размеры сторон: 160X100, 160X160, 160X200, 200X200, 250X200, 250X250, 400X200, 400X250, 400X400 и 500X250 мм, а из стального листа толщиной 1 мм— от 500X400 до 2000X1600 мм (тринадцать размеров).

# Вытяжные шахты

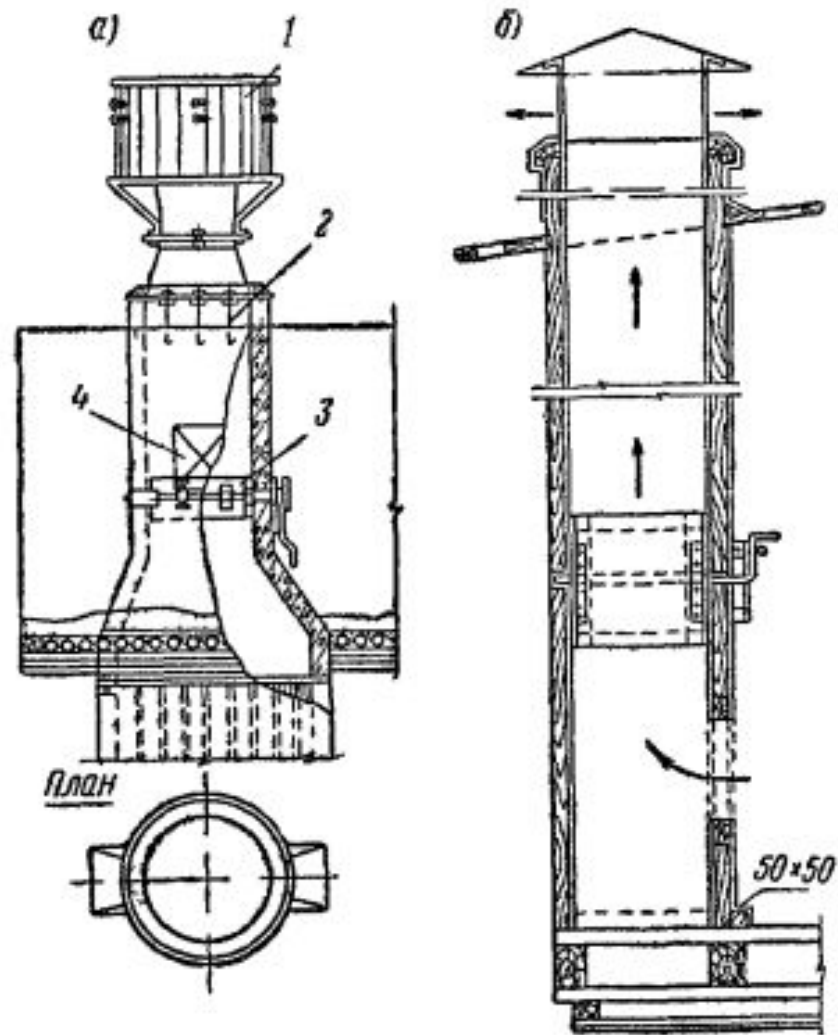


Рис X 26. Вытяжные шахты

1 — дефлектор; 2 — болты для крепления дефлектора, заделанные в стенки шахты; 3 — дроссель-клапан; 4 — люк для ремонта дроссель-клапана

# 11 Основы аэродинамики вентиляционных систем

Аэродинамика — раздел гидроаэромеханики, в котором изучаются законы движения воздуха и силы, возникающие при взаимодействии потока воздуха с поверхностью тел. Вопросы, связанные с вентиляцией, объединяются термином промышленная аэродинамика. Из-за большой сложности аэродинамических явлений, в частности турбулентного движения, в решении практических задач преобладает эмпирический подход. Инженерные методы, применяемые для аэродинамических расчетов, достаточно просты и надежны.

# 11.1 Основные понятия

При движении воздуха по воздуховоду в любом поперечном сечении потока различают три вида давления: статическое, динамическое и полное.

- Статическое давление определяет потенциальную энергию  $1 \text{ м}^3$  воздуха в рассматриваемом сечении. Статическому давлению  $p_{\text{ст}}$  равно давление на стенки воздуховода.
- Динамическое давление — это кинетическая энергия потока, отнесенная к  $1 \text{ м}^3$  воздуха. При скорости движения воздуха в сечении  $V$  динамическое давление

$$p_{\text{д}} = \frac{\rho V^2}{2}$$

- Полное давление равно сумме статического и динамического давлений

$$p_{\text{п}} = p_{\text{ст}} + p_{\text{д}}$$

Традиционно при расчете систем трубопроводов применяется термин потери давления; необходимо помнить, что в действительности речь идет о потерях энергии потока.

Потери давления в системе вентиляции складываются из потерь на трение и потерь в местных сопротивлениях.

# Потери давления на трение

Рассмотрим движение воздуха на отрезке воздуховода между сечениями I-I и II-II. Заданы длина отрезка  $l$ , площадь поперечного сечения  $f$ , периметр сечения  $\Pi$  и расход воздуха, проходящего через воздуховод,  $L$ , м<sup>3</sup>/ч. Статическое давление в сечении I-I равно  $p_1$ , в сечении II-II —  $p_{II} < p_1$ .

На объем воздуха, заключенного в воздуховоде между рассматриваемыми сечениями, действует сила  $(p_1 - p_{II})f$ , уравниваемая силой сопротивления трения воздуха о стенки воздуховода.

Если обозначить касательное напряжение у поверхности стенки, возникающее при движении воздуха,  $\tau_0$ , то силу сопротивления можно определить так:  $\tau_0 \cdot l \cdot \Pi$ . Следовательно, для установившегося движения

$$(p_I - p_{II})f = \tau_0 \cdot l \cdot \Pi \Rightarrow \tau_0 = \frac{(p_I - p_{II})f}{l \cdot \Pi}$$

Касательное напряжение пропорционально динамическому давлению перемещающейся среды:

$$\tau_0 = \psi \frac{\rho V^2}{2}$$

где  $\psi$  (пси) — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения к формуле Вейсбаха.

Формулу Вейсбаха, широко применяемая в гидравлике имеет вид:

$$\Delta p_{\text{тр}} = p_I - p_{II} = \psi \cdot \frac{l\Pi}{f} \cdot \frac{\rho V^2}{2}$$

Отношение  $f/\Pi$  для воздуховода круглого сечения равно 0,25 d, т. е.

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho V^2}{2}$$

Для воздухопроводов любого сечения:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l\Pi}{4f} \cdot \frac{\rho V^2}{2} \quad (\text{ФОРМУЛА ДАРСИ})$$

$\lambda_{\text{тр}} = 4\psi$  — коэффициент сопротивления трения, зависящий от характера течения воздуха и геометрии воздухопроводов

# Потери давления в местных сопротивлениях

В местах поворота воздуховода, при делении и слиянии потоков в тройниках, при изменении размеров воздуховода, при входе в воздуховод или в канал и выходе из них, а также в местах установки регулирующих устройств (дресселей, шиберов, диафрагм) наблюдается падение давления в потоке перемещающегося воздуха. В указанных местах происходит перестройка полей скоростей воздуха в воздуховоде и образование вихревых зон у стенок, что сопровождается потерей энергии потока.

Нарушение установившегося поля скоростей начинается на некотором расстоянии до местного сопротивления, а выравнивание потока происходит на некотором расстоянии (обычно несколько калибров — диаметров) после него. На всем участке возмущенного потока происходят потери энергии на вязкое трение и увеличиваются потери на трение о стенки. Для упрощения эти потери считают сосредоточенными.



Потери давления в местном сопротивлении пропорциональны динамическому давлению воздуха в воздуховоде:

$$\Delta p_{\text{мс}} = \xi \frac{\rho V^2}{2}$$

Коэффициент  $\xi$  (кси) или (в учебных пособиях)  $\zeta$  (дзета) носит название коэффициента местного сопротивления и определяет потери давления в местном сопротивлении в долях динамического давления. Значения  $\xi$  для различных местных сопротивлений изменяются в широких пределах — обычно  $0 < \xi < 10$ . При небольших скоростях движения воздуха и значительных потерях давления, например в диафрагме, коэффициент  $\xi$  может быть очень высоким, порядка несколько сотен. В отдельных случаях в ответвлениях тройников возможен отрицательный коэффициент. Это означает увеличение удельной энергии потока ответвления вследствие эжекции его основным потоком. Таким образом, при расчете изменения давления следует учитывать знак  $\xi$ .

# 11.2 Аэродинамический расчет систем вентиляции

Аэродинамический расчет систем вентиляции выполняют после расчета воздухообмена, а также решения трассировки воздуховодов и каналов. Для проведения аэродинамического расчета вычерчивают аксонометрическую схему системы вентиляции, на которой выделяют фасонные части воздуховодов. По аксонометрической схеме и планам строительной части проекта определяют протяженность отдельных ветвей системы.

Различают прямую и обратную задачи аэродинамического расчета вентиляционных систем. Цель аэродинамического расчета зависит от типа задачи: для прямой — это определение размеров сечений всех участков системы при заданном расходе воздуха через них; для обратной — это определение расходов воздуха при заданных размерах сечений всех участков.

При аэродинамическом расчете вентиляционных систем схему разбивают на отдельные расчетные участки. Расчетный участок характеризуется постоянным расходом воздуха. Границами между

- Определение нагрузки отдельных расчетных участков. Систему разбивают на отдельные участки и определяют расход воздуха на каждом из них.
- Выбор основного (магистрального) направления. Выявляют наиболее протяженную цепочку последовательно расположенных расчетных участков. Фиксируют оборудование и устройства, в которых происходят потери давления: жалюзийные решетки, калориферы, фильтры и пр.
- Нумерация участков магистрали. Участки основного направления нумеруют, начиная с участка с меньшим расходом. Расход и длину каждого участка основного направления заносят в таблицу аэродинамического расчета.
- Определение размеров сечения расчетных участков магистрали. Площадь поперечного сечения расчетного участка,  $m^2$ , определяют по формуле

- Определение фактической скорости. Фактическую скорость определяют по формуле  $V=L/f$ . По этой величине вычисляют динамическое давление на участке.
- Определение потерь давления на трение. По номограммам или по таблицам.
- Определение потерь давления в местных сопротивлениях.
- Определение потерь давления на расчетном участке.
- Определение потерь давления в системе.
- Увязка давлений в ответвлениях.