

## Лекция 4. ВЕНТИЛЯЦИЯ

**Вопрос 1. Состав и некоторые физические свойства воздуха**

**Вопрос 2. Понятие и назначение вентиляции**

**Вопрос 3. Классификация систем вентиляции**

**Вопрос 4. Вредности, поступающие в помещения, их воздействие на человека и окружающую среду**

**Вопрос 5. Понятие, определение и организация воздухообмена**

**Вопрос 6. Естественная вентиляция**

**Вопрос 7. Аэрация зданий**

**Вопрос 8. Механическая (принудительная) вентиляция**

### 1. Состав и некоторые физические свойства воздуха

Термин «вентиляция» происходит от латинского слова ventilatio - проветривание.

Человек в течение всей жизни находится в воздушной среде. От качества воздуха - его температуры, влажности, чистоты - зависят самочувствие, здоровье, работоспособность, сама жизнь людей.

Объектом обработки, перемещения, забора и распределения в системах вентиляции является воздух.

Атмосферный воздух можно рассматривать как состоящий из сухой части и водяных паров. Сухая часть воздуха является смесью газов. В него входят (% по объему): азот - 78,03, кислород - 20,95, инертные газы (главным образом аргон) - 0,94, а также в небольшом количестве диоксид углерода (углекислый газ) и другие газы.

Содержание указанных компонентов в сухом воздухе более или менее стабильно. Количество же водяных паров в атмосферном воздухе изменяется в широких пределах и зависит от климатических условий и времени года. Поскольку в атмосферном воздухе всегда имеется то или иное количество водяных паров, он может рассматриваться как влажный воздух.

Все компоненты влажного воздуха находятся практически в перегретом состоянии, т.е. при температуре более высокой, чем температура парообразования. Поэтому на влажный воздух могут быть распространены законы идеальных газов.

Согласно закону Дальтона, атмосферное (барометрическое) давление может быть представлено как сумма давлений сухого воздуха и водяных паров:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{св}} + P_{\text{вп}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{св}}$  - парциальное давление сухого воздуха, мм рт. ст.;

$P_{\text{вп}}$  - парциальное давление водяных паров, мм рт. ст.

Сухая часть воздуха и водяные пары, входящие в состав влажного воздуха, занимают весь объем и имеют одинаковую температуру.

Применяются следующие характеристики влажного воздуха.

*Абсолютной влажностью*  $D$  ( $\text{г}/\text{м}^3$ ) называется количество водяных паров, содержащихся в единице объема воздуха.

*Относительная влажность*  $\varphi$  (%) показывает степень насыщения воздуха водяными парами. Она выражает отношение абсолютной влажности  $D$  при данном состоянии к абсолютной влажности  $D_{\text{max}}$  при его полном насыщении при тех же значениях температуры и давления:

$$\varphi = \frac{D}{D_{\text{max}}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

При обработке влажного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования изменяется количество водяных паров, содержащихся в воздухе, содержание же сухой части воздуха остается постоянным. Поэтому при расчетах процессов, связанных с увлажнением и осушением воздуха, удобно пользоваться единицей измерения влажности, которая выражает отношение переменного количества водяного пара к неизменной массе сухого воздуха. Такая единица называется *влажностью*  $d$ . Влажность выражает количество водяных паров, г, приходящееся на 1 кг сухого воздуха.

Относительная влажность воздуха с достаточной точностью (2-3% в сторону уменьшения) может быть вычислена как отношение действительного влагосодержания воздуха  $d$  к влагосодержанию при полном насыщении  $d_H$ :

$$\varphi = \frac{d}{d_H} 100\% . \quad (3)$$

*Теплосодержание* (энтальпия) влажного воздуха - количество теплоты, необходимой для нагревания от 0 °С до данной температуры такого количества влажного воздуха, сухая часть которого имеет массу 1 кг, кДж/кг, сухого воздуха.

$$I = 1,00 \cdot t + (2500 + 1,81t) \cdot 0,001 \cdot d, \quad (4)$$

где 1,00 - удельная массовая теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С);

$t$  - температура воздуха, град;

2500 - скрытая теплота парообразования при 0 °С, кДж/кг;

1,81 - удельная массовая теплоемкость водяных паров, кДж/(кг °С).

## 2. Понятие и назначение вентиляции

*Вентиляция* – это организованный обмен воздуха в помещении для обеспечения параметров микроклимата (температура, влажность) и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещений в пределах допустимых санитарных норм.

*Вентиляцией* называется совокупность мероприятий и устройств, направленных на организацию такой воздушной среды в помещениях, которая обеспечивала бы нормальное пребывание в них людей и положительно влияла на технологический процесс производства.

Вентиляция имеет следующие значения.

*Санитарно-гигиеническое значение* состоит в том, что благодаря работе систем вентиляции в помещениях различного назначения поддерживается режим воздушной среды, благоприятный для людей с учетом характера их деятельности.

*Технологическое значение* заключается в том, что для ведения многих технологических процессов так же необходимы определенные параметры воздушной среды. Эти параметры поддерживаются с помощью систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Оптимальные параметры обеспечивают системы кондиционирования воздуха, допустимые - системы вентиляции.

*Экономическое значение* вентиляции определяется тем, что благодаря ее работе достигается значительный экономический эффект в результате снижения заболеваемости, уменьшения текучести рабочих, улучшения качества продукции. Кроме того, ряд продуктов, улавливаемых при очистке выбросов в атмосферу, представляет экономическую ценность.

Вентиляция так же имеет *социальное значение*. В улучшении условий труда, жилищно-бытовых условий, т.е. в решении важных социальных проблем большая роль принадлежит вентиляции.

Системам вентиляции принадлежит важная роль в улучшении качества воздушной среды. Однако не следует полагать, что все задачи в этой области могут быть решены с помощью вентиляции. Опыт показывает, что существенное улучшение качества воздушной среды достигается лишь на основе проведения комплекса мероприятий.

К ним относятся: совершенствование технологического процесса (герметизация оборудования, применение мокрых процессов, исключающих пылеобразование, изоляция нагретых поверхностей, внедрение автоматики и дистанционного управления и т.д.); применение эффективных систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

### **3. Классификация систем вентиляции**

На данный момент применяется много видов систем вентиляции. Это объясняется различием условий в вентилируемых помещениях, технологических процессов, выделяющихся вредностей, широким кругом задач, стоящих перед системами вентиляции.

Системы вентиляции обычно классифицируют по следующим характерным признакам:

- по назначению *приточные*,  
*вытяжные*;
- по сфере действия *местные*,  
*общеобменные*;
- по способу создания давления *с естественным побуждением*,  
*механическим побуждением*;
- по конструктивным особенностям *канальные*,  
*бесканальные*.

*Вытяжные системы* служат для удаления из помещений загрязненного воздуха.

*Приточные системы* предназначены для подачи в помещения чистого воздуха взамен удаленного.

В общем случае помещение обслуживают как приточные, так и вытяжные системы. Их производительность должна быть сбалансирована с учетом возможности поступления воздуха в смежные помещения или удаления его через эти помещения.

*Системы местной вентиляции* обслуживают отдельные участки помещения.

*Местные приточные системы* подают воздух в отдельные точки помещения, на которых нужно создать определенные метеорологические условия.

*Местные вытяжные системы* удаляют загрязненный воздух от технологического оборудования (локализирующая вентиляция). Местная система, удаляющая пылевыведения, называется *аспирацией*.

Благодаря высокой концентрации вредностей в воздухе, удаляемом местными системами, они обычно весьма эффективны.

Однако во многих случаях вредности выделяются на значительной площади или в объеме помещения и лишь с помощью местных вытяжных систем их удалить невозможно.

Также часто необходимо создать определенные условия во всей рабочей (обслуживаемой) зоне помещения.

Для вентиляции всего помещения или его значительной части служат *общеобменные* системы, как приточные, так и вытяжные.

В производственных помещениях большого объема необходимый санитарно-гигиенический эффект достигается при одновременной работе систем местной и общеобменной вентиляции.

В системах *естественной вентиляции* перемещение воздуха происходит под действием естественного давления. Естественное давление возникает вследствие разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха, в результате воздействия на здание ветра, а также при совместном действии этих факторов.

В системах *механической вентиляции* перемещение воздуха происходит под действием давления, создаваемого вентилятором.

В *канальных системах* применяется сеть каналов (воздуховодов) для перемещения воздуха. В *бесканальных системах* каналы отсутствуют.

На основе классификационных признаков число возможных вариантов систем равно 16. Некоторые из них практического применения не получили.

Принципиальные схемы систем вентиляции в соответствии с приведенной классификацией представлены на рисунке 1.

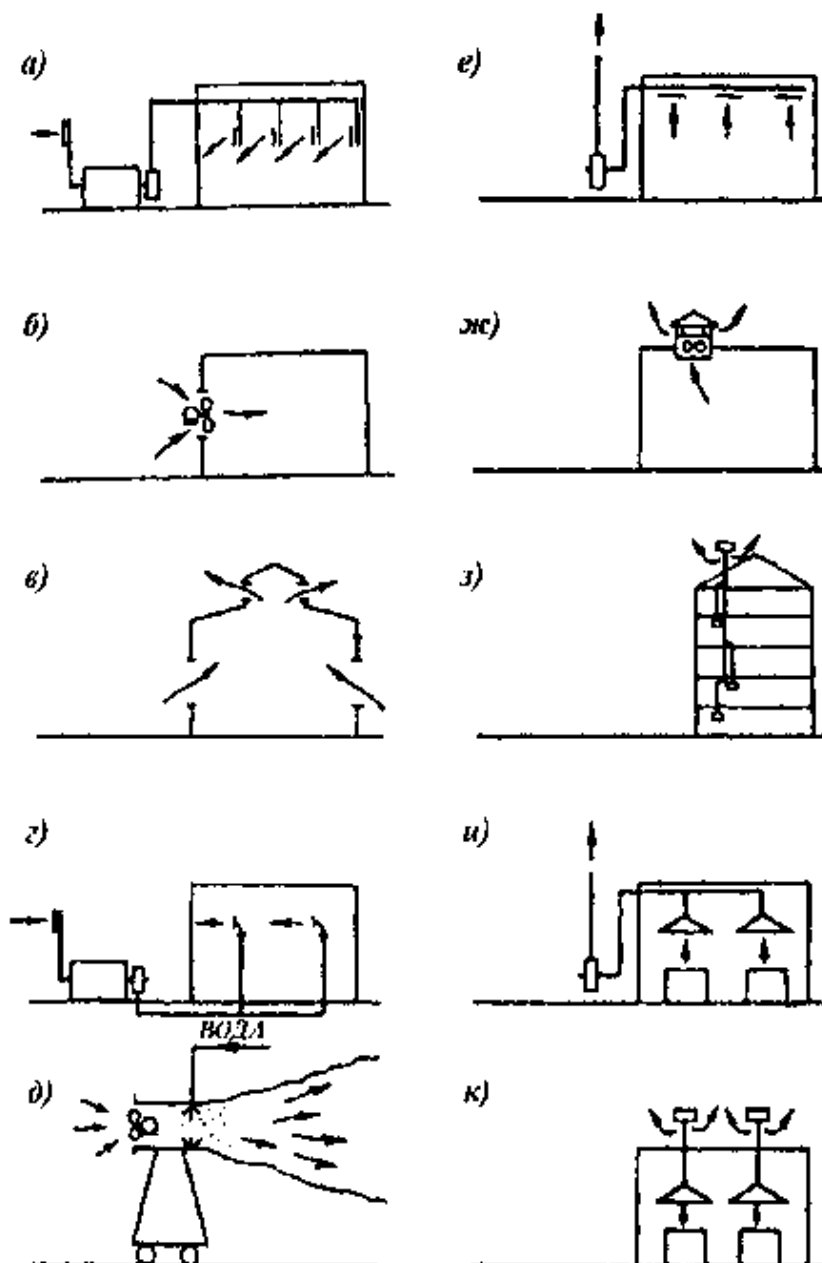


Рисунок 1 - Принципиальные схемы систем вентиляции

На рисунке 1:

а) приточная общеобменная механическая канальная система вентиляции. Широко применяется в производственных помещениях. Приток поступает в рабочую зону и в верхнюю зону в соответствии с технологическими и санитарно-гигиеническими требованиями;

б) приточная общеобменная с механическим побуждением бесканальная система вентиляции. Применяется в производственных помещениях. Воздух подается отопительно-вентиляционными агрегатами с подогревом в холодное время года. Может применяться рециркуляция (воздух забирают из помещения, очищают, при необходимости подогревают и вновь подают в помещение);

в) приточно-вытяжная общеобменная с естественным побуждением бесканальная система вентиляции. Является системой аэрации. Применяется в зданиях со значительными избытками теплоты;

г) приточная местная с механическим побуждением канальная система вентиляции. Применяется в промышленных зданиях. Представляет собой систему воздушного душирования рабочих мест, находящихся в неблагоприятных условиях (воздействие лучистой теплоты, газов);

д) приточная местная с механическим побуждением бесканальная система вентиляции. Соответствует установке для обдувания рабочих мест с помощью аэраторов в производственных помещениях с интенсивным выделением теплоты;

е) вытяжная общеобменная с механическим побуждением канальная система вентиляции. Система широко распространена. Воздух забирают из рабочей или верхней зоны. При необходимости воздух перед выбросом в атмосферу подвергается очистке;

ж) вытяжная общеобменная с механическим побуждением бесканальная система вентиляции. Применяется в производственных зданиях. Вентилятор устанавливают на покрытии или в стене;

з) вытяжная общеобменная с естественным побуждением канальная система вентиляции. Применяется в жилых и общественных зданиях, во вспомогательных и административных помещениях промышленных предприятий;

и) вытяжная местная с механическим побуждением канальная система вентиляции. Система широко распространена. Применяется для локализации вредных выделений (паров, газов, пыли) от технологического оборудования и других источников. Удаляемый воздух перед выбросом в атмосферу при необходимости подвергают очистке;

к) вытяжная местная с естественным побуждением канальная система вентиляции. Применяется в производственных помещениях для удаления паров, газов, иногда легкой мелкодисперсной пыли, выделяющихся совместно с теплотой.

#### **4. Вредности, поступающие в помещения, их воздействие на человека и окружающую среду**

Жизнедеятельность людей и животных, технологические процессы сопровождаются выделением избыточной теплоты, влаги, вредных газов и паров, пыли, а также радиоактивных и микробиологических загрязнений в окружающую среду.

*Избыточная теплота* является одним из основных вредных выделений во многих помещениях промышленных, жилых и общественных зданий. Различают конвективную и лучистую теплоту.

*Конвективная теплота* поступает в помещения от людей, а также от производственного оборудования, имеющего температуру выше температуры воздуха в помещении (печей, аппаратов, камер, автоклавов и др.), нагретых материалов и готовой

продукции. Теплота, распространяясь конвективными струями, вызывает повышение температуры воздуха в помещении. Пребывание и работа человека в условиях высокой температуры ухудшают теплоотдачу организма, а при превышении терморегулирующих возможностей приводит к нарушению водно-солевого режима, белкового обмена и даже к тепловому удару.

*Лучистая теплота.* Источниками теплового излучения являются нагретые тела: оборудование, материалы и т.д. Коротковолновое излучение, которое исходит от тел с высокой температурой, обладает большой проникающей способностью и угнетающе действует на клетки организма.

Теплопоступления принимают по справочной литературе, по данным технологов, при необходимости - по формулам теории теплопередачи.

*Влага* (водяные пары) поступает в воздух помещения от людей, с открытых водных поверхностей, при открытых мокрых процессах, проникает в виде водяного пара, через неплотности трубопроводов и т.д. Повышение влажности воздуха в помещении затрудняет теплообмен организма человека с окружающей средой.

*Пары и газы.* Пары и газы поступают в воздух помещений гражданских зданий от людей, в воздух производственных помещений - в основном при различных технологических процессах.

*Оксид углерода* (угарный газ) CO. Продукт неполного сгорания углерода. Бесцветный газ без запаха. Высокотоксичное вещество. Соединяясь с гемоглобином крови, CO отнимает у него кислород. В результате нарушается снабжение организма кислородом, а при тяжелых формах наступает удушье.

Выделение CO происходит в литейных, термических, кузнечных цехах, в котельных, CO содержится в выхлопных газах автомобилей, тракторов и т.д.

*Цианиды.* К цианидам относятся: цианистая (синильная) кислота (HCN), ее соли (KCN, NaCN, CN<sub>3</sub>) и др. HCN - бесцветная жидкость с запахом горького миндаля. Цианиды натрия и калия - бесцветные кристаллы, слабо пахнущие синильной кислотой.

*Хлор Cl.* Газ желто-зеленого цвета, в 2,5 раза тяжелее воздуха. В основном действует на верхние дыхательные пути.

*Диоксид серы* (сернистый газ) SO<sub>2</sub>. Бесцветный газ с резким запахом. Выделяется при сжигании сернистого топлива и др. Раздражает слизистую оболочку глаз и верхних дыхательных путей.

*Аммиак* NH<sub>3</sub>. Бесцветный газ с резко раздражающим запахом. Может проникать в воздух помещений, в частности в холодильных установках. Вызывает раздражение верхних дыхательных путей.

*Ртуть* Hg. Жидкий металл. Используется, в частности, в измерительных приборах, в лабораториях. Ртуть легко испаряется при температуре ниже 0 °С. Пары ртути поступают в организм в основном через органы дыхания. Ртуть способна накапливаться в организме. Она поражает органы пищеварения, нервную систему.

*Марганец* Mn - серебристый металл с красным оттенком. Распространены соединения марганца: оксид марганца, диоксид марганца, хлористый марганец. Марганец и его соединения поступают в организм через желудочно-кишечный тракт в виде пыли. Они воздействуют на центральную нервную систему.

*Цинк* Zn. Вредным веществом является оксид цинка - белый рыхлый порошок, который может быть получен при окислении цинка в процессе его нагревания выше температуры плавления 939 °С. Образуются пары цинка, которые, соединяясь с кислородом, образуют оксид цинка. Оксид цинка поступает в организм через дыхательные пути, вызывает лихорадки.

*Хром* Cr - твердый блестящий металл. Применяются соединения хрома: оксид хрома, диоксид хрома, хромовые квасцы и др. Хром и его соединения применяют в металлургической, химической, кожевенной, текстильной и других отраслях промышленности. Хром и его соединения поражают слизистую оболочку органов дыхания, желудочно-кишечный тракт, вызывают язвы на коже, заболевания типа бронхиальной астмы.

*Никель* Ni. Серебристый металл с коричневым оттенком. Применяется в производстве никелевой, хромоникелевой стали, сплавов с медью, в гальваническом производстве и др. В результате воздействия никеля и его соединений происходит поражение органов дыхания, кожного покрова.

*Органические растворители.* К ним относятся углеводороды органического и жирного ряда. Растворители широко применяются для обезжиривания и растворения органических веществ. Наиболее распространены: бензол, толуол, ксилол, бензин, уайт-спирит. Они действуют на центральную нервную систему, а некоторые из них также на органы кровообращения.

*Пыль* - совокупность мелкоизмельченных частиц твердого вещества, взвешенных в газовой, в частности в воздушной, среде. Пылью также называют совокупность осевших частиц (гель или аэрогель). Различают пыль естественного происхождения и промышленную. Пыль естественного происхождения образуется в результате эрозии почвы, при выветривании горных пород и т.д. Промышленная пыль возникает большей частью при обработке и транспортировании материалов. Пыль может быть органической (древесная, хлопковая, мучная, зерновая, сахарная и др.) и неорганической (минеральной - кварцевая, цементная и т.п. и металлической - стальная, чугунная, медная и др.). Значительная часть промышленных пылей - смешанного происхождения, т.е. состоят из частиц органических и неорганических.

Пыль причиняет вред организму человека в результате механического, химического и бактериологического воздействия.

Частицы до 5 мкм способны проникать в легкие вплоть до альвеол, частицы 5-10 мкм в основном задерживаются в верхних дыхательных путях, более крупные частицы в легкие не проникают и довольно быстро осаждаются. Частицы с острыми краями травмируют слизистую оболочку (пыли металлические, стеклянная, кварцевая и др.). Вдыхание пыли, содержащей свободный диоксид кремния SiO<sub>2</sub>, приводит к силикозу. Пыли мучная, зерновая и т.п. вызывают хронические бронхиты. Воздействие пыли на орган зрения вызывает конъюнктивиты, на кожу - дерматиты. Токсичные пыли, обладающие растворимостью, отравляют организм. Некоторые вещества способны вызывать злокачественные опухоли, например, хром, мышьяк, сажа, смола и др. Органические пыли, например мучная, благоприятная среда для развития микроорганизмов. Все органические пыли пожароопасны, многие из них (сахарная, мучная, крахмальная, угольная и др.) - взрывоопасны.

*Радиоактивные вещества* как вид загрязнения воздуха появились в последние десятилетия в связи с развитием атомной энергетики. Эти вещества отличаются большим разнообразием в отношении воздействия на организм человека и окружающую среду, а также времени своего существования - от долей секунды до тысячелетий.

*Микроорганизмы* (бактерии и вирусы) присутствуют в воздухе. Их виды и концентрация зависят от наличия питательной среды, расстояния от поверхности земли и ряда других факторов.

*Неприятные запахи.* Их источник - газы и мельчайшие частицы твердых и жидких веществ, находящихся в воздушной среде. Запахи вызывают у человека повышенную

утомляемость, нервное возбуждение или, наоборот, депрессию. С запахами приходится встречаться в районе расположения химических предприятий, а также предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственное сырье, - мясокомбинатов, табачных фабрик и др.

Санитарными нормами установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных газов, паров и пыли в воздухе помещений, мг/м<sup>3</sup>.

## 5. Понятие, определение и организация воздухообмена

Требуемый воздухообмен - количество чистого воздуха, необходимого для замены воздуха в помещении, м<sup>3</sup>/ч.

Для определения требуемого воздухообмена необходимо знать:

- количество вредных выделений в помещении в течение одного часа;
- допустимое содержание вредных веществ в 1 м<sup>3</sup> воздуха помещения;
- содержание вредностей в 1 м<sup>3</sup> подаваемого в помещение воздуха.

Воздухообмен определяют отдельно по газовым вредностям, водяным парам и избыточной теплоте. В качестве расчетного значения воздухообмена принимают большую величину.

Необходимый воздухообмен  $L_{co}$ , м<sup>3</sup>/ч, по газовым вредностям определяют по формуле:

$$L_{co} = \frac{K}{K_{доп} - K_{пр}}, \quad (5)$$

где  $K$  - количество газов, выделяющихся в помещении, мг/ч;

$K_{доп}$  - предельно допустимая концентрация газа, мг/м<sup>3</sup>;

$K_{пр}$  - концентрация газа в приточном воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

Воздухообмен определяют по каждому виду газа в отдельности.

Необходимый воздухообмен по количества водяных паров, содержащихся в воздухе, определяют по формуле:

$$L_w = \frac{W}{\rho(d_{y\partial} - d_{np})}, \quad (6)$$

где  $W$  - количество водяных паров, выделяющихся в помещении, г/ч;

$d_{y\partial}$  - влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения, г/кг сухого воздуха;

$d_{np}$  - влагосодержание приточного воздуха, г/кг сухого воздуха;

$\rho$  - плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Необходимый воздухообмен по избыточной теплоте  $L_Q$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле:

$$L_Q = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}}{\rho c (t_{y\partial} - t_{np})}, \quad (7)$$

где  $Q_{изб}$  - избыточная теплота, Вт;

$\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,

$c$  - теплоемкость воздуха, кДж/(кг · °С);

$t_{y\partial}$  - температура удаляемого воздуха, °С;

$t_{np}$  - температура приточного воздуха, °С;

3,6 - коэффициент перевода единиц, Вт в кДж/ч.

Кратность воздухообмена - показатель, характеризующий интенсивность воздухообмена воздуха в помещении. Кратность можно определить по формуле:

$$\bar{n} = \frac{L}{V_n}, \quad (8)$$

где  $L$  - количество воздуха, подаваемого или удаляемого из помещения в течение часа, м<sup>3</sup>/ч;

$V_n$  - объем помещения, м<sup>3</sup>.



Знаком (+) обозначается воздухообмен по притоку, знаком (-) - по вытяжке.

Воздухообмен в помещениях жилых и общественных зданий обычно определяют по кратности воздухообмена, исходя из нормы объема помещения на одного человека в жилом помещении, в классе, административном помещении и т.д.

В этом случае необходимый воздухообмен (по притоку или вытяжке) определяется:

$$L = n \cdot V_{\text{п}}. \quad (9)$$

Эффективность вентиляции помещения в основном зависит от обоснованного выбора схемы организации воздухообмена и системы воздухораспределения с учетом его технологического предназначения и конкретных эксплуатационных условий.

Схема организации воздухообмена зависит от размещения приточных и вытяжных устройств в объеме помещения, определяющих при взаимодействии с источниками тепловыделений циркуляцию воздушных потоков. Для каждой схемы организации воздухообмена могут быть использованы различные системы воздухораспределения.

В понятие «система воздухораспределения» заложены конструктивные решения подачи и удаления воздуха, а именно: размещение, количество и конструкция применяемых приточных и вытяжных устройств, соответствующих выбранной схеме организации воздухообмена.

Обычно применяются схемы организации воздухообмена в помещениях представленные на рисунке 2.

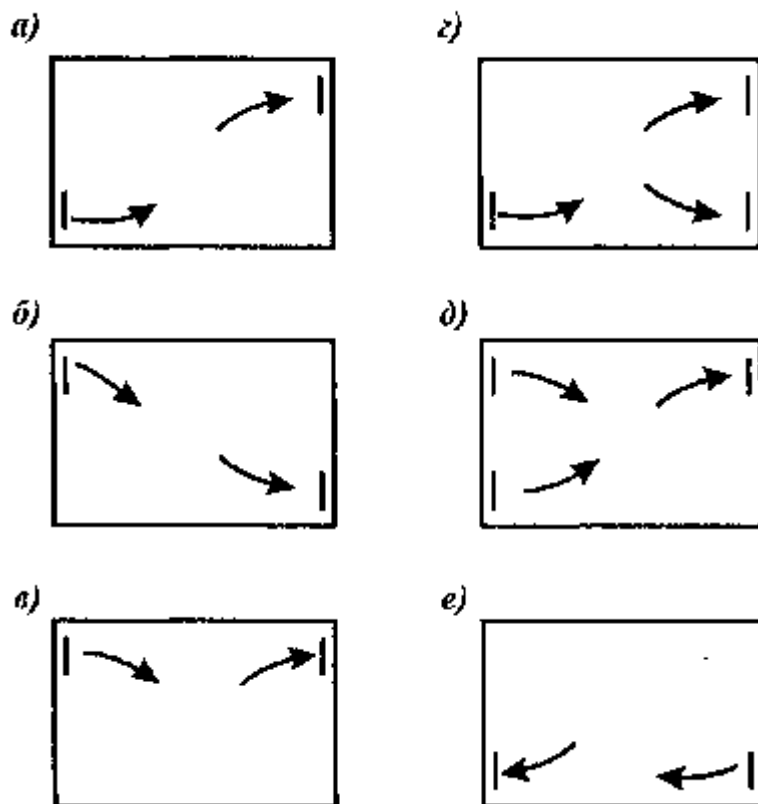


Рисунок 2 – Схемы организации воздухообмена

На рисунке 2:

а) схема «снизу вверх». Применяется при совместном выделении теплоты и газов или теплоты и пыли;

б) схема «сверху вниз». Применяется при выделении в помещении паров летучих жидкостей (бензола, толуола, ацетона, спиртов и т.п.), пыли;

в) схема «сверху вниз». Применяется в производственных цехах, например, при совместном выделении теплоты и влаги или лишь влаги;

г) схема с однозональным притоком в нижнюю зону и двухзональной вытяжкой. Целесообразна при поступлении в воздух теплоты и других вредностей с плотностью больше, чем у воздуха;

д) схема с двухзональным притоком и однозональной вытяжкой из верхней зоны. Применима в помещениях с тепло- и влаговыведениями или только с влаговыведениями при сосредоточенном выпуске пара от технологических установок с температурой жидкости более  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

е) схема «снизу вниз». Применяется в помещениях с выделением взрывоопасных веществ различной плотности. Предотвращается их скопление в верхней зоне. Применима также при выделении газов тяжелее воздуха при отсутствии теплоизбытков.

## 6. Естественная вентиляция

Неорганизованное распределение свежего воздуха по помещениям, происходящее естественным путем под влиянием разности плотностей наружного и внутреннего воздуха, определяемой разностью их температур (для горячих цехов), или под воздействием ветра (для холодных цехов), называют *проветриванием*. Проветривание помещений достигается периодическим открыванием форточек, фрамуг, дверных и оконных проемов. Кроме того, воздух в помещение просачивается через щели и поры стен, окон и дверей. Это явление называют *инфильтрацией* или *естественная неорганизованная вентиляция*.

Инфильтрация (а соответственно и количество проникающего в помещение наружного воздуха) тем больше, чем больше разность температур внутри и снаружи помещения и чем больше скорость ветра, т. е., следовательно, чем больше разность давлений внутреннего и наружного воздуха. Под действием этой разности давлений воздух движется в направлении от большего к меньшему давлению. При этом в одной части помещения устанавливается давление больше наружного, а в другой — меньше. Количество же вытяжного воздуха в данном случае должно быть равно количеству инфильтрующего воздуха.

Рассмотрим разрез помещения, представленного на рисунке 3, стены которого совершенно непроницаемы для воздуха. В одной из стен помещения, внизу над полом и вверху под потолком, имеются два отверстия на расстоянии  $h$  одно от другого.

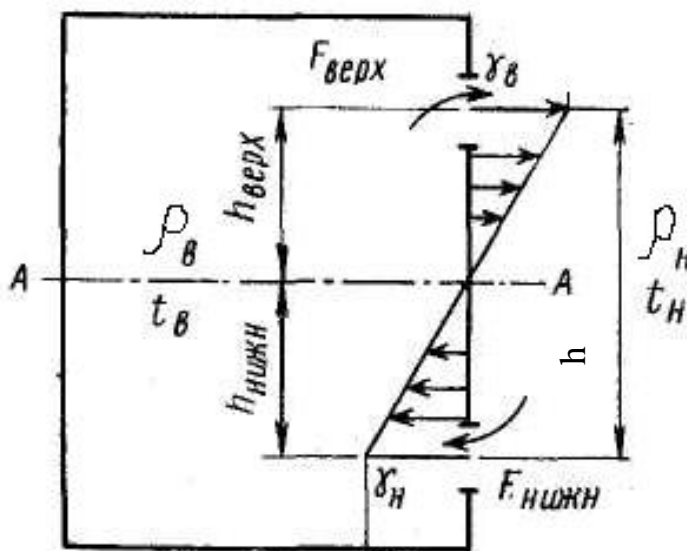


Рисунок 3 – Распределение давления в помещении

Температуру внутреннего воздуха  $t_b$  более высокая, чем температура наружного воздуха  $t_n$ . Тогда вследствие разности плотностей воздуха, из которых плотность наружного воздуха  $\rho_n$  больше плотности внутреннего воздуха  $\rho_b$ , через нижнее отверстие наружный воздух будет входить в помещение, а через верхнее выходить из него.

Следовательно, давление внутреннего воздуха у верхнего отверстия больше, а у нижнего отверстия меньше, чем давление наружного воздуха.

Таким образом, в пределах высоты  $h$  имеется такая плоскость А - А, в которой давление внутреннего воздуха будет равно давлению наружного воздуха, т. е. в которой разность давлений равна нулю. Эту плоскость называют нейтральной плоскостью, или нейтральной зоной, или плоскостью равных давлений. Она делит высоту  $h$  на две части —  $h_{\text{верх}}$  и  $h_{\text{нижн}}$ .

Расположение нейтральной плоскости зависит от площадей отверстий. Если площадь нижнего отверстия меньше площади верхнего, то нейтральная плоскость лежит выше середины расстояния между центрами отверстий и ближе к большей площади. Если же, наоборот, площадь нижнего отверстия будет больше верхнего, то нейтральная зона будет находиться ниже середины расстояния между центрами отверстий.

Давление  $p_e$ , Па, заставляющее воздух двигаться в указанном направлении от нижнего отверстия к верхнему при естественной вентиляции, выражается формулой:

$$p_e = hg (\rho_n - \rho_b). \quad (10)$$

При незначительной толщине стенок помещения можно считать, что все давление  $p_e$  будет расходоваться на создание лишь скоростей  $v_{\text{нижн}}$  и  $v_{\text{верх}}$  в нижнем и верхнем отверстиях.

Опыт показывает, что инфильтрация в общественных и жилых зданиях, составляет от 0,5 до 1 кратности воздухообмена по отношению к кубатуре помещения, а в промышленных зданиях доходит до 1,5 кратности воздухообмена и более.

Инфильтраций иногда должна учитываться и при организации общего воздухообмена с помощью системы принудительной вентиляции. Так например, если планируется создать в помещении однократный воздухообмен с помощью системы искусственной вытяжной вентиляции, то от организации притока воздуха можно отказаться, так как объем удаляемого из помещения воздуха может быть компенсирован инфильтрацией.

Преимуществами систем естественной вентиляции являются:

- простота конструкции;
- сравнительная легкость обслуживания.

Недостатки:

- малый радиус действия (до 8 м), особенно для помещений с небольшими избытками теплоты;
- непостоянство действия, т. е. ее зависимость от таких переменных величин, как сила ветра и разность температур.

В *жилых зданиях* в основном используют организованную приточную вентиляцию, через форточки и фрамуги, и неорганизованную вентиляцию (инфильтрацию), через поры и неплотности в наружных ограждениях. Для удаления воздуха устраивают вытяжные каналные системы естественной вентиляции. При поступлении наружного воздуха через проемы и неплотности в них, он смешивается с теплым воздухом, поднимающимся над отопительными приборами, и нагретым поступает в зону пребывания людей.

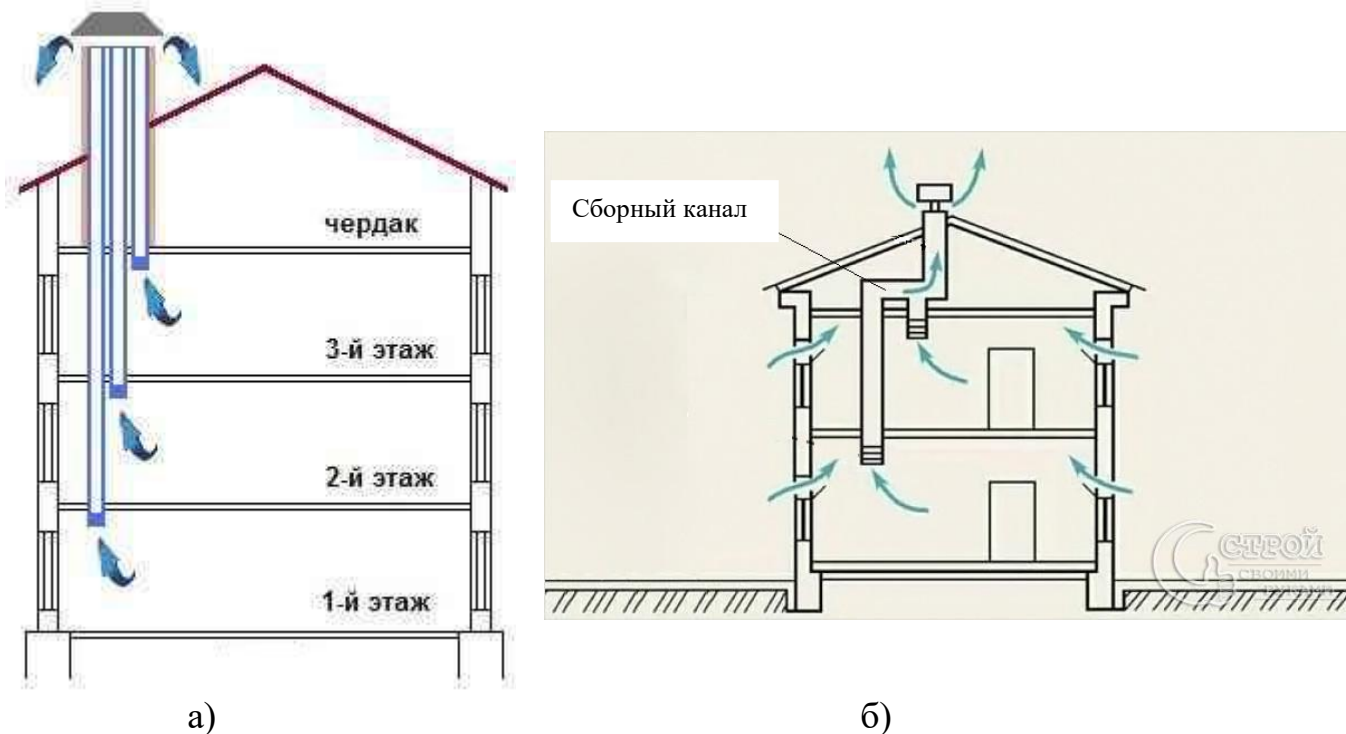
Вытяжная система естественной каналной вентиляции состоит из вертикальных внутрстенных или приставных каналов с жалюзийными решетками, сборных

горизонтальных каналов, расположенных на чердаке, и вытяжной шахты. Над шахтой устанавливают дефлектор.

Воздух поступает в вытяжной канал через жалюзийную решетку. В вентилируемых помещениях устанавливают жалюзийные решетки с регулированием расхода. В кухнях и санузлах расход воздуха через решетку не регулируется.

В одну систему можно объединять вытяжные каналы однородных помещений, например кухонь. Вытяжные каналы санитарных узлов объединяются в самостоятельную систему. Вентиляционные системы жилых помещений нельзя объединять с вентиляционными системами детских, торговых и других учреждений.

На рисунке 4 даны схемы вытяжных каналов в жилых зданиях.



а) – с самостоятельным выпуском; б) – с сборным каналом

Рисунок 4 - Схемы вытяжных каналов

В зданиях в 5–6 этажей и менее воздух из квартиры может удаляться из помещений, вертикальными каналами, располагаемыми во внутренних перегородках, с самостоятельным выпуском его в атмосферу (рисунок 4, а). Так же вертикальные каналы на чердаке могут быть объединены в сборные каналы, по которым удаляемый воздух через вытяжную шахту выходит в атмосферу (рисунок 4, б). Сборные короба и вытяжные шахты выполняют из негорючих материалов и при прокладке их на холодных чердаках зданий стенки дополнительно утепляют, чтобы избежать выпадения конденсата на их внутренних поверхностях в зимнее время и исключить явление опрокидывания вентиляции (обратная тяга).

В более высоких зданиях места для размещения индивидуальных каналов из каждого помещения не хватает, и вытяжные каналы из отдельных помещений, расположенных друг над другом, объединяют в сборный вертикальный канал. Чтобы не происходило перетекания воздуха через сборный канал между этажами, присоединение вытяжки из каждого помещения к сборному каналу выполняется через канал-спутник длиной в один этаж, представленный на рисунке 5. На чердаке сборные каналы и каналы-спутники с последнего этажа объединяют горизонтальными коробами, которые присоединены к вытяжным шахтам, через которые удаляемый воздух выбрасывался в атмосферу.

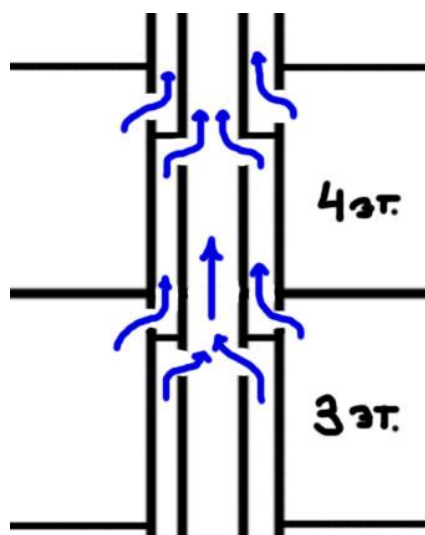


Рисунок 5 – Система вытяжной вентиляции с каналами-спутниками

Жилые многоэтажные здания, как правило, проектируются с «теплыми» чердаками (техэтажами). Сборные вытяжные каналы выходят на техэтаж, где устанавливаются общие (для нескольких каналов) вытяжные шахты с зонтами (для предотвращения попадания на техэтаж и в каналы осадков) или без зонтов, но с поддонами для сбора влаги. Выпуск воздуха из «теплого» чердака в атмосферу происходит через общую вытяжную шахту для всех квартир одной секции дома. При устройстве общих посекционных вытяжных шахт помещение теплого чердака также должно иметь посекционные перегородки, что соответствует противопожарным требованиям. Установка двух вытяжных шахт в одном отсеке техэтажа не допускается. Указанные ограничения вызваны ещё и тем, что атмосферное давление у оголовков разных вытяжных шахт при действии ветра может существенно отличаться, и вследствие малого аэродинамического сопротивления вытяжных шахт (1–2 Па) одна из них может начать работать на приток.

Практика эксплуатации жилых зданий повышенной этажности показала, что на двух последних этажах в вентиляционных каналах кухонь и санузлов необходимо устанавливать малогабаритные осевые вентиляторы, рассчитанные на работу в летнее время.

В некоторых случаях над вытяжными шахтами естественной вентиляции могут быть установлены насадки - *дефлекторы*. Их назначение - усилить вытяжку из вентилируемых помещений. Дефлектор обеспечивает дополнительное разрежение в устье вытяжной шахты, возникающего при воздействии на него ветра.

Широко распространены дефлекторы конструкции ЦАГИ. Номер дефлектора соответствует диаметру патрубка в дм.

## 7. Аэрация зданий

*Аэрация* - естественная бесканальная постоянная вентиляция производственных помещений, организованная таким образом, что обеспечивает заданную кратность воздухообмена помещения. При аэрации организованный естественный воздухообмен, происходит в холодных цехах под действием ветра, а в горячих цехах — под совместным действием ветра и разности давлений наружного и внутреннего воздуха (гравитационного давления). Аэрация имеет большое значение, особенно там, где нужна высокая кратность воздухообмена, требующая при механической вентиляции значительных затрат электроэнергии. Аэрация находит практическое применение при вентилировании производственных помещений, горячих цехов металлургической промышленности (например, в термических, литейных, кузнечных и других цехах) с

большими избытками тепла.

Разница между механической и аэрацией состоит в следующем. При механической вентиляции удаляются сравнительно малые объемы воздуха непосредственно от места его загрязнения и подается воздух в заданные места при довольно значительных давлениях вентилятора. При аэрации подаются большие организованные объемы свежего воздуха по всему цеху при незначительных давлениях. Преимуществом аэрации является то, что большие объемы свежего воздуха подаются и удаляются без применения вентиляторов и воздуховодов. Аэрация является хорошим средством для борьбы с избытками тепла в цехе, другими словами, для уменьшения температуры воздуха в рабочей зоне.

Одновременно с аэрацией может применяться и механическая вентиляция для борьбы с газовыми и другими вредностями. Аэрация не исключает также необходимости механической организованной подачи свежего воздуха к месту работы. Механическая и естественная вентиляция взаимно дополняют друг друга, так как они при совместном действии обычно увеличивают общий воздухообмен и, следовательно, уменьшают концентрацию вредностей в цехе. Аэрация и механическая вентиляция, совместно действуя, улучшают условия работы и способствуют повышению производительности труда.

Воздухообмен при аэрации происходит через открывающиеся проемы в стенах и световых фонарях под действием теплового давления (разности давлений наружного и внутреннего воздуха) и давления, создаваемого ветром.

При вентилировании помещений аэрацией воздухообмен как правило имеет большую кратность (например, если для цеха с кубатурой в 40 тыс. м<sup>3</sup> необходим 20-кратный воздухообмен, то расход составит воздуха 800 тыс. м<sup>3</sup>/ч). Чтобы осуществить такой большой воздухообмен естественным путем, цех должен быть оборудован значительным количеством проемов. Проемы следует располагать таким образом, чтобы летом наружный воздух поступал непосредственно к рабочим местам, а зимой холодный воздух, поступающий в цех, успевал смешиваться с внутренним воздухом и поступал к рабочим местам с температурой, близкой температуре рабочей зоны.

В теплый период года приток воздуха осуществляется через все нижние аэрационные проемы в стеновых ограждениях, а также ворота и входные двери. В холодный и переходный периоды года (температура ниже 8 °С) воздух в необходимом объеме притекает через проемы в стеновых ограждениях, расположенных не ниже 4 м от уровня пола (до низа проема). Вытяжка в любой из периодов года осуществляется через проемы фонарей, а также через шахты и дефлекторы. В холодный и переходный периоды года проемы фонарей открывают лишь на участках, расположенных над источником тепловыделений или вблизи них. Управление открытием и закрытием проемов фонаря дистанционное из операторской.

Действие аэрации с тепловым побуждением основано на принципе движения воздуха в помещениях с отверстиями, расположенными на разных вертикальных расстояниях друг от друга. Чем больше разность температур наружного и внутреннего воздуха и чем больше разность вертикальных расстояний между осями приточных и вытяжных фрамуг, тем больше будет тепловое давление и соответственно воздухообмен при аэрации.

Расчет аэрации в основном заключается или, в определении площадей приточных и вытяжных фрамуг, или, если известны площади фрамуг, в определении возможного воздухообмена через них. При проектировании рассматривают наиболее небла-

поприятные условия, когда скорость ветра равна нулю. Площадь приточных проемов принимают возможно большей, чтобы обеспечить относительно невысокие скорости поступления воздуха в цех и устойчивость восходящих конвективных потоков. С этой целью рекомендуется в приточных проемах расходовать от 0,1 до 0,3 расчетной разности давлений.

При расчете аэрации под действием теплового давления количество воздуха через приточные фрамуги в кг/ч может быть определено по формуле:

$$G = \frac{3,6 Q_{изб}}{c(t_{yx} - t_{np})}, \quad (11)$$

где  $Q_{изб}$  – теплоизбытки в помещении, Вт;

$c$  – удельная массовая теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С);

$t_{yx}$  – температура удаляемого воздуха, °С;

$t_{np}$  – расчетная температура приточного воздуха, °С.

Температура удаляемого воздуха  $t_{yx}$  принимается в зависимости от высоты расположения вытяжного проема относительно рабочей зоны  $h_{выг}$  и определяется по формуле:

$$t_{yx} = t_{р.з.} + \Delta t (h_{выг} - h_{р.з.}), \quad (12)$$

где  $t_{р.з.}$  – температура в рабочей зоне, °С;

$\Delta t$  – градиент температуры по высоте помещения (эмпирическая величина, принимаемая для горячих цехов в пределах 0,5 - 1,5°С/м);

$h_{р.з.}$  – высота рабочей зоны, принимаемая равной 2 м.

Действие аэрации с ветровым побуждением основано на обтекаемости здания ветром. На рисунке 6 показана схема движения воздушной среды под действием ветра относительно здания.

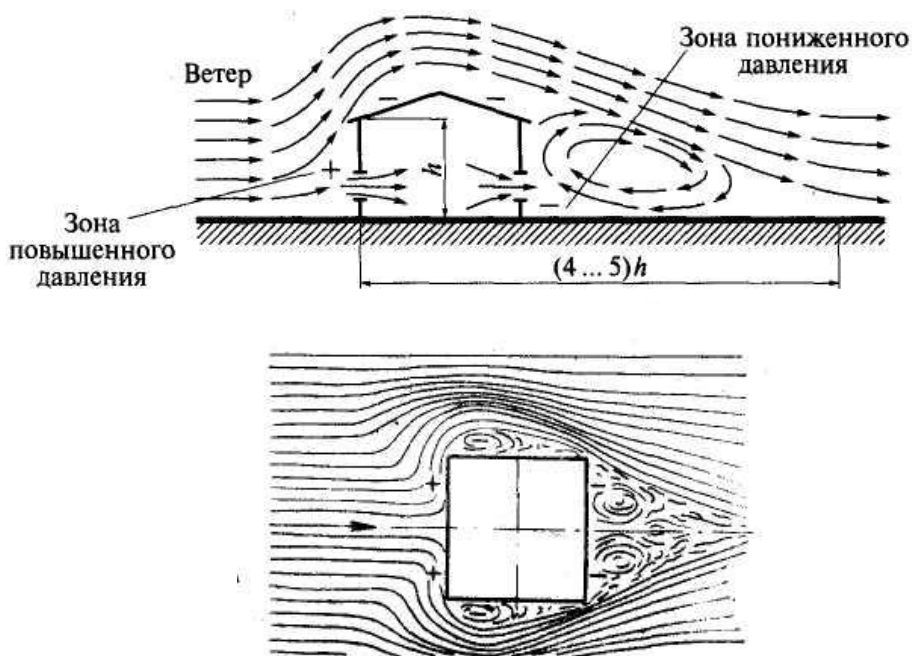


Рисунок 6 - Схема движения воздушной среды под действием ветра

При ветреной погоде с наветренной стороны здания образуется зона повышенного давления воздуха за счет затормаживания перемещающихся воздушных масс, а с подветренной и над кровлей здания — разрежение. Благодаря образующейся разнице давлений наружный воздух входит в здание через открытые проемы с наветренной стороны здания и выходит через открытые отверстия с противоположной, подветренной стороны. В некоторых случаях задувание ветра в проемы здания приводит к

уменьшению воздухообмена, повышению температуры воздуха и его загазованности в рабочей зоне. Чтобы рационально использовать действие ветра и теплового давления, необходимо правильно организовать движение воздушных потоков внутри здания. Это достигается выбором оптимальной схемы открывания створок проемов и применением незадуваемых фонарей.

Для увеличения воздухообмена производственные здания располагают в отношении господствующих ветров так, чтобы они представляли наибольшее сопротивление. При действии ветра одной и той же силы и того же направления и при одинаковой площади открытых проемов величина воздухообмена в зданиях различного профиля будет различной.

Расчет аэрации под воздействием давления ветра в основном сводится к установлению так называемого аэродинамического коэффициента здания  $K$ , который является безразмерной величиной. Аэродинамический коэффициент равен отношению давления, создаваемого ветром с наветренной стороны (или разрежения, создаваемого ветром с подветренной стороны здания), к скоростному давлению ветра:

$$K = \frac{p}{p_d}, \quad (13)$$

где  $p$  – давление (или разрежение) на единицу площади;

$p_d$  – скоростное давление ветра ( $v^2\rho/2$ ).

Коэффициент  $K$  определяется опытным путем — продувкой моделей зданий в аэродинамической трубе. Значения его для типовых промышленных зданий приводятся в специальной литературе.

Из формулы (13) видно, что величина создаваемого ветром давления (или разрежения) составит:

$$p = \pm K p_d.$$

После определения ветрового давления задаются внутренним избыточным давлением для каждого отверстия и по найденным разностям давлений устанавливаются скорости движения воздуха в отверстиях, а по ним уже определяют площади приточных и вытяжных отверстий.

При совместном действии аэрации с тепловым и ветровым давлениями необходимо за расчетное давление принимать их сумму.

## **8. Механическая (принудительная) вентиляция**

В системах механической вентиляции перемещение воздуха обеспечивается работой вентиляторов.

Механическая вентиляция имеет по сравнению с естественной ряд преимуществ:

- большой радиус действия вследствие значительного давления, создаваемого вентилятором;
- возможность изменять или сохранять необходимый объем приточного или вытяжного воздуха независимо от метеорологических условий температуры наружного воздуха и скорости ветра;
- возможность подвергать вводимый в помещения воздух предварительной обработке: очистке, подогреву или охлаждению, осушке или увлажнению;
- возможность организации оптимального воздухораспределения с подачей воздуха непосредственно к рабочим местам в заранее predetermined количествах и со скоростью, соответствующей данным условиям работы;
- возможность улавливания вредных выделений непосредственно в местах их образования и предотвращения их распространения по всему объему помещения;
- возможность очистки загрязненного воздуха перед выбросом его в атмосферу.



К недостаткам механической вентиляции следует отнести:

- необходимость звукоизоляции;
- значительную стоимость сооружения и эксплуатации.

**Принудительная (механическая) вентиляция** обеспечивает поддержание постоянного воздухообмена, который осуществляется с помощью механических вентиляторов, воздуховодов и воздухораспределителей. В зависимости от того, для чего служит система вентиляции, ее подразделяют на приточную (рисунок 7, а), вытяжную (рисунок 7, б) и приточно-вытяжную (рисунок 7, в).

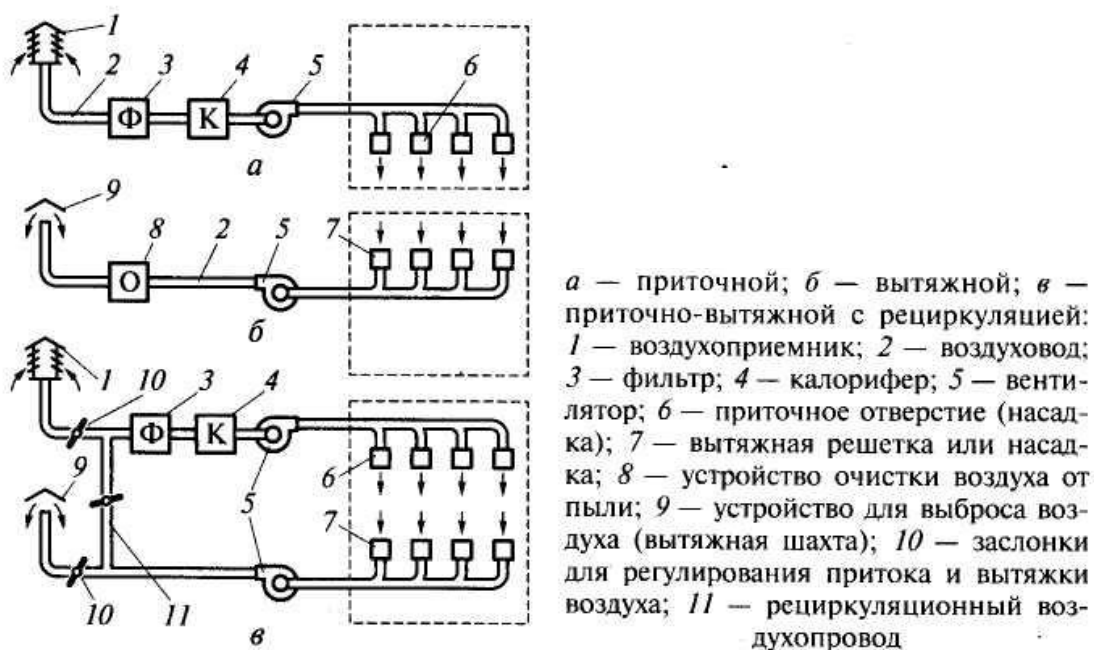


Рисунок 7 – Схемы механической вентиляции

Система вентиляции, обеспечивающая подачу наружного воздуха в помещение, подогреваемого в холодный период времени года, называются *приточной*. Установка механической приточной вентиляции (рисунок 7.2, а) обычно состоит из воздухозаборного устройства (воздухо-приемника) 1, устанавливаемого снаружи здания в месте наименьшей загрязненности; воздуховодов 2, по которым воздух подается в помещение; фильтров 3, служащих для очистки воздуха от пыли; калориферов 4, в которых воздух подогревается до необходимой температуры; вентилятора 5; приточных отверстий или насадок 6, через которые воздух попадает в помещение, и регулирующих устройств, которые устанавливают в воздухоприемном устройстве и на отверстиях воздуховодов.

Приточная вентиляция с механическим побуждением движения воздуха бывает сосредоточенная и рассредоточенная. При наличии только приточной вентиляции имеет место неорганизованное удаление загрязненного воздуха из помещения.

Приточную вентиляцию применяют в помещениях, в которых не происходит специфическое загрязнение воздуха или необходимо создать незначительное повышенное давление.

Система вентиляции с помощью, которой удаляют загрязненный или нагретый воздух из помещения называют *вытяжной*.

Установка механической вытяжной вентиляции (рисунок 7.2, б) обычно состоит из вытяжных отверстий, решеток или насадок 7; вентилятора 5; воздуховодов 2; устройства 8 для очистки воздуха от пыли (газов) и устройства 9 для выброса воздуха (вытяжной шахты), которое должно быть расположено на 1... 1,5 м выше конька

крыши.

При механической вытяжной вентиляции из помещения организованно удаляют загрязненный воздух, а приток воздуха происходит неорганизованно — за счет подсоса его через все неплотности строительных конструкций. При этом в холодный период года в помещение поступает значительное количество холодного воздуха. Это приводит к охлаждению помещения, а при больших объемах подсосываемого воздуха вызывает неприятное ощущение холодного дутья.

Вентиляцию, обеспечивающую приток и удаление воздуха, называют *приточно-вытяжной*, представляющую собой комбинацию приточной и вытяжной вентиляции. В холодное время воздух подогревают. В отдельных случаях с целью сокращения эксплуатационных расходов на нагревание воздуха применяют системы вентиляции с рециркуляцией воздуха, в которых к поступающему с наружи воздуху подмешивают внутренний. Но в это случае приточный воздух загрязняется удаляемым. Чтобы избежать данного недостатка сегодня применяют системы вентиляции с *рекуператорами*. Рекуператоры так же обеспечивают подогрев приточного воздуха удаляемым, но без их непосредственного смешивания, т.к. рекуператор представляет собой теплообменник.

Приточно-вытяжную вентиляцию применяют в цехах заводов со значительными выделениями вредных газов и паров, влаги и теплоты.

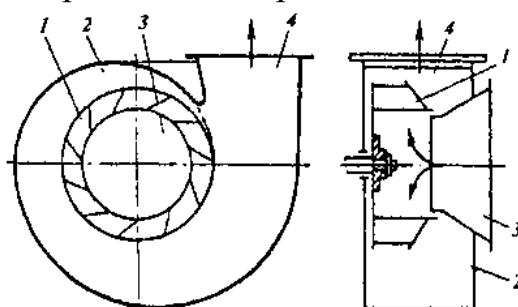
Для принудительного перемещения воздуха в системах механической вентиляции, используются нагнетатели, **машины, в которой происходит преобразование механической работы в механическую энергию какой-либо среды, называемые вентиляторами.**

**Вентилятор** - устройство для перемещения воздуха или других газов при степени повышения давления газа не более 1,15 (степень повышения давления  $\varepsilon = P_{Vк}/P_{Vн}$ , здесь  $P_{Vк}$  - полное давление газа на выходе из машины;  $P_{Vн}$  - полное давление газа на входе в машину).

Вентиляторы подразделяются на типы в зависимости от конструкции и принципа действия, полного давления, развиваемого вентилятором, способа установки и условий работы.

**По конструкции и принципу действия** вентиляторы делятся на два основных типа - радиальные и осевые. Применяются также модификации радиальных вентиляторов - диаметральных, диагональных, прямоочные, дисковые и др. Наибольшее применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха и для производственных целей нашли радиальные, осевые и диаметральные вентиляторы.

**Радиальным вентилятором**, представленном на рисунке 8, называют вентилятор, у которого направление скорости потока газа на входе в рабочее колесо параллельно, а на выходе из рабочего колеса перпендикулярно оси его вращения. Рабочим органом в радиальном вентиляторе является вращающееся радиальное колесо.



1 - лопастное колесо; 2 - спиральный корпус; 3 - входное отверстие; 4 – выходное отверстие

Рисунок 8 - Радиальный вентилятор

В **осевом вентиляторе**, представленном на рисунке 9, скорость потока газа на входе в рабочее колесо и на выходе из него параллельна оси его вращения. Рабочим органом осевого вентилятора является лопаточное рабочее колесо пропеллерного типа. Поток движется преимущественно в направлении оси вращения и некоторое закручивание приобретает лишь при выходе из колеса.

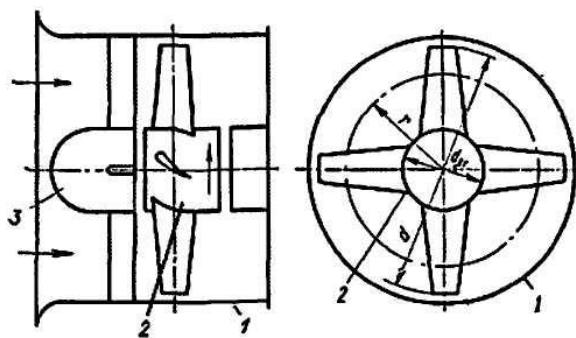


Схема осевого вентилятора  
1 - корпус; 2 - рабочее колесо; 3 - обтекатель; 4 - входной коллектор

Рисунок 9 – Осевой вентилятор

**По создаваемому полному давлению** при номинальном режиме работы вентиляторы делятся на три типа:

- **низкого давления** - до 1000 Па;
- **среднего давления** - от 1000 до 3000 Па;
- **высокого давления** - от 3000 до 12000 Па.

В системах вентиляции и кондиционирования в основном применяются вентиляторы низкого и среднего давления.

Вентиляторы могут быть общего назначения - для перемещения неагрессивных сред; а так же коррозионностойкие; пылевые; взрывобезопасные.

Номер вентилятора соответствует наружному диаметру рабочего колеса, выраженному в дециметрах.

Радиальные вентиляторы изготавливаются правого и левого вращения: рабочее колесо вентилятора правого вращения вращается по часовой стрелке; левого вращения - против, если смотреть со стороны всасывания воздуха.

При вращении рабочего колеса возникает центробежная сила, под действием которой воздух отбрасывается в спиральный кожух и выбрасывается через выхлопное отверстие. Во входном отверстии создается разрежение, и воздух извне под действием атмосферного давления поступает в вентилятор.

Правильное направление вращения рабочего колеса - по ходу разворота спирального корпуса вентилятора.

**Подбор вентиляторов** производится по их характеристикам. В характеристике для каждого вентилятора в графической форме представлена зависимость давления  $P$ , Па, мощности  $N$ , кВт, КПД  $\eta$  от подачи  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч, при определенном числе оборотов рабочего колеса  $n$ , об/ мин.

В холодное время года воздух, подаваемый в помещения приточными системами, нагревают.

Для нагревания воздуха в системах вентиляции, кондиционирования воздуха, воздушного отопления, а также в сушильных установках применяют воздухонагреватели (калориферы). Наиболее распространены водяные и паровые воздухонагреватели. Используют также электрические и газовые воздухонагреватели.

В зависимости от состояния поверхности нагрева водяные и паровые воздухонагреватели могут быть гладкотрубными и оребренными.

*Гладкотрубные* воздухонагреватели применяют при небольшом количестве нагреваемого воздуха. Воздухонагреватель состоит из распределительной и сборной коробок и соединяющих их трубок диаметром 20-32 мм. Теплоноситель - вода или пар - поступает через патрубок в распределительную коробку, проходит по трубкам, а затем через штуцер удаляется из сборной коробки. Воздух нагревается, проходя между трубками.

*Пластинчатые* воздухонагреватели состоят из трубок, на которые насажены стальные пластинки. Трубки присоединены к распределительной и сборной коробкам. Применяются одноходовые и многоходовые воздухонагреватели. Последние используются только при теплоносителе - воде. Изготавливается ряд типов воздухонагревателей, рассчитанных на различную теплопроизводительность.

*Спирально-навивные* воздухонагреватели. Поверхность нагрева этих воздухонагревателей образована стальной оребренной лентой толщиной 0,4 мм, шириной 10 мм, навитой на трубки, по которым движется теплоноситель - вода или пар. Эти воздухонагреватели одноходовые.

*Электрический воздухонагреватель* состоит из кожуха и трубчатых нагревательных элементов. Трубки - оребренные, что увеличивает поверхность нагрева. Нагревательные элементы находятся в кожухе и разделены на несколько секций, что позволяет регулировать степень нагрева воздуха.

При последовательной установке воздухонагревателей по воздуху увеличивается сопротивление движению воздуха, а следовательно, расход электроэнергии на привод вентилятора.

Регулирование работы воздухонагревателя производят: изменением температуры теплоносителя, изменением его количества, подачей с помощью обводного клапана части наружного холодного воздуха в обход воздухонагревателя с последующим его смешением с нагретым. При теплоносителе - паре практически возможен только этот способ регулирования.