

Министерство науки и образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Кафедра безопасности жизнедеятельности

В.А. Литвинов, В.Е. Дудоров

# **ИЗМЕРЕНИЕ И РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ**

## **Методические указания**

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Оренбург

2018

УДК 697.9(076.5)  
ББК 38.762я7

Л 64

Рецензент - кандидат технических наук, доцент Е.Л. Горшенина

- Литвинов, В.А.**  
Л 64 Измерение и расчет воздухообмена в помещении: методические указания / В.А. Литвинов, В.Е. Дудоров; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 21 с.

В методических указаниях представлены основы измерения и расчета воздухообмена в помещении. Приведена краткая теоретическая часть, позволяющая студенту самостоятельно освоить данный вопрос, представлена методика расчетов воздухообмена в помещении и варианты для решения задач.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность.

УДК 697.9(076.5)  
ББК 38.762я7

© Литвинов В.А.,  
Дудоров В.Е., 2018  
© ОГУ, 2018

## Содержание

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Цель работы .....                                                                            | 4  |
| 2 Теоретическая часть.....                                                                     | 4  |
| 2.1.1 Общие сведения о естественном воздухообмене .....                                        | 4  |
| 2.1.2 Общие сведения о механической вентиляции .....                                           | 5  |
| 3 Нормирование и методика расчета воздухообмена в помещении.....                               | 8  |
| 3.1 Нормирование воздухообмена.....                                                            | 8  |
| 3.2 Методика расчета естественной вентиляции .....                                             | 9  |
| 3.3 Методика расчета организованной вентиляции .....                                           | 9  |
| 3.4 Методика расчета аэрации .....                                                             | 10 |
| 3.5 Методика расчета общеобменной вентиляции .....                                             | 10 |
| 3.6 Методика расчета местной вытяжной вентиляции .....                                         | 10 |
| 3.7 Методика расчета производительности вентилятора и кратности воздухообмена .....            | 11 |
| 4 Экспериментальная часть.....                                                                 | 13 |
| 4.1 Приборы для измерения воздухообмена .....                                                  | 13 |
| 4.2 Практическое использование систем воздухообмена в производственных и жилых помещениях..... | 15 |
| 4.3 Примеры решения задач.....                                                                 | 17 |
| 5 Вопросы для самоконтроля .....                                                               | 18 |
| Список использованных источников .....                                                         | 19 |
| Приложение А .....                                                                             | 20 |

## 1 Цель работы

1.1 Ознакомление с приборами для измерения воздухообмена, методами определения производительности вентиляционной установки и кратности воздухообмена в помещении.

1.2 Санитарная оценка состояния воздухообмена в помещении.

## 2 Теоретическая часть

### 2.1 Общие сведения об основных видах воздухообмена в помещении

Промышленная вентиляция - действенное средство обеспечения необходимой чистоты и допустимых характеристик микроклимата воздуха рабочей зоны.

**Вентиляция** - организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из здания загрязненного воздуха и подачу на его место свежего. По способу движения воздуха различают **естественную и механическую вентиляции**.

#### 2.1.1 Общие сведения о естественном воздухообмене

**Естественная** вентиляция – это такая система вентиляции, движение воздушных масс в которой осуществляется с помощью возникающей разности давлений снаружи и внутри здания.

**Инфильтрация** – это **неорганизованная естественная** вентиляция, естественное проветривание. Это смена воздуха в помещениях через неплотности в ограждениях и элементах строительных конструкций из-за разного давления снаружи и внутри помещения. Такой воздухообмен зависит от разных факторов – силы, направления ветра, температуры воздуха внутри и снаружи строения, вида ограждений и качества строительных работ. Но для постоянного воздухообмена, требуемого по условиям поддержания чистоты воздуха в помещении, нужна организованная вентиляция.

**Организованная естественная** вентиляция может быть **вытяжной** без организованного притока воздуха (канальная) и **приточно-вытяжной** с организованным притоком воздуха (канальная и бесканальная аэрация). **Канальная** естественная вытяжная вентиляция без организованного притока воздуха широко применяется в жилых и административных зданиях.

**Аэрация** - **организованная естественная общеобменная** вентиляция помещений, возникающая в результате поступления и удаления воздуха через открывающиеся фрамуги окон и фонарей. Воздухообмен в помещении регулируют различной степенью открывания фрамуг (в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра). Как способ вентиляции, аэрация нашла широкое применение в промышленных зданиях,

характеризующихся технологическими процессами с большим выделением тепла (в прокатных цехах, литейных, кузнечных). Поступление воздуха извне в цех в холодный период года осуществляют так, чтобы холодный воздух не попадал в рабочую зону. Наружный воздух подают в помещение через проемы, расположенные не ниже 4,5 м от пола, в теплый период года приток наружного воздуха ориентируют через нижний ярус оконных проемов ( $A = 1,5-2$  м).

### 2.1.2 Общие сведения о механической вентиляции

**Механическая вентиляция** – это такая вентиляция, с помощью которой воздух подается в производственные помещения или удаляется из них по системам вентиляционных каналов с использованием специальных автоматических побудителей. По сравнению с естественной имеет **ряд достоинств**: большой радиус действия; возможность изменять или сохранять необходимый воздухообмен независимо от температуры наружного воздуха и скорости ветра, подвергать вводимый в помещение воздух предварительной очистке, осушке или увлажнению, подогреву или охлаждению; организовывать оптимальное воздухораспределение с подачей воздуха непосредственно к рабочим местам; улавливать вредные выделения в местах их образования и предотвращать их распространение по помещению, а также возможность очищать воздух перед выбросом его в атмосферу. **Недостатки**: значительная стоимость сооружения и эксплуатации, необходимость проведения мероприятий по борьбе с шумом. Системы механической вентиляции бывают **общеобменные, местные, смешанные, аварийные, системы кондиционирования**.

**Общеобменная вентиляция** важна для ассимиляции избыточной теплоты, влаги и вредных выделений в рабочей зоне помещений. Она применяется, если вредные выделения поступают в воздух помещения, а рабочие места не фиксированы, т.е. располагаются по всему помещению. В общем случае разница между объемами приточного и вытяжного воздуха не должна быть более 10% - 15%.

Различают **четыре схемы общеобменной вентиляции: приточная, вытяжная, приточно-вытяжная и системы с рециркуляцией**. Они различаются по способу подачи и удаления воздуха.

**По приточной** системе воздух подается в помещение - после подготовки его в приточной камере. В помещении при этом создается избыточное давление, за счет которого воздух уходит наружу через окна, двери или в другие помещения. Приточную систему используют для вентиляции помещений, в которые нежелательно попадание загрязненного воздуха из соседних помещений или холодного воздуха извне.

**Вытяжная** система удаляет воздух из помещения. При этом в нем создается пониженное давление и воздух соседних помещений или

наружный воздух поступает в данное помещение. Вытяжную систему нужно использовать, если вредные выделения данного помещения не должны распространяться на соседние, например, для вредных цехов, химических и биологических лабораторий.



Рисунок 1- Пример вытяжной вентиляции

**Приточно-вытяжная вентиляция** – наиболее популярная система. Воздух подается в помещение приточной системой, а удаляется вытяжной; они работают одновременно.

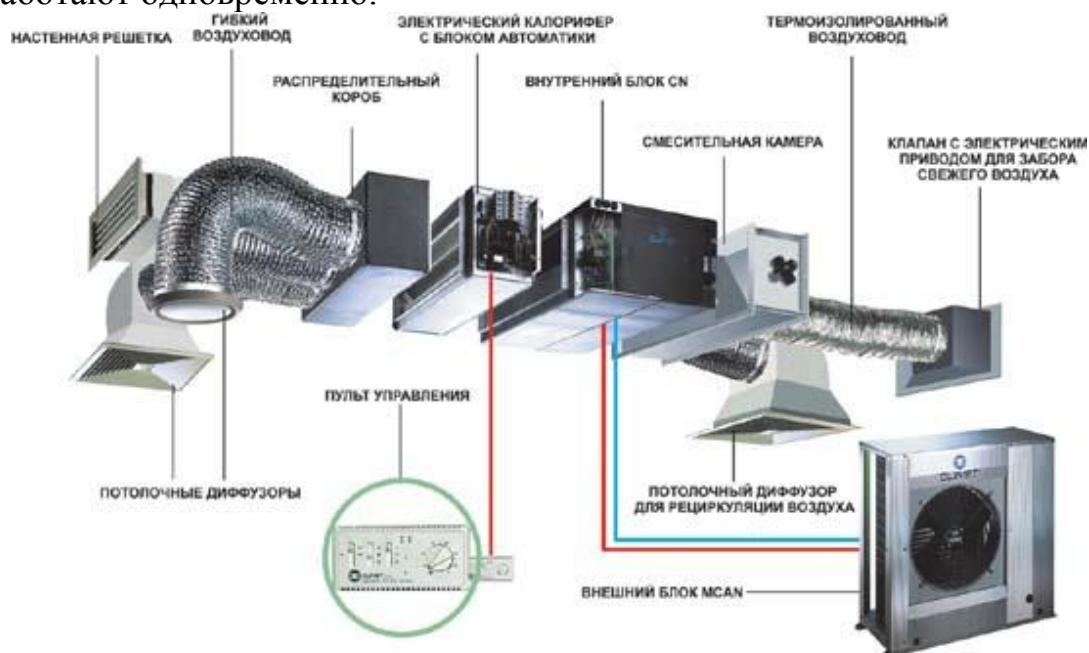


Рисунок 2 - Элементы в составе промышленной приточно-вытяжной системы

Для сокращения эксплуатационных расходов на нагревание воздуха иногда применяют **системы вентиляции с частичной рециркуляцией**. В них к поступающему снаружи воздуху подмешивают воздух, который забирает из помещения вытяжная система.

С помощью местной вентиляции необходимые метеорологические параметры создаются на отдельных рабочих местах. Например, улавливание вредных веществ непосредственно у источника возникновения, вентиляция кабин наблюдения и т.д. Наиболее широкое применение находит **местная вытяжная локализирующая** вентиляция. Основным методом борьбы с вредными

выделениями устройство и организация отсосов от укрытий. Один из самых простых видов местных отсосов – вытяжной зонт. Он улавливает вредные вещества, имеющие меньшую плотность, чем окружающий воздух. Зонты устанавливают над ваннами различного назначения, электро- и индукционными печами, над отверстиями для выпуска металла и шлака из вагранок.



Рисунок 3 - Вытяжной зонт

Отсасывающие панели необходимы для удаления вредных выделений, увлекаемых конвективными токами, при таких ручных операциях, как электросварка, пайка, газовая сварка, резка металла и т.п. Вытяжные шкафы – наиболее эффективное устройство по сравнению с другими отсосами; они полностью укрывают источник выделения вредных веществ. Незакрытыми в шкафах остаются только проемы для обслуживания, через которые воздух из помещения поступает в шкаф. Форму проема выбирают в зависимости от характера технологических операций.

**Аварийная вентиляция** необходима в тех производственных помещениях, куда может произойти внезапное поступление большого количества вредных или взрывоопасных веществ. Система аварийной вентиляции включается автоматически при достижении ПДК вредных выделений или при остановке одной из систем общеобменной или местной вентиляции.

**Кондиционирование воздуха** – наиболее совершенный вид промышленной вентиляции. Это автоматическая обработка воздуха с целью поддержания в производственных помещениях заранее заданных метеорологических условий (вне зависимости от изменения наружных условий и режимов внутри помещения). При кондиционировании автоматически регулируется температура воздуха, его относительная влажность и скорость подачи в помещение в зависимости от времени года, наружных метеорологических условий и характера технологического процесса в помещении. Такие строго определенные параметры воздуха создаются в специальных установках, называемых кондиционерами.

Метеорологические условия для рабочей зоны производственных помещений (пространство до 2 м над уровнем пола) регламентируются ГОСТ Р.8.563 - 96 «Воздух рабочей зоны» и СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

### 3 Нормирование и методика расчета воздухообмена в помещении

#### 3.1 Нормирование воздухообмена

Нормативами качества воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ как в производственной, так и в селитебной зоне (предназначенной для размещения жилого фонда, общественных зданий и сооружений) населенных пунктов.

**Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>рз</sub>)** — концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности (но не более 41 часа в неделю) на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья. Рабочая зона - пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

**Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДК<sub>мр</sub>)** — концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, не вызывающая при вдыхании в течение 20 минут рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека.

**Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДК<sub>сс</sub>)** — это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (на протяжении нескольких лет) вдыхании. Таким образом, ПДК<sub>сс</sub> рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде.

Предложен ряд комплексных показателей загрязнения атмосферы (сразу несколькими загрязняющими веществами); наиболее распространенный - комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Его рассчитывают как сумму нормированных по ПДК<sub>сс</sub> и приведенных к концентрации диоксида серы средних содержаний различных веществ:

$$Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_{ср\ i}}{ПДК_{сс\ i}} \right)^{c_i},$$

где  $Y_i$  — единичный индекс загрязнения для  $i$ -ого вещества;

$q_{ср\ i}$  — средняя концентрация  $i$ -ого вещества;

$ПДК_{сс\ i}$  — ПДК<sub>сс</sub> для  $i$ -ого вещества;

$c_i$  — безразмерная константа приведения степени вредности  $i$ -ого вещества к вредности диоксида серы, зависящая от того, к какому классу опасности (см. ниже) принадлежит загрязняющее вещество.

### 3.2 Методика расчета естественной вентиляции

Разность давлений обусловлена разностью плотностей наружного и внутреннего воздуха (гравитационное давление, или тепловой напор  $\Delta P_T$ ) и ветровым напором  $\Delta P_B$ , действующим на здание. Расчетный тепловой напор (Па)

$$\Delta P_T = gh(\rho_n - \rho_v),$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $h$  — вертикальное расстояние между центрами приточного и вытяжного отверстий,  $\text{м}$ ;  $\rho_n$  и  $\rho_v$  — плотность наружного и внутреннего воздуха,  $\text{кг/м}^3$ .

При действии ветра на поверхностях здания с подветренной стороны образуется избыточное давление, на наветренной стороне — разрежение. Распределение давлений по поверхности зданий и их величина зависят от направления и силы ветра, а также от взаиморасположения зданий. Ветровой напор (Па)

$$\Delta P_B = k_n \frac{W_B^2}{2} \rho_n,$$

где  $k_n$  — коэффициент аэродинамического сопротивления здания; значение  $k_n$  не зависит от ветрового потока, определяется эмпирическим путем и для геометрически подобных зданий остается постоянным;  $W_B$  — скорость ветрового потока,  $\text{м/с}$ .

### 3.3 Методика расчета организованной вентиляции

Расчетное гравитационное давление таких систем определяют при температуре наружного воздуха  $+5^\circ\text{C}$ , считая, что все давление падает в тракте вытяжного канала, при этом сопротивление входу воздуха в здание не учитывается. При расчете сети воздуховодов прежде всего производят ориентировочный подбор их сечений исходя из допустимых скоростей движения воздуха в каналах верхнего этажа  $0,5 - 0,8 \text{ м/с}$ , в каналах нижнего этажа и сборных каналах верхнего этажа  $1,0 \text{ м/с}$  и в вытяжной шахте  $1 - 1,5 \text{ м/с}$ .

Для увеличения располагаемого давления в системах естественной вентиляции на устье вытяжных шахт устанавливают насадки — дефлекторы. Усиление тяги происходит благодаря разрежению, возникающему при обтекании дефлектора ЦАГИ. Разрежение, создаваемое дефлектором, и количество удаляемого воздуха зависят от скорости ветра и могут быть определены с помощью номограмм.

### 3.4 Методика расчета аэрации

Необходимо узнать требуемую площадь проходного сечения проемов и аэрационных фонарей для подачи и удаления необходимого количества воздуха. Исходными данными являются конструктивные размеры помещений, проемов и фонарей, величины теплопродукции в помещении, параметры наружного воздуха. Согласно СНиП 2.04.05–91 расчет необходимо выполнять на действие гравитационного давления. Ветровой напор надлежит учитывать только при решении вопросов защиты вентиляционных проемов от задувания. При расчете аэрации составляют материальный (по воздуху) и тепловой баланс помещения:

$$\sum_{i=1}^n G_{\text{пр}i} - \sum_{j=1}^m G_{\text{выт}j} = 0,$$
$$\Delta Q_{\text{изб}} + \sum_{i=1}^n G_{\text{пр}i} c_{pi} t_{\text{пр}i} - \sum_{j=1}^m G_{\text{выт}j} c_{pj} t_{\text{выт}j} = 0,$$

где  $G_{\text{пр}i}$  и  $G_{\text{выт}j}$  – масса поступающего и удаляемого воздуха, обладающего теплоемкостью  $C_p$  и температурой  $t$ .

### 3.5 Методика расчета общеобменной вентиляции

Обычно объем воздуха  $L_{\text{пр}}$ , подаваемого в помещение, равен объему воздуха  $L_{\text{в}}$ , удаляемого из помещения. В общем случае разница между объемами приточного и вытяжного воздуха не должна превышать 10% - 15%. Расчет потребного воздухообмена при общеобменной вентиляции производят исходя из условий производства и наличия избыточной теплоты, влаги и вредных веществ. Для качественной оценки эффективности воздухообмена применяют понятие кратности воздухообмена  $k_v$  – отношение объема воздуха, поступающего в помещение в единицу времени  $L$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), к объему вентилируемого помещения  $Vn$  ( $\text{м}^3$ ). При правильно организованной вентиляции кратность воздухообмена должна быть значительно больше единицы.

### 3.6 Методика расчета местной вытяжной вентиляции

Необходимый воздухообмен в таких устройствах рассчитывают, исходя из условия локализации примесей, выделяющихся из источника образования. Требуемый часовой объем отсасываемого воздуха определяют как произведение площади приемных отверстий отсоса  $F(\text{м}^2)$  на скорость воздуха в них. Скорость воздуха в проеме отсоса  $v$  (м/с) зависит от класса опасности вещества и типа воздухоприемника местной вентиляции ( $v = 0,5 - 5$  м/с).

### 3.7 Методика расчета производительности вентилятора и кратности воздухообмена

Для выполнения данного расчета необходимо подсчитать производительность вентилятора по формуле:

$$Q = 3600 \cdot V_{ср} \cdot S,$$

где  $Q$  - производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/ч;

$V_{ср}$  - средняя скорость движения воздуха в сечении диффузора, м/с

$S$  - площадь сечения диффузора вентилятора, м<sup>2</sup>.

В соответствии с санитарными нормами СН 245-71 необходимое количество воздуха для проветривания производственного помещения может определяться по нормативной кратности воздухообмена.

Кратность воздухообмена  $K$  показывает, сколько раз в течение часа полностью меняется воздух в помещении.

$$K_{норм} = \frac{L}{V_{п}}; \quad K_{факт} = \frac{Q}{V_{п}}$$

где  $L$  - необходимый воздухообмен в помещении, м<sup>3</sup>/ч;  $V_{п}$  - объем помещения, м<sup>3</sup>.

При отсутствии вредных веществ в помещении или содержании их в пределах нормы необходимый воздухообмен определяется по формуле:

$$L = m \cdot L'$$

где  $m$  - число работающих;

$L'$  - расход воздуха на одного работающего, принимаемый по / СНиП04.05-86/ в зависимости от объема помещения, приходящегося на одного работающего, м<sup>3</sup>/ч.

Для большинства помещений при нормальном ведении технологического процесса  $K_{норм}$  колеблется от 1 до 10.

Так как распределение скорости движения воздуха по сечению трубопроводов неравномерно, замеры производят в нескольких точках и определяют среднюю скорость.

В данном случае выбирают 4 точки, диаметрально расположенные по сечению трубы вентилятора, и, сняв первоначальные показания счётчика анемометра по всем шкалам, устанавливают его в первую из выбранных точек.

Когда пластинки (чашечки) начнут вращаться с постоянной скоростью, перемещением рычажка включают счётчик оборотов и секундомер. Через 30 секунд, не записывая показаний счётчика, анемометр перемещают во вторую точку, ещё через 30 секунд - в третью и т.д., пока не будут пройдены все 4 точки. После чего выключают секундомер и снимают показания счётчика.

Число оборотов определяется по формуле:

$$n = \frac{N_2 - N_1}{30 \cdot b}$$

где  $N_2$ ,  $N_1$  - показания конечного и начального отсчётов;  $b$  - количество точек обхода.

Для получения достоверных результатов замеров рекомендуется выполнить всего 3 обхода по 4 точки. Для второго обхода началом служит конечный результат первого обхода и т.д.

За число оборотов анемометра (об/с) принимают среднее арифметическое значение, и разница по первому и второму обходам не должна превышать 2% - 3%. По полученному значению числа оборотов анемометра  $n$  скорость движения воздуха  $V$  определяется по графику или по формуле (уравнению) прямой зависимости:

$$V = f(n)$$

Результаты измерений заносятся в таблицу 1;

Таблица 1 - Результаты определения скорости движения воздуха

| Количество<br>точек обхода | N1 | N<br>2 | N2<br>– N1 | n | Vв<br>, м/с | V<br>в ср,<br>м/с |
|----------------------------|----|--------|------------|---|-------------|-------------------|
|                            |    |        |            |   |             |                   |

После определения по формулам производительности вентилятора и кратности воздухообмена в помещении, результаты заносятся-в таблицу 2

Таблица 2 - Результаты расчёта производительности вентилятора и кратности воздухообмена

| S,<br>м <sup>2</sup> | V<br>в ср,м/с | Q,<br>м <sup>3</sup> /ч | Vn,<br>м <sup>3</sup> | L,<br>м <sup>3</sup> /ч | K<br>факт | K<br>норм |
|----------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------|-----------|
|                      |               |                         |                       |                         |           |           |

## 4 Экспериментальная часть

### 4.1 Приборы для измерения воздухообмена

**Анемометрами** называются приборы для измерения скорости движения воздуха. Применяемые в наладке, они чаще всего бывают следующих типов: механические (крыльчатый типа АСО 3), чашечный (типа МС-13) и электрические (термоанемометры) конструкций ЛИОТ, ВНИИГС, Уральского Промстройинипроекта.

**Крыльчатый анемометр АСО-3** нужен для измерения скорости движения воздуха 0,2 - 5 м/с, осредненной за определенный промежуток времени. Масса анемометра - не более 0,4 кг. Прибор состоит из корпуса-обечайки, внутри которого помещена крыльчатка, насаженная на трубчатую ось. Под действием воздушного потока крыльчатка принимает вращательное движение, частота которого зависит от скорости набегающего потока. Число оборотов крыльчатки измеряется счетным механизмом.

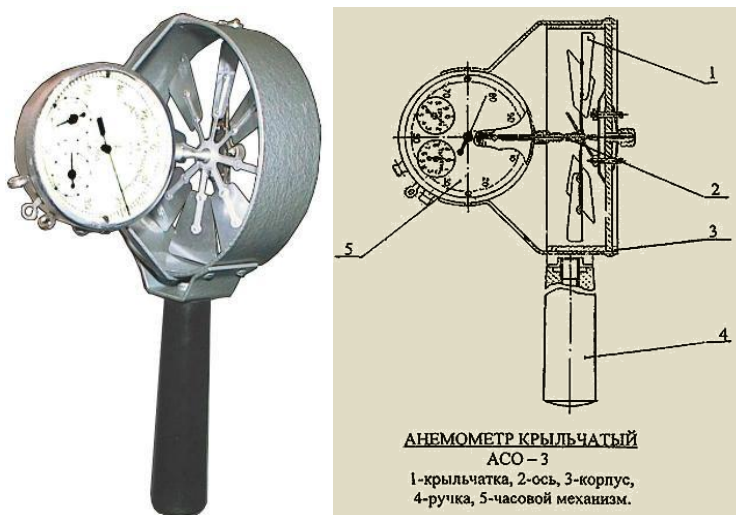


Рисунок 4 - Анемометр крыльчатый

**Чашечный анемометр МС-13** необходим для измерения средней скорости движения воздуха за период времени от 1 до 20 м/с. Погрешность измерения анемометра зависит от средней скорости движения воздуха и определяется по формуле. Масса анемометра - не более 0,2 кг. Приемная частью анемометра - четырехчашечная метеорологическая вертушка, насаженная на вал. Вращение вертушки передается валом счетному механизму. У циферблата счетного механизма три шкалы. Центральная стрелка показывает единицы и десятки, левая - сотни, правая - тысячи оборотов вертушки. Счетный механизм включается и выключается арретиром, если повернуть его против часовой стрелки или по часовой стрелке соответственно.



Рисунок 5 - Анемометр чашечный

**Термоанемометры типа ТА-ЛИОТ и ТП-45 конструкции ВНИИГС** - переносные приборы, предназначенные для измерения скорости воздушного потока и его температуры. Термоанемометр ЭА-2М необходим для измерения скорости движения воздуха в пределах 0,1-5 м/с с одновременным измерением его температуры в пределах от 10 °С до 60 °С. Прибор устанавливают горизонтально, дополнительно к нему подключают датчик, - так происходит измерение.



Рисунок 6 - Термоанемометры типа ТА-ЛИОТ и ТП-45 конструкции ВНИИГС

**Термоанемометр ЭА-2М** предназначен для измерения скорости движения воздуха в пределах 0,1-5 м/с с одновременным измерением его температуры в пределах от 10 °С до 60 °С. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока или от четырех элементов 373. В качестве датчика в приборе применены терморезисторы ММТ-6. При установке рабочего напряжения переключатель ставят в положение «контроль» и ручкой устанавливают стрелку на максимальное деление шкалы гальванометра. Для измерения температуры воздуха переключатель ставят в положение Т, а датчик — в место измерения. Когда стрелка прекращает движение, отсчитывают величину тока по гальванометру и по графику в инструкции прибора определяют температуру воздуха. Для измерения скорости движения воздуха переключатель ставят в положение А, вводят датчик в исследуемый поток, снимают показания гальванометра и по графику находят скорость движения воздуха.



Рисунок 7 - Термоанемометр ЭА-2М

**Фотоимпульсный электроанемометр с прямым отсчетом**, разработанный в ГПИ Проектпромовентиляции, выдает мгновенные показания скорости воздушного потока в диапазоне 0,1 - 5 м/с. Датчик прибора изготовлен на базе серийно выпускаемого крыльчатого анемометра. Для подготовки прибора к работе необходимо подключить датчик к электронно-счетному устройству и произвести коррекцию как механическую, так и электрическую. Для механической коррекции электронно-счетное устройство устанавливается так, чтобы шкала прибора находилась в горизонтальном положении. Эксцентриком стрелка прибора совмещается с отметкой шкалы 0. Для измерения скорости воздушного потока рычаг тумблера устанавливается в положение поддиапазона 0,5 - 5 м/с и датчик вносят в поток воздуха так, чтобы плоскость вращения крыльчатки была перпендикулярна вектору скорости потока. Направление потока контролируется по отклонению нити на флюгере. Отсчет производится по шкале 0,5 - 5 м/с. Если скорость окажется ниже или равной 0,6 м/с, рычагом тумблера устанавливают поддиапазон 0,1 - 0,6 м/с и отсчет производят по шкале 0,1 - 0,6 м/с. Закончив измерение, рычаг тумблера переводят в положение «Выкл.», прибор отключается.



Рисунок 8 - Электроанемометр

#### **4.2 Практическое использование систем воздухообмена в производственных и жилых помещениях**

В городе Турку на юго-западном побережье Финляндии расположено пятиэтажное офисное здание. Расчетная температура наружного воздуха в холодный период минус 26 °С, в теплый – +25 °С при энтальпии 55 кДж/кг. Расчетная температура внутреннего воздуха в холодный период +21 °С, в теплый период – +25 °С.

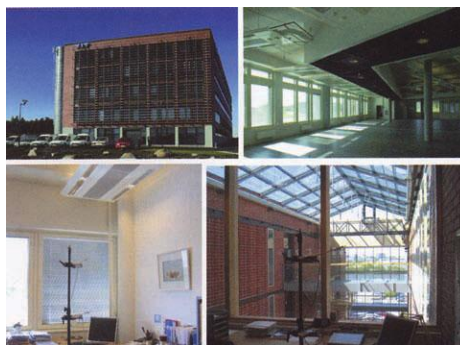


Рисунок 9 - Здание в Финляндии

Общая площадь здания составляет  $6\,906\text{ м}^2$ , объем –  $34\,000\text{ м}^3$ . В средней части здания находится большой атриум со стеклянной крышей, в котором есть кафе и небольшая кухня. Здание рассчитано на 270 служащих, но в 2008 году в нем регулярно работали 180 сотрудников. На первом этаже (площадью  $900\text{ м}^2$ ) располагаются мастерская и складские помещения. Остальные четыре этажа ( $6\,000\text{ м}^2$ ) заняты офисными помещениями.

Здание разделено на пять вентиляционных зон. Каждая оборудована отдельной установкой центрального кондиционирования воздуха и охлаждающими балками в отдельных помещениях.

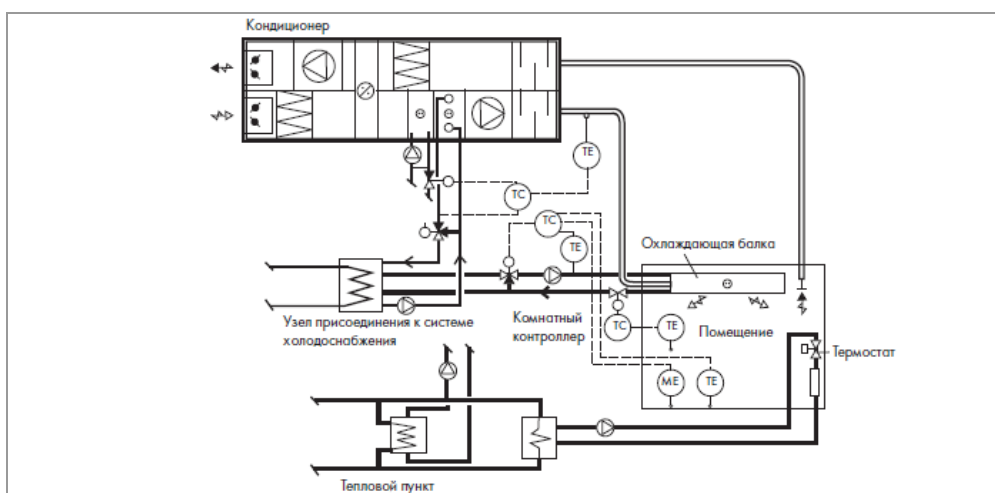


Рисунок 10 - Схема системы кондиционирования воздуха с механической приточной и вытяжной вентиляцией и охлаждающими балками (здание в Финляндии)

Наружный воздух подогревается или охлаждается в установке центрального кондиционирования, затем раздается в помещения. Подогрев приточного воздуха осуществляется частично за счет рекуперации теплоты вытяжного воздуха, частично посредством калориферов. При необходимости воздух в отдельном помещении дополнительно охлаждается охлаждающими балками, управляемыми комнатными термостатами.

Температура приточного воздуха поддерживается в пределах от 17 °С до 22 °С. Регулировка температуры осуществляется за счет изменения скорости вращения рекуперативного теплообменника и регулирующих клапанов расхода воды нагревательного и охлаждающего контуров. Системы отопления и охлаждения в здании присоединены к сетям центрального тепло- и холодоснабжения по независимой схеме через теплообменники. Офисные помещения оборудованы радиаторами водяного отопления с терморегулирующими клапанами. В переговорных помещениях расход воздуха переменный: при использовании помещений регулировка расхода воздуха осуществляется по показаниям датчиков температуры, а в отсутствии людей воздухообмен уменьшается до 10 % от нормативного значения, составляющего 10,8 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> помещения.

### 4.3 Примеры решения задач

#### Задача №1

**Дано:** диаметр приточно-вытяжного вентилятора  $d=0,28$  м. Количество человек  $m=21$  чел. **Найти** среднюю скорость движения воздуха в сечении диффузора  $V_{в\text{ ср.}}$ .

**Решение:**

$$Q = 3600 \cdot V_{в\text{ ср.}} \cdot S$$

$$V_{в\text{ ср.}} = Q / 3600 \cdot S$$

$$S = \pi R^2$$

$$R = d/2 = 0,28/2 = 0,14$$

$$S = 3,14 \cdot 0,14^2 = 3,14 \cdot 0,00196 = 0,06 \text{ м}^2$$

$$K_{\text{норм}} = L/V_{\text{п}} \quad K_{\text{факт}} = Q/V_{\text{п}}$$

$$K_{\text{норм}} = K_{\text{факт}}$$

$$L = Q$$

$$\text{Пусть } L' = 30 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ (по приложению А)}$$

$$L = L' \cdot m = 630 \text{ м}^3/\text{ч} \Rightarrow Q = 630 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{в\text{ ср.}} = 630 / 3600 \cdot 0,06 = 630 / 216 = 2,9 \text{ м/с}$$

$$\text{Ответ: } V_{в\text{ ср.}} = 2,9 \text{ м/с}$$

#### Задача №2

**Дано:** диаметр приточно-вытяжного вентилятора  $d = 0,36$  м. Средняя скорость движения воздуха в сечении диффузора  $V_{в\text{ ср.}} = 2,9$  м/с. **Найти:** количество человек  $m$ .

**Решение:**

$$Q = 3600 \cdot V_{в\text{ ср.}} \cdot S$$

$$S = \pi R^2$$

$$R = d/2 = 0,36/2 = 0,18$$

$$S = 3,14 \cdot 0,18^2 = 3,14 \cdot 0,0324 \approx 0,1 \text{ м}^2$$

$$Q = 3600 \cdot 2,9 \cdot 0,1 = 1044 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q = L = 1044 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$L'$  - количество наружного воздуха на одного человека.

$$L' = 50\% \text{ от } 60 \text{ м}^3/\text{ч} = 30 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L = L' \cdot m$$

$$m = L/L'$$

$$m = 1044/30 \approx 34$$

**Ответ:** количество человек  $m \approx 34$ .

### Задача №3

**Дано:** Средняя скорость движения воздуха в сечении диффузора  $V_{в.ср.} = 3,7 \text{ м/с}$ . Необходимо **найти** диаметр приточно-вытяжного вентилятора  $d$ , чтобы он смог обеспечивать нормативный воздухообмен в помещении, в котором трудятся на производстве 33 человека.

**Решение:**

$$L = L' \cdot m$$

$$L' = 30 \text{ (по приложению А)}$$

$$L = 30 \cdot 33 = 990 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q = L = 990 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q = 3600 \cdot V_{в.ср.} \cdot S$$

$$990 = 3600 \cdot 3,7 \cdot S$$

$$S \approx 0,07$$

$$S = \pi R^2$$

$$R^2 = S/\pi = 0,07/3,14 \approx 0,02 \text{ м}^2$$

$$R \approx 0,14 \text{ м}$$

$$d = 2R$$

$$d = 0,28 \text{ м (28 см)}$$

**Ответ:** диаметр приточно-вытяжного вентилятора  $d = 0,28 \text{ м (28 см)}$

## 5 Вопросы для самоконтроля

а) Чем естественный воздухообмен отличается от механической вентиляции?

б) Какие виды механической вентиляции существуют?

в) Как нормируют воздухообмен?

г) Какова методика расчета производительности вентилятора и кратности воздухообмена?

д) Основные приборы для измерения воздухообмена.

е) Как могут использоваться системы воздухообмена в производственных помещениях?

### **Список использованных источников**

1. Измерение скорости движения воздуха и определение воздухообмена в помещении./В.А. Василенко, А.Б. Короткова. – Оренбург, 2002, 8с.
2. Теоретические основы создания микроклимата в помещении./И.И Полосин, Б.П. Новосельцев, В.Н. Шершнев. – Воронеж, 2005, 143 с.
3. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков [и др.]. – М.: Высш. шк., 2011. – 606 с
4. ГОСТ 12.1.016-79 . Воздух рабочей зоны. - Введ. 1982-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 12 с.
5. СНиП 23-01-99\* Строительная климатология. - Введ. 2000-01-01 – М: ГУП ЦПП, 2004. – 71 с.

## Приложение А

(справочное)

### Минимальное количество наружного воздуха, подаваемого в помещения системами вентиляции и кондиционирования воздуха

Таблица А.1

| Помещения<br>или<br>отдельные<br>участки и<br>зоны<br>помещений | Объем<br>помеще<br>ния<br>(участка<br>),<br>приходя<br>щийся<br>на 1<br>человек<br>а, м3 | Количество наружного<br>воздуха на 1 чел. В м3/ч и<br>кратность воздухообмена |                                                                                                                                                                            | Примечания                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                 |                                                                                          | При<br>возможн<br>ости                                                        | При<br>невозможности                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                 |                                                                                          | Естественного<br>проветривания помещения                                      |                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                         |
| 1                                                               | 2                                                                                        | 3                                                                             | 4                                                                                                                                                                          | 5                                                                                                                                                                                                       |
| Производст<br>венные                                            | Менее<br>20<br><br>20 и<br>более<br><br>Любой                                            | 30<br><br>20<br><br>-                                                         | -<br><br>60, но не менее<br>однократно-<br><br>го обмена в<br>помещении в час                                                                                              | -<br><br>При системах,<br>подающих только<br>наружный воздух, и<br>при системах, рабо-<br>тающих с рециркуля-<br>цией, если последние<br>обеспечивают возду-<br>хообмен крат-ностью<br>10 и более в час |
|                                                                 |                                                                                          |                                                                               | 60, но не менее<br>20% воздухооб-<br>мена 75, но не<br>менее 17,5%<br>воздухообмена<br>90, но не менее<br>15% воздухооб-<br>мена 120, нбо не<br>менее 10%<br>воздухообмена | При системах,<br>работающих с<br>рециркуляцией, но<br>при кратности менее<br>10 в час                                                                                                                   |

Продолжение таблицы А.1

| 1                               | 2 | 3                                        | 4  | 5                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|---|------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Общественные и другие помещения | - | По требованиям соответствующих глав СНиП | 60 | Для зрительных залов, театров, клубов и др. помещений, в которых люди находятся до 3 ч, количество наружного воздуха следует принимать 20 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел. |