

Красовский В.О.

# Гигиенические оценки эффективности производственной вентиляции.

(Лекция для студентов БГМУ и курсантов ИПО)

Уфа - 2008

**Различают:**

**1. Аэрацию - естественное проветривание помещений.**

**2. Собственно вентиляцию - проветривание помещений с помощью специальных устройств работающих на использовании механической и иной энергии.**

**Вентиляция с механическим побуждением предназначена для:**

**1) Своевременное удаление химических загрязнителей воздуха рабочих зон и промышленной площадки.**

**2) Борьба с избытками влаги.**

**3) Борьба с избытками тепла.**

В практике вентилирования производственных помещений предпочтительной является механическая вентиляция, которая обеспечивает любую необходимую кратность воздухообмена и позволяет управлять движением воздуха между помещениями. Проверка эффективности работы механической вентиляции может осуществляться:

1. При текущем санитарно-гигиеническом обследовании условий труда на предприятии,
2. Сдаче в эксплуатацию вентиляционных систем и устройств,
3. Расследовании случаев профессиональных отравлений,
4. Техническом и санитарно-гигиеническом испытаниях вентиляционных установок.

Причины нарушений условий труда, требующие проверки эффективности работы вентиляционных систем и установок, могут быть следующие:

- 1) Нарушение санитарно-гигиенических норм температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха как в рабочей зоне, так и на рабочих местах;
- 2) Недостаточный воздухообмен в производственном помещении;
- 3) Превышение предельно допустимых концентраций пыли в воздушной среде производственных помещений, газов и паров вредных веществ, а также высокое содержание влаги;

- 4) Нарушение вентиляционного баланса - соотношения объемов организованного притока воздуха и удаления его;
- 5) Несоблюдение параметров (чистоты, температуры и влажности) поступающего в помещение приточного воздуха, например в случае, если воздухозаборное отверстие находится вблизи от места выброса загрязненного воздуха;
- 6) Не выдерживаются заданные значения температуры, относительной влажности, допустимой загрязненности воздуха, удаляемого из помещения в атмосферу;
- 7) Неправильное расположение в помещении приточных и вытяжных вентиляционных отверстий, обуславливающее прохождение удаляемого с рабочего места воздуха через зону дыхания работающих;

8) Неправильное распределение приточных струй, недостаточная или чрезмерная их скорость при использовании воздушных душей;

9) Нарушения в работе вентиляторов, накопление пыли в воздуховодах и др.

Проверку эффективности вентиляции осуществляют по определенной схеме как в теплое, так и в холодное время года, поскольку работа вентиляционной системы во многом зависит от наружных метеорологических условий.

## **Схема обследования установки механической вентиляции**

1. Краткое описание производственного процесса и рабочего помещения (кубатура, количество работающих).
2. Характеристика основных вредностей, изменяющих состояние воздушной среды, характер их выделения: постоянное или периодическое, локализованное или рассеянное.
3. Система вентиляции: общеобменная или местная, приточно-вытяжная, рециркуляционная, кондиционирование.
4. Техническая характеристика вентиляционного агрегата: номер, мощность, дата изготовления.

5. Расположение и санитарная характеристика мест забора приточного и выброса отработанного воздуха
6. Устройства для обработки подаваемого воздуха и их техническая характеристика (очистка, подогрев и др.).
7. Расположение приточных и вытяжных отверстий в помещении.
8. Температура и скорость движения подаваемого воздуха (у приточного отверстия воздуховода).



9. Описание и характеристика местных вытяжных и приточных устройств.

10. Скорость движения воздуха в проемах укрытий.

12. Скорость и температура воздуха, подаваемого местными приточными устройствами.

13. Воздухообмен в помещении (отдельно по притоку и вытяжке), воздушный куб и кратность воздухообмена.

**ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЬЮ** обследования вентиляционной установки является оценка её эффективности. При этом требуется решить три задачи:

- 1) Измерение давления воздуха в воздуховодах;
- 2) Измерение скорости движения и расхода воздуха в воздуховодах;
- 3) Определение объема поступающего воздуха через одиночные вентиляционные отверстия.

### **1. Измерение давления воздуха в воздуховодах.**

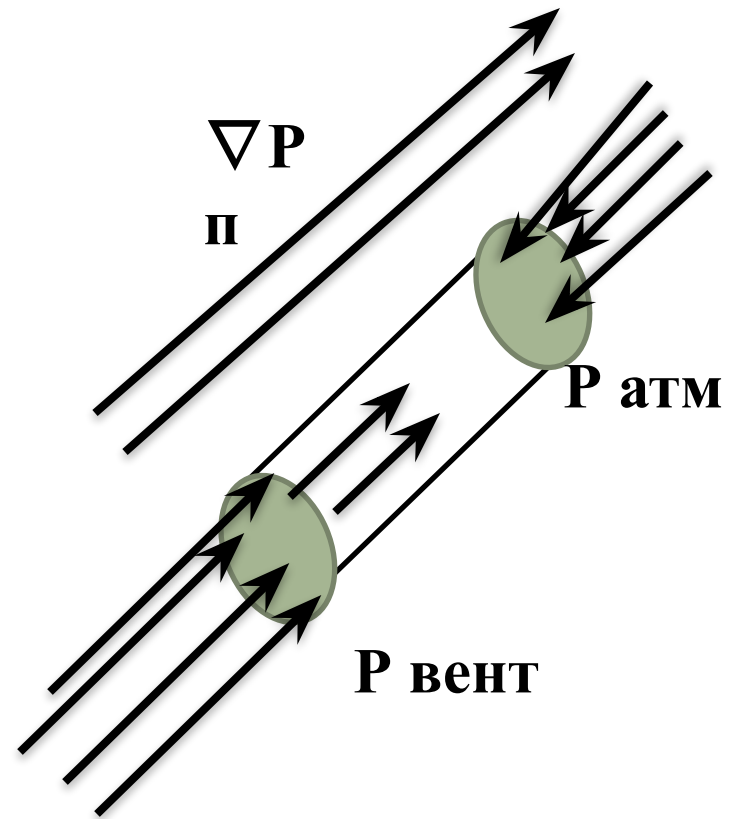
При движении воздуха в воздуховодах создаются три вида давления - *статическое, динамическое и полное.*

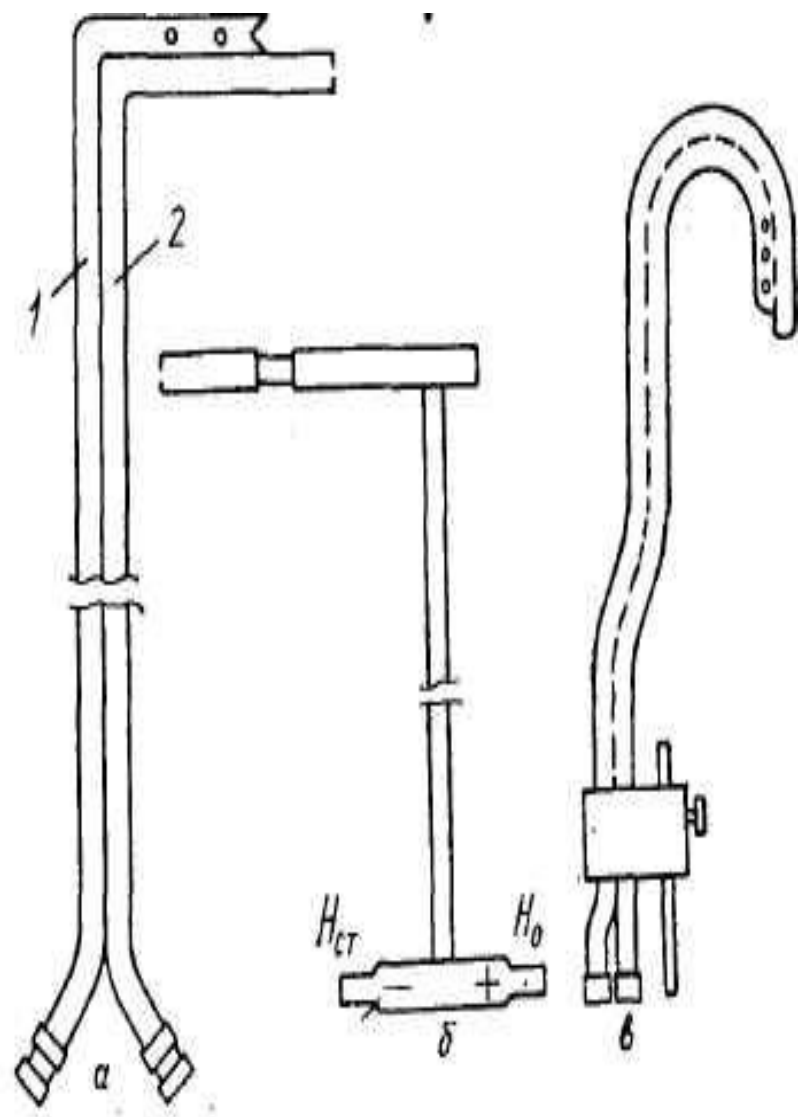
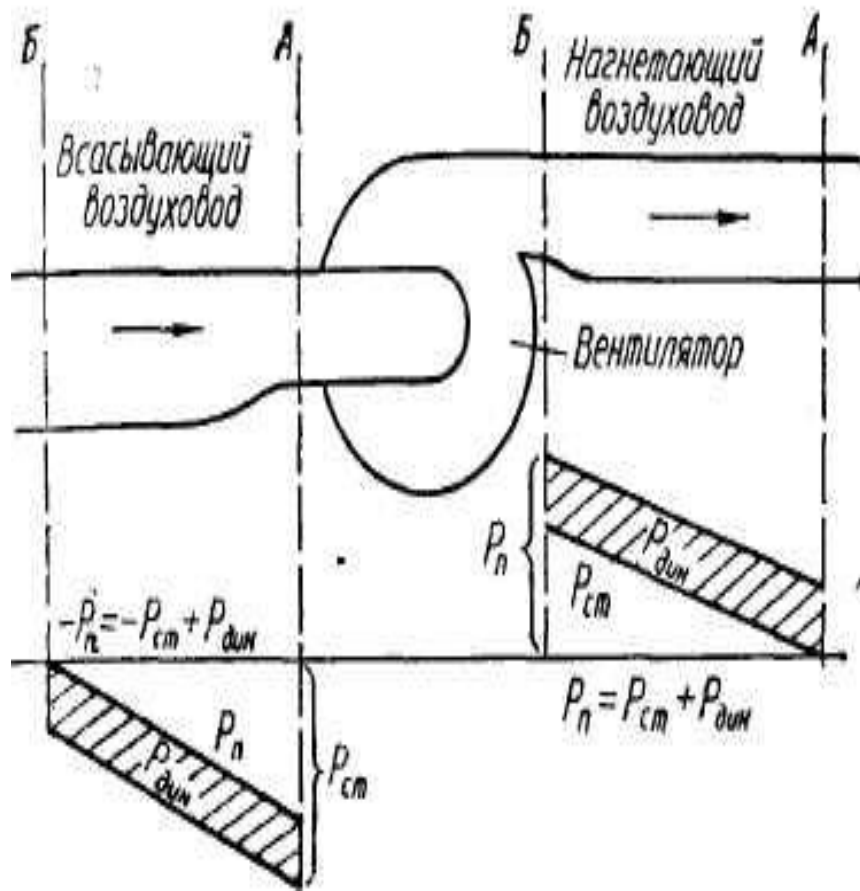
*Статическое давление ( $P_{ст}$ )* представляет собой разность между атмосферным давлением и давлением, развиваемым вентилятором для движения воздуха по воздуховоду. Это давление необходимо для преодоления трения воздуха о стенки воздуховода.

*Динамическое (скоростное) давление ( $P_{дин}$ )* - создаваемая вентилятором разность давления, необходимая для перемещения воздуха по воздуховоду.

*Полное, или общее, давление ( $P_{п}$ )* — сумма статического и динамического давлений

$$P_{п} = P_{дин} + P_{ст}$$





На рисунках изображены:

## 1. Пневмометрические трубки ("Пито"):

а - трубка Московского института охраны труда;

б - комбинированные трубки;

в - трубки Хлудова.

1 - для определения статического давления  $P_{ст}$ ;

2 - для определения полного давления  $P_{п}$  в вентиляционной установке.

## 2. Схема распределения давлений в воздуховоде:

$P_{п}$  — полное давление;  $P_{ст}$  — статическое давление;  $P_{дин}$  — динамическое давление;

$A$ ,  $B$  — секторы давлений.

Во всасывающем воздуховоде вентилятором создается разрежение, за счет которого и происходит засасывание воздуха в систему. Давление в этом участке ниже атмосферного, благодаря чему статическое и полное давления имеют отрицательное значение:

$$- P_{п} = P_{дин} + (-P_{ст}).$$

В воздуховоде после нагнетающего вентилятора давление выше атмосферного, из-за чего статическое и полное давления положительные:

$$P_{п} = P_{дин} + P_{ст}$$

В том и другом случаях динамическое (скоростное) давление остается положительным.

Замеры давления проводят на прямых участках воздухопроводов, имеющих постоянный диаметр и расположенных на расстоянии не менее пяти диаметров от места сопротивления и не менее двух - до последующего места сопротивления.

При отсутствии специально устроенных лючков в стенке воздуховода пробивают по 2 отверстия диаметром около 25 мм, через которые вводят пневмометрическую трубку по двум взаимно перпендикулярным осям.

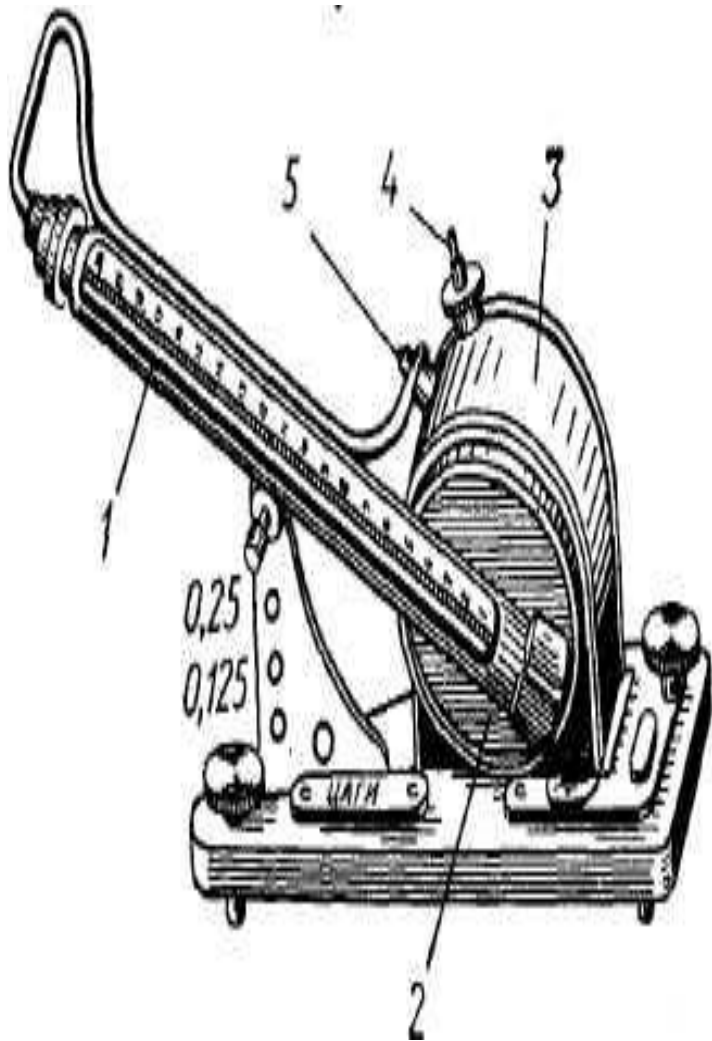
Для измерения давления воздуха в воздуховодах наибольшее применение получили *пневмометрические трубки* типа МИОТ и Хлудова, а также комбинированная пневмометрическая трубка с полусферической головкой.

Трубки (Пито) состоят из двух латунных трубок (диаметром 3—6 мм, длиной 0,5—2 м), скрепленных специальными хомутами или спаянных друг с другом, или вставленных одна в другую. Один конец трубки загнут под углом  $90^\circ$  и является измерительным.

На противоположный конец надевают резиновые шланги для соединения трубки с микроманометром. Головка трубки, с помощью которой измеряют полное давление, имеет обтекаемую форму и центральное отверстие диаметром не более 0,3 от наружного диаметра, обозначенное знаком "-+-.". Конец второй трубки, предназначенной для измерения статического давления, заострен в форме клина с углом не более  $10^\circ$  для устранения завихрения воздушного потока при обтекании и повышения точности измерений.



Отверстия (диаметром 0,1 наружного диаметра), через которые измеряют статическое давление, располагаются на боковой поверхности трубки на расстоянии 1,5 наружного диаметра от конца плоскостей скоса. Измерение давления производят в точках замеров, которые предварительно определяют в воздуховодах, учитывая их форму. Измерение давления воздуха в воздуховодах производят чашечными жидкостными микроманометрами типа ЦАГИ и ММП. Отличительной конструктивной особенностью микроманометра типа ЦАГИ является наличие цилиндрической чашки, которая может поворачиваться совместно с трубкой и шкалой в неподвижной обойме корпуса.



## *Микроманометр ЦАГИ*

- 1 - измерительная трубка со шкалой;*
- 2 - чашка;*
- 3 - обойма;*
- 4 - штуцер чашки;*
- 5 - штуцер трубки.*

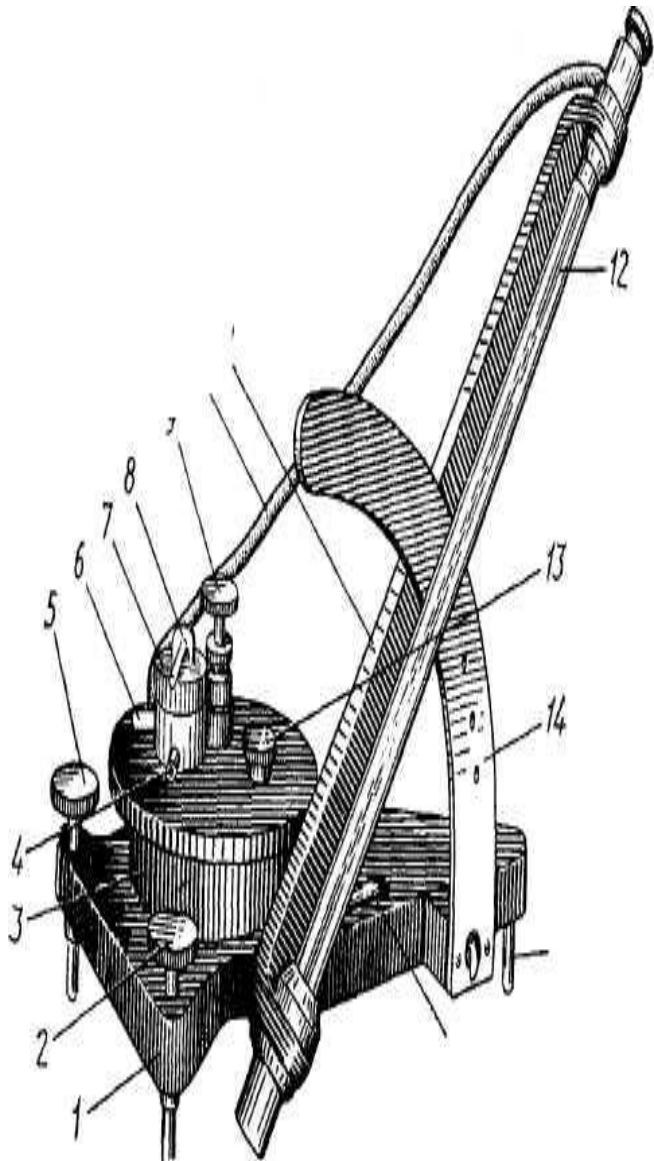
Воздух подается к трубке и чашке через соответствующие штуцера. Измерительная трубка может изменять угол наклона вплоть до вертикального положения. Капиллярную (стеклянную) трубку устанавливают под разными углами с помощью вертикальной планки, на которой нанесены числа (0,125; 0,25 и 0,5), соответствующие синусу угла наклона, который в вертикальном положении равен 1.0. Шкала капиллярной трубки отградуирована от 10 до 200 мм. Микроманометр (капилляр) через чашечки заполняют очищенным спиртом с точным удельным весом (0,8...) до пятого значения дроби.

Для получения точных показаний прибор необходимо тщательно устанавливать по имеющимся на его основании уровням.

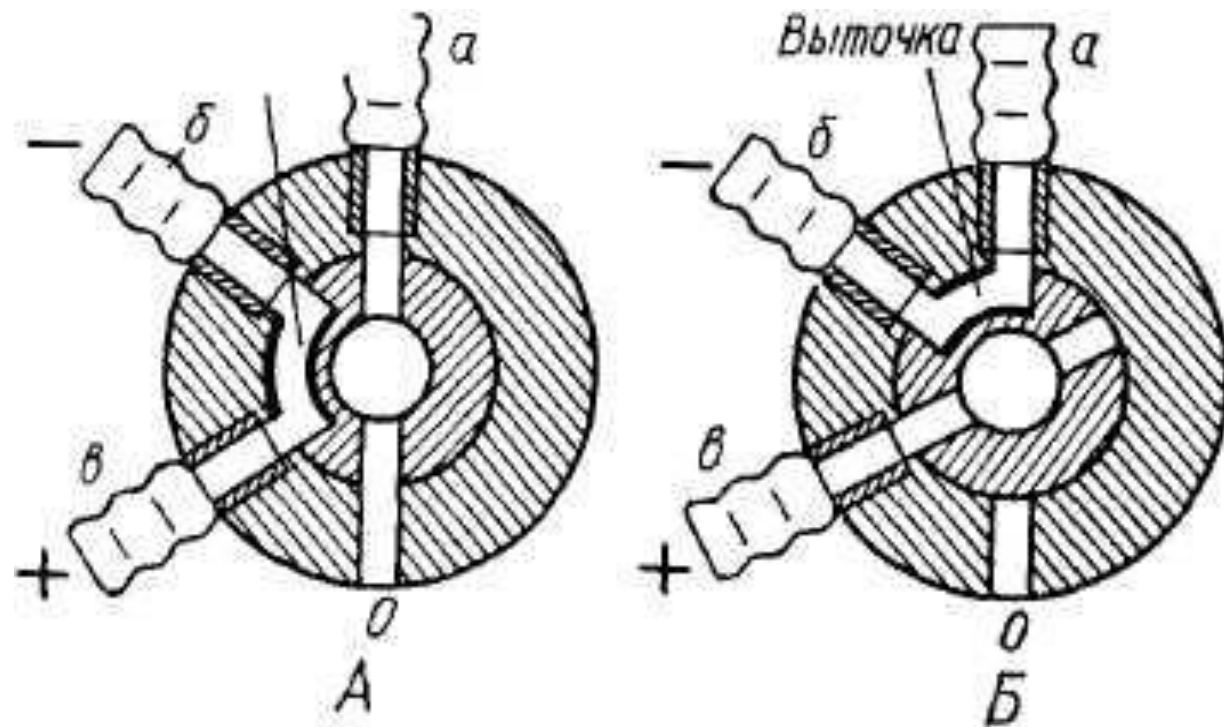
Чтобы получить показания прибора в миллиметрах водяного столба, следует показания шкалы умножить на относительную плотность спирта и синус угла наклона.

Например, если трубка установлена против цифры 0,125, а отсчет по шкале равен 80 мм, то измеряемое давление будет составлять  $0,8 * 80 * 0,125 = 8$  мм. вод. ст., или 78,45 кПа.

В настоящее время для измерения давления большее применение находят микроманометры типа ММН. Прибор состоит из корпуса, цилиндрической неподвижной металлической чашки с вертикальной осью, поворотной стеклянной трубки со шкалой, закрепленной на рамке, которая может поворачиваться относительно оси корпуса на угол от 10 до 90 °. Геометрическая ось вращения трубки совпадает с нулевым делением шкалы. Рамка закрепляется специальным фиксатором на скобе. Корпус микроманометра устанавливается на трех опорах, из которых правая является неподвижной, а левые - позволяют устанавливать прибор в горизонтальном положении.



**Микроманометр типа ММН:**  
1 — корпус; 2 и 5 — винты; 3 — чашка; 4 — штуцер чашки ("+" );  
6 — штуцер трубки ("-");  
7 — трехходовой кран; 8 — ручка крана; 9 — регулятор уровня нуля; 10 — резиновая трубка; 11 — рамка с фиксатором; 12 — трубка со шкалой; 13 — пробка; 14 — скоба; 15 — опора; 16 — уровень.



### Схема включения трехходового крана микроманометра типа ММН:

*А* - при настройке "нуля"; *Б* - при измерении давления; *О* - отверстие для передачи атмосферного давления в чашку и трубку; *а* - штуцер стеклянной трубки; *б* ( - ) - штуцер пневмометрической трубки; *в* ( + ) - штуцер чашки.



Нижний конец измерительной трубки соединен с чашкой, в которую заливают спирт через отверстие с пробкой. Установка мениска спирта в трубке на нуль шкалы производится регулятором уровня.

В крышку чашки вмонтирован трехходовой кран с тремя штуцерами.

Штуцер, обозначенный знаком "+", служит для подвода давления и передачи его в трубку со спиртом посредством третьего штуцера, соединенного резиновой трубкой с верхним концом измерительной стеклянной трубки.

В корпусе крана имеется отверстие, обозначенное "Нуль", через которое атмосферное давление передается в чашку и трубку, когда ручка крана повернута к правому упору. Это положение крана применяется при установке мениска спирта в трубке против нулевого деления шкалы.



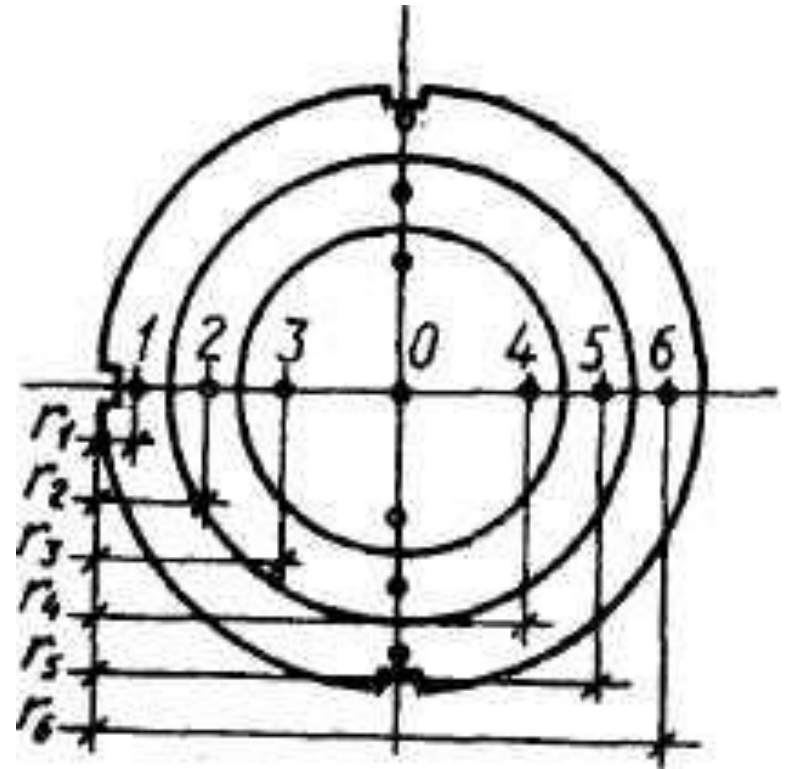
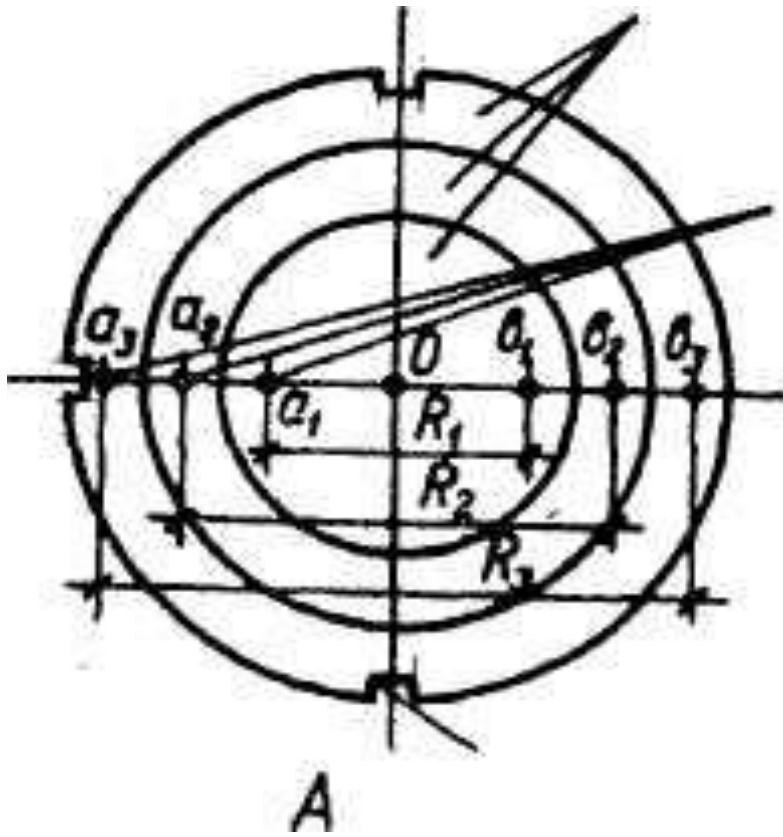
Включение трехходового крана при настройке "Нуля" ручка трехходового крана повернута к правому упору. После установ-ки мениска спирта на "Ноль" шкалы ручку крана поворачивают к левому упору для измерения давления.

Трехходовой кран занимает положение (Б), показанное на рисунке. При этом отверстие "Ноль" в кор-пусе крана перекрывается и отключает прибор от атмосферы. Штуцер, обозначен-ный знаком "+", соединяют с чашкой, "-", посредством кольцевой выточки в пробке крана, - со штуцером стеклянной трубки. Коэффициент (фактор) прибора (k) указан на скобе.

## ***Пределы измерения прибора:***

1. Первый минимальный предел при  $k = 0,2$  составляет 0,49 кПа (50 мм вод. ст.);
2. Второй ( $k = 0,3$ ) — до 0,73 кПа (75 мм вод. ст.);
3. Третий ( $k = 0,4$ ) — до 0,98 кПа (100 мм вод. ст.);
4. Четвертый ( $k = 0,6$ ) — до 1,47 кПа (150 мм вод. ст.);
5. Пятый (он же максимальный) ( $k = 0,8$ ) — до 1,96 кПа (200 мм вод. ст.).

При этом 1 мм шкалы соответствует давлению в 0,1 кПа. Погрешность измерения не превышает 0,5-1 % от верхнего предела измерения.



Условное разделение поперечного сечения круглого (A, B) и прямоугольного (B) воздуховодов на эквивалентные кольца и прямоугольники.

Прежде чем приступить к измерению давления, необходимо определить точки замеров в воздуховодах. Для этого необходимо:

1. Измерить рулеткой длину окружности воздуховода ( $D$ ) и по ее формуле ( $D = 2 \pi * R$ ), вычислить радиус и диаметр воздуховода в миллиметрах.

2. Начертить на бумаге сечение воздуховода и по величине его диаметра мысленно разделить площадь сечения на равновеликие (эквивалентные) по площади концентрические кольца и разделить сечение круглого воздуховода на необходимое число колец.

3. Количество колец зависит от диаметра трубы и должно быть следующим: при диаметре до 200 мм - 3 кольца; 200-400 - 4; 400-700 - 5; свыше 700 мм - 6-7 колец. Кольца в установленном количестве наносят на чертеж.

4. Определить положение точек замера по формуле:

$$R_n = R_0 \sqrt{\frac{2n-1}{2m}}$$

где

$R_n$  - расстояние точки замера от центра воздуховода, мм;  $R_0$  - радиус воздуховода, мм;

$n$  — порядковый номер точки замера от центра воздуховода (слева от центра отсчет идет справа налево, справа — слева направо).

4. Нанести места расположения точек замеров в центре концентрических колец на чертеж.

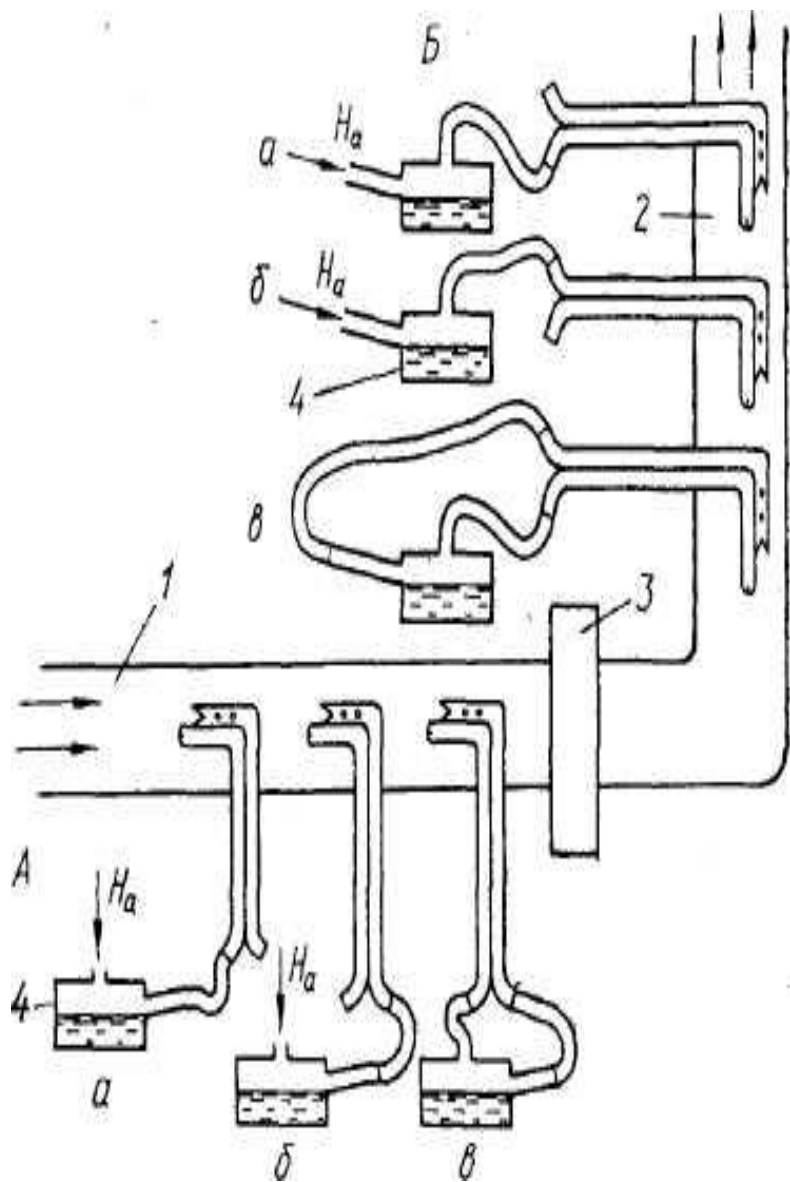


Схема подключения пневмометрической трубки к микроманометру:

1 - Всасывающий воздуховод;

2 - Нагнетающий воздуховод;

3 - Вентилятор;

4 - Микроманометр;

А - Измерение давлений во всасывающем воздуховоде;

Б - Измерение давлений в нагнетающем воздуховоде:

давление общее (а),

статическое (б),

динамическое (в).

## Обработка результатов замеров

$$P_{\text{ст}}^{\text{ср}} = (P_{\text{ст}1} + P_{\text{ст}2} + \dots + P_{\text{ст}n}) / n.$$

$$P_{\text{пл}}^{\text{ср}} = (P_{\text{пл}1} + P_{\text{пл}2} + \dots + P_{\text{пл}n}) / n.$$

$$P_{\text{дин}}^{\text{ср}} = (P_{\text{дин}1} + P_{\text{дин}2} + \dots + P_{\text{дин}n}) / n$$

Проверка результатов замеров и расчётов проводится из условия:

$$R_{дин}^{ср} = R_{пл}^{ср} - R_{ст}^{ср}$$

Если расхождение между динамическим и статическим давлением не превышает 10%, то замеры проведены правильно.



## 2) Измерение скорости движения и расхода воздуха в воздуховодах.

Измеряют диаметры воздуховодов в двух последовательных сечениях и заносят их величины на чертеж и в таблицы.

По формуле площади круга  $D = 2 \pi * R$ ) определяют площадь поперечного сечения воздуховода исходя из радиуса сечения, выраженного в долях метра. Разделяют поперечное сечение воздуховода на необходимое количество равновеликих колец, определяют место положения точек замеров и их расстояние от стенки воздуховода, как описано выше.

На пневмометрической трубке откладывают расстояния от стенки воздуховода к точкам замеров.

Полученные результаты измерений заносят в рабочую таблицу. Пересчет показаний прибора в миллиметры водяного столба и кПа выполняют ранее описанным способом.

Определяют среднюю скорость движения воздуха в трубе. Для этого используют формулу учитывающее среднее динамическое давление:

$$V_{\text{ср}} = 0,04 * \sqrt{P \frac{\text{ср}}{\text{дин}}}$$

### 3) Определение объема поступающего воздуха через одиночные вентиляционные отверстия.

Объем (расход) проходящего по воздуховоду воздуха определяют по следующей формуле:

$$Q = V_{cp} * F * 3600$$

где  $V_{cp}$  - средняя скорость движения воздуха, м/с;  
 $F$  - площадь сечения отверстия или воздуховода, через которое проходит воздух, м<sup>2</sup>; 3600 - пересчет 1 ч в секунды.

В условиях производства воздух нередко поступает в помещения, имея одну температуру, а выходит с другой, чаще более высокой, что отражается на его объеме. В связи с этим для получения сравнимых данных по притоку и вытяжке воздуха необходимо пересчитывать количество воздуха, выраженное в объемных единицах в весовые по следующей формуле:

$$q = Q * \gamma$$

где

$q$  - количество воздуха, кг/ч;

$Q$  - объем воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$\gamma$  — масса 1 м<sup>3</sup> воздуха при определенной его температуре и нормальном, атмосферном давлении, кг.

### **Определение объема поступающего воздуха через одиночные отверстия.**

Измерения проводят в оконных проемах, фрамугах, отверстиях аэрационных фонарей, стенных вентиляционных каналов, воздуховодов механической вентиляции и т. д. Для этого с помощью крыльчатого или чашечного анемо-метра измеряют скорость движения воздуха в нескольких точках отверстия.

Объем поступающего воздуха определяют по известной формуле.

Результаты проверки производительности вентиляционной системы сравнивают с запроектированной и устанавливают соответствие гигиеническим требованиям, предъявляемым к производственной вентиляции. При определении воздушного баланса следует сравнить найденные объемы воздуха по приточной и вытяжной вентиляции.

# МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ (АЭРАЦИИ)

При аэрации наружный воздух в теплый период года поступает через проемы в нижней зоне помещений (окна, двери, ворота) и удаляется через проемы в верхней зоне.

В холодный период поступление наружного воздуха в помещение необходимо осуществлять на высоте не менее 4 м от уровня пола с тем, чтобы, опускаясь вниз в рабочую зону, воздух нагревался, смешиваясь с внутренним.

Для оценки эффективности аэрации необходимо провести следующее.

1. Исследовать метеорологические условия в производственном помещении и санитарное состояние воздуха рабочей зоны на наличие в нем вредных веществ при действии аэрационных устройств.
2. Проверить направление движения воздуха в открытых вентиляционных отверстиях стен (окна, двери, фрамуги и др.) и аэрационного фонаря. Для этого достаточно укрепить в створках отверстий полоски папиросной бумаги. Если направление воздуха правильное, следует определить воздухообмен.



3. Определить количество удаляемого из помещения воздуха через фрамуги аэрационного фонаря. Для этого вначале определяют площадь открытых отверстий, затем в приточных и вытяжных отверстиях с помощью анемометров — скорость движения воздуха, по которой и рассчитывают объем удаляемого воздуха. При этом принимается, что весовые количества приточного и удаляемого из помещения воздуха равны.

- 4. В ходе определения все оконные проемы должны работать на приток, поэтому их следует открыть только на наветренную сторону. Измерить температуру и влажность удаляемого воздуха в тех же отверстиях, где измеряют скорость его движения. При расчете объема воздуха температуру и влажность приточного воздуха принимают равными температуре влажности наружного воздуха.
- 5. Сравнить объемы поступающего через все приточные отверстия воздуха с объемами удаляемого через вытяжные отверстия, делая выводы о воздухообмене в производственном помещении и об эффективности аэрации.

## ТИПОВАЯ ЗАДАЧА.

Дано: (1) Помещение А с объемом  $Q = 3 \times 4 \times 5 = 60 \text{ м}^3$ ; (2) Аэрационное отверстие (форточка) имеет площадь  $= 0.5 \times 0.8 = 0.40 \text{ м}^2 (S)$ . Средняя скорость поступающего воздуха через форточку  $0.7 \text{ м/сек} (V_{\text{ср}})$ . Найти величину кратности воздухообмена.

### Решение.

1. Объём воздуха проникающего в помещение через форточку:  $W = V_{\text{ср}} * S * 3600 = 0.7 \text{ м/сек} * 0,40 \text{ м}^2 * 3600 \text{ сек} = 1008 \text{ м}^3/\text{час}$

2. Кратность воздухообмена:

$$\begin{aligned} K_r &= Q : W = 1008 \text{ м}^3/\text{час} : 60 \text{ м}^3 = \\ &= 18,05 \text{ обменов/в час.} \end{aligned}$$

Таблица контрольного теста

ФИО \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_

№№ вопроса	№№ ответов		
	1	2	3
<b>1</b>			
<b>2</b>			
<b>3</b>			
<b>4</b>			
<b>5</b>			
<b>6</b>			

# *Контрольные вопросы*

**1. В чём отличие аэрации от вентиляции с механическим побуждением?**

1.1. Нет отличий - это две системы проветривания

1.2. Отличие заключено в применяемых механизмах и устройствах

1.3. Отличие в побуждении для движения воздуха: в одном случае температурный градиент, в другом - механический и иной двигатель (насос).

**2. Цель гигиенической оценки производственной вентиляции?**

2.1. В оценке эффективности её работы

2.2. В оценках качества влажной уборки

2.3. В оценках скорости проветривая производственных помещений

### **3. В чём состоят задачи гигиенической оценки эффективности производственной вентиляции?**

3.1. Измерение давления, скорости движения воздуха в воздуховодах и определение объема поступающего воздуха,

3.2. Задачи заключены в технической оценке состояния двигателя, вентилятора, определения числа оборотов,

3.3. Задача определена оценкой состояния воздуховодов, дефлекторов, оконных проёмов и других отверстий для проникновения наружного воздуха через одиночные вентиляционные отверстия.

- **4. В чём оценивают эффективность вентиляционных систем?**
- **4.1. Кратность обменов воздуха в час**
- **4.2. Объём воздуха выбрасываемого из помещения**
- **4.3. Объём подаваемого воздуха**



**5. Укажите приборы, полезные для гигиенической оценке эффективности производственной вентиляции:**

5.1. Микроманометр ЦАГИ, анемометры, психрометры, электронные варианты этих приборов

5.2. Комплекс "ВиброшумАвто"

5.3. Интегрирующие шумомеры и вибрографы

**6. Надо ли включать в гигиеническую оценку эффективности промышленной вентиляции разницу между температурой наружного и внутреннего воздуха?**

6.1. *НЕТ*

6.2. *ДА*

# *Правильные ответы*

№№ вопроса	№№ ответов		
	1	2	3
1	<b>x</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
2	<b>+</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
3	<b>+</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
4	<b>+</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
5	<b>+</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
6	<b>x</b>	<b>+</b>	<b>x</b>

**СПАСИБО  
ЗА  
ВНИМАНИЕ!!!**