

## **Лабораторная работа №1**

### **Определение расходов воздуха в воздуховоде круглого сечения методом равновеликих колец**

#### **Цель работы**

Настоящая лабораторная работа воспроизводит реальную работу, которую приходится выполнять инженеру-вентиляционщику при наладке смонтированных или капитально отремонтированных вентиляционных систем. В процессе капитального ремонта оборудование заменяется на более новое, так как установленное изначально не производится. Новое оборудование, как правило, имеет несколько иные, нежели заменяемое, характеристики, его установка приводит к разрегулировке вентиляционной системы, что и вынуждает проводить повторную наладку.

Целью лабораторной работы является расширение знаний студентов в области аэродинамики воздуховодов и показ того, что фактические скоростные поля в вентиляционных воздуховодах могут значительно отличаться от классического скоростного поля, которое формируется на прямолинейном участке круглого воздуховода значительной протяжённости (рис. 1).

#### **Этапы выполнения лабораторной работы**

Лабораторная работа состоит из следующих этапов:

- измерение величин динамических давлений в точках поперечного сечения воздуховода, как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях;
- вычисление скоростей в точках замера по величине динамического давления;
- построение эпюр скоростей по результатам замеров;
- определение средней скорости в поперечном сечении воздуховода;
- определение расхода воздуха в воздуховоде.

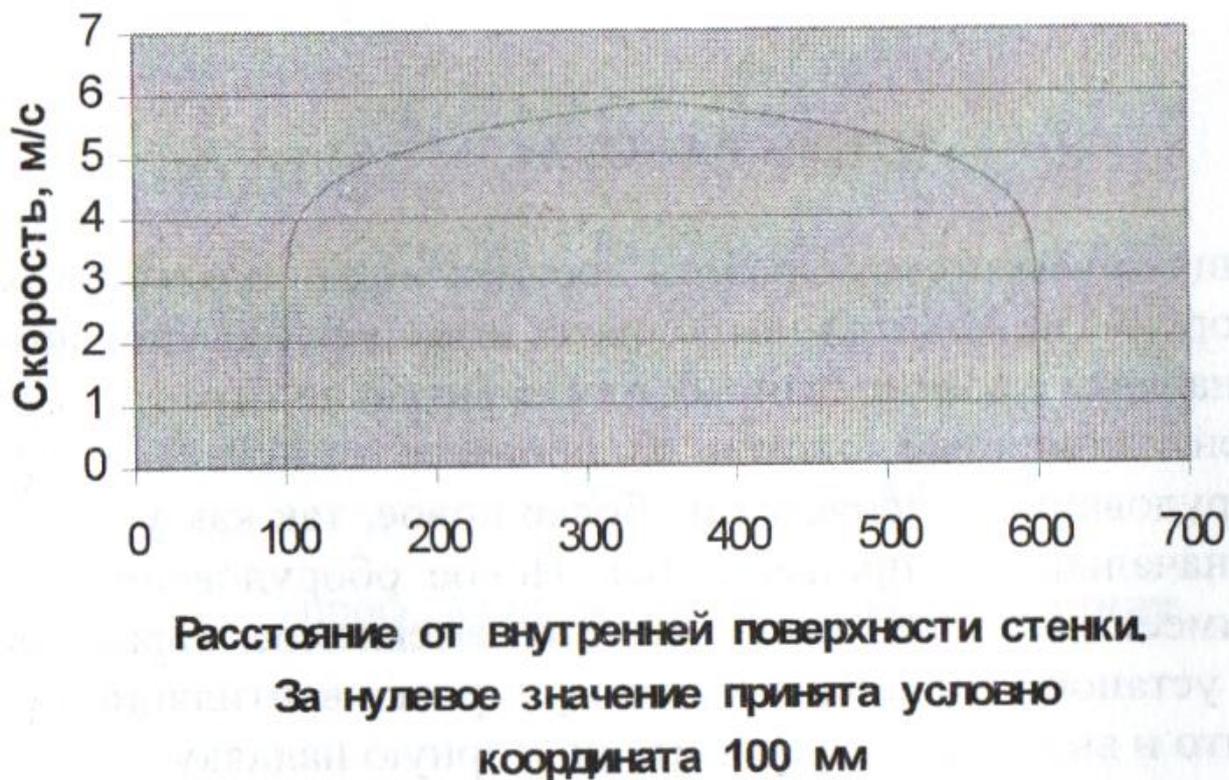


Рис. 1. Поле скоростей в трубе круглого сечения диаметром 500 мм при средней скорости в поперечном сечении 5 м/с и температуре 20° С

### **Определение скорости и расхода воздушного потока в воздуховоде или вентиляционном канале**

Общепринятый в вентиляции способ определения расхода состоит в вычислении расхода по величинам средней скорости и площади поперечного сечения воздуховода или канала.

Промышленностью выпускается значительное количество электрических приборов, имеющих миниатюрные датчики скорости и позволяющих измерять скорости в любой точке поперечного сечения воздуховода или канала. Диапазон скоростей, которые могут измерять эти приборы, достаточен для выполнения наладочных работ.

Если измерительный прибор электрический, скорость определяется по показаниям, высвечивающимся на дисплее. В лабораторной работе динамические давления в расчётных точках измеряются с помощью трубки Пито (отборник давления) и микроманометра ММН (прибор, измеряющий переданное от

отборника давление по резиновым шлангам), а скорость по величине динамического давления  $P_{дин}$  вычисляется как

$$v = \sqrt{\frac{2P_{дин}}{\rho}},$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>; в настоящей лабораторной работе может быть принята равной 1,2 кг/м<sup>3</sup>.

Часовой объёмный расход  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, воздуха в воздушном потоке рассчитывается по формуле

$$L = 3600 A v_{cp}, \quad (1)$$

где  $v_{cp}$  – средняя скорость по площади поперечного сечения воздуховода или канала, м/с;

$A$  – площадь поперечного сечения воздуховода или канала, м<sup>2</sup>.

Действие трубки Пито и микроманометра ММН не зависит от наличия источника электрической энергии, и, как указывалось выше, микроманометром измеряется динамическое давление, по его величине вычисляется скорость. Но этими приборами удаётся с должной степенью точности измерять скорость 4 м/с и более. Для скоростей, меньших 4 м/с, и раньше, и теперь применяют электрические измерительные приборы.

Важным для получения точного результата является выбор точек замера в поперечном сечении воздуховода. С этой целью поперечное сечение воздуховода делится на «элементарные площадки», в центре которых и производятся измерения. Если воздуховод круглого сечения, «элементарными» площадками являются концентрические кольца, а точки замера располагаются на оси концентрических колец. Если воздуховод прямоугольный или квадратный, элементарные площадки прямоугольные или квадратные, а точка измерения располагается на пересечении диагоналей элементарной площадки.

Если площади концентрических колец в поперечном сечении круглого или ячеек прямоугольного (квадратного) воздуховода одинаковы, средняя скорость может быть вычислена по несложной формуле

$$v_{cp} = \frac{\sum v_i}{i},$$

где  $v_{cp}$  – среднее значение скорости в поперечном сечении воздуховода или канала, м/с;

$v_i$  – локальное значение скорости, м/с;

$i$  – количество элементарных концентрических колец в поперечном сечении круглого или ячеек в прямоугольном (квадратном) воздуховоде.

Деление на элементарные участки одинаковой площади не всегда может быть выполнено. Если точки замера являются центрами элементарных площадок различных размеров, средняя скорость вычисляется как

$$v_{cp} = \frac{\sum a_i v_i}{A}$$

где  $a_i$  – площадь элементарной площадки;

$A$  – площадь поперечного сечения воздуховода.

### **Конструктивное оформление мест производства замера давлений**

Независимо от способа измерения скорости в воздуховоде, в стенке воздуховода должно быть устроено отверстие для ввода зонда. Проектом вентиляции в местах, где следует выполнять замеры в процессе пусконаладочных работ, должны предусматриваться специальные лючки, закрываемые герметичной крышкой или пробкой. Иногда эти лючки называют «питометражными», подтверждая названием, что измерение давлений внутри воздуховода будет проводиться трубкой Пито, хотя через них может вводиться и электрический зонд. После проведения измерений лючки необходимо закрыть. Если лючки не предусмотрены, отверстие минимально необходимого размера приходится пробивать в стенке воздуховода. После проведения замеров отверстие следует герметизировать во избежание присосов или потерь через них воздуха. Трубка Пито (рис. 2) устанавливается в воздуховоде отверстием полного давления навстречу воздушному потоку. К микроманометру шланги присоединяются по дифференциальной схеме.

## Конструкции пневмометрической трубки (трубки Пито)

Пневмометрическая трубка служит для измерения давлений внутри воздухопроводов. Она объединяет в себе отборники полного и статического давления. Отборник полного давления представляет собой отверстие на закруглённом торце трубки, отборник статического давления - отверстие на цилиндрической поверхности трубки. Каждый вид давления выводится от отборника давления с помощью металлической трубки, которая заканчивается штуцером для резинового шланга, подводящего давление к микроманометру. Штуцер, к которому подводится полное давление, маркируется знаком «плюс», штуцер статического давления – знаком «минус». В зависимости от конструкции прибор «трубка Пито» может представлять собой две спаянные друг с другом трубки, соответственно полного и статического давления (конструкция ВЦНИИОТ) или одна из трубок может размещаться внутри другой (конструкция ГПИ Проектпромвентилиация). Изготавливаются трубки Пито разной длины, в зависимости от размеров поперечного сечения воздухопровода, давление в котором измеряется.

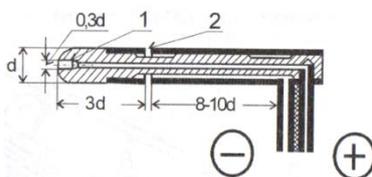


Рис 2. Чертёж измерительной части трубки Пито

## Микроманометр ММН

Общий вид микроманометра ММН представлен на рис. 3.

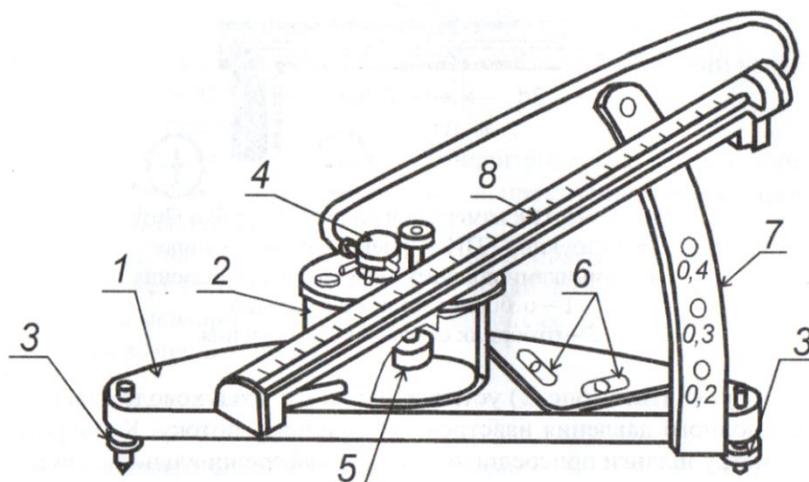


Рис. 3. Микроманометр ММН: 1 – плита, на которой смонтированы элементы микроманометра; 2 – неподвижный резервуар со спиртом, закрытый герметичной крышкой; 3 – регулировочные винты, с помощью которых плита приводится в горизонтальное положение; 4 – трёхходовой кран, смонтированный на крышке резервуара; 5 – регулятор нулевого положения мениска, служащий для приведения положения мениска в нулевое положение после заправки или дозаправки микроманометра спиртом; 6 – уровни с цилиндрическими ампулами для установки плиты в горизонтальное положение; 7 – кронштейн с фиксатором для установки измерительной трубки в определённом положении относительно горизонта; 8 – измерительная стеклянная трубка

Пределы измерений микроманометра составляют 0...240 кг/м<sup>2</sup> при статическом давлении 0,1 кгс/см<sup>2</sup>. В качестве рабочей жидкости применяется только этиловый спирт плотностью  $\rho_c = 0,8095 \pm 0,005$  г/см<sup>3</sup>. Применение других жидкостей исключено, так как на пластине, с помощью которой фиксируется угол наклона измерительной трубки к горизонту, указаны произведения синуса угла наклона и плотности спирта.

Давление, измеряемое микроманометром, Па, в случае совпадения мениска с нулевым значением шкалы определяется по формуле

$$p = gH_K K,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H_K$  – показание микроманометра, считываемое со шкалы, нанесенной на капилляр;

$K$  – поправочный коэффициент, учитывающий синус угла наклона и стандартную плотность спирта.

Если в микроманометре мениск по каким-либо причинам не совпадает с нулевым делением шкалы, расчёт ведётся по следующей формуле

$$p = g(H_K - H_0)K. \quad (2)$$

Скорость, соответствующая динамическому давлению  $p_d$ , вычисляется по формуле

$$v = 0,07527 \sqrt{p_d(273 + t_B)} \quad (3)$$

где  $p_d$  – динамическое давление, Па, измеренное микроманометром;

$t_B$  – температура перемещаемого воздуха, °С.

В практической наладке место замера расхода выбирается на максимально возможном расстоянии от ближайшего местного сопротивления; это расстояние не

должно быть меньшим 5...6 калибров, чтобы в максимально возможной степени уменьшить влияние местного сопротивления на скоростное поле.

### Проведение эксперимента

Измерение расхода воздуха в исследуемом сечении воздуховода производится в следующем порядке:

- Исследуемое сечение разбивается на 2-3 равновеликих concentрических кольца и центральный диск такой же площади, как и равновеликие кольца.
- Выбираются точки для выполнения замеров в соответствии с рис. 4,а.
- Вычисляются координаты точек замера относительно стенки воздуховода.

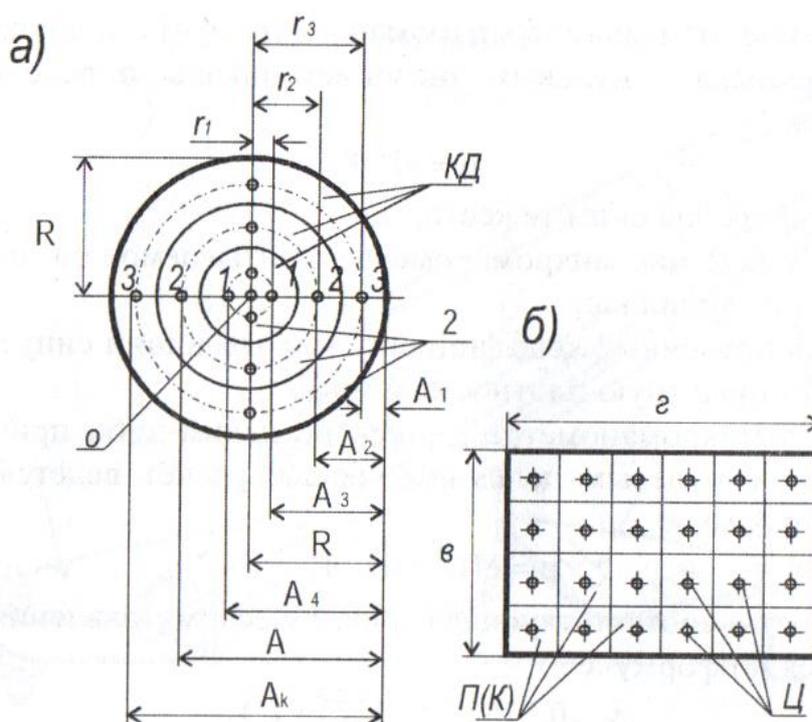


Рис. 4. Точки замера в воздуховодах круглого и прямоугольного (квадратного) сечения: а – круглого сечения; КД – равновеликие по площади кольца и диск; 1,2,3 – точки замера на осях равновеликих колец и центрального диска с площадью, равной площади с concentрическими кольцами;  $R$  – радиус воздуховода в исследуемом поперечном сечении, равный 200 мм;  $r$  – расстояние точки замера от центра воздуховода, мм;  $A_{1,2,3...k}$  – расстояние от стенки воздуховода до точки замера, мм; б – прямоугольного (квадратного) сечения;  $в$  и  $g$  – размеры прямоугольного сечения; П(К) – равновеликие прямоугольники – квадраты в квадратном воздуховоде; Ц – центры равновеликих прямоугольников – квадратов

Расстояние точки измерения от оси воздуховода  $r_n$ , мм, определяется по формуле

$$r_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{2m}},$$

где  $R$  – радиус воздуховода в исследуемом сечении, мм;  $n$  – порядковый номер точки замера от центра сечения;  $m$  – число колец, на которые разбито сечение воздуховода. Расстояние от точки измерения до стенки воздуховода  $A_k$  определяется по формуле

$$A_k = R \pm r.$$

Для случая, представленного на рис. 4,а, имеют место следующие расстояния

$A_1 = R - r_3$	$A_4 = R + r_1$
$A_2 = R - r_2$	$A_5 = R + r_2$
$A_3 = R - r_1$	$A_6 = R + r_3$

- Измеряются динамические давления в соответствующих точках путём последовательного перемещения пневмометрической трубки по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. Отсчёт показаний по шкале капилляра микроманометра производится после фиксации наконечника трубки в точке измерения скорости (в соответствии со шкалой, нанесенной на пневмометрической трубке). Необходимо следить, чтобы наконечник трубки был строго параллелен оси воздуховода и был направлен навстречу потоку воздуха в воздуховоде.

Результаты замеров записываются в таблицу 1.

Таблица 1

Таблица для записи и обработки результатов замеров скоростей в поперечном сечении круглого стального воздуховода

Параметр	Горизонтальный диаметр								Вертикальный диаметр							
$h_d$																
$K$																
$P_d$																
$V$																
$V_{CP}$	$v_{гориз}^{cp} = \frac{\sum v_{2m+1}^{гориз}}{m}$								$v_{верт}^{cp} = \frac{\sum v_{2m+1}^{верт}}{m}$							

$V_{\text{общ}}^{\text{ср}}$	$v_{\text{общ}}^{\text{ср}} = \frac{v_{\text{гориз}}^{\text{ср}} + v_{\text{верт}}^{\text{ср}}}{2}$	
$K_{\text{п/равн}}$ в направлениях	$K_{\text{гориз}}^{\text{неравн}} = \frac{v_{\text{гориз}}^{\text{ср}}}{v_{\text{общ}}^{\text{ср}}}$	$K_{\text{верт}}^{\text{неравн}} = \frac{v_{\text{верт}}^{\text{ср}}}{v_{\text{общ}}^{\text{ср}}}$
$K_{\text{п/равн}}$ общий	$K_{\text{общ}}^{\text{неравн}} = \frac{K_{\text{гориз}}^{\text{неравн}} + K_{\text{верт}}^{\text{неравн}}}{2}$	

### Обработка замеров

1. На основе измеренных величин динамического давления в заданных точках сечения рассчитывают:

- динамическое давление в точке замера по формулам (2) или (3);
- локальные скорости в точках 1, 2, 3, 4, 0, 5, 6, 7, 8.

2. Далее вычисляются:

• средние скорости по горизонтальному и вертикальному диаметрам (формулы приведены в таблице;

• средняя скорость для скоростного поля воздуховода в целом (формула приведена в таблице);

- расход воздуха в воздуховоде по формуле (1);
- коэффициенты неравномерности скоростного поля:
  - по горизонтальному диаметру;
  - по вертикальному диаметру;
  - общий для всего воздуховода.

Формулы для расчёта последних трех подпунктов приведены в таблице.

По результатам измерений и обработки замеров строятся скоростные поля вдоль вертикального и горизонтального диаметров.