

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИКЛАДНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ**

РЕФЕРАТ

**ТЕМА: «МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА И
СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА»**

Автор: Кудинов А.В.

МОСКВА 2000 год.

Введение.

Воздух как фактор жизнедеятельности человека следует рассматривать, с одной стороны, как среду, вдыхаемую человеком, а с другой стороны, как среду, окружающую человека. Поверхность человеческого организма находится в постоянном контакте с окружающей средой. Поэтому роль воздуха состоит в обеспечении человека кислородом при дыхании и удалении влаги из организма человека при выдыхании, а также в обеспечении процессов тепло- и массообмена поверхности человека с окружающей средой.

Основными параметрами воздуха, влияющими на жизнедеятельность человека, его самочувствие и работоспособность в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, которые представляют комплекс устройств для создания и поддержания заданных кондиций воздушной среды в помещениях, а именно: температуры и влажности, чистоты, иногда газового состава, давления и скорости движения, а кроме того, заданного уровня шума в обслуживаемых помещениях.

Большую роль в создании надлежащих условий и повышение производительности труда играют системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Важно не только правильно спроектировать и смонтировать системы, но и во многом эффективность работы зависит от качества их регулирования и наладки. Кроме того, опыт наладочных работ позволяет выявить наиболее рациональные решения схем и конструкций оборудования систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Для успешной работы систем в процессе эксплуатации требуется поддержание на заданном уровне значений различных параметров, будь то температура в помещении или расход воздуха через воздухоподающие устройства, необходимо применять во время наладки и эксплуатации различные методы и приборы для определения параметров.

Существует различная регулирующая аппаратура, назначение которой заключается в том, чтобы текущее значение заданной регулируемой величины в конечном итоге оставалась на уровне, максимально близком к заданному значению. Чтобы выполнить это условие необходимо располагать измерительной аппаратурой, которая будет фиксировать конечное значение регулируемой

величины, измерять, оценивая ее значение по отношению к принятой базовой шкале (масштабу), а затем, сравнивать, полученное значение с заданным, что позволит определить уровень и направление воздействия на конечный результат регулируемой величины.

Указанный тип контрольно-измерительной аппаратуры встраивается в контур регулирования работы систем вентиляции и кондиционирования и не может быть отделен от него. Следовательно, такая контрольно-измерительная аппаратура постоянно используется только для измерения конечного значения одной и той же регулируемой величины.

Однако существуют другие средства измерений и контрольно-измерительной аппаратуры, независимые или автономные, то есть переносные, которые могут использоваться для измерения, конечно, одного и того же параметра, но в любом месте. Это может быть, например, переносной термометр для измерения мгновенных значений температуры в различных помещениях или анемометр, который размещают перед отверстием, подающим в помещение воздушный поток, чтобы определить его скорость в различных точках сечения струи.

Измерительные приборы могут быть классифицированы по разным признакам, например, в зависимости от того, являются ли они встроенными и объединенными с системой или автономными, переносными; оснащены обычной шкалой для визуального снятия показаний с прибора или оборудованы записывающим устройством. Однако лучше всего их классифицировать в зависимости от измеряемых величин: температуры, давления, скорости и тому подобное.

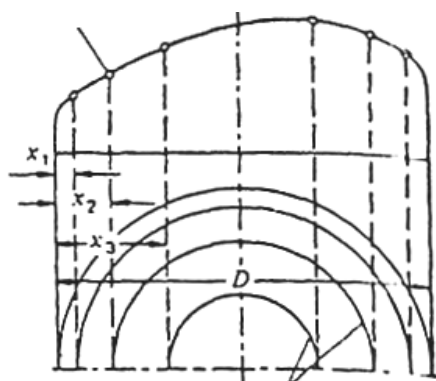
В этом реферате в дальнейшем речь пойдет о приборах и методах измерения скорости движения и расходу воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Методы для измерения расхода и скорости движения воздушного потока в воздуховодах.

Метод выбора точек измерения

Для измерения давлений и скоростей движения воздушного потока в воздуховодах должны быть выбраны участки с расположением мерных сечений на расстоянии не менее шести гидравлических диаметров D_h , м ($D_h = 4xF/\Pi$, где Π , м и F , м², соответственно, периметр и площадь сечения) за местом возмущения потока (отводы, шиберы, диафрагмы и т. п.) и не менее двух гидравлических диаметров перед ними. При отсутствии прямолинейных участков необходимой длины допускается располагать мерное сечение в месте, делящем выбранный для измерения участок в отношении **3:1** в направлении движения воздуха. Допускается размещать мерное сечение непосредственно в месте расширения или сужения потока. При этом размер мерного сечения принимают соответствующим наименьшему сечению канала. Согласно этому методу проводятся измерения скоростей в нескольких местах, равномерно распределенных по сечению воздуховода, после чего вычисляют среднюю скорость по сечению. Если воздуховод имеет круглое сечение, его разделяют концентрическими окружностями на несколько равновеликих кольцевых поверхностей (рис. 1). Замеряя скорость воздуха в различных точках окружностей, представляющих собой внутренние границы таких колец. В этом случае средняя скорость в данном сечении равна средней арифметической результатов измерений скорости.

Точки замеров



Концентрические окружности

Рис. 1

Например, если поверхность разделена на 5-ть равновеликих частей, относительное расстояние x_i / D для точек замеров от стенки воздуховода составят значение по методу равновеликих концентрических колец.

x_1 / D	x_2 / D	x_3 / D	x_4 / D	x_5 / D
0,026	0,082	0,146	0,226	0,342

Другой метод называется логарифмическим линейным, используют он достаточно часто. Более полно, он представлен в ГОСТ 12.3.018.-79 «Методы аэродинамических испытаний». Если измерения производятся в круглом воздуховоде в точках, расположенных, по меньшей мере, на двух взаимно перпендикулярных лучах, замеры следует осуществлять как минимум в 2-6 точках каждого из секторов окружности (рис. 2). Количество точек измерений определяется формой и размерами мерного сечения.

Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах цилиндрического сечения.

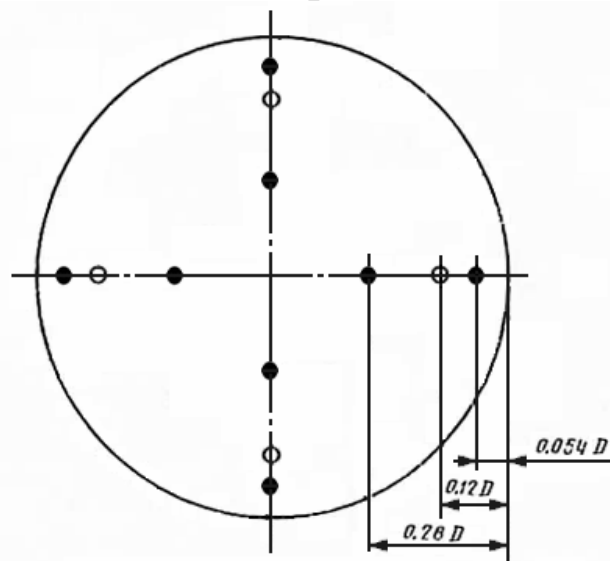


Рис. 2

- при $100\text{мм} < D < 300\text{мм}$
- при $D > 300\text{мм}$

В случае измерений в прямоугольных воздуховодах их сечение разделяют на некоторое число равных прямоугольников, и замер скорости воздуха производят в центре тяжести каждого прямоугольника (рис. 3). Однако в этом случае речь идет о грубом достаточном методе. Поскольку вблизи стенок скорость движения воздуха заметно отличается от скорости движения воздуха в центре воздуховода, нужно, по-видимому, в этой области разбивать площадь сечения на более мелкие элементарные участки, а при вычислении средней скорости движения воздуха в воздуховоде учитывать соответствующие значения доли этих участков в общей площади

поперечного сечения. Количество измерений в каждой точке должно быть не менее трех.

Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах прямоугольного сечения.

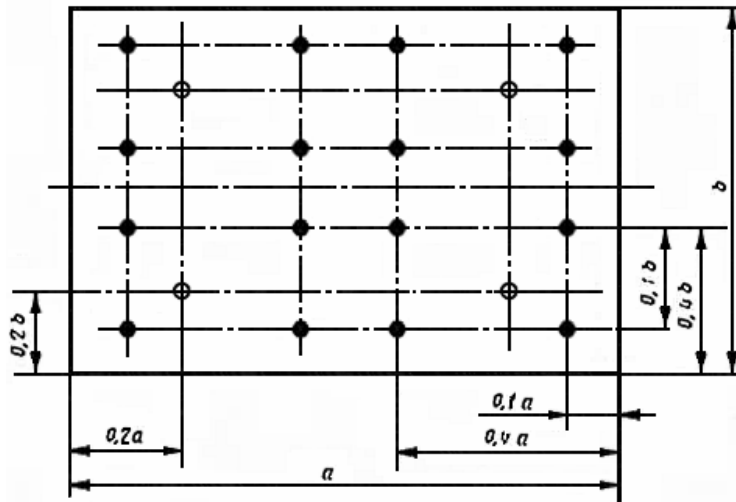


Рис. 3

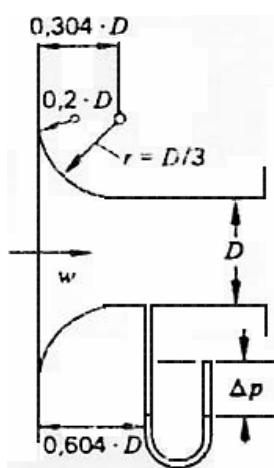
- при $100\text{мм} < b < 200\text{мм}$
- при $b > 300\text{мм}$

Метод кругового сканирования

В воздуховодах большого сечения или на выходе из фильтров, теплообменников и других устройств можно рассчитать среднюю скорость движения воздуха, медленно перемещая крыльчатый анемометр с постоянной очень небольшой скоростью вдоль нескольких воображаемых окружностей по всей площади сечения воздуховода. Такие измерения необходимо выполнять по несколько раз для определения более полной эпюры распределения скорости по всему сечению воздуховода. Если скорость движения прибора меняется очень быстро, расчетная величина часто оказывается сильно завышенной. То же самое имеет место в случае, когда площадь проходного сечения крыльчатки анемометра больше чем на 1% превышает площадь измеряемого сечения.

Метод входной насадки.

Для приточных и вытяжных вентиляторов со свободным подсосом воздуха расход воздуха измеряют с помощью входной насадки с полностью закругленными краями на входе в него, который устанавливается перед вентилятором или другим измеряемым сечением. Скорость определяют различными контрольно-измерительными приборами. Удовлетворительные результаты измерений достигаются, если потери давления в отверстиях значительно больше, чем потери в насадке. В случае необходимости результаты следует скорректировать.



Например, на рис. 4 представлено устройство для измерения средней скорости воздушного потока при помощи входной насадки различных диаметров. Но обязательным условием для замеров, является сохранение геометрических параметров.

Скорость воздуха при этом определяют по формуле

$$w = \sqrt{(2 \cdot \Delta p / \rho)}$$

где, Δp – статическое падение давления, Па

Рис. 4

Измерение с помощью устройств для сужения потока.

Измерение с помощью устройств для сужения потока, так называемых мерными соплами или измерительными диафрагмами, основано на измерении перепада давления при образовании местного сопротивления, возникающего на входе и выходе из диафрагмы или сопла. Этот метод используется для газов любой температуры и давления, причем результаты измерений оказываются очень точными.

Процедура измерений, осуществляется при помощи диафрагм (рис. 5), сопел или трубок Вентури (рис. 7), и методы обработки результатов измерений стандартизированы.

Объемный расход воздуха определяется по формуле

$$V = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A \cdot \sqrt{(2 \cdot \Delta p / \rho)}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где, α - коэффициент сжатия струи в зависимости от отношения площадей основного и сужающегося $m = (d/D)^2$.

Сужающее устройство	Отношение площадей $m = (d/D)^2$							
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
Диафрагма	0,598	0,602	0,615	0,634	0,660	0,695	0,74	0,802
Сопло	0,987	0,989	0,999	1,017	1,043	1,081	1,142	---
Сопло Вентури	0,968	0,989	1,001	1020	1,048	1,092	1,155	---

ε – коэффициент расширения в зависимости от отношения давления перед сужающим устройством и после него (им можно пренебречь, так как для несжимаемых сред $\varepsilon = 1$)

A – площадь проходного сечения сужающего устройства, м^2

Δp – статическое падение давления, Па

ρ – плотность движущейся среды, $\text{кг}/\text{м}^3$

Диафрагма

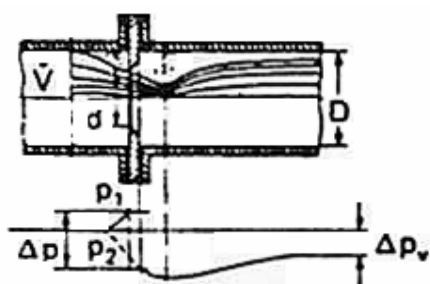


Рис. 5

При прохождении потока через измерительную диафрагму, происходит изменение давлений.

где, Δp_v – дополнительные потери в сети создаваемые диафрагмой

Δp – действующий перепад давлений на диафрагме, используемый для определения объемного расхода.

Полный комплект измерения расхода воздуха с помощью сужающих устройств включает:

- сужающее устройство (диафрагму, мерное сопло, трубку Вентури)

- дифференциальный манометр для измерения перепада давления на сужающем устройстве
- трубки подвода давлений от сужающего сечения устройства к дифференциальному манометру

Схемы измерения давлений

а) в диафрагме

б) в трубе Вентури

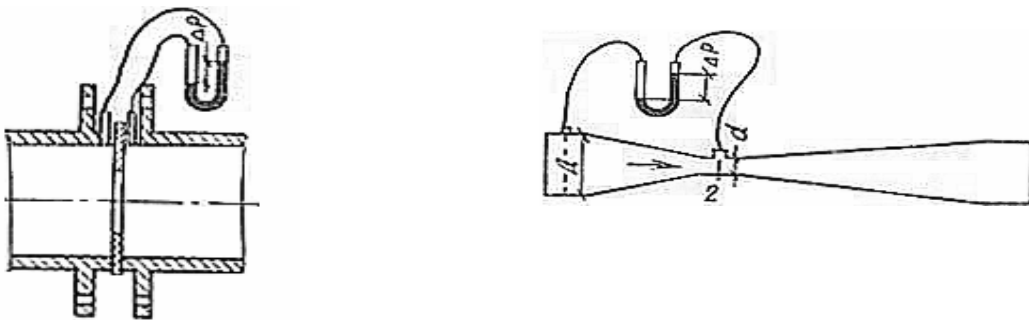


Рис. 6

В наиболее узкой части трубки Вентури (рис. 7), то есть в критическом сечении, скорость потока достигает максимального значения, вследствие перехода части потенциальной энергии давления в кинетическую, в результате чего создается перепад давления, величина которого зависит от расхода воздуха, проходящего через сужающее устройство.

Нормальная труба Вентури

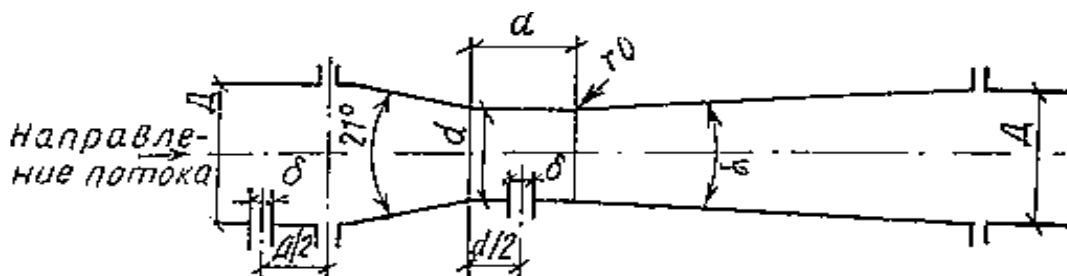


Рис. 7

Переход из узкого сечения осуществляется без закруглений. Угол входного конуса должен быть равен 21° . Угол выходного конуса должен удовлетворять условию $5^\circ \leq \varphi \leq 15^\circ$. Отбор статических давлений осуществляются через кольцевые камеры (на расстоянии

$D/2$ и $d/2$ от начала и конца входного конуса соответственно), соединенные с внутренней полостью не менее чем шестью отверстиями.

Искомый расход воздуха пропорционален корню квадратному из перепада давлений. Чтобы получить линейную шкалу указателя расхода, можно использовать передаточный механизм.

Трубки, соединяющие сужающее устройство с дифференциальным манометром, изготавливают, как правило, из стали, меди или полимерных материалов. В последнее время чаще стали использовать трубки из полимерных материалов из-за их низкой стоимости, легкости и гибкости.

Для отбора давления перед сужающими устройствами и за ними используются либо кольцевые камеры, снабженные патрубками (очень дорогостоящие), либо оболочки съемной диафрагмы; они завинчиваются, затем завариваются или запаиваются во избежание утечек.

Выбор наиболее подходящего типа сужающего устройства производится на основе технико-экономических соображений. Самым дешевым устройством является диафрагма, однако, ее установка приводит к значительным потерям давления. Сопло вызывает менее высокие потери давления, а трубка Вентури самые низкие потери давления воздуха по системе воздухораспределения. Однако трубка Вентури не получила массового распространения, во-первых, из-за его высокой стоимости и, во-вторых, из-за того, что для размещения ее требуется участок воздуховода значительной длины

Если возникает потребность использовать расходомеры для дистанционных измерений, графической регистрации показаний или их включения в систему регулирования, необходимо установить электрические или пневматические преобразователи результатов замера. В таких установках на вход преобразователя подается значение перепада давления на сужающем устройстве, а на выходе появляется соответствующий электрический сигнал или управляющее давление. Нужно помнить, что установка сужающего устройства в каком-либо месте воздуховода требует до места установки и после него наличия прямолинейных участков воздуховода определенной длины, которая должна быть не менее нескольких гидравлических диаметров воздуховода.

Измерение скорости в предположении одномерности потока

При измерениях максимальной скорости воздуха вдоль оси воздуховода средняя скорость воздуха в этом мерном сечении составит 0,8-0,85 от максимального значения скорости. При этом предполагается, что поток симметричен, не закручен и имеет ламинарное движение воздуха по всему сечению (не имеет турбулентных участков).

Измерение расхода утечек воздуха в воздуховодах.

В сетях распределения воздуха очень часто наблюдаются утечки, обусловленные не герметичностью стыков (фланцев) между участками воздуховодов, воздуховодами и различной аппаратурой, воздуховодов и воздухораздающими устройствами и так далее.

Схема сети воздуховодов

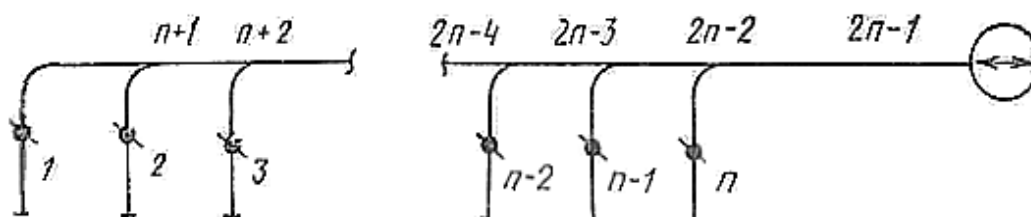


Рис. 8

Для измерения расхода утечек воздуха поступают следующим образом: герметично закрывают все отверстия в воздуховодах с 1 по n отводы запорными устройствами (заслонками, если они достаточно герметичны для представленной сети) или с помощью других необходимых работ.

Отверстия, предусмотренные конструкцией сети, являются воздухораздающими устройствами (отверстия обдува, диффузоры, решетки и другие подобные устройства), расположенные по всей длине.

Проверка герметичности может осуществляться на каком-то определенном участке или по всей сети (рис. 8). Например, проверить участок сети, отводы с 1 по 3 или всю сеть отводы с 1 по n .

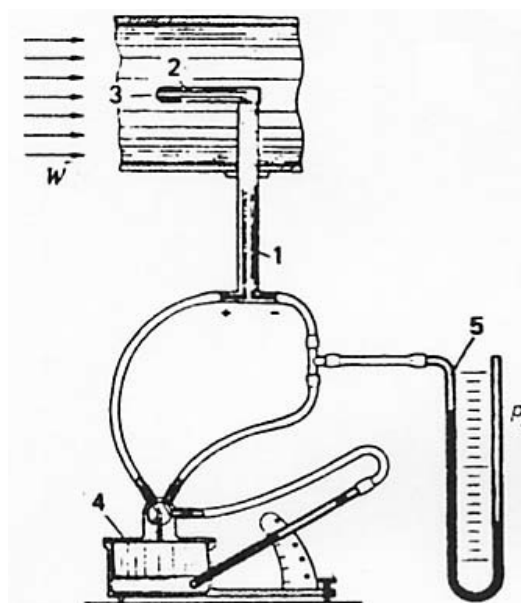
Затем с помощью любого контрольно-измерительного устройства, например диафрагмы, измеряют расход, проходящий через вентилятор. При этом работа вентилятора приводит к наддуву или падению давления в проверяемом участке или всей сети (в зависимости от того, работает система вентиляции и кондиционирования на приток или на вытяжку), а давление испытания приблизительно соответствует рабочему давлению. В зависимости от степени искомой герметичности можно будет принять те или иные значения расходов утечек.

В основном в настоящее время широко используются не все представленные методы замеров расхода воздуха в воздуховодах, а только: метод кругового сканирования, метод выбора точек измерения, метод входной насадки. Это объясняется тем, что остальные методы очень трудоемки в период проведения и анализов замеров.

Методы для измерения расхода и скорости движения воздушного потока в воздухоподающих устройствах.

Метод локального измерения.

Измерения осуществляются в нескольких точках, распределенных по сечению отверстий, с помощью либо трубок Пито (рис. 10) или Прандтля (рис. 9), либо термоанемометров. Однако вследствие, как правило, закрученного потока с завихрениями (турбулентных участков) результаты сравнительно неточны.



- 1 – канал отбора скоростного напора;
- 2 – статическое давление;
- 3 – полное давление ;
- 4 – манометр с наклонной трубкой (например, микроманометр типа ММН);
- 5 – U – образный манометр;

На рисунке показано измерение динамического и статического давления в воздухопроводе одновременно.

Хотя намного чаще проводят измерение одного давления (полного, динамического или статического).

Рис. 9

Самым простым измерительным прибором является трубка Прандтля (рис. 9), в носовой части которой, устанавливаемой в потоке воздушной среды параллельно оси, имеется отверстия 2 и 3 для отбора давления.

Трубки Пито или Прандтля используются для измерения динамического давления (скоростного напора, откуда сразу можно получить скорость движения воздуха) в потоке движущейся сплошной среды, то есть давление, которое является результатом полного преобразования кинетической энергии потока в энергию давления.

Однако чаще используется прибор, известный под названием трубка Пито (рис. 10), которая позволяет измерять одновременно статическое и полное давление в воздушном потоке.

Прибор имеет два отверстия для отбора давления. Одно, расположенное на переднем конце носовой части трубки, параллельной потоку, отбирает полное давление. Другое отверстие имеет форму щели, ось которой перпендикулярна оси потока. Через него отбирается статическое давление в воздушном потоке. Тогда динамическое давление (скоростной напор) будет равен разности полного и статического давлений.

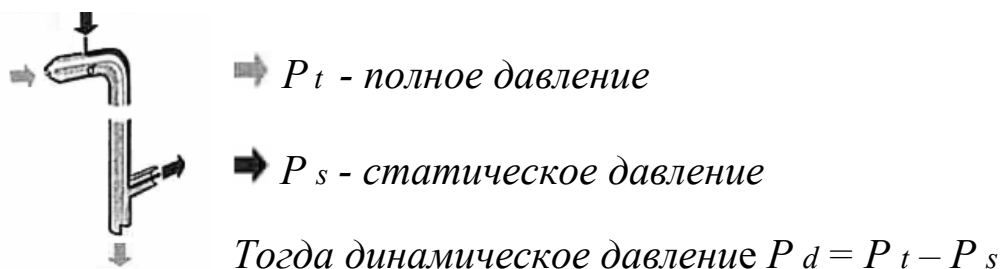


Рис. 10

В любом случае необходимо помнить, что следует различать воздуховоды с избыточным давлением или разрежением (воздуховоды приточные или вытяжные, рис 11).

Распределение давлений в воздуховодах с избыточным давлением (слева) и разрежением (справа)

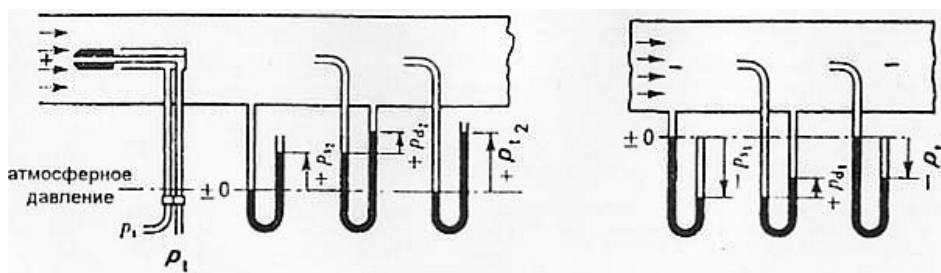


Рис. 11

Метод измерительного раструба.

Это устройство, обычно оснащенное выравнивающей решеткой, подсоединяют к отверстию. Скорость воздушного потока измеряют в минимальном сечении раструба.

Измерение расхода воздуха через воздухоподающие устройства с применением различных контрольно-измерительных приборов.

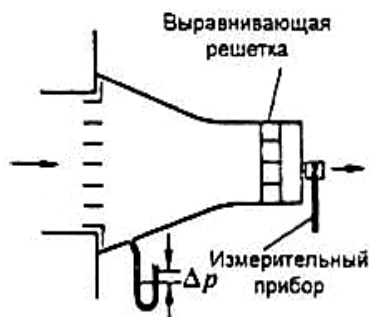


Рис. 12

На рис. 12 представлено измерение с помощью микроманометра или анемометра с крыльчаткой большого диаметра.

На рис. 13 представлено, измерение с помощью термоанемометра или анемометра с крыльчаткой малого диаметра.

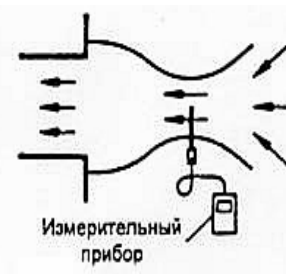


Рис. 13

Удовлетворительные результаты измерений достигаются, если потери давления в отверстиях значительно больше, чем потери в раструбе. В случае необходимости результаты следует скорректировать. Этот метод наиболее широко применяется для измерения расхода воздуха через решетки, диффузоры, анемостаты.

Метод нуля.

С помощью вспомогательного регулируемого вентилятора воздух всасывается в измерительную камеру, подсоединенную к отверстию таким образом, чтобы в этой камере установилось давление, равное атмосферному (избыточное давление равно нулю). Между измерительной камерой и вентилятором устанавливают диафрагму или мерное сопло для выполнения точных замеров расхода воздуха. Результаты измерений вполне удовлетворительные, однако, сам метод достаточно неудобен при реализации его, поскольку в настоящее время еще нет полностью пригодной аппаратуры для проведения таких замеров.

Экспериментальный метод разворачивающегося мешка.

В этом методе прямо на вентиляционное отверстие надевают очень легкий пластиковый мешок (или любой другой мешок из герметичных материалов), свернутый или сложенный гармошкой таким образом, чтобы в мешке не оставалось воздуха. Поток воздуха,

идуший через вентиляционное отверстие, и наполняющий мешок, резко останавливаются, как только статическое давление в воздуховоде выше по потоку от отверстия превысит величину, начиная от которой в воздуховоде возникают возмущения потока. Этот метод относительно не точен из-за возникновения дополнительного сопротивления сети и так называемого человеческого фактора.

Метод лазерной томографии.

Лазерный томограф-это специальная система, которая позволяет визуализировать воздушный поток благодаря использованию томографии, то есть технологии, обеспечивающей лазерную подсветку воздуха, в который предварительно введены очень мелкие посторонние частицы (рис. 14). Наблюдение светящейся плоскости после этого производится либо непосредственно, либо с помощью видеокамеры.

Благодаря визуализации потока воздуха на выходе из воздухообразующего устройства на основе распределения скоростей во всех точках светящейся плоскости можно не только рассчитать расходы воздуха, но и управлять потоком воздуха на выходе из вентиляционных отверстий.

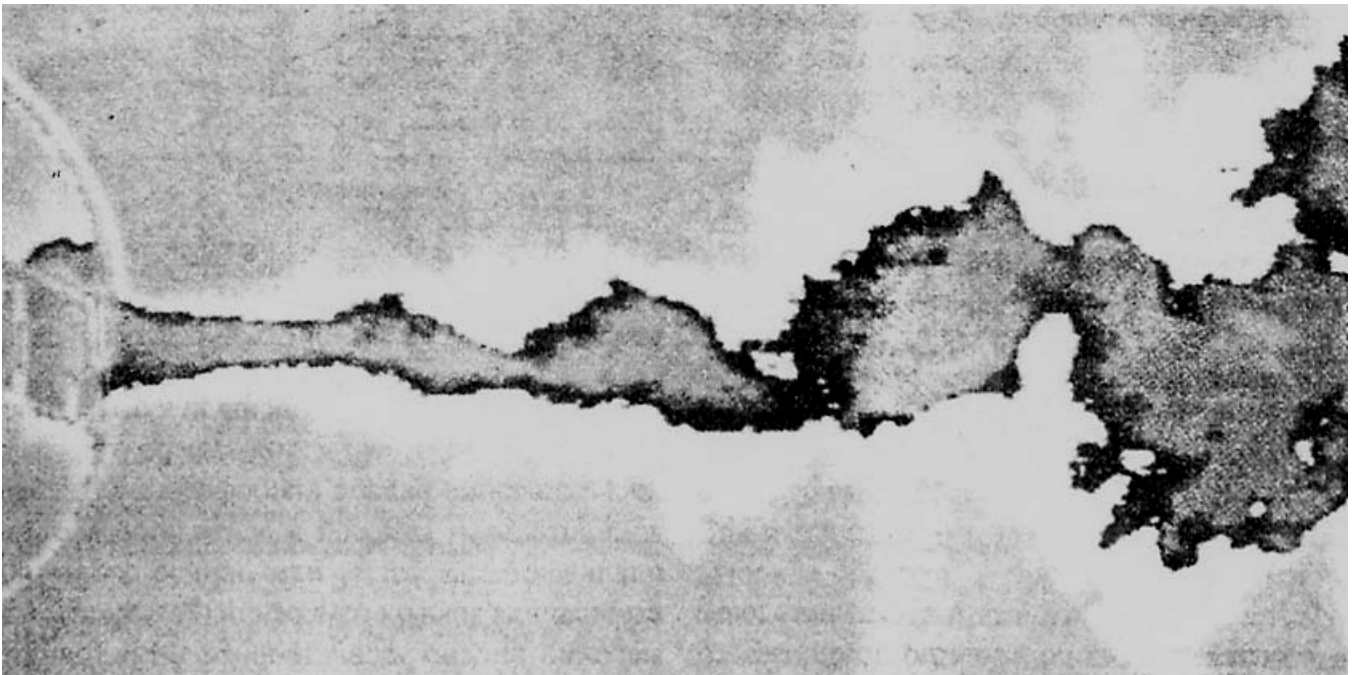


Рис. 14

Измерение скорости движения окружающего воздуха.

Скорость движения воздуха в данном объеме (например, в производственных помещениях) характеризуется изменениями во времени и в пространстве окружающего воздуха как по величине, так и по направлению. Перемещения воздушных масс в таких помещениях в той или иной мере не контролируются, поскольку они вызваны не только истечением воздушного потока или забора воздуха через воздухоотдающие устройства, но и конвективными течениями, возникающими при передвижениях рабочих, тележек, стеллажей, ящиков, при открывании дверей, изменении периода года и тому подобное. В результате распределение скоростей приобретает особо сложный характер, и представить его можно только статической моделью.

Многочисленные эксперименты показали, что в большинстве случаев скорость колеблется около средней величины, характеризуемой разбросом, который может быть представлен нормальным распределением, описываемым с помощью уравнения Гаусса-Лапласа. Существует два способа получения результатов измерений.

В течение отрезка времени продолжительностью, например, около 200 секунд выполняют примерно 500 замеров мгновенной скорости движения воздушного потока в определенной точке помещения.

Находится среднеарифметическое значение скорости и среднеквадратичное отклонение, после, а затем находится скорость движения воздушного потока по закону Гаусса-Лапласа.

В методе, который называют частотно-временным (случайной выборки), с помощью самопишущего прибора или интерполирующего прибора фиксируют, в течение какого времени (в процентах от общего времени измерений) скорость воздуха превышает некоторую наперед заданную величину. Строится вероятная шкала распределения скорости воздуха в помещении с учетом выбранного закона и кривая вероятности нормального распределения (кривая Гаусса) и определяется скорость.

Используемые для измерения пульсации скорости приборы представляют собой, как правило, нагреваемые проволочные термоанемометры. Они должны иметь определенные характеристики,

в частности, высокое быстродействие, температурную компенсацию, определение изменений не только величины, но и направления скорости распространения воздушного потока в помещении. Кроме того, датчик температуры должен иметь постоянную времени ниже 2-х секунд и удовлетворять требованиям так называемого закона синуса (угол падения, под которым воздушная струя будет набегать на приемную поверхность датчика прибора) в двух возможных направлениях потока.

Временной интервал измерений должен составлять не менее 200 секунд, а в случае существенных изменений скорости, то есть когда разность замеров, выполненных в одном месте помещения, превышает 10%, этот интервал, может составлять 400 секунд. Вследствие того, что характеристики исследуемой используемых скорости могут сильно отличаться, результаты измерений нередко могут иметь значительные расхождения.

В настоящее время используют не все представленные методы замеров расхода воздуха в воздухоподающих устройствах. В основном применяют: метод локального измерения и метод измерительного раструба. Это объясняется тем, что остальные методы очень трудоемки в период проведения измерений и анализов замера или требуют очень дорогостоящую аппаратуру.

Приборы для измерения расхода и скорости движения воздушного потока в воздуховодах и в воздухоподающих устройствах.

Анемометры.

Чашечные анемометры (рис. 15) применяются главным образом для измерения средней скорости движения воздуха от 1 до 20 м/с. Приемной частью анемометра является четырех чашечная метеорологическая вертушка для измерения скорости ветра независимо от его направленности.



- 1- метеорологическая вертушка;
- 2 – вал;
- 3 – проволочные дужки для защиты от механических повреждений;
- 4 – счетный механизм;
- 5 – центральная стрелка счетного механизма, показывающая единицы и десятки оборотов;
- 6 – левая стрелка, показывает тысячи оборотов счетного механизма;
- 7 – правая стрелка, показывает сотни оборотов счетного механизма;
- 8 – включение и выключение счетного прибора (арретир);
- 9 – ушки;
- 10 – винт для закрепления на стойке;

Рис. 15

Для измерения скорости анемометр вносят в воздушный поток так, чтобы ось вертушки чашечного анемометра располагалась перпендикулярно воздушному потоку. Для малых значений скоростей в каждой точке необходимо провести измерение 2 раза, при несоответствии результатов в пределах $\pm 5\%$ выполняют дополнительные измерения. При измерении скорости движения воздуха в проемах наружных ограждений зданий, в проемах между помещениями и тому подобное анемометры закрепляют на стойках

или штангах, чтобы не заслонять площадь живого сечения проема, в котором производят измерение. В отверстиях площадь 1-2 м² средняя скорость движения определяется при медленном перемещении анемометра по всему сечению. При больших размерах сечение разбивается на несколько равновеликих площадей, и измерение проводят в каждой из них.

Крыльчатые анемометры (рис. 16) используются в основном в воздуховодах и каналах для измерения скорости направленного воздушного потока от 0,2 до 10 м/с.

- 1 – крыльчатка;
- 2 – ось;
- 3 – корпус-обечайка;
- 4 – счетный механизм;
- 5 – циферблат имеет три шкалы (единиц, сотен и тысяч);
- 6 – арретир (вкл. и выкл. счетного механизма);
- 7 – два ушка;

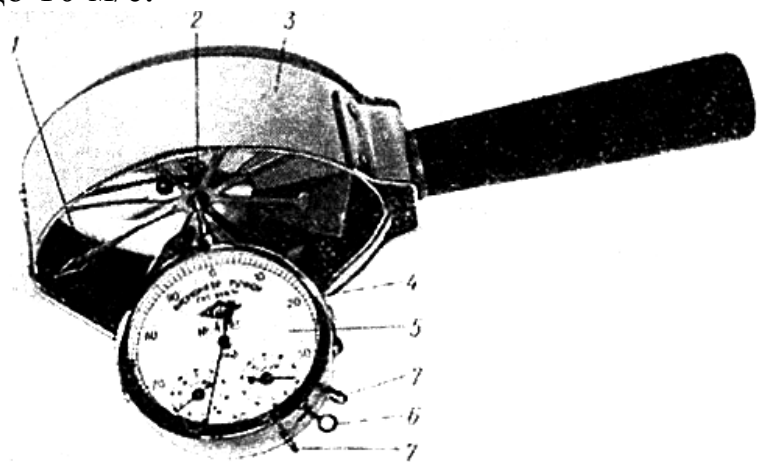


Рис. 16

В стандартном исполнении они всегда соединены с указателем, который дает среднее значение скорости в течение определенного времени, как правило, за минуту, хотя современные анемометры производят измерения даже за более короткий срок до 10 секунд.

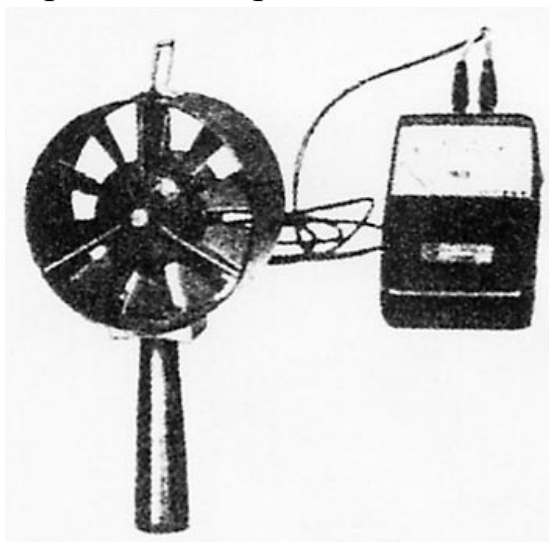


Рис. 17

Оснащенный генератором постоянного тока, крыльчатый анемометр (рис. 17) позволяет, будучи соединенным, с вольтметром, сразу определяет скорость воздушного потока в мерном сечении. Приборы такого типа очень хорошо подходят для дистанционных измерений.

При использовании чашечных или крыльчатых анемометров необходимо вначале обеспечить соответствие их настройки калибровочным кривым изготовителя.

Существуют также анемометры-адаптеры (рис. 18) с мельничной вертушкой, специально предназначенные для установки в воздуховодах. Отсутствие индикатора компенсируется наличием аналогового или цифрового выхода. Отдельные модели оборудованы даже компьютерами, позволяющими рассчитывать среднюю скорость потока за определенный промежуток времени.



Рис. 18

В электронных анемометрах число оборотов мельничной вертушки в отличие от механических подсчитывают с помощью фотоэлектронного датчика, определяющего число падающих световых импульсов во время вращения вертушки (рис. 19).



Рис. 19

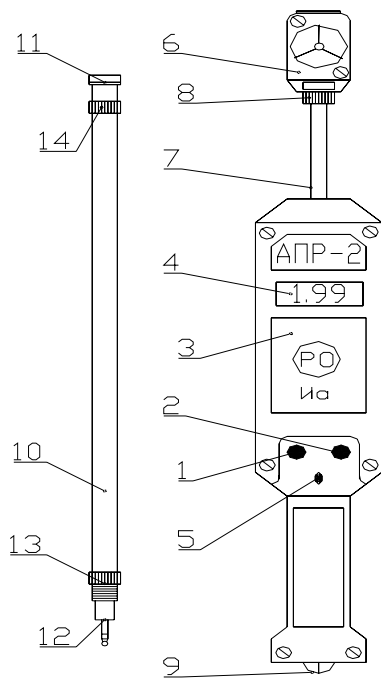


Рис. 20

Например, анемометр LG1000 (производимый английской фирмой) с диапазоном измерения от 0,5 до 25 м/с, и анемометр MiniAir2 (рис. 20) с выносными датчиками (различных диаметров от 15 до 110 мм), временем измерений от 2 секунд до 2 часов, и постоянным высвечиванием среднего накопленного значения, позволяющие в любой момент показать на табло максимальное, минимальные и среднее значения скорости потока.

Существуют анемометры, работающие на основе другого принципа. Например, анемометр АПР-2 (рис. 21), изготовленный российской фирмой НПФ «ЭКОТЕХИНВЕСТ») основан на тахометрическом принципе преобразования скорости воздушного

потока в частоту электрического сигнала с помощью металлической крыльчатки, угловая скорость вращения которой линейно зависит от скорости вращения набегающего потока. При этом ее лопасти пересекают магнитное поле катушки индуктивности и вносят в нее активные потери, что используется для формирования последовательности импульсов напряжения, частота следования которых также линейно связана со скоростью измеряемого воздушного потока.



- 1,2 – кнопки управления;
- 3 – измерительный блок из ударопрочной пластмассы;
- 4 – жидкокристаллический дисплей;
- 5 – вывод контрольной точки, предназначен для проверки (поверки) первичного преобразователя;
- 6 – первичный преобразователь;
- 7 – выдвижная штанга;
- 8 – накидная гайка;
- 9 – крышка с винтом закрывающая элементы питания;
- 10 – удлинитель;
- 11, 12 – штекерные разъемы;
- 13 – резьбовая втулка;
- 14 – накидная гайка;

Рис. 21

Средняя скорость воздушного потока вычисляется как частное от деления суммы числа импульсов напряжения первичного преобразователя, образованное за время измерения, на сумму числа импульсов тактового генератора, являющуюся числовым выражением длительности измерительного интервала. Начало и конец каждого измерения задаются оператором кратковременным нажатием на кнопку управления. Длительность интервала измерения может быть в диапазоне от 10 до 999 секунд. Диапазон измерения от 0,2 до 20 м/с. Предназначен для измерения средней скорости воздушного потока в системах промышленной вентиляции, а также для метеорологических испытаний. Как видно из представленной характеристики наши

современные электронные анемометры не только не уступают зарубежным аналогам, но и в некотором смысле превосходят их по качеству изготовления и ценовой политике проводимой производителями контрольно-измерительной аппаратуры.

Электронный счетчик импульсов сразу же выдает результаты измерений. Диаметр вертушки составляет от 10 мм до 150 мм. С недавних пор на рынке появились новые приборы с цифровым табло, способные подсчитывать среднюю скорость за минимальное время 1 с и оборудованные устройством для электронной компенсации минимального значения механических усилий на вертушке. Электропитание таких приборов обеспечивается от простых пальчиковых батареек.

Диапазон измерений крыльчатых анемометров от 0,1 м/с до 20 м/с, электронных анемометров от 0,01 м/с до 50 м/с.

Створчатые анемометры (рис. 23) или датчики направления потока содержат, как правило, стержень, по которому воздух проникает в измерительную камеру.

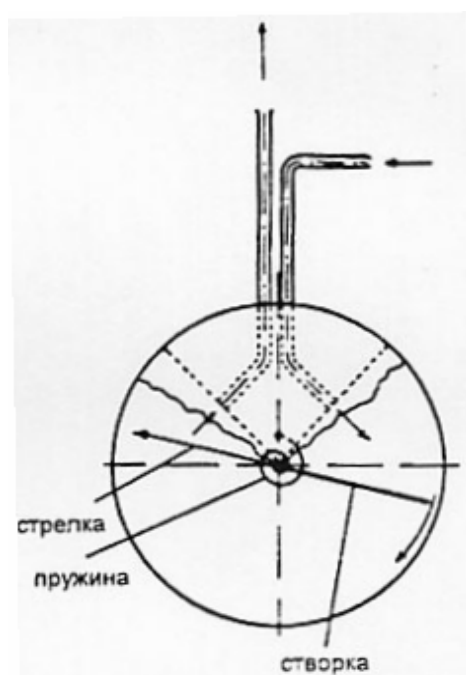


Рис. 22

(рис. 22) находится створка (лопасть). Давление набегающего потока воздуха действует на створку и перемещает ее, преодолевая силу реакции возвратной пружины. Выход воздуха из прибора происходит через боковые отверстия на стержне. Используя различные наконечники приемного стержня, можно измерять малые скорости от 0,1 до 1 м/с.

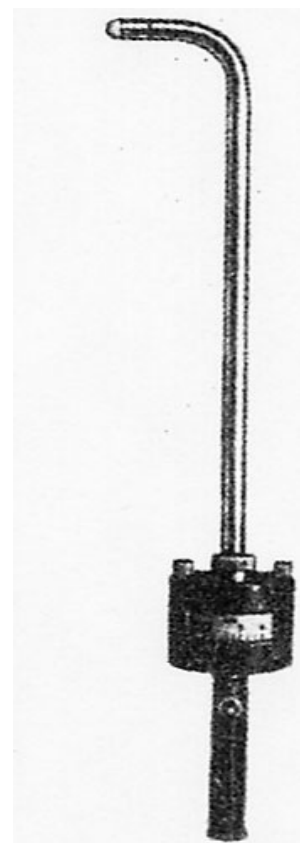


Рис. 23

Циферблат створчатого анемометра проградуирован в м/с. Прибор очень прост и удобен для использования, однако его точность не высока.

В проволочных анемометрах для измерений скорости воздушного потока используются тонкие металлические проволочки диаметром от 1 до 10 мкм с электронагревателем. На рис. 24 изображен прибор старого образца, на рис.25 современный отечественный прибор.

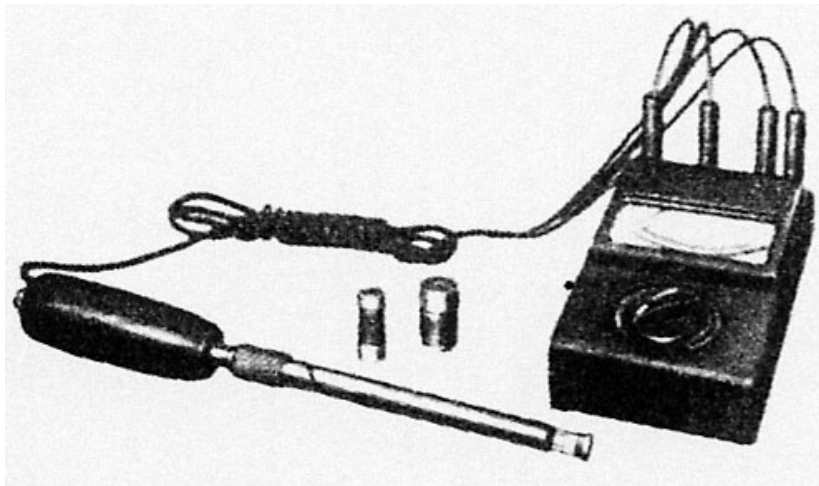


Рис. 24



Рис. 25

Современные приборы намного компактнее предшествующих образцов, и отличаются не только более высокой точностью измерения, но и большими возможностями (уменьшенное время измерения, связь с персональным компьютером и т.д.). Их сопротивление зависит от температуры, поэтому такие проволочки включаются в качестве одного из плеч в измерительный мост Уитстона, и будучи обдуваемыми воздушным потоком, меняют свое сопротивление, охлаждаясь этим потоком в той или иной мере в зависимости от его скорости.

Такие анемометры могут запитываться, с одной стороны, постоянным током, когда проволочка нагревается от источника постоянного тока со стабилизатором напряжения и, следовательно, стабилизацией сопротивления, а с другой стороны, по схеме, когда поддерживается постоянная температура проволочки при любой скорости воздушного потока, проходящего через датчик. В последнем случае схема подключения проволочки предусматривает наличие обратной связи, которая за счет изменения силы тока в зависимости от скорости набегающего воздушного потока на датчик поддерживает постоянную температуру проволочки. Изменения силы тока, в свою очередь, преобразуются в сигнал величины скоростного воздушного потока, поступающей на аналоговый аппарат.

Термоанемометры используют эффект подогреваемой термопары (рис. 26 – 30) и предназначены для измерения скорости воздушного потока и его температуры. Электродвижущая сила, возникающая в результате разности температур обдуваемой и необдуваемой термопар, пропорциональна скорости воздушного потока.

Большая часть приборов чувствительна к направлению потока и быстро загрязняется.



Рис. 26

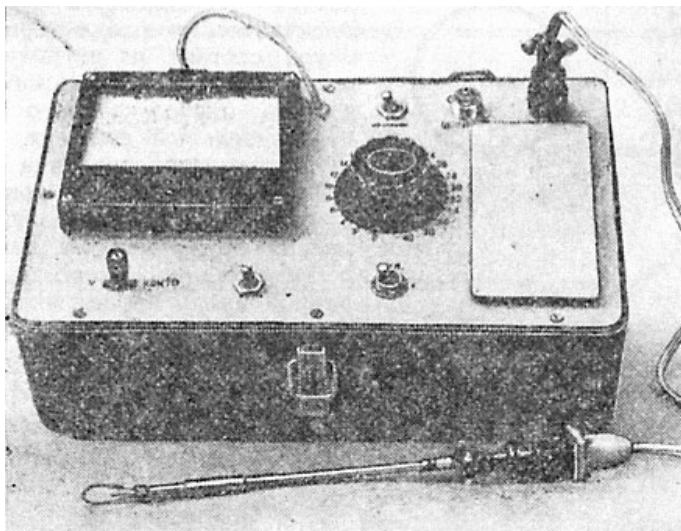


Рис. 27

Кроме того, на показания оказывает большое влияние температура потока, если они не оборудованы встроенной системой температурной компенсации. Для того чтобы показания прибора быстро выходили на установившийся режим, необходимо иметь малую массу чувствительного элемента (минимальная инерционность).

В ряде термоанемометров используются терморезисторы (термисторы) с отрицательным температурным коэффициентом, включаемые в качестве одного из плеч в измерительный мост Уитстона (рис. 28). До недавнего времени температура большинства чувствительных элементов находилась в диапазоне от 100 до 200 градусов Цельсия, вследствие чего естественная конвекция порождаемая этими элементами, оказывала значительное влияние на показания термоанемометров в зависимости от его пространственной ориентации и направленности течения воздушного потока при измерениях малых скоростей потока. В последнее



рис. 28

время стали появляться модели, температура чувствительных элементов в которых приближается к 40 градусам Цельсия, что значительно снижает воздействие на датчик естественной конвекции. Кроме того, эти модели оборудованы вторым термистором, предназначенным для компенсации температуры воздуха, благодаря чему показания такого типа приборов не зависят не только от направленности течения, но и от температуры набегающего ан датчик воздушного потока. Диапазон измерений подобных термоанемометров от 0,1 до 3 м/с с очень высокой точностью.

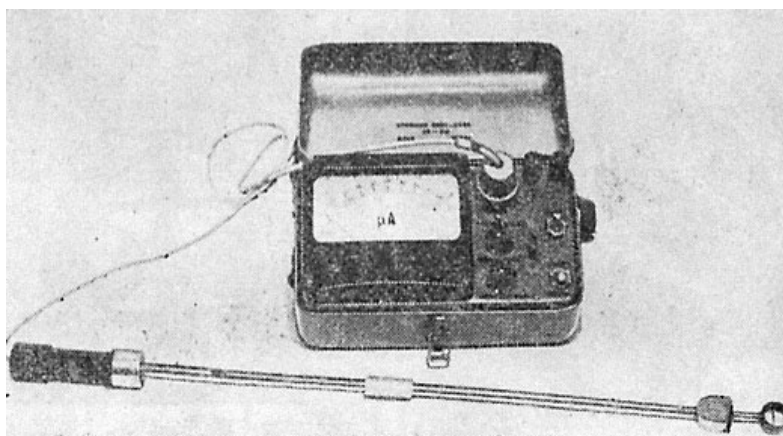


Рис. 29



Рис. 30

Как говорилось ранее, что современные приборы намного компактнее. Для гиперболического сравнения на рис. 30 представлен самый маленький термоанемометр фирмы «TESTO», а на рис. 29 термоанемометр ЭА-2М. На рис. 26 и рис. 28, также представлены термоанемометры фирмы «TESTO». Они повсеместно используются при контроле или пуско-наладке систем вентиляции и кондиционирования. Их ценят за высокую точность показаний при измерении требуемых параметров (скорости и температуры воздушного потока), при различных климатических условиях возникающих при работе систем вентиляции и кондиционирования, как внутри обслуживаемого помещения, так и снаружи него.

Дифференциальные микроманометры с применением трубок Пито, Прандтля или Ниюгаз, МИОТ, Хлудова и другие.

U-образные манометры (рис. 31) состоят из стеклянной трубки, изогнутой в виде буквы U, наполненной водой, спиртом, ртутью, и представляют собой простейшие приборы.

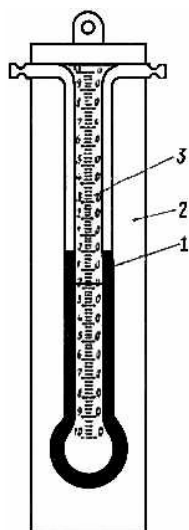


Рис. 31

- 1 – стеклянная трубка;*
 - 2 – подставка под стеклянную трубку;*
 - 3 – шкала с делениями и нулевой отметкой;*
- где ρ_1 и ρ_2 – плотности двух жидкостей*

Для измерения слабых давлений с помощью U-образной трубки каждая ее ветвь наполняется жидкостью с низкой плотностью, плавающей поверх более плотной жидкости, например, нефть над поверхностью воды; на этом принципе основана работа двухжидкостного манометра (рис. 32).

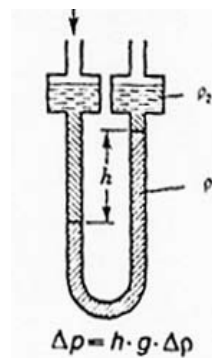


Рис. 32

Смысл такой конструкции заключается в увеличении разности уровней (в 42 раза для пары анилин-вода по отношению к трубке, заполненной только одной водой).

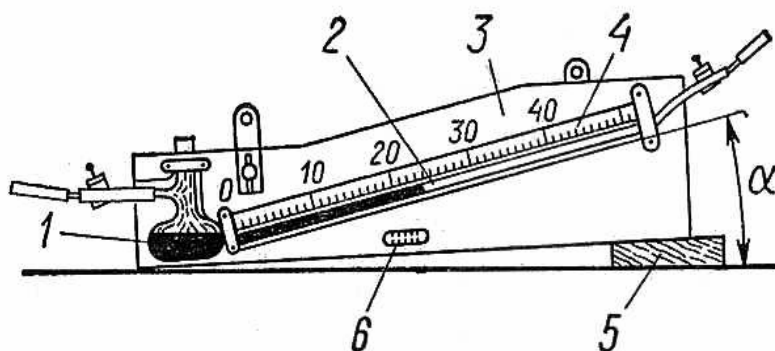


Рис. 33

- 1 – резервуар с жидкостью;*
- 2 – стеклянная трубка;*
- 3 – основание;*
- 4 – шкала;*
- 5 – клин;*
- 6 – уровень;*

Тягометр (рис. 33) с вертикальной или наклонной неподвижной шкалой отличается от U-образного тем, что одна трубка заменена на резервуар. Площадь резервуара в 500-700 раз больше площади трубки, то есть объем резервуара достаточно велик, поэтому

снижением уровня жидкости в трубке пренебрегают. Отсчет ведется по уровню жидкости в трубке. Точность измерения тягометра с вертикальной шкалой такая же, как и в U-образном. Точность измерения можно повысить, если тягометр имеет наклонную шкалу. Благодаря наклону трубки увеличивается длина столба жидкости, то есть повышается точность измерения.

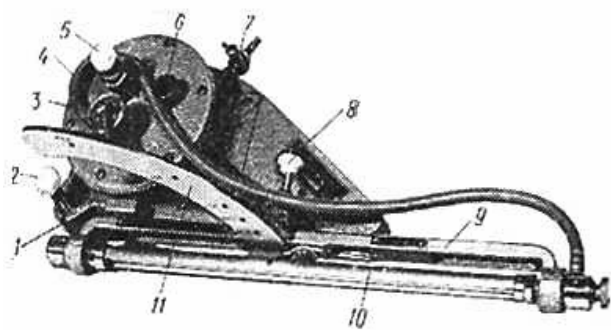


Рис. 34

1 – плита; 2 – регулировочные винты; 3 – резервуар; 4 – трехходовой кран; 5 – отверстие для заливки и регулятора нулевого положения мениска; 6 – заливочная пробка; 7 – сливной кран для слива жидкости; 8 – фиксатор; 9 – кронштейн; 10 – стеклянная трубка; 11 – стойка;

К таким приборам относятся микроманометры FL 1.5 (AIRFLOW), ЦАГИ (рис. 35) и ММН (рис. 34), оборудованные специальными шаровыми механизмами, позволяющими изменять уклон трубки.

1 – закрытый цилиндрический резервуар;
 2 – обойма;
 3 – станина;
 4 – уровни;
 5 – регулировочные винты;
 6 – стойка;
 7 – стопорное устройство;
 8 – измерительная трубка;
 9 – трубка со штуцером;
 10 – резервуар со штуцером;

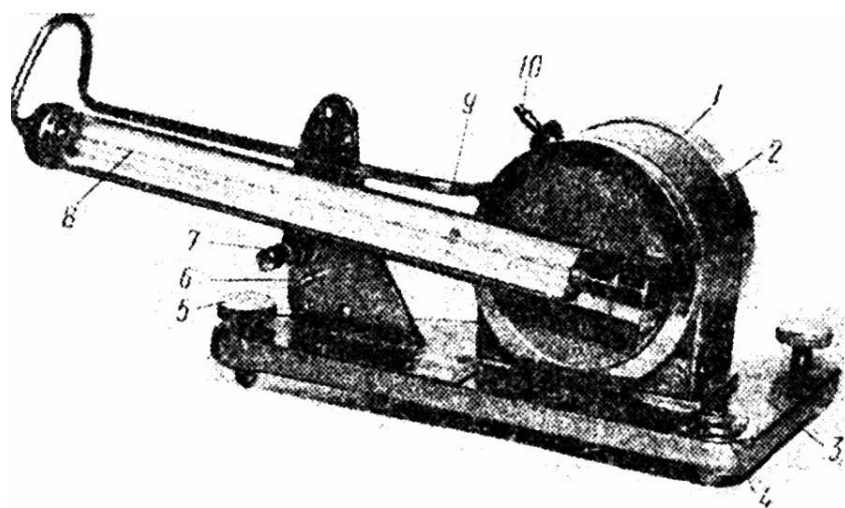


Рис. 35

Эти манометры в настоящее время стараются меньше использовать, так как им на смену пришли электронные дифференциальные микроманометры (рис. 37-38).

Электрические микроманометры представляют собой два электрода, которые вместе с мембраной образуют электрическую емкость с воздушной прослойкой (рис. 36). Когда мембрана под действием разности давлений двигается относительно среднего равновесного положения, емкость двух воздушных конденсаторов изменяется, что приводит к появлению электрического сигнала. В таких микроманометрах можно менять диапазон измерений. Эта схема может быть вмонтирована в коробку небольших размеров, в результате чего мы получаем портативный микроманометр, как правило, с цифровым табло, который можно носить с собой.

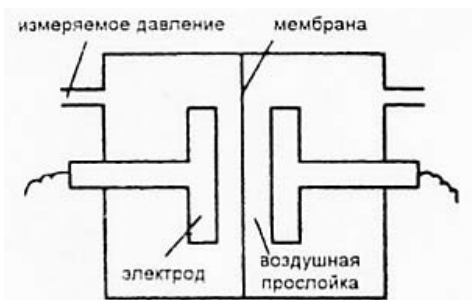


Рис. 36

Встроенный микрокалькулятор алгоритмического принципа обеспечивает вычисление скорости и расхода воздуха в мерном сечении, а также в некоторых современных приборах рассчитывается и среднеарифметическое значение расхода воздуха при проведении замеров по всему сечению.

В настоящее время разработаны модели дифференциального микроманометра ДМЦ-01 (рис. 37) и ДМЦ-01/М (рис. 38) (изготовитель российская фирма НПФ «ЭКОТЕХИНВЕСТ»).



Рис. 37

Встроенный микропроцессор обеспечивает автоматическую установку нуля, проводит измерение и удержание нужного значения на дисплее. Дополнительно ДМЦ-01/М производит расчет, как локальных скоростей, так и расхода воздуха с коррекцией на температуру воздушного потока, а также производит расчет средней скорости и расхода воздуха.

Он оборудован программами самотестирования и автоматической поверки с запоминанием крутизны характеристики.

Основная приведенная погрешность измерения 1%. Как отмечалось выше, наши современные электронные контрольно-измерительные приборы не уступают зарубежным аналогам, и поэтому многие пуско-наладочные службы России используют свое оборудование из-за более низкой стоимости, расширенного круга ремонтной базы, а также из-за того, что некоторые иностранные контрольно-измерительные приборы не прошли стандартизацию в России.



Рис. 38

Схемы присоединения пневмометрических трубок при замерах в воздуховодах различных давлений (рис. 39).

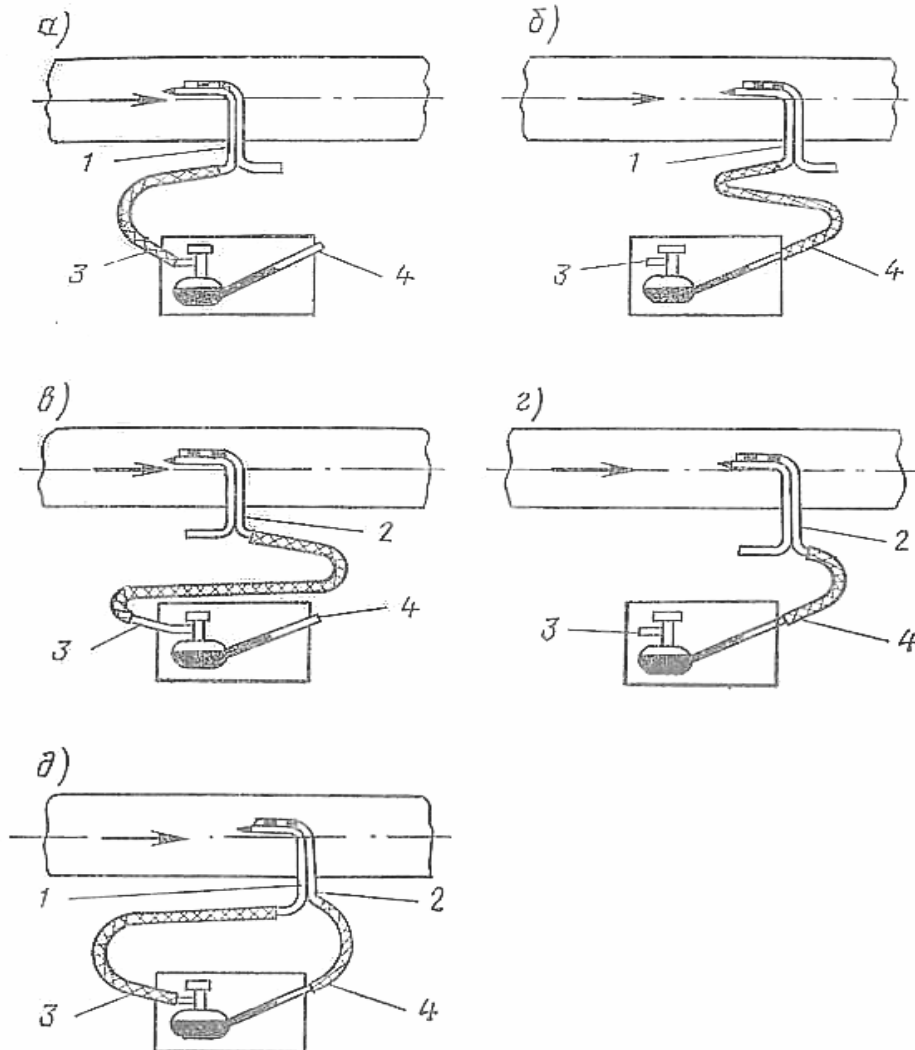


Рис. 39

В качестве приемников давления применяются пневмометрические трубки. Пневмометрические трубки, используемые в практике вентиляционных измерений, отличаются формой головной части и длиной (более подробные объяснения приводились выше).

При измерении давления пневмометрическую трубку вводят в воздуховод через специальное питометрическое отверстие и устанавливают загнутым концом навстречу воздушному потоку. Ось загнутого конца трубки должна всегда быть параллельной потоку воздуха.

При замерах полного положительного давления (рис. 39 а) штуцер полного давления 1 в пневмометрической трубке соединяется с положительным штуцером 3 микроманометра, а отрицательный штуцер 4 остается открытым.

При замерах полного отрицательного давления (рис. 39 б) штуцер полного давления 1 в пневмометрической трубке соединяется с отрицательным штуцером 4 микроманометра, а положительный штуцер 3 остается открытым.

При замерах положительного статического давления (рис. 39 в) штуцер статического давления 2 в пневмометрической трубке соединяется с положительным штуцером 3 микроманометра, а отрицательный штуцер 4 остается открытым.

При замерах отрицательного статического давления (рис. 39 г) штуцер статического давления 2 в пневмометрической трубке соединяется с отрицательным штуцером 4 микроманометра, а положительный штуцер 3 остается открытым.

При замерах скоростного (динамического) давления (рис. 39 д) штуцер статического давления 2 в пневмометрической трубке соединяется с отрицательным штуцером 4 микроманометра, а штуцер полного давления 1 в пневмометрической трубке соединяется с положительным штуцером 3 микроманометра.

Если микроманометр установлен в помещении, находящемся под избыточным давлением или разряжением, то необходимо чтобы открытый штуцер микроманометра сообщался с помощью шланга с атмосферой или помещением, где давление приравнивается к атмосферному.

Для обеспечения герметичности шланги должны плотно прилегать к штуцерам микроманометра и пневмометрической трубке.

Ротаметр или поплавковый расходомер

Для непосредственного измерения расхода в стационарных условиях используют поплавковые расходомеры. Ротаметр (рис. 40) со стеклянной трубкой представляет собой расходомер постоянного перепада давления. Он состоит из вертикально установленной конусной стеклянной трубы, расширяющейся вверх, внутри трубы находится поплавок, диаметр которого чуть меньше диаметра нижнего основания трубы, свободно плавающий в воздушном потоке. Шкала прибора выполняется с равномерными делениями и нанесена на стеклянной трубе

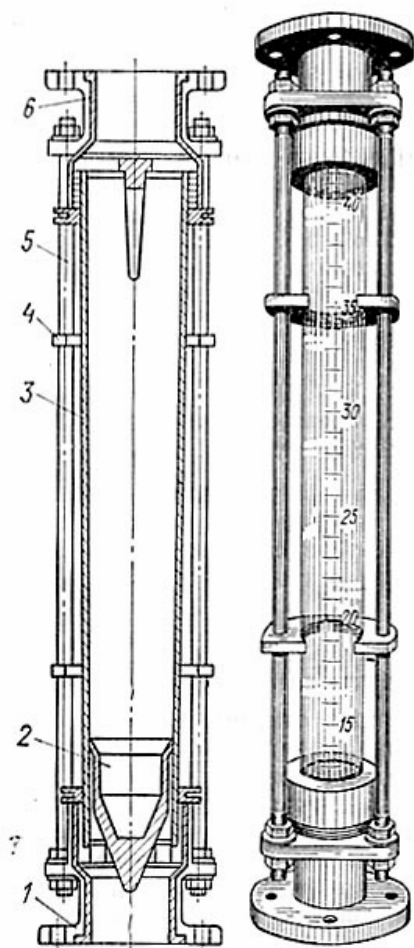


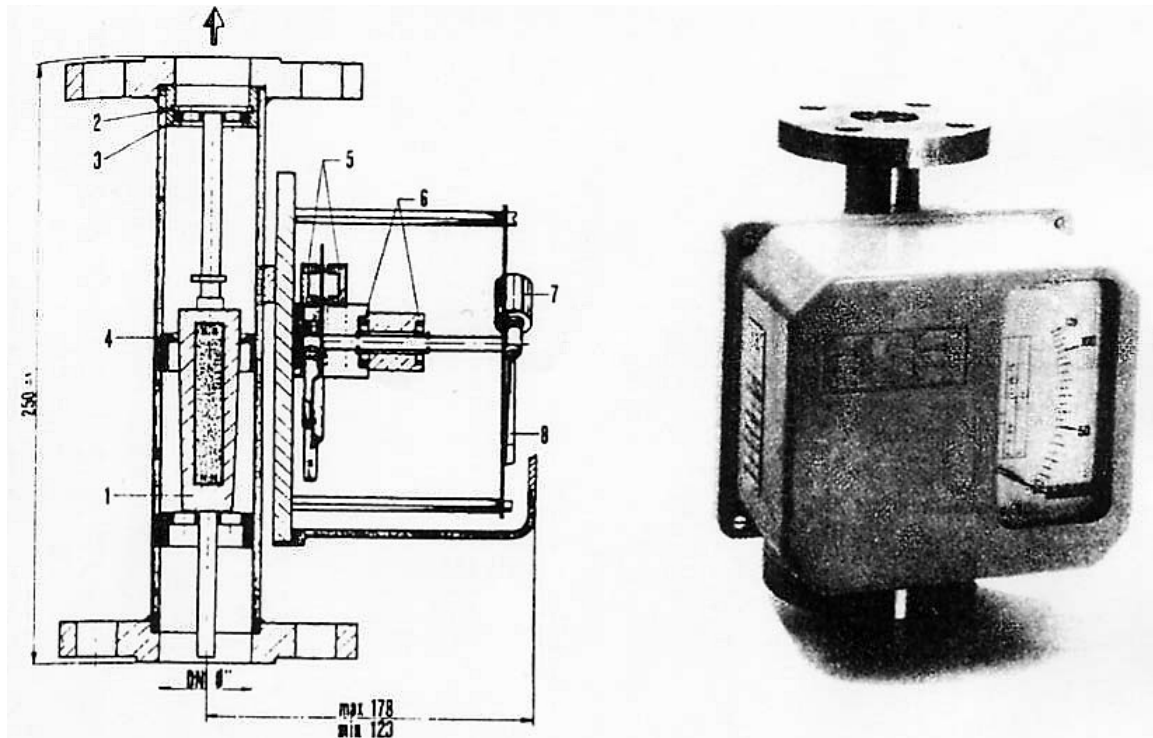
Рис. 40

- 1 – входной штуцер;
- 2 – поплавок;
- 3 – конусная стеклянная трубка;
- 4 – крепежное кольцо;
- 5 – крепежные шпильки;
- 6 – выходной штуцер;

Прибор устанавливается в вертикальном положении при движении потока снизу вверх. При заданной величине расхода поплавок устанавливается в таком положении вдоль трубы под воздействием потока, для которого масса поплавка уравнивается силой, обусловленной перепадом давлений, вызванного прохождением среды через кольцевой зазор между стенками трубки и корпусом поплавка, и подъемной силой. Положение верхней грани поплавка указывает на шкале величину расхода. Для устойчивой работы прибора обод поплавка имеет несколько косых винтовых каналов.

Под действием давления воздушного потока, проходящего через каналы, поплавок все время вращается, вследствие чего центруется в середине потока, не соприкасаясь со стенками трубки, то есть, работает без трения о стенки сосуда, что делает его весьма

чувствительным прибором к незначительным изменениям скоростного потока. Некоторые ротаметры комплектуются ленточным самописцем, которому передается движение поплавка.



Принципиальная схема (слева) и образец (справа) поплавкового расходомера
Рис. 41

На рис. 41 представлен ротаметр с магнитным преобразователем.

С помощью ротаметра можно осуществлять и дистанционное измерение с регистрацией показаний. Область использования ротаметров до 600 м³/ч для воздушного потока.

Лазерные измерители скорости

Принцип работы лазерных измерителей скоростного потока среды заключается в том, что обеспечивается пересечение двух пучков света, испускаемых одним и тем же лазером, и фокусировка их в точке, где проводится измерение (рис. 42). Любая частица сплошной среды, переносимая в струйке тока в процессе движения среды, будет вызывать изменение частоты рассеиваемого света. Принцип лазерного прибора для замера скорости основан на эффекте Доплера-Физо и благодаря оптико-электронной схеме позволяет определить

скорость в данной точке воздушного потока, измеряя частоту рассеянного света.

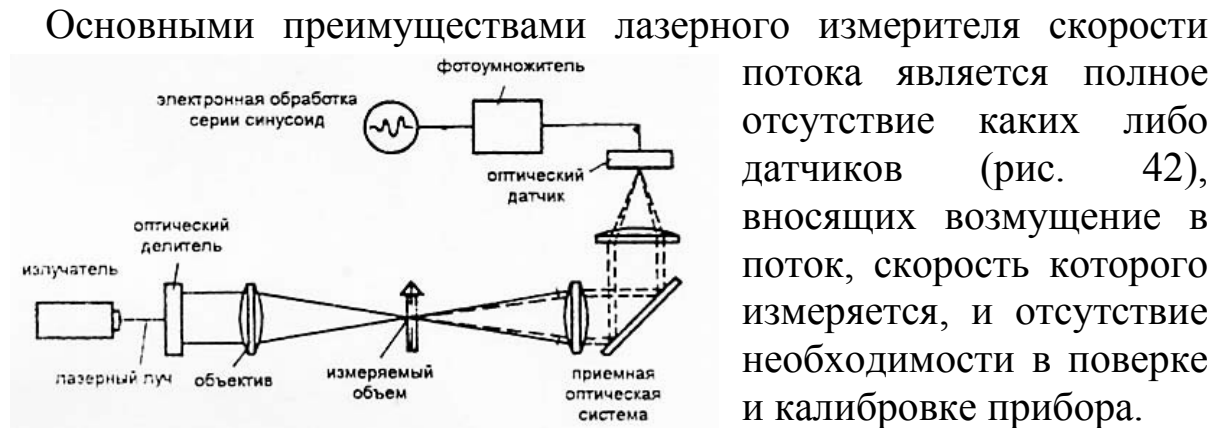


Рис. 42

Основными преимуществами лазерного измерителя скорости потока является полное отсутствие каких либо датчиков (рис. 42), вносящих возмущение в поток, скорость которого измеряется, и отсутствие необходимости в поверке и калибровке прибора.

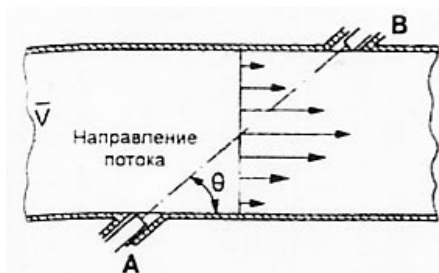
В некоторых приборах, называемых двухмерными, свет рассеивается частицами среды, падает на два фотодатчика, что позволяет измерять скорость частиц в двух направлениях. Он пригоден для измерения даже очень малых скоростей. В приборах используются газовые лазеры типа гелий-неоновых либо аргоновых. Лазерные приборы для измерения скорости потока, как правило, применяются в лабораторных условиях, так как требуют сложной и дорогостоящей аппаратуры.

Ультразвуковые расходомеры.

Принцип их действия основан на том, что звуковая волна, которая распространяется в направлении течения потока среды, проходит определенное расстояние быстрее, чем в обратном направлении (графически представлен на рис. 43). Следовательно, принцип определения расхода основывается на измерении времени прохождения звуковой волны определенного расстояния. С этой целью предусматривается использовать один или два преобразователя-излучателя звуковых сигналов и один или два преобразователя-приемника установленного под углом по отношению с оси. Главной деталью преобразователя излучателя является пьезоэлектрический кристалл.

Этот тип расходомера не вносит никаких возмущений в поток среды, скорость которой измеряется, и не имеет подвижных деталей. Он сравнительно легко устанавливается.

Распределение скорости потока по сечению трубы



Распределение скорости на пути прохождения звука

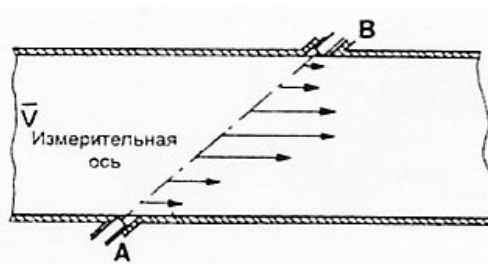


Рис. 43

Расходомеры, основанные на действии силы Кориолиса.

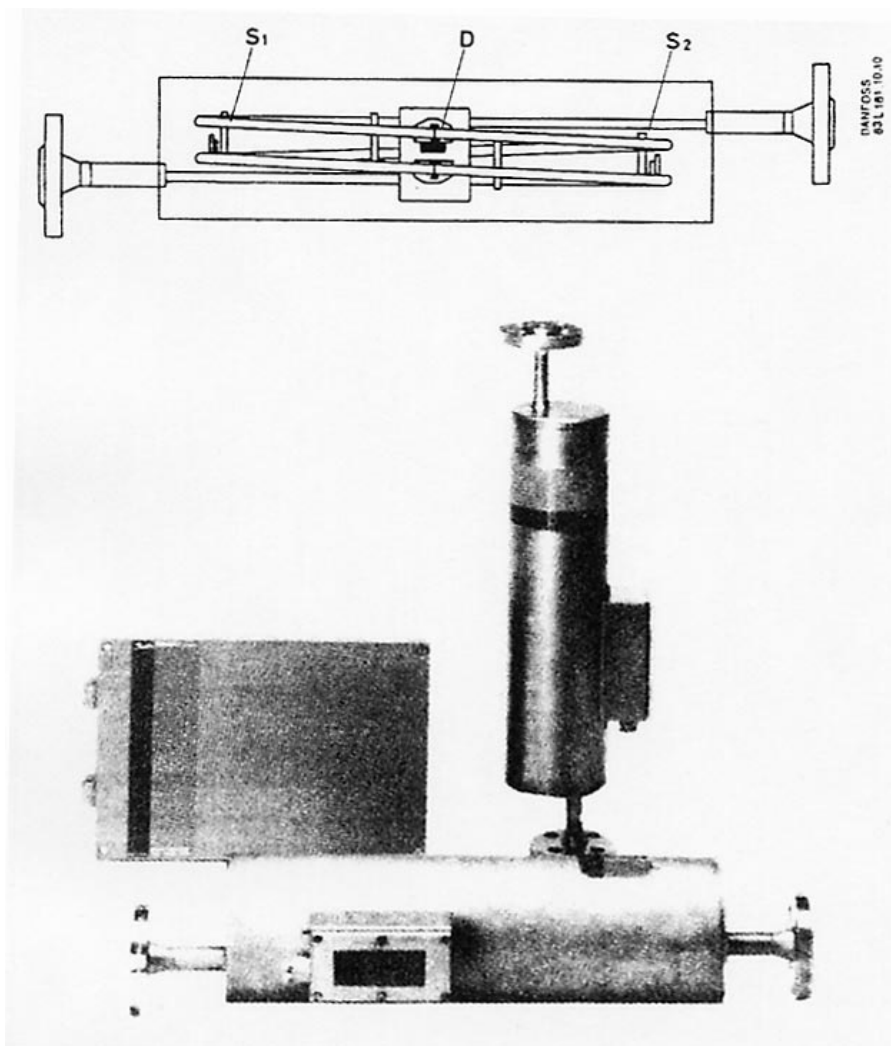


Рис. 44

Принцип работы таких расходомеров (рис. 44) заключается в следующем: когда на электромагнит подается синусоидальное напряжение, мерные кольца (петли) соответствующим образом отталкиваются или притягиваются. Два электромагнитных датчика (установленных по разные стороны колец) отклонения петель передают синусоидальный сигнал на преобразователь, микропроцессор которого рассчитывает расход. Сдвиг по фазе между синусоидальными сигналами от датчиков прямо пропорционален расходу, поскольку он вызван отклонением мерных петель под влиянием силы Кориолиса, возникающей при их колебательном движении под действием синусоидального магнитного поля. Величина силы Кориолиса определяется следующим образом: на частицу среды с массой, двигающейся со скоростью в мерной петле, приводимой во вращательное и колебательное движение с угловой скоростью, действует сила Кориолиса. Известно, что, когда движущая материальная частица испытывает изменение величины или направленности скорости, она противодействует этому изменению с силой, равной по величине, но противоположной по направлению той силе, которая является причиной этого изменения. Другими словами, когда поток среды, движущейся по изогнутому в виде петли трубопроводу, подвергается колебательному воздействию, меняющему положение петли в пространстве, он воздействует на стенки петли с такой же силой по величине, но противоположной по направлению силе Кориолиса.

Электромагнитные датчики расхода

Если электропроводящая среда, протекающая по не намагничиваемому отрезку, пересекает силовые линии магнитного поля (рис. 45), проходящие перпендикулярно направлению потока, в ней наводится электродвижущая сила, пропорциональная расходу (закон Фарадея). Очевидно, что электромагнитные расходомеры не будут создавать никаких потерь давления в потоке.

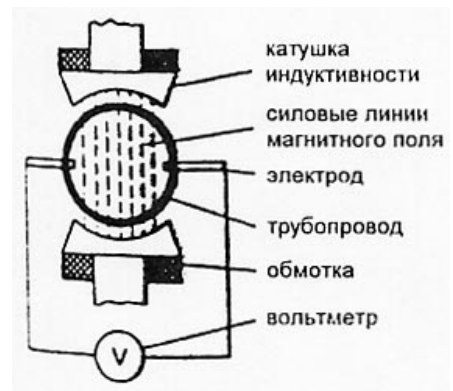


Рис. 45

Комплексные измерители параметров климата.



Рис. 46

Отдельные производители контрольно-измерительной техники (например, фирма «TESTO» многофункциональный прибор testo 400 рис. 46) предлагают приборы для измерения не только какого-то одного двух параметров, необходимых для наладки системы на проектные параметры, а несколько сразу подсоединяя различные датчики (рис.49). То есть приходит человек с небольшим кейсом (рис. 47) на объект, а в нем находятся все необходимые контрольно-измерительные приборы для проведения пуско-наладочных работ. К прибору можно подключить либо печатающее устройство, либо согласующий переходник для подключения к компьютеру. Принтер позволяет отпечатать значения в форме протокола, содержащего, кроме того, дату измерения, время суток и место измерения.

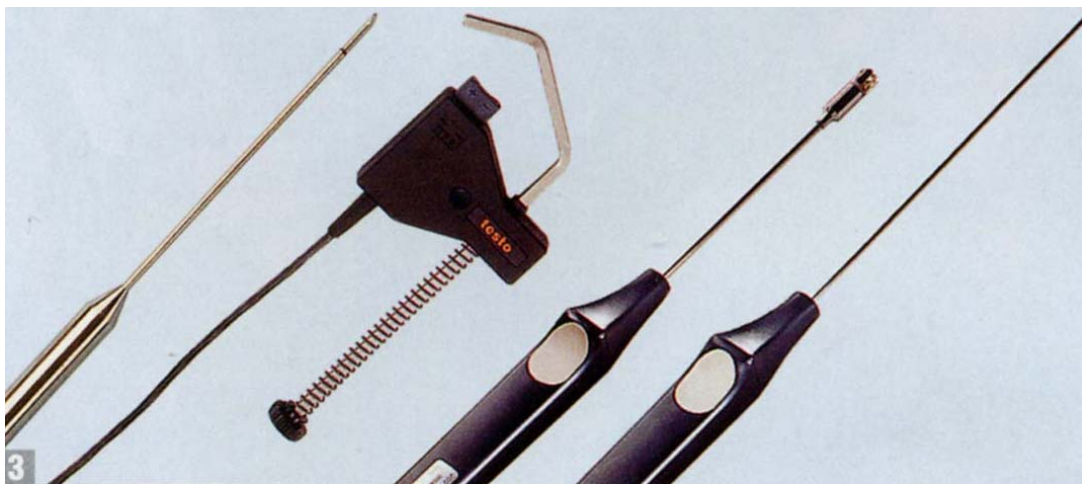
Переходник для подключения к РС-компьютеру обеспечивает связь с информационно-вычислительной системой (рис. 48), позволяющей выдавать измеренные значения на принтер или монитор в графическом или аналоговом виде. Это позволяет, например, выполнив в течение рабочего дня необходимые измерения, обработать их вечером на компьютере, не нуждаясь в подключении соответствующей информационно-вычислительной системы, это облегчает проведение измерений прямо на монтажной площадке.



Зонты для измерения давления, относительной влажности, точки росы (всего в количестве 15 штук для различных задач).



Зонты для измерения скорости потока (термоанемометрические зонты, зонты с крыльчатками различного диаметра и т.д.)



Зонты для измерения температуры веществ в широком диапазоне (около 200 зонтов для различных измерительных задач)



Зонты для измерения CO, CO₂, обр. /мин, и некоторые другие специфические зонты



Рис. 47



Рис. 48

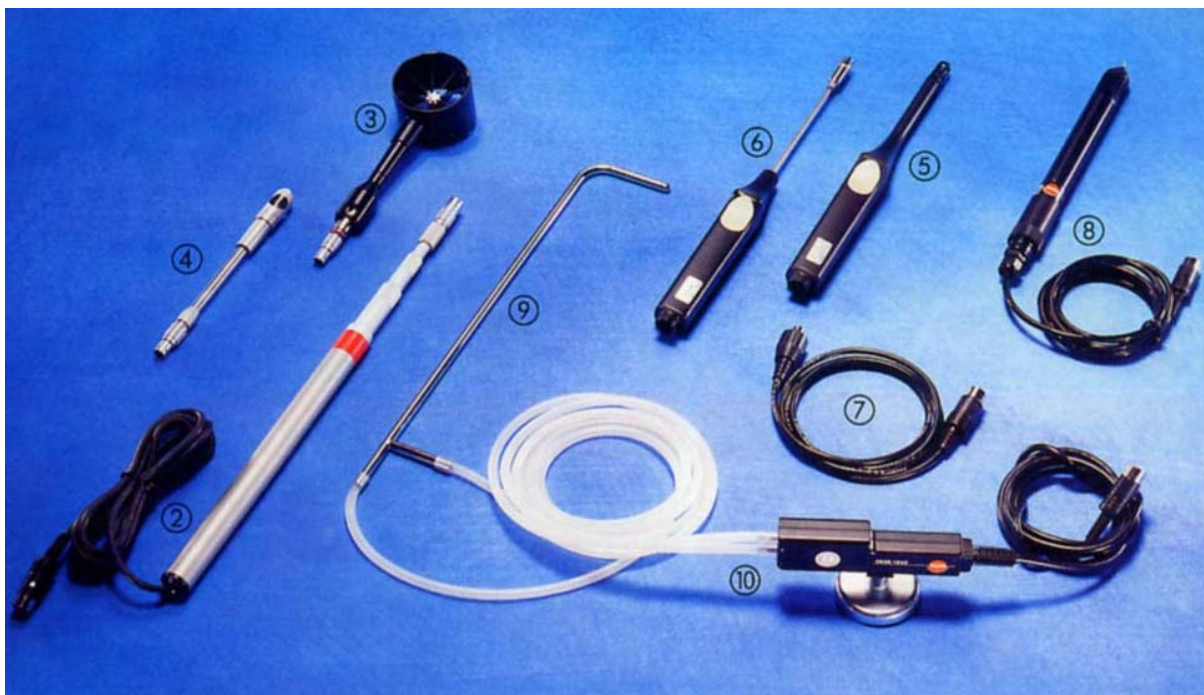


Рис. 49

Заключение.

1. В настоящем реферате приведены основные методы и контрольно-измерительные приборы для замеров расхода воздуха и скорости движения воздушного потока.
2. Наиболее широкое практическое применение в настоящее время для определения скорости воздушного потока при испытании систем вентиляции и кондиционирования имеет следующие приборы:
 - Механические крыльчатые и чашечные анемометры.
 - Электронные анемометры различных марок и фирм.
3. По расходу воздуха:
 - Электронные дифференциальные микроанометры.
 - Дифференциальные микроанометры, основанные на механическом или гидравлическом принципе действия.
4. При лабораторных испытаниях и научных исследованиях для измерения скорости и расхода воздуха можно применять приборы:
 - Все представленные выше виды анемометров но в основном термоанемометры.
 - Дифференциальные микроанометры с использованием различных видов трубок.
 - Ротаметр или поплавковый расходомер.
 - Лазерные измерители скорости.
 - Ультразвуковые расходомеры.
 - Электромагнитные датчики расхода
5. Перечисленные методы и приборы позволяют обеспечивать заданные режимы работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха, что способствует улучшению микроклимата в помещениях и уменьшению затрат на работу систем.

Литература

1. Бражников А.М., Малова Н.Д. «Кондиционирование воздуха в мясной и молочной промышленности»; Москва 1979г.
2. ГОСТ 12.3.018-79 «Системы безопасности труда. Вентиляционные системы. Методы аэродинамических испытаний»; Москва Издательство стандартов 1986г.
3. Малова Н.Д. «Кондиционирование воздуха»; Москва 1999г.
4. Нуждин А.С., Ужанский В.С. «Измерение в холодильной технике»; М. Агропромиздат, 1986г.
5. Руководство по эксплуатации анемометра переносного рудничного АПР-2; Москва 1999 г.
6. Руководство по эксплуатации дифференциального микроманометра ДМЦ-01/М; Москва 1998 г.
7. СНиП 2.04.05.-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирования воздуха»; Москва 1994 г.
8. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»; Москва 2000 г.
9. Справочное пособие «Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха»; под редакцией Журавлева Б.А.; Москва Стройиздат 1980 г.
10. Справочник проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства»; под редакцией Павлова Н.Н.; Москва Стройиздат 1992 г.
11. Польшманн «Учебник по холодильной технике»; Издательство МГУ 1998 г.