

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОВЕРОЧНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Н.А.Греков

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г.Севастополь, ул.Капитанская, 2

Ведомствам и организациям, занимающимся контролем окружающей среды, необходимо иметь поверочные стенды для аттестации средств измерений воздушного потока.

В качестве образцовых средств созданы различные поверочные установки с использованием пневмометрического, механического, термоанемометрического и абсолютного (время-пролетного, оптического, ультразвукового) методов измерения скорости воздушных потоков.

Для измерения средней скорости потока в диапазоне 0,6 - 7 м/с (с погрешностью измерения 5-7%) применяются термоанемометры, которые аттестуются в двухсекционной аэродинамической трубе [2,3], где скорость потока контролируется в узком конфузоре с помощью образцовой напорной трубки и микроманометра. Выходные диаметры широкого и узкого конфузоров равны 70 и 20 мм соответственно.

Поэтому представляет интерес разработка поверочного стенда, позволяющего измерять скорость потока в диапазоне менее 5 м/с с меньшей погрешностью.

Рассмотрим возможности методики измерения скорости потока через измерение объемного расхода воздуха.

Конструктивно поверочный стенд может состоять из аэродинамической трубы открытого типа, на входе которой расположен конфузор с сечением  $S$ . На выходе аэродинамической трубы подсоединен счетчик объемного расхода воздуха ротационного типа. Скорость потока воздуха  $V$  в рабочей части аэродинамической трубы выразим через среднюю скорость  $V_{ср}$ :

$$V_{ср} = k \cdot V, \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент конфузора, определяемый при аттестации.

Тогда расход газа плотностью  $\rho_1$  на единицу площади сечения конфузора  $S$  через объемный расход  $Q$  опишем выражением:

$$V_{ср} \cdot S \cdot \rho_1 = k \cdot V \cdot S \cdot \rho_1 = Q \cdot \rho_2, \quad (2)$$

где:  $\rho_2$  - плотность газа в измерителе объемного расхода. Из выражения (2) определим скорость потока  $V$

$$V = \frac{Q \cdot \rho_2}{k \cdot S \cdot \rho_1} \quad (3)$$

В реальных условиях плотность воздуха зависит от изменения влажности, давления, температуры. Влияние влажности на плотность воздуха незначительное, так как изменение влажности на 20 % при температуре 20°C приводит к изменению плотности на 0,2%.

С учетом влияния температуры и давления на изменения плотности, выражение (3) можем записать как:

$$V = \frac{Q \cdot T_1 \cdot (1 - \Delta P / P_a)}{k \cdot T_2 \cdot S}, \quad (4)$$

где  $T_1$  - температура воздуха в аэродинамической трубе открытого типа соответствует температуре в помещении, где установлен поверочный стенд;  $P_a$  - атмосферное давление;  $\Delta P$  - разность между давлениями на входе аэродинамической трубы и входе датчика объемного расхода  $Q$ ;  $T_2$  - температура в камере датчика объемного расхода. Знак минус в выражении (4) указывает на то, что на выходе аэродинамической трубы или, вернее, после датчика объемного расхода, который подсоединен последовательно к ней, создается разрежение воздушного потока.

Анализируя выражение (4), сделаем оценку измеряемых параметров и их вклад в погрешность измерения скорости потока.

Используя образцовый счетчик объемного расхода ротационного типа, можно измерять  $Q$  в диапазоне от 0,04 до 10 м<sup>3</sup>/ч с погрешностью 0,5%. Изменение давления  $\Delta P$  на 1 кПа приводит к изменению объема на 1%, следовательно, для диапазона  $\Delta P = 10$  кПа необходимо иметь дифференциальный датчик давления с погрешностью не хуже 1%.

Так как атмосферное давление в граничном случае может изменяться всего на 660 Па, что в процентном отношении составляет около 0,6 % от  $P_a$ . Поэтому измеритель атмосферного давления в стенде устанавливать нет необходимости.

Изменение температуры между  $T_1$  и  $T_2$  на 2,7°C приведет к изменению объема на 1%. Следовательно температуры  $T_1$  и  $T_2$  необхо-

димо контролировать с точностью не хуже 0,2°C.

Учитывая, что на изменение сечения конфузора влияет температура  $T_1$ , введем поправочный коэффициент  $m$ , который учитывает это влияние:

$$m = 1 + 2 \alpha \cdot (T_1 - T_0) \quad (5)$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения материала конфузора;  $T_0$  - температура, при которой измеряют диаметр отверстия  $d$  в момент аттестации конфузора.

Окончательно выражение для определения скорости потока с учетом вышеперечисленных факторов запишем как:

$$V = \frac{4 Q \cdot T_1 \cdot (1 - \Delta P / P_a)}{\pi k \cdot T_2 \cdot d^2 [1 + 2 \alpha \cdot (T_1 - T_0)]^2} \quad (6)$$

В уравнении 6 параметры давления и температуры зависят от внешних факторов и их необходимо контролировать во время проведения измерения. Для поддержания в аэродинамической трубе постоянства скорости потока  $V$  необходимо, в зависимости от изменения давления и температуры, автоматически регулировать величину объемного расхода, который контролируется датчиком  $Q$ .

Выбор диаметра конфузора  $d$  зависит от необходимого диапазона скоростей потока  $V$  и габаритных размеров поверяемых рабочих измерительных средств, которые влияют на  $\Delta P$ .

График зависимости диаметра конфузора от диапазона скорости для датчика объемного расхода до 10 м<sup>3</sup>/ч представлен на рис. 1.

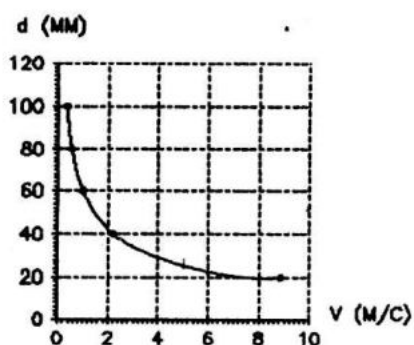


Рис. 1. Зависимость диаметра конфузора от диапазона скорости

Для других диапазонов скоростей необходимо выбирать датчики объемного расхода с соответствующим пределом. Такие датчики выпускаются промышленностью серийно и необходимо только индивидуально аттестовать их.

В НТК "Океан-МГИ" был разработан и изготовлен макет стенда, структурная схема которого без аэродинамической трубы и ПЭВМ представлена на рис. 2.

Стенд состоит из четырех измерительных каналов: разностного давления  $\Delta P$ ; температуры  $T_1$  и  $T_2$ ; объемного расхода  $Q$ . Измерительные каналы  $T_1$ ,  $T_2$  и  $\Delta P$  имеют преобразователи сопротивления в напряжение. Диапазон выходного напряжения преобразователей составляет 0÷+5 В. Опрос аналоговых сигналов осуществляется коммутатором каналов, который управляется с процессорного блока. Одновременно процессорный блок управляет двенадцатиразрядным АЦП. Преобразованный сигнал последовательно в двоичном коде преобразуется в формат RS-232. С образцового датчика объемного расхода информация о расходе  $Q$  через оптоэлектронный преобразователь оборотов в виде последовательности импульсов поступает в процессорный блок, где так же преобразуется в формат RS-232. Воздушный поток в трубе создается воздуходувкой, лопасти которой приводятся в движение от электродвигателя с регулируемым числом оборотов. В блоке управления электродвигателем используется принцип фазового регулирования. Для согласования сигналов между процессорным блоком и блоком управления двигателем установлен блок фазирования. Исключение влияния вибрации на стенд, возникающей от воздуходувки, достигается за счет установки ее на амортизационной платформе. Кроме того, между соединительной трубкой, идущей от воздуходувки, и датчиком объемного расхода помещают гаситель вибропульсации.

Соединительный кран, расположенный на подводящей трубе, необходим для установки начальных значений воздушного

потока с учетом предельных возможностей датчика объемного расхода.

Информация о параметрах  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $\Delta P$ ,  $N$  через RS-232 поступает в ПЭВМ, где по специальной программе с учетом описанного алгоритма, обрабатывается, запоминается и отображается на дисплее. Из ПЭВМ на процессорный блок стенда поступает информация о необходимой скорости вращения ( $\Phi$ ) электродвигателя воздуходувки.

Описанный стенд имеет широкие функциональные возможности. Диапазон скорости воздушного потока можно значительно расширить, взяв для этого датчик расхода  $Q$  на больший предел. Кроме этого, с помощью стенда можно поверять счетчики объемного расхода, измерять аэродинамическое сопротивление установленных в аэродинамическую трубу

приборов и анализировать их динамические характеристики.

### Литература

1. Гуткин Б.Г., Кузьмин В.А., Тартаковский Л.Ф. Поверочные гидродинамические стенды. - Труды метрологических институтов СССР, 1975, вып. 157 (217), с. 84-92.
2. Блантер Д.Я., Кузьмин В.А., Попов А.И. Труба для градуировки измерителей малых скоростей воздушного потока. - Труды "ВНИИМ им. Д.И.Менделеева", 1976, вып. 194 (254), с. 66-68.
3. Блантер Д.Я., Куров Б.В., Роголев Ю.В. Результаты метрологического исследования образцовой двухсопловой аэродинамической трубы. - Труды ГГО, 1981, вып. 452, с. 43-51.

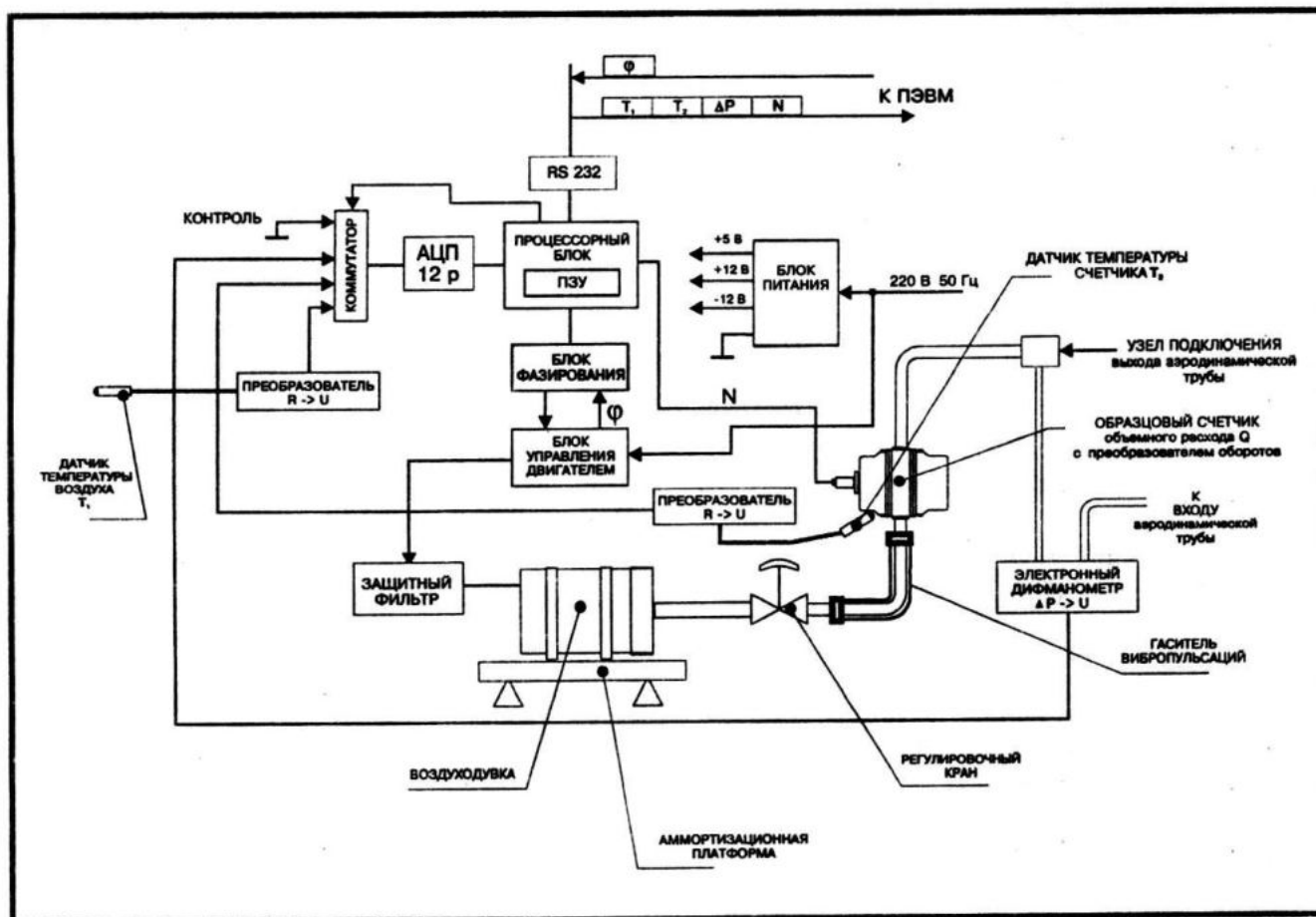


Рис.2 Структурная схема поверочного стенда