

## Исследование градуировочных характеристик крыльчатых анемометров

Лешкевич В. В., Кудин О. Д., Борташевич А. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты исследований градуировочных характеристик крыльчатых анемометров.*

Широкое распространение анемометров в разных отраслях промышленности на территории Беларуси началось в 1930-х годах с выходом ОСТ 40060 «Анемометр ручной типа Фусса». Описываемое устройство представляет собой чашечный анемометр (рис. 1), который довольно редко применяется при исследованиях систем вентиляции.



Рис. 1. Анемометр  
ручной типа Фусса  
по ОСТ 40060

В 1950-х годах выходит ГОСТ 6376-52, а в 1975 г. его развитие – ГОСТ 6376-74 [1], которые описывают технические условия на ручные чашечные (для измерения средней скорости ветра на метеорологических станциях) и крыльчатые (для измерения средней скорости направленного воздушного потока в промышленных условиях – рис. 2) анемометры. Анемометры АСО-3, соответствующие требованиям [1], выпускались приблизительно до середины 1990-х годов и активно применяются в настоящее время.



Рис. 2. Анемометры АСО-3:

*a* – год производства 1963; *б* – год производства 1972;  
*в* – год производства 1987; *z* – год производства 1992

Аналогичные приборы также выпускались и в других странах (рис. 3).



Рис. 3. Ручной крыльчатый анемометр со счетным механизмом производства ГДР

В некотором смысле продолжением традиций является выпускаемый в настоящее время прибор «Мегеон 11050» [2], который является ручным механическим анемометром, аналогичным описанным выше (рис. 4).



Рис. 4. Ручной крыльчатый анемометр со счетным механизмом «Мегеон 11050», производимый в настоящее время

Принцип работы ручного механического анемометра заключается в передаче вращения крыльчатки на стрелку счетного механизма через систему зубчатых колес.

Процесс выполнения измерений состоит в определении числа делений счетного механизма, проходящих на одну секунду, полученных при помещении прибора в воздушный поток при одновременной фиксации времени нахождения в нем с помощью секундомера. Скорость определяется по градуировочной характеристике, представляющей собой зависимости

скорости воздушного потока от числа делений шкалы прибора в одну секунду.

Согласно [3] градуировочная характеристика крыльчатых анемометров представляется в виде двух графиков: 1) в диапазоне скоростей воздуха 0,3–1 м/с; 2) в диапазоне скоростей от 1 до 5 м/с. В первом диапазоне на градуировочный график при поверке наносят 4 точки, соответствующие скорости 0,3 м/с, 0,5 м/с, 0,8 м/с, 1,0 м/с, во втором диапазоне – 6 точек, соответствующих скорости 1,0 м/с, 1,6 м/с, 2,0 м/с, 3,0 м/с, 4,0 м/с, 5,0 м/с.

Авторами выполнен анализ градуировочных характеристик одного и того же крыльчатого анемометра, полученных в процессе периодических поверок в аккредитованных поверочных лабораториях. Сводный график градуировочных характеристик представлен на рис. 5.

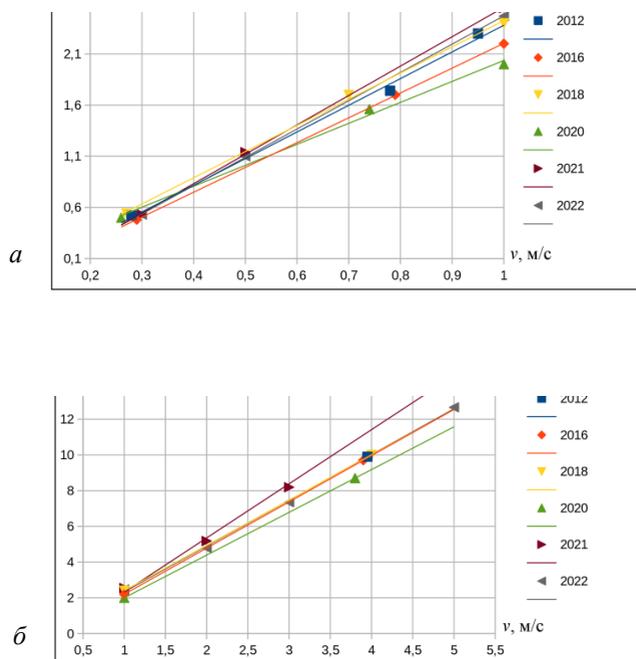


Рис. 5. Градуировочные характеристики анемометра АСО-3 № 348, полученные в различные годы эксплуатации:  
 а – в диапазоне скорости 0,2–1,0 м/с; б – в диапазоне скорости 1,0–5,0 м/с

Как видно, наблюдается заметное расхождение характеристик, что говорит о важности регулярной поверки прибора и уточнения его градуировочной характеристики.

Бытует мнение, что градуировочную характеристику одного прибора можно использовать при выполнении измерений другим прибором той же модели с небольшой долей погрешности получаемых результатов. Для проверки данного предположения в рамках студенческой научно-исследовательской работы определены градуировочные характеристики трех анемометров АСО-3 согласно методике [3]. Полученные данные представлены на рис. 6.

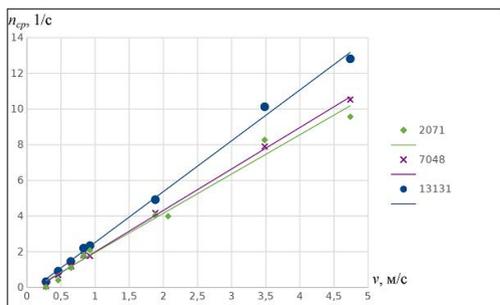


Рис. 6. Градуировочные характеристики анемометров АСО-3 № 2071, № 7048, № 13131

На основе полученных характеристик определены значения отклонения показаний испытуемых приборов от поверенного прибора (№ 348). С учетом отклонений показаний выполнено оценивание неопределенности измерений расхода воздуха в вытяжном отверстии естественной системы вентиляции.

Оценивание неопределенности выполнено по методу Монте-Карло.

В качестве входных величин приняты:

- размеры вентиляционного отверстия  $120 \times 200$  мм с прямоугольным распределением вероятностей и интервалом входной величины  $\pm 0,001$  м;
- скорость движения воздушного потока в вытяжном отверстии  $v = 0,8$  м/с с нормальным распределением вероятности и интервалом входной величины  $\pm(0,1 + 0,05 \cdot v)$  плюс отклонение по данным рис. 6, м/с.

С помощью программы электронных таблиц сгенерированы массивы случайных чисел объемом  $M = 10^5$  для входных величин. Далее по каждому вектору входных величин выполнены расчеты выходной величины (расхода воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч) по формуле

$$L = 3600 \cdot v \cdot (a \cdot h),$$

где  $a, h$  – соответственно ширина и высота вентиляционного отверстия, м.  
Оценка выходной величины определена по выражению

$$L = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M L_r,$$

а стандартная неопределенность из выражения

$$u^2(L) = \frac{1}{M-1} \sum_{r=1}^M (L_r - L)^2.$$

Расширенная неопределенность вычислена по выражению

$$U(p) = \frac{1}{2} \left[ L_{\frac{M(1+p)}{2}} - L_{\frac{M(1-p)}{2}} \right],$$

где  $p = 0,90$  – вероятность охвата.

Коэффициент охвата рассчитывался как

$$U(p) = \frac{1}{2} \left[ L_{\frac{M(1+p)}{2}} - L_{\frac{M(1-p)}{2}} \right].$$

Результаты вычислений представлены в табл.

Таблица

Результаты оценивания неопределенности

Анемометр	№ 348	№ 2071	№ 7048	№ 13131
Расход воздуха $L$ , м <sup>3</sup> /ч	69,12	69,64	69,62	69,54
Расширенная неопределенность $\pm \hat{U}$ , м <sup>3</sup> /ч	11,29	31,85	31,07	18,68
Коэффициент охвата $k$	1,56	1,55	1,56	1,56

Результаты показывают, что величина неопределенности измерений расхода воздуха анемометрами, не имеющими индивидуального градуировочного графика, достигает значений выше 40 % от измеряемой величины, что недопустимо.

Расширенная неопределенность измерения расхода воздуха поверенным анемометром составила 16 % от измеряемой величины, что в большинстве случаев инженерной практики является достаточным. Более низкие значения неопределенности измерений могут быть достигнуты применением анемометра с меньшим пределом допускаемой погрешности.

### Литература

1. Анемометры ручные со счетным механизмом. Технические условия: ГОСТ 6376-74. – Взамен ГОСТ 6376-52; введ. 01.07.75. – Москва: Издательство стандартов, 1975. – 7 с.

2. Мегеон 11050. Механический анемометр. Руководство пользователя [Электронный ресурс] // Приборы Мегеон: официальный сайт. – Режим доступа: [https://www.megeon-pribor.ru/components/com\\_jshopping/files/demo\\_products/megeon\\_11050\\_5f9996ba1784b1e34ca7f89e3e0d975b67db012af4de9c0b17696b289c3237fc.pdf](https://www.megeon-pribor.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/megeon_11050_5f9996ba1784b1e34ca7f89e3e0d975b67db012af4de9c0b17696b289c3237fc.pdf). – Дата доступа: 22.02.2023.

3. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Анемометры. Методика поверки = Сістэма забеспячэння адзінства вымярэнняў Рэспублікі Беларусь. Анемометры. Методыка паверкі: ТКП 8.1-2007 (03220). – Введ. 01.02.2008 (с отменой МУ «Анемометр чашечный ручной со счетным механизмом»). – Минск: Госстандарт, 2007. – 21 с.

4. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT): ГОСТ 34100.3-2017. – Введен впервые. – М.: Стандартиформ, 2017. – 112 с.