

УДК 628.85

## ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ВОЗДУХОСБОРНИКА ДЛЯ ТЕРМОАНОМО- МЕТРИЧЕСКОГО РАСХОДОМЕРА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

**О. С. Цаканян**, канд. техн. наук

[tsakoleg@rambler.ru](mailto:tsakoleg@rambler.ru)

ORCID: 0000-0002-1077-9818

**С. В. Кошель**, канд. техн. наук

[koshel@nas.gov.ua](mailto:koshel@nas.gov.ua)

ORCID: 0000-0003-3603-0909

Институт проблем машиностроения  
им. А. Н. Подгорного НАН Украины,  
61046, Украина, г. Харьков,  
ул. Пожарского, 2/10

*Измерение расхода воздуха на выходах воздухораспределительных устройств в системах вентиляции сопряжено с большими трудностями. На выходах анемостатов, вихревых диффузоров, решеток может наблюдаться закрутка воздушного потока, его резкое сжатие или расширение, изменение направления и т.д., что вызывает большие погрешности при измерениях. Поэтому необходимо было разработать универсальное измерительное устройство, которое позволило бы проводить измерения расхода воздуха с высокой точностью. Оно должно состоять из воздухосборника (для сборки и выпрямления потока воздуха) и датчика для измерения расхода воздуха (интегрального термоанемометра). Проведены исследования нескольких конструкций воздухосборников. В качестве оптимального выбран воздухосборник параболической формы. Он обладает небольшим аэродинамическим сопротивлением и хорошо перераспределяет воздушный поток. Чтобы снизить влияние турбулизации и закрутки воздуха, к воздухосборнику присоединяется цилиндрический успокоительный канал, в который встроена выпрямляющая решетка. Экспериментальные исследования на различных воздухораспределительных устройствах позволили получить уточненную градуировочную зависимость для интегрального термоанемометра, по которой рассчитывается расход воздуха. Влияние аэродинамического сопротивления расходомера на расход воздуха учитывается с помощью поправки, которую необходимо вносить в измеренные значения.*

**Ключевые слова:** воздухосборник, термоанемометр, измерения.

### Введение

Настройка систем приточно-вытяжной вентиляции требует проведения измерений расхода воздуха на выходах или входах анемостатов, диффузоров, вентиляционных решёток. При этом направления течения потока воздуха могут быть различными. Например, на выходе приточного анемостата [1] воздух поступает в помещение через концентрическую щель и растекается вдоль потолка, а на выходе прямоугольной решетки он бьет струей по направлению к полу. Такое различие в течениях значительно усложняет измерительный процесс, поскольку воздух необходимо сначала собрать в единый канал, а затем направить его к зонду измерительного прибора. При этом такое согласующее устройство или, другими словами, воздухосборник должно иметь минимальное аэродинамическое сопротивление, чтобы не допускать падения расхода воздуха на элементах систем приточно-вытяжной вентиляции. Еще одним требованием к воздухосборнику является отсутствие обратных течений и турбулентности на его выходе, поскольку они могут вносить значительную погрешность в измерение расхода воздуха. Разработка такого универсального устройства позволила бы значительно упростить измерительный процесс и повысить точность измерений расхода воздуха [2].

Известный производитель измерительной техники компания Testo в своем каталоге [3] представила набор testovent417, служащий именно для указанных целей и включающий выпрямитель воздушного потока диаметром 100 мм и две переходные воронки – круглую диаметром 200 мм и квадратную – размером 330×330 мм. Производитель не указывает зависимость аэродинамического сопротивления выпрямителя и воронок от расхода воздуха. Здесь измерения проводятся с помощью прибора testo417, включающего крыльчатку диаметром 100 мм, что значительно ограничивает область его применения, поскольку на всех элементах вентиляционной системы площадью больше  $(\pi \cdot 0,1^2)/4 = 0,00785 \text{ м}^2$  может быть снижен реальный расход воздуха за счет сужения канала.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Международная.

© О. С. Цаканян, С. В. Кошель, 2021

Существуют и другие приборы, применяемые для измерения скорости или расхода воздушного потока. Большинство из них являются точечными, то есть позволяют проводить одновременное измерение физической величины в одной точке сечения. К таким устройствам относятся дифманометр с зондом в виде трубки Пито [4], термоанемометры [5] с нагретой струной [6] или термопленкой [7]. Упомянутые выше крыльчатые анемометры обладают интегрирующими свойствами, однако при измерении скорости воздуха в каналах, диаметр которых сопоставим с диаметром крыльчатки, возможны погрешности, связанные с изменением расхода воздуха из-за загромождения канала. В работе [8] дана оценка точности точечных измерений в вентиляционных системах. Показано, что учесть все факторы, влияющие на погрешность, не удастся, и поэтому при пусконаладке и паспортизации вентиляционных систем необходимо закладывать погрешность не менее 20 %.

Снизить погрешность измерений можно, если использовать не точечные, а интегральные датчики, позволяющие одновременно измерять среднюю по сечению воздуховода скорость воздушного потока. Принцип работы таких термоанемометров [9] основан на зависимости теплоотдачи чувствительного элемента от скорости воздуха. Из-за равномерного расположения чувствительного элемента по сечению воздуховода такие приборы практически нечувствительны к изменению профиля скорости. Однако наличие сильной турбулизации, например, на выходах анемостатов способно негативно повлиять на точность измерений. Чтобы этого избежать, необходимо перед интегральным термоанемометром устанавливать переходной воздухоборник, который будет «успокаивать» поток воздуха. Такой воздухоборник должен иметь такое же круглое сечение, что и у анемостатов. В то же время форма воздухоборника может быть различной. Выбору оптимальной конструкции воздухоборника, за которым можно устанавливать измерительный прибор, посвящена данная статья. Первичный подбор формы проводился с помощью компьютерного моделирования, результаты были подтверждены экспериментом.

### Определение корректности выбранной компьютерной модели

Методика выбора формы воздухоборника основана на визуальном наблюдении за структурой течения воздушного потока на его выходе, где установлен измерительный прибор. При выборе формы приоритет отдавался конструкциям, у которых отсутствовали обратные течения, закрутки и турбулизации. После выбора формы предпочтение отдавалось воздухоборнику, обладающему минимальным аэродинамическим сопротивлением и наименьшей конструктивной высотой вдоль его оси для удобства проведения измерений.

Форма воздухоборника влияет на структуру течения воздуха, а также на собственное аэродинамическое сопротивление. Чтобы определить его значение, проводилось исследование процесса движения воздуха в установившемся состоянии в помещении, модель которого представлена на рис. 1. Для этого решались две задачи аэродинамики при одинаковых исходных данных (расход воздуха и геометрия помещения). В первой задаче воздух поступал в пустое помещение через приточный анемостат и выходил из помещения через вытяжное отверстие. Во второй задаче к приточному анемостату были подсоединены воздухоборник и зонд интегрального термоанемометра. Аэродинамическое сопротивление воздухоборника можно рассматривать как разность  $\Delta P = P_2 - P_1$  между перепадом статического давления  $P_2$ , являющегося результатом решения второй задачи, и перепадом статического давления  $P_1$ , полученного в результате решения первой задачи ( $P_1$  и  $P_2$  – перепады статических давлений между выходом анемостата и входом вытяжного отверстия).

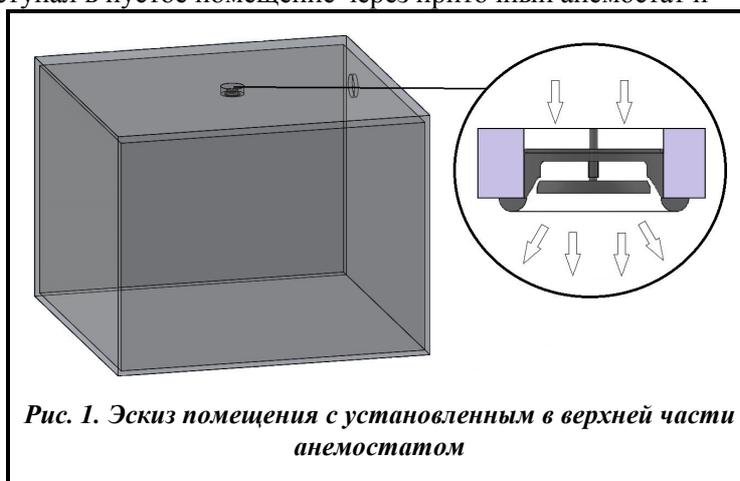


Рис. 1. Эскиз помещения с установленным в верхней части анемостатом

Прежде чем приступить к исследованиям конструкций воздухоборников с помощью компьютерного моделирования, необходимо было убедиться в правильности выбранной модели.

В [1] приведены технические характеристики анемостатов – зависимости аэродинамического сопротивления от расхода потока воздуха. Эти зависимости использованы как база для сравнения с результатами компьютерного моделирования, чтобы количественно оценить достоверность проводимых исследований. Исследования проводились для установившегося движения воздуха в помещении с анемостатом, установленным в приточном отверстии (см. рис. 1). Разница между перепадами статических давлений относительно приточного и вытяжного отверстий является аэродинамическим сопротивлением анемостата вместе с сопротивлением помещения. Ввиду малого аэродинамического сопротивления помещения им можно пренебречь. Достоверность проводимых вычислений с помощью компьютерной модели оценивалась путём их сравнения с технической характеристикой анемостата.

На рис. 2 сплошными кривыми обозначены расчетные зависимости сопротивлений от расхода воздуха для двух положений клапана анемостата диаметром 150 мм при ходе клапана  $S=10$  и 23 мм, штриховыми – сопротивления, взятые из каталога продукции анемостатов [1]. Из сравнения аэродинамических сопротивлений можно сделать вывод, что вычислительная модель даёт сопоставимые результаты с физическими измерениями и можно считать, что ее можно использовать для проведения исследований.

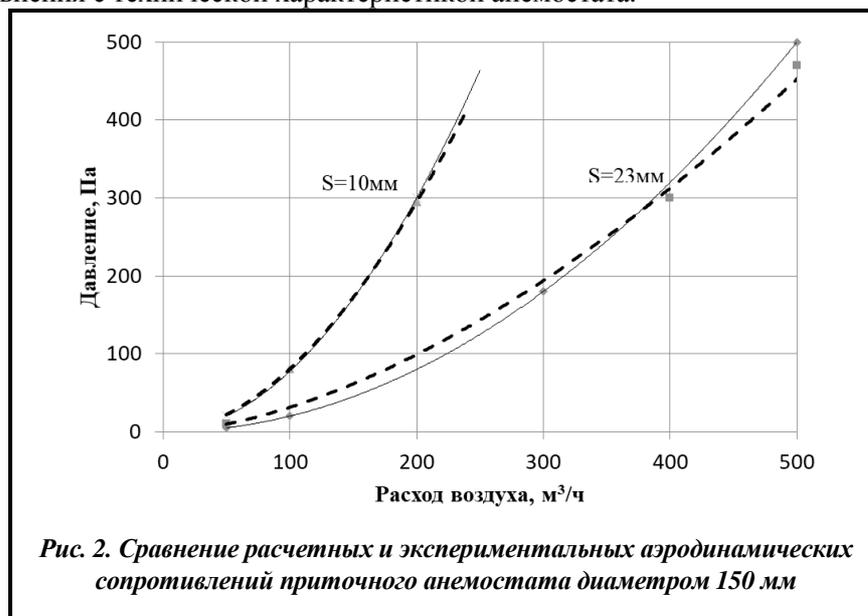


Рис. 2. Сравнение расчетных и экспериментальных аэродинамических сопротивлений приточного анемостата диаметром 150 мм

### Обзор конструкций анемостатов

Сопротивление анемостата зависит от его конструкции. Различают три типа конструкции анемостатов [1]: вытяжные, приточные и приточно-вытяжные. Конструктивно их отличие заключается в форме тарелкообразного клапана. Для вытяжного анемостата клапан имеет выпуклую в сторону помещения форму, для приточного – вогнутую, для приточно-вытяжного – плоскую.

В исходном состоянии при ходе регулировочного клапана анемостата вдоль оси  $S=0$  мм ширина концентрической щели между диффузором и клапаном составляет 4–5 мм. Благодаря этому обеспечивается удаление из помещения воздуха в минимальном объёме. С помощью положения клапана регулируется расход воздуха, вытягиваемого из помещения. Если вытяжной анемостат использовать как приточный, то из него будет истекать коническая струя, которая не будет обеспечивать желаемого перемешивания воздуха.

Приточный анемостат формирует вокруг себя стелющуюся вдоль поверхности потолка струю. Клапан в исходном состоянии выступает из диффузора. Стелющаяся струя обеспечивает равномерное распределение температуры воздуха на большой площади вокруг анемостата, что гарантирует отсутствие сквозняков в помещении.

Приточно-вытяжной анемостат в зависимости от положения клапана может создать струю с изменяющейся геометрией: от конической до стелющейся.

Описанные картины течения струи формируют различные структуры течений в помещении. Присоединение к анемостату воздухоборника совместно с измерительным прибором изменяет структуру течения, преобразуя его в струю, бьющую в пол или другую преграду, и растекающуюся по всем направлениям с дальнейшим образованием циркуляций в объёме, ограниченном ограждениями помещения. Аналогичная структура течения наблюдается при измерении расхода для приточных анемостатов. Различие в картинах течений внутри помещения должно повлиять на аэродинамические сопротивления как воздухоборников, так и анемостатов.

Поэтому необходимо было провести исследования по определению влияния воздухоборника на точность измерения расхода воздуха и получить количественную оценку аэродинамических характеристик воздухоборника.

Поскольку структуры воздушных потоков в зависимости от конструкции воздухоборника будут отличаться друг от друга, то следует ожидать и разных аэродинамических сопротивлений воздухоборника, величина которых оценивалась с помощью компьютерного моделирования. Для того чтобы сузить объём представляемой информации о проведенных исследованиях, вначале выбиралась геометрическая форма воздухоборника, а затем для нее определялись аэродинамические сопротивления различных конструкций анемостатов.

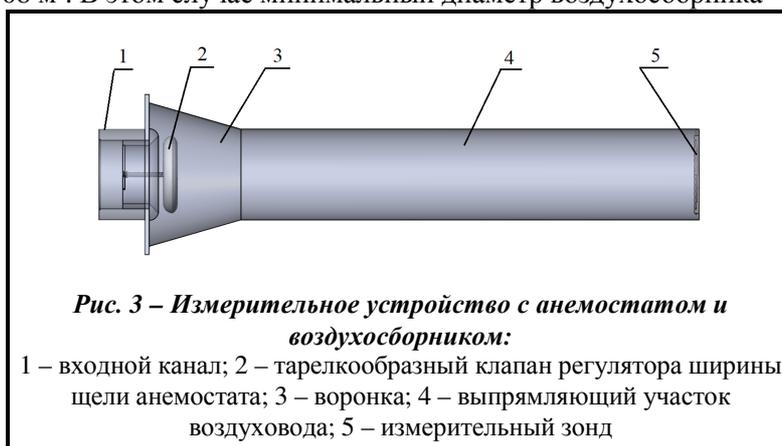
### Выбор конструкции воздухоборника

Изначально было выбрано несколько конструкций воздухоборника, отличающихся формой канала и геометрией. Исследование аэродинамических сопротивлений и распределения скоростей на выходе согласующего устройства позволило подобрать следующую конструкцию: воздухоборник имеет форму воронки с успокоительным каналом, на выходе которой размещается зонд измерительного прибора.

При выборе размера воздухоборника учитывался тот факт, что он не должен оказывать влияния на расход воздуха, т.е. его аэродинамическое сопротивление должно быть как можно меньшим. Для выполнения этого условия площадь любого поперечного сечения воздухоборника должна быть больше площади щели анемостата, через которую проходит воздух. Для круглых анемостатов площадь ширины щели изменяется от 0,002 до 0,008 м<sup>2</sup>. В этом случае минимальный диаметр воздухоборника

должен быть не меньше 0,16 м, а диаметр 0,2 м может использоваться с некоторым запасом для повышения точности измерений. Получается, что одна воронка подходит для всего диапазона диаметров анемостатов от 80 до 200 мм.

На рис. 3 схематично изображено измерительное устройство. Формирование направления струи и её скорости зависит от геометрии поверхностей канала и клапана анемостата, образующего щель, ширина которой изменяется при перемещении клапана.



**Рис. 3 – Измерительное устройство с анемостатом и воздухоборником:**

1 – входной канал; 2 – тарелкообразный клапан регулятора ширины щели анемостата; 3 – воронка; 4 – выпрямляющий участок воздуховода; 5 – измерительный зонд

Исходные данные для оптимизации конструкции воздухоборника:

- размеры помещения – 4×4×3 м<sup>3</sup> (48 м<sup>3</sup>);
- диаметр входного отверстия, в котором установлен анемостат – 80, 100, 125, 150, 200 мм;
- диаметр вытяжного отверстия – 300 мм;
- диаметры конусной воронки – 300 и 200 мм;
- высота воронки конусной формы – 200 мм;
- толщина стенки воронки и цилиндра – 2 мм;
- максимальная площадь щели анемостата – 0,008 м<sup>2</sup>.

С помощью компьютерного моделирования были построены траектории течения воздуха при прохождении им измерительного участка в области расположения зонда. Изучение картины течений в воздухоборнике конической формы и присоединенном к узкой части усеченного конуса цилиндре длиной 1 м показало, что с увеличением расхода воздуха за регулирующим клапаном анемостата образуется вихревая зона (рис. 4). Это характерно для небольшого зазора между клапаном и корпусом анемостата (не больше 5 мм). Интенсивность вихрей увеличивает длину следа по потоку. Характер аэродинамического течения не прямолинейный, поскольку в углах вдоль стенки присутствует обратное течение, которое распространяется практически по всей длине цилиндра. С увеличением зазора количество завихрений уменьшается, и при зазоре порядка 25 мм никаких вихрей уже не наблюдается (рис. 5).

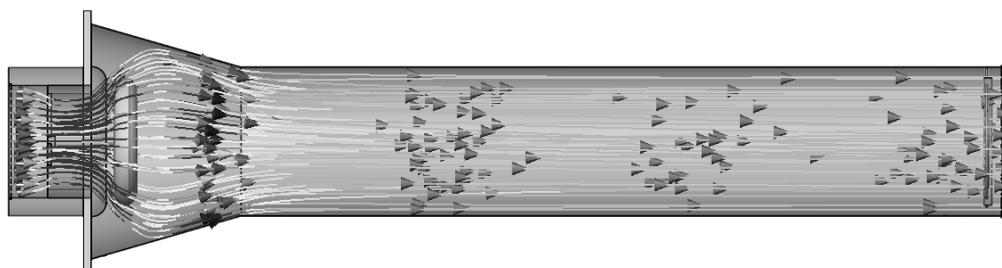
Проведено несколько исследований структуры воздушного потока для приточных анемостатов диаметрами 80–200 мм при расходе воздуха 100–500 м<sup>3</sup>/ч. В результате сделан вывод, что коническая форма воздухоборника не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к структуре течения.

Чтобы устранить циркуляции и обратные течения в проточной части зонда, была изменена форма воздухоборника. Вместо усеченного конуса был взят усеченный параболоид диаметром 200 мм на входе, сужающийся до диаметра 150 мм, а затем расширяющийся до диаметра 200 мм (рис. 6).

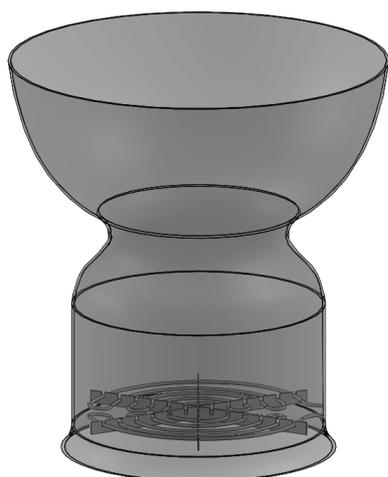
Компьютерное моделирование показало, что за таким воздухоборником, соединенным с приточным анемостатом диаметром 150 мм и установленным в помещении, потоки воздуха не образуют вихревых зон и обратных течений (рис. 7), причем такая картина наблюдается для всего диапазона открытия клапана анемостата (5–23 мм). Это означает, что на выходе воздухоборника можно смело устанавливать измерительное устройство.



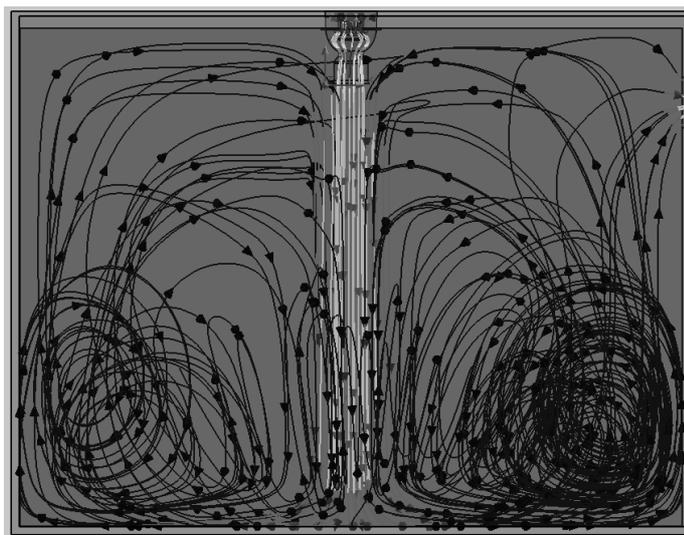
*Рис. 4. Поля скоростей через анемостат, воронку и часть цилиндра для зазора 5 мм*



*Рис. 5. Поля скоростей через анемостат, воронку и часть цилиндра для зазора 25 мм*



*Рис. 6. Воздухоборник параболической формы с измерительным зондом в нижней части*



*Рис. 7. Траектории воздушного потока через воздухоборник параболической формы, установленный на анемостат диаметром 150 мм в помещении*

### Определение сопротивления воздухоборника параболической формы

Поскольку существующие приточные анемостаты отличаются друг от друга диаметром канала и являются геометрически подобными конструкциями, то следует считать, что струи воздуха на их выходах будут геометрически подобными. Таким образом, можно предположить, что картины воздушных течений в проточной части воздухоборника будут идентичными. Из этого следует, что зависимости аэродинамического сопротивления воздухоборника от расхода воздуха для всего ряда анемостатов будут практически одинаковыми, а данное исследование можно проводить для одного анемостата, имеющего диаметр канала, например, 150 мм. Полученные результаты можно будет распространить на все типоразмеры анемостатов.

Сопротивление воздухоборника слабо зависит от хода регулировочного клапана, как видно на рис. 8. Максимальное сопротивление воздухоборника параболической формы при измерении расхода воздуха на приточном анемостате для расхода  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$  и хода клапана  $S=23 \text{ мм}$  составляет 76 Па, а на вытяжном для того же расхода – порядка 40 Па. Такое почти двукратное отличие аэродинамических сопротивлений вызвано разным направлением движения воздуха и различной картиной течения. В вытяжном анемостате наблюдается более плавное обтекание с меньшей скоростью в связи с расширением потока и более широким зазором между поверхностями канала и клапана.

Аппроксимация зависимостей сопротивления от расхода воздуха позволяет получить поправку для практически любых условий измерения на вентиляционных решетках и анемостатах, что дает возможность повысить точность измерений.

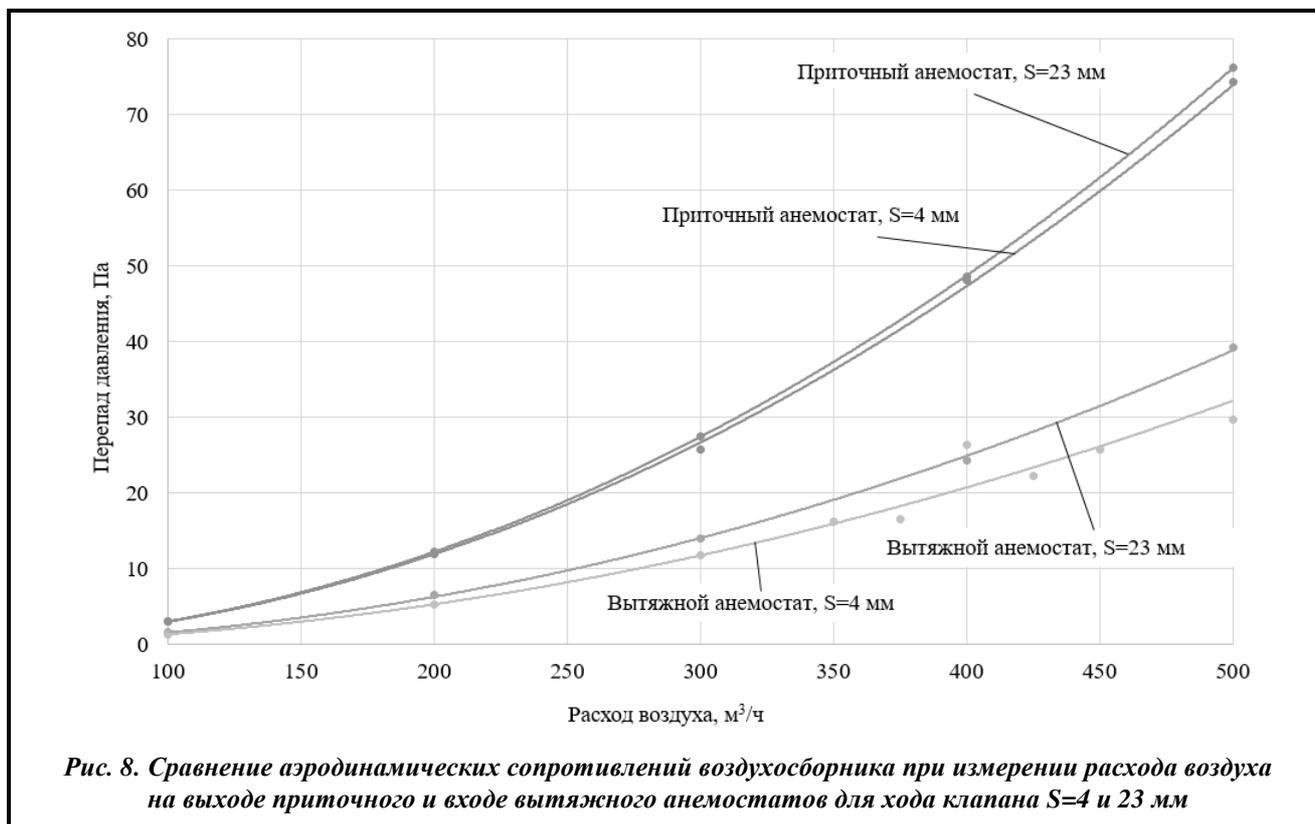


Рис. 8. Сравнение аэродинамических сопротивлений воздухоборника при измерении расхода воздуха на выходе приточного и входе вытяжного анемостатов для хода клапана  $S=4$  и  $23 \text{ мм}$

### Экспериментальные исследования характеристик расходомера на базе воздухоборника параболической формы

Результаты проведенного математического моделирования были проверены с помощью экспериментальных измерений. Критерием оценки правильности результатов измерений для различных конструкций воздухораспределителей являлись небольшие отклонения от основной градуировочной характеристики зонда интегрального термоанемометра, полученной в условиях равномерно распределенного прямого потока воздуха [9].

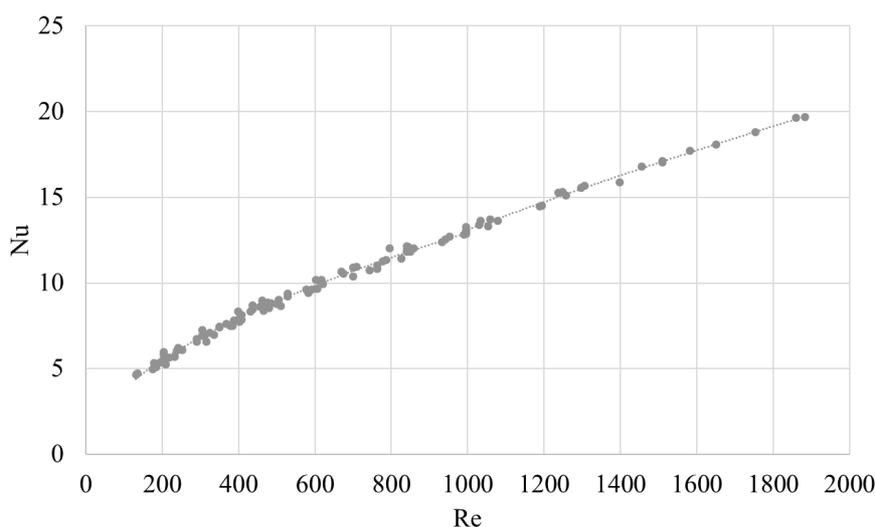
Измерения характеристик расходомера проведены на экспериментальном стенде, представляющем собой разомкнутую аэродинамическую трубу, которая схематически изображена на рис. 9.

Измерения аэродинамических характеристик экспериментального стенда и расходомера проведено в трех сечениях с помощью приёмников давления.



Мерное сечение «А–А» предназначено для измерения скорости воздуха на выходе сопла Витошинского, установленного в воздушном тракте перед входом каналного вентилятора. Мерное сечение «Б–Б» служит для измерения аэродинамической характеристики стенда. Мерное сечение «В–В» позволяет проводить измерения аэродинамических сопротивлений воздухохоборника. Измерения расхода воздуха проводились зондом интегрального термоанемометра [9] на выходах диффузоров различных конструкций, а также анемостатов с одним и двумя регулировочными клапанами.

К воздухохоборнику параболической формы подсоединен успокоительный канал длиной, равной 0,5 от его диаметра. На выходе установлен зонд интегрального термоанемометра. Исследования проведены для анемостата диаметром 150 мм с клапаном тарельчатой формы, с помощью которого регулировался расход воздуха. Экспериментальные исследования подтвердили, что изменение хода клапана не приводит к существенным отклонениям от основной градуировочной характеристики. Для анемостатов с другими геометрическими типоразмерами градуировочные характеристики отличались от основной до 30 % в зависимости от хода клапана анемостата. Причиной отклонений являются образовавшиеся за клапаном по ходу потока завихрения, которые попали на чувствительный элемент зонда интегрального термоанемометра. Длины успокоительного канала оказалось недостаточно для выпрямления потока. Увеличив длину канала до двух его диаметров, удалось добиться совпадения градуировочных характеристик (рис. 10).



**Рис. 10. Градуировочная характеристика зонда интегрального термоанемометра с воздухохоборником параболической формы и успокоительным каналом длиной 400 мм и диаметром 200 мм**

Полученная уточненная градуировочная характеристика аппроксимируется двумя зависимостями:

$$Nu=0,331 \cdot Re^{0,5306}, \quad 0 < Re < 1000;$$

$$Nu=0,1507 \cdot Re^{0,6464}, \quad 1000 \leq Re \leq 2000,$$

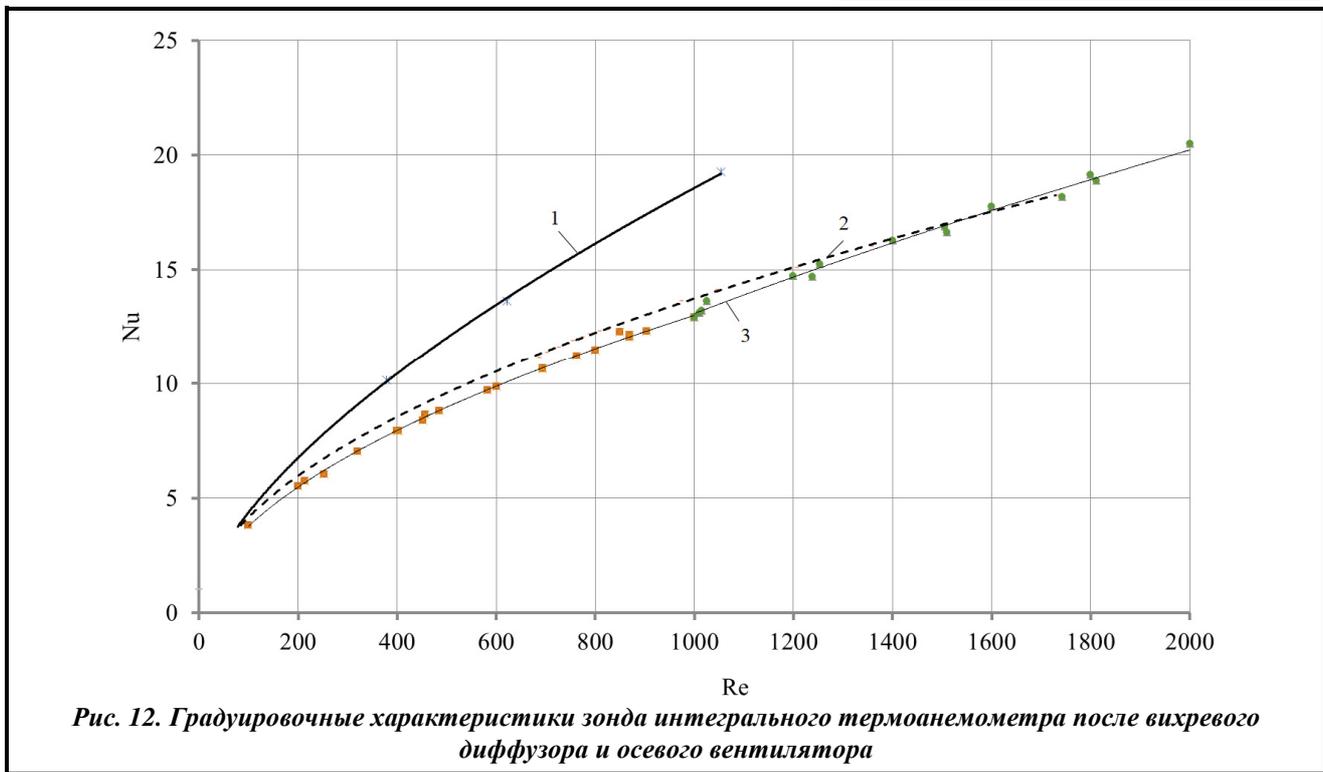
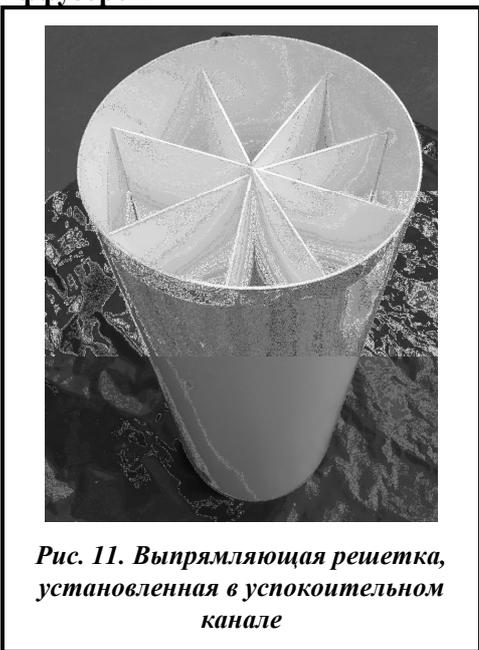
где  $Nu$  – число Нуссельта;  $Re$  – число Рейнольдса.

Эта градуировочная характеристика может использоваться для измерения расхода воздушно-го потока с помощью интегрального термоанемометра на выходе анемостатов любых типоразмеров и конструкций.

**Использование воздухосборника параболической формы для измерения расхода воздушного потока, закрученного осевым вентилятором или вихревым диффузором**

Если требуется проведение измерений расхода воздуха на выходе не анемостата, а вихревого диффузора или вентилятора, вышеприведенные зависимости применять нельзя, поскольку закрутка потока воздуха после этих устройств сильно сказывается на изменении теплоотдачи интегрального термоанемометра. Потому была проведена доработка конструкции расходомера – необходима была решётка, которая выпрямляет закрученный поток воздуха. Для этого в успокоительный канал длиной 400 мм и диаметром 200 мм была установлена выпрямляющая решетка, состоящая из 8 пластин длиной 360 мм, высотой 98 мм, толщиной 1,5 мм и угловым шагом 45° (рис. 11).

Экспериментальные измерения расходов воздуха на выходах различных вихреобразующих устройств подтвердили их практически полное совпадение с основной градуировочной характеристикой (рис. 12). В качестве пассивных устройств закрутки были использованы вихревой диффузор диаметром 400 мм VD400 и крыльчатка осевого вентилятора диаметром 300 мм, установленная неподвижно в цилиндрическом канале диаметром 300 мм.



Зависимость 1 на рис. 12 получена при измерении расхода воздуха на выходе вихревого диффузора VD400 при отсутствии выпрямляющей решётки. Зависимость 2 получена при измерении расхода воздуха после осевого вентилятора постоянного тока EBMPAPST DV6224 с крыльчаткой диаметром 143 мм. Зависимость 3 получена при измерениях расхода закрученных пассивными воздухо-распределителями воздушных потоков. Как видно из рисунка, отсутствие выпрямляющей решётки приводит к ошибке, достигающей 30 %.

### Измерение аэродинамических сопротивлений расходомера на базе воздухоборника параболической формы с успокоительным каналом, выпрямляющей решеткой и зондом интегрального термоанемометра

Измерения аэродинамических сопротивлений проводились, когда воздух поступал в помещение через воздухоборник параболической формы, успокоительный канал с выпрямляющей решёткой и зонд интегрального термоанемометра. Окончательные результаты аэродинамических сопротивлений указанных элементов конструкции представлены на рис. 13.

На рис. 13 зависимость 1 учитывает все элементы конструкции расходомера. Наибольшим сопротивлением обладает воздухоборник, представленный зависимостью 3. Наименьшими – зонд (зависимость 3) и выпрямительная решётка (зависимость 4), аэродинамическое сопротивление которой можно представить как разность между зависимостями 1 и 2. Таким образом, наличие воздухоборника слабо влияет на результаты измерений расхода воздуха. Это влияние может быть учтено с помощью поправки, рассчитываемой по формуле:

$$\Delta G_v = 0,0274 \cdot G_v^{1,2106}, \quad 0 < G_v < 600 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $G_v$  – измеренный расход воздуха.

Полученную поправку необходимо вычесть из измеренного с помощью расходомера значения расхода воздуха.

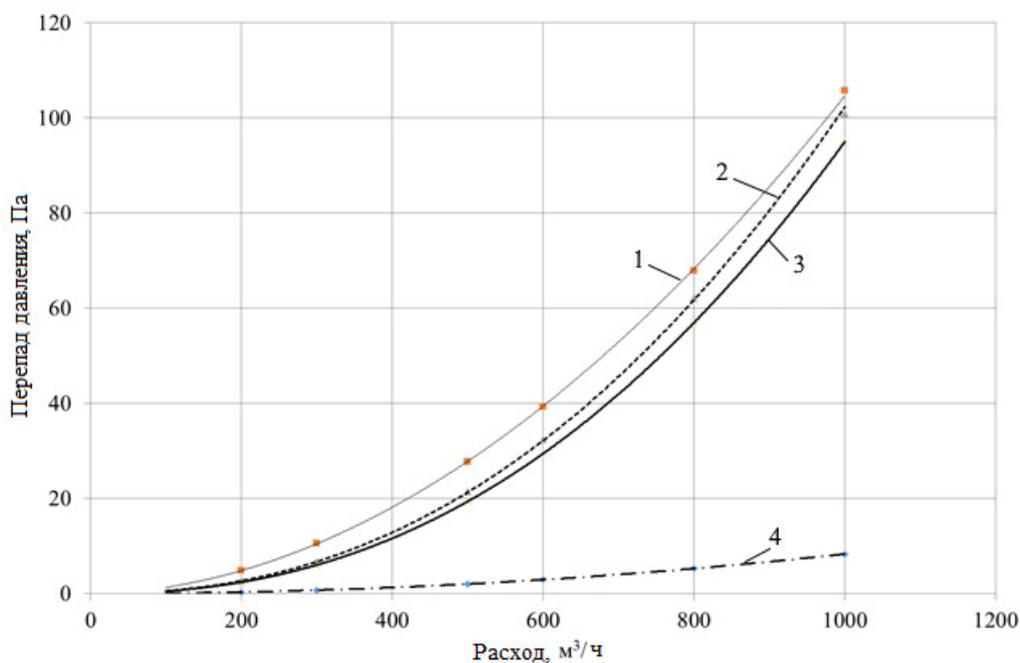


Рис. 13. Зависимости аэродинамических сопротивлений от расхода воздуха для расходомера, включающего воздухоборник параболической формы, успокоительный канал со встроенной выпрямительной решёткой и зонд интегрального термоанемометра

### Заключение

Учитывая результаты исследований, можно сделать вывод, что конструкция воздухоборника параболической формы, размеры выпрямителя воздушного потока и успокоительного канала выбраны правильно, а сам расходомер обладает универсальностью и позволяет проводить измерения рас-

хода воздуха на входах и выходах практически любых воздухораспределительных устройств в вентиляционных системах. Для измерения расходов на выходах вихревых диффузоров больших диаметров можно использовать конструкции расходомеров больших размеров с подобной геометрией. Для уточнения результатов измерения расхода воздуха необходимо учитывать поправку.

#### Финансирование

Работа выполнена за счет средств бюджетной программы «Поддержка развития приоритетных направлений научных исследований» (КПКВК 6541230).

#### Литература

1. Воздухораспределительные устройства [Электронный ресурс]: каталог / VENTS: официальный сайт. Киев, 2013. 101 с. – Режим доступа: [https://js.com.ua/upload/iblock/311/15\\_1156\\_cat\\_file.pdf](https://js.com.ua/upload/iblock/311/15_1156_cat_file.pdf).
2. O'Sullivan J., Ferrua M., Love R., Verboven P., Nicolai B., East A. Airflow measurement techniques for the improvement of forced-air cooling, refrigeration and drying operations. *J. Food Eng.* 2014. Vol. 143. P. 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.041>.
3. Профессиональные измерения климата в помещениях. *СОК. Сантехника. Отопление. Кондиционирование*. 2012. № 4. С. 64–66.
4. Ower E., Pankhurst R. The measurement of air flow. United Kingdom, Oxford: Permagon, 2014. 295 p.
5. Örlü R., Vinuesa R. Thermal anemometry. *Experimental Aerodynamics*. CRC Press. 2017. P. 257–304. <https://doi.org/10.1201/9781315371733-12>.
6. Ikeya Y., Örlü R., Fukagata K., Alfredsson P. H. Towards a theoretical model of heat transfer for hot-wire anemometry close to solid walls. *Intern. J. Heat and Fluid Flow*. 2017. Vol. 68. P. 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2017.09.002>.
7. Saremi S., Alyari A., Feili D., Seidel H. A MEMS-based hot-film thermal anemometer with wide dynamic measurement range. *Proc. of the IEEE Conf. on Sensors (SENSORS'2014)*. Valencia, Spain. 2–5 November 2014. P. 420–423. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985024>.
8. Таратыркін К. Е., Черноиванов Д. В. Оценка точности определения расхода воздуха в системах вентиляции при их паспортизации. *АВОК*. 2017. № 3. С. 54–59.
9. Tsakanyan O. S., Koshel S. V. Integral thermo-anemometers for average temperature airflow measurement in duct, at anemostat outlets and in ventilation grilles. *J. Mech. Eng.* 2020. Vol. 23. No. 4. P. 14–21. <https://doi.org/10.15407/pmach2020.04.014>.

Поступила в редакцию 28.05.2021

### Вибір конструкції універсального повітрозбірника для термоанемометричного витратоміра циліндричної форми

О. С. Цаканян, С. В. Кошель

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України,  
61046, Україна, м. Харків, вул. Пожарського, 2/10

*Вимірювання витрати повітря на виходах повітророзподільних пристроїв в системах вентиляції пов'язано з великими труднощами через різноманіття цих пристроїв. На виходах анемостатів, вихрових диффузорів, решіток може спостерігатися закрутка повітряного потоку, його різке стиснення або розширення, зміна напрямку і т.д., що призводить до великих похибок при вимірюваннях. Тому існувала необхідність в розробці універсального вимірювального пристрою, який дозволив би проводити вимірювання витрати повітря з високою точністю. Він повинен складатися з повітрозбірника (для збірки і перетворення потоків повітря в прямолінійний) і датчика для вимірювання витрати повітря (інтегрального термоанемометра). Проведено дослідження декількох конструкцій повітрозбірників. Як оптимальний обрано повітрозбірник параболічної форми. Він має невеликий аеродинамічний опір і добре перерозподіляє повітряний потік. Для зниження впливу турбулізації і закрутки повітря до повітрозбірника приєднується циліндричний заспокоїливий канал, в який вбудована випрямляюча решітка у формі восьмикінцевої зірки. Експериментальні дослідження на різних повітророзподільних пристроях дозволили отримати уточнену градувальну залежність для інтегрального термоанемометра, за якою розраховується витрата повітря. Вплив аеродинамічного опору витратоміра на витрату повітря враховується поправкою, яку необхідно вносити в виміряні значення.*

**Ключові слова:** повітрозбірник, термоанемометр, вимірювання.