

Мы продолжаем знакомить читателей с переводом стандарта ISO 14644-3:2005. В этом номере журнала помещены разделы стандарта, посвященные измерениям потоков воздуха в чистых помещениях. Обращаем внимание читателей на то, что по сравнению с ранее распространявшимся «Проектом стандарта ISO 14644-3», раздел об измерениях воздушных потоков полностью переработан; изменения коснулись не только методических, но и численных параметров, отображающих требования к приборам.

Приводится также информация о приборах для измерения характеристик потоков воздуха в чистых помещениях, предлагаемых на российском рынке.

Стандарт ISO 14644-3:2005 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы измерений»

Из приложения В «Методы контроля чистых помещений»

В.4 Измерения потока воздуха

В.4.1 Общие положения

Целью этих измерений является определение скорости потока воздуха, а также ее однородности, и определение расхода подаваемого в чистое помещение или чистую зону воздуха. Измерения распределения скорости необходимы для чистых помещений и чистых зон с однонаправленным потоком воздуха, а измерения расхода подаваемого воздуха – для чистых помещений с неоднаправленным потоком воздуха.

Измерения расхода подаваемого в чистое помещение воздуха проводятся для того, чтобы установить объем воздуха, поступающего в систему чистого помещения в единицу времени. Эта величина может также использоваться при определении кратности воздухообмена в единицу времени. Расход поступающего в помещение воздуха измеряется либо после финишных фильтров, либо в воздуховоде подаваемого воздуха. Оба метода основаны на измерении скорости воздуха, проходящего через сечение известной площади; расход воздуха вычисляется по полученным значениям скорости воздуха и площади сечения. Выбор метода измерения определяется соглашением между заказчиком и исполнителем. Все измерения могут проводиться во всех трех состояниях чистого помещения.

В.4.2 Процедура измерения в случае однонаправленного воздушного потока

В.4.2.1. Общие положения

Именно скорость однонаправленного потока определяет характеристики чистого помещения с однонаправленным потоком воздуха. Величина скорости может измеряться вблизи выходной плоскости финишных фильтров либо внутри чистого помещения. Для этого следует выбрать плоскость проведения измерений, перпендикулярную потоку подаваемого в помещение воздуха, и разделить ее на ячейки равной площади.

В.4.2.2 Определение скорости подаваемого в помещение воздуха

Скорость потока воздуха должна измеряться на расстоянии приблизительно от 150 до 300 мм от выходной плоскости фильтра. Число точек измерения должно быть достаточным для определения расхода воздуха в чистом помещении или чистой зоне, должно определяться как корень квадратный из площади плоскости измерения (в квадратных метрах), умноженной на 10, и не должно быть меньше четырех. На каждый из финишных фильтров или фильтро-вентиляционных модулей должна приходиться, по крайней мере, одна точка измерения. Для того чтобы исключить возмущения однонаправленного потока воздуха, могут использоваться занавеси.

Время измерения в каждой точке также должно быть достаточным, чтобы гарантировать воспроизводимый резуль-

тат. Для всех точек измерения следует записывать усредненные по времени значения скорости.

В.4.2.3 Однородность скорости внутри чистого помещения

Измерения однородности скорости воздуха должны проводиться на расстоянии примерно от 150 мм до 300 мм от выходной плоскости фильтра. Разделение плоскости измерений на ячейки должно быть установлено в согласии между заказчиком и исполнителем.

Когда в чистом помещении установлено оборудование и определены рабочие места, важно обнаружить наличие возможных значительных вариаций воздушного потока. Однако измерения однородности скорости не следует проводить в точках, расположенных вблизи указанных препятствий.

Данные, которые получены вблизи оборудования, могут не соответствовать характеристикам самого чистого помещения или чистой зоны. Данные, которые будут использоваться для определения однородности скорости, например, распределение скоростей, должны быть согласованы между заказчиком и исполнителем.

Время измерения в каждой точке также должно быть достаточным, чтобы гарантировать воспроизводимый результат.

В.4.2.4 Определение расхода воздуха по скорости воздуха за выходной плоскостью фильтра

Результаты измерения скорости потока воздуха в соответствии с В.4.2.2.

могут быть использованы для вычисления общего расхода воздуха как:

(В.1)

- где – общий расход воздуха,
- скорость воздуха в центре каждой ячейки,
- площадь каждой ячейки, определяемая как площадь плоскости измерений, деленная на число точек измерения,
- сумма по всем ячейкам.

В.4.2.5 Определение расхода воздуха в приточных воздуховодах

Расход воздуха, подаваемого в чистое помещение, может быть измерен с помощью объемных расходомеров, таких как диафрагменные расходомеры, расходомеры Вентури и анемометры, описанные в стандартах ИСО 5167-1, 2, 3 и 4.

В случае, если для измерений в воздуховоде прямоугольного сечения используются трубки Пито и манометры (или анемометры – термо- или крыльчатые), плоскость измерения (внутреннее сечение воздуховода) следует разделить на ячейки равной площади, а измерения проводить в центре каждой ячейки. Число ячеек устанавливается соглашением между заказчиком и исполнителем, например, равным 9 или 16. Объемный расход воздуха рассчитывается по В.4.2.4.

Для круглых воздуховодов объемный расход воздуха определяется методом, описанным в европейском стандарте 12599 (EN 12599:2000, Ventilation for buildings – Test procedures and measuring methods for handling over installed ventilation and air conditioning systems).

В.4.3 Процедура измерения в случае неоднаправленного воздушного потока

В.4.3.1 Общие положения

В случае неоднаправленного потока воздуха наиболее важными параметрами являются расход воздуха и кратность воздухообмена. Однако в некоторых случаях необходимо измерять скорость приточного воздуха от отдельных диффузоров, чтобы определить соответствующий расход воздуха.

В.4.3.2 Измерение расхода воздуха в точке его ввода в помещение

В помещениях с неоднаправленным потоком воздуха в точках его ввода возможно формирование областей локальной турбулентности и струйного течения, поэтому в этих случаях рекомендуется применение балометра (устройства с кожухом, которое регистрирует расход воздуха, проходящего через каждый финишный фильтр или приточный диффузор).

Расход поступающего в помещение воздуха определяется с помощью кожуха с расходомером или путем умножения скорости воздуха на выходе из кожуха на эффективную площадь сечения.

Входное сечение кожуха балометра должно полностью закрывать фильтр или диффузор, а рамка, образующая входное сечение кожуха балометра, должна плотно прилегать к плоской поверхности, чтобы избежать утечек воздуха и ошибки измерений. После установки балометра скорость потока воздуха от каждого финишного фильтра или приточного диффузора должна измеряться непосредственно у выпускного сечения расходомера.

В.4.3.3 Определение расхода воздуха за скоростью воздуха за выходной плоскостью фильтра

Оценку расхода воздуха можно провести с помощью анемометра, установленного за выходной плоскостью каждого финишного фильтра. Расход воздуха вычисляется путем перемножения скорости воздуха и площади выходной плоскости. Для того, чтобы исключить возмущения неоднаправленного потока воздуха, могут использоваться занавеси.

Определение числа точек измерения и вычисления расхода воздуха описаны в разделах в.4.2.3 и В.4.2.4 соответственно.

Если плоскость измерений невозможно разделить на ячейки одинаковой площади, можно использовать средневзвешенные значения скорости воздуха для каждой ячейки.

В.4.3.4 Определение расхода воздуха в приточных воздуховодах

Определение расхода воздуха в приточных воздуховодах может быть определено методом, описанным в разделе В.4.2.5.

В.4.4 Приборы для измерений потока воздуха

Описание приборов и требований к ним представлены в разделе С.4. Для измерений скорости потока воздуха могут использоваться ультразвуковые анемометры, термоанемометры, крыльчатые анемометры или эквивалентные им приборы.

Измерения расхода воздуха могут выполняться с помощью диафрагменных расходомеров, расходомеров Вентури, статических трубок Пито, усредняющих статических трубок Пито и манометров или эквивалентных приборов.

Для измерения скорости потока воздуха следует выбирать прибор, на который не влияют колебания скорости от точки к точке (на небольших расстояниях), например, если сечение потока разделено на малые секции и выполняются дополнительные измерения, применяется термоанемометр. С другой стороны, в этом случае может использоваться крыльчатый анемометр, если он имеет соответствующую чувствительность и размеры, достаточные для «усреднения» скорости воздуха по области, в которой возможны вариации скорости.

Приборы должны иметь действующие сертификаты калибровки.

В.4.5 Протокол измерений

По соглашению между заказчиком и исполнителем в протокол измерений включается следующая информация в соответствии с разделом 5 настоящего стандарта:

- a) тип измерений и методы измерений, условия проведения измерений;
- b) тип каждого используемого прибора и данные о его калибровке;
- c) места расположения точек измерения и их расстояния до выходной плоскости фильтра;
- d) состояние(я) чистого помещения
- e) другие данные, существенные для измерений.

.....

Из приложения С «Приборы и оборудование»

С.4 Измерение потока воздуха

С.4.1 Измерители скорости воздуха

С.4.1.1 Термоанемометр – определяет скорость воздуха путем измерения изменения теплопередачи небольшого электрически нагреваемого датчика, помещенного в воздушный поток.

Требования к термоанемометру даны в табл. С.9.

Таблица С.9
Требования к термоанемометру

Параметр	Требования
Пределы/диапазон измерений	Обычно от 0,1 м/с до 1,0 м/с в чистых помещениях и чистых зонах; от 0,5 м/с до 20 м/с в воздуховодах
Чувствительность/разрешение	0,05 м/с (или как минимум 1% от полной шкалы)*
Погрешность	± (5% от значения + 0,1 м/с)*
Постоянная времени	Менее 10 с при 90% от полной шкалы
Период калибровки	Максимум 12 месяцев
* Чувствительность и погрешность – см. в стандарте ИСО 7726. Показания прибора должны быть скорректированы по отношению к изменениям температуры и атмосферного давления	

Таблица С.10

Требования к 3D ультразвуковому анемометру или эквивалентному прибору

Параметр	Требования
Пределы/диапазон измерений	От 0 до 1 м/с в чистых помещениях и чистых зонах
Чувствительность/разрешение	0,01 м/с
Погрешность	± 5% от значения
Постоянная времени	Менее 1 с
Период калибровки	Максимум 12 месяцев

Таблица С.11

Требования к крыльчатому анемометру

Параметр	Требования
Пределы/диапазон измерений	От 0,2 м/с до 1,0 м/с
Чувствительность/разрешение	0,1 м/с
Погрешность	±0,2 м/с или ± 5% от значения, в зависимости от того, что больше
Постоянная времени	Менее 10 с при 90% от полной шкалы
Период калибровки	Максимум 12 месяцев

Таблица С.12

Требования к статической трубке Пито и манометру

Параметр	Требования
Пределы/диапазон измерений	1,5 м/с
Чувствительность/разрешение	0,5 м/с
Погрешность	± 5% от значения
Постоянная времени	Меньше 10 с при 90% от полной шкалы
Период калибровки	Максимум 12 месяцев

Таблица С.13

Требования к балометру

Параметр	Требования
Пределы/диапазон измерений	От 50 м ³ /час до по крайней мере 1700 м ³ /часа*
Погрешность	± 5% от значения
Постоянная времени	Менее 10 с при 90% от полной шкалы
Период калибровки	Максимум 12 месяцев
* Приведены требования к прибору с типичными размерами кожуха 600 x 600 мм. Пределы измерений и разрешение зависят от размеров используемого кожуха	

С.4.1.2 Трехмерный ультразвуковой анемометр или эквивалентный прибор – определяет скорость потока воздуха путем измерения сдвига частоты звука (или изменения скорости звука) между выбранными точками в измеряемом потоке воздуха.

Требования к ультразвуковому анемометру даны в табл. С.10.

С.4.1.3 Крыльчатый анемометр – определяет скорость воздуха путем измерения скорости вращения крыльчатки анемометра.

Требования к крыльчатому анемометру даны в табл. С.11.

С.4.1.4 Трубка Пито и манометр (цифровой) – измеряют скорость воздуха путем определения с помощью электрического цифрового манометра разности полного и статического давления в определенной точке воздушного потока.

Требования к статической трубке Пито и манометру даны в табл. С.12.

С.4.2 Измерители потока воздуха

С.4.2.1 Балометр (кожух с расходомером) – измеряет расход воздуха через сечение, внутри которого значения скорости потока воздуха могут различаться; обеспечивает измерение суммарного расхода воздуха через указанное сечение. Весь воздушный поток собирается и концентрируется в точке измерений таким образом, что скорость в этой точке соответствует средней скорости потока через сечение.

Требования к балометру даны в табл. С.13.

С.4.2.2 Диафрагменный расходомер – см. стандарт ИСО 5167-2:2003, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 2: Orifice plates.

С.4.2.3 Расходомер Вентури – см. стандарт ИСО 5167-4:2003, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 4: Venturi tubes.

Для предоставления более подробной информации о приборах для измерения воздушных потоков в чистых помещениях мы задали несколько вопросов **О. Ю. Маслакову**, главному инженеру компании «Клинрум Инструментс», занимающейся комплектацией и монтажом систем мониторинга и поставкой приборов контроля для чистых помещений.



Олег Юрьевич, что Вы можете сказать о приборах для измерений потока воздуха?

Приборы для измерения расхода воздуха и скорости воздушных потоков занимают совершенно обособленное место среди контрольно-измерительной аппаратуры для чистых помещений, причем, на мой взгляд, измерениям этих параметров уделяется совершенно недостаточное внимание, а их важность недооценивается. Между тем величина скорости воздуха и его объемного рас-

хода, однородность распределения воздушных потоков не только являются важнейшими характеристиками чистого помещения, но и служат отличными индикаторами состояния фильтров, вентиляционной аппаратуры, наконец, правильного размещения технологического оборудования внутри помещения. А ведь нарушение последнего условия легко может привести к формированию застойных зон и, как следствие, к росту концентрации частиц внутри чистого помещения.

А в чем вы видите особенность измерений расхода и скорости воздуха?

Прежде всего, измерения воздушных потоков сложны в методическом плане. Практически для каждого вида измерений, каждого типа приборов – своя методика, подчас весьма сложная, причем эта сложность именно методическая. Сами же приборы, напротив, довольно просты и недороги.

Например, измерения расхода воздуха можно проводить в воздуховоде с помощью трубок Пито и дифференциального манометра – простейших и совсем дешевых устройств. Но при этом надо грамотно расположить трубки в потоке, разбить плоскость измерения на концентрические кольца, ввести поправки на температуру и атмосферное давление.

А при измерениях в чистых помещениях с однонаправленным потоком воздуха очень важно убедиться в однородности распределения скоростей по всему сечению чистого помещения; для этого надо разбить плоскость измерений на равновеликие ячейки, а измерения проводить в центре каждой ячейки, причем сделать это так, чтобы в последующем повторные измерения проводились в тех же самых точках.

Очень хорошо, что ваш журнал помещает не только технические требования к приборам, но и методические разделы стандарта ИСО 14644-3. Хотя, надо признать, что в методическом плане стандарт ИСО 14644-3 очень лаконичен – в нем даются только основные принципы организации измерений. Это надо учитывать при организации измерений непосредственно на предприятиях и шире использовать методические разработки фирм-производителей, другие известные стандарты, техническую литературу.

Расскажите, пожалуйста, о приборах для измерения воздушных потоков, представленных на российском рынке.

Из всех типов приборов для измерения расхода и скорости воздуха, перечисленных в стандарте ИСО 14644-3, я бы обратил особое внимание на термоанемометры, крыльчатые анемометры и балометры. Остальные устройства – диафрагменные расходомеры, расходомеры Вентури, трубки Пито – более характерны для промышленной вентиляции и, на мой взгляд, довольно редко используются в чистых помещениях.

Наиболее распространенными следует считать анемометры. **Термоанемометры** очень удобны для измерений в чистых помещениях с однонаправленным потоком воздуха и в ламинарных боксах. Термоанемометры имеют очень хорошую точность, а чувствительный элемент этих приборов обеспечивает хорошую локализацию измерений. Многие прибо-

ры такого типа снабжены телескопической штангой, что позволяет проводить измерения вблизи потолочных фильтров. Надо только не забывать предусмотреть такое устройство при заказе прибора. При этом с помощью многих термоанемометров можно проводить измерения и в воздуховодах!

Хорошим примером термоанемометра является модель 471-2 фирмы Dwyer (США). Этот легкий (340 г) ручной прибор имеет четыре диапазона измерений: от 0 до 3 м/с, от 0 до 7 м/с, от 0 до 30 м/с и от 0 до 75 м/с. Погрешность измерения составляет 3% на младших диапазонах и 5% на последнем диапазоне. Прибор имеет зонд с телескопической штангой длиной 83 см. Кроме того, с его помощью можно определять не только скорость воздушного потока в помещении и в воздуховодах, но и температуру воздуха.



Рис. 1. Термоанемометр 471-2 фирмы Dwyer (США).

Заслуженной популярностью пользуются у специалистов по чистым помещениям и термоанемометры фирмы Testo AG (Германия), прежде всего за их многофункциональность. Например, с помощью прибора Testo 435 (рис. 2) можно измерять не только температуру, относительную влажность, скорость воздуха, но и объемный расход воздуха. Правда, для каждого вида измерений надо покупать специальный зонд, что не может не отразиться на итоговой цене прибора.

В турбулентно вентилируемых помещениях более целесообразно использовать **крыльчатые анемометры**. Они позволяют усреднять измеренные значения скорости воздушного потока – во



Рис. 2. Многофункциональный измерительный прибор Testo 435.



Рис. 3. Кожух 330 мм x 330 мм к прибору Testo 435 для измерения расхода воздуха в условиях турбулентных потоков.

всяком случае, в пределах площади крыльчатки. Показанный на рис. 4 анемометр VT-200 фирмы Dwyer – популярный представитель «семейства крыльчатых». Он может измерить скорость в диапазоне от 0,3 до 45 м/с с точностью 3% и разрешением 0,1 м/с, одновременно определяет температуру воздуха, может пересчитать скорость в объемный расход. К несомненным достоинствам прибора относятся память на 1000 измерений и возможность передачи данных в компьютер.

И еще я хочу обратить внимание читателей на прибор, не получивший пока у нас в стране распространения – **балометр**. Его применение очень эф-



Рис. 4. Крыльчатый анемометр VT-200 фирмы Dwyer (США).

фективно в помещениях с неоднаправленным потоком воздуха. Дело в том, что в них возможно формирование областей струй и локальных турбулентностей, влияние которых трудно учесть при измерениях с помощью анемометра. Избежать этого можно, применяя балометр.

В процессе измерения кожух прибора накладывается на фильтр или диффузор, полностью закрывая его. Таким образом, весь поступающий воздух направляется к выходному сечению кожуха, где установлен расходомер. Это полностью исключает влияние турбулентностей и струйного течения. Единственно, на что надо обращать особое внимание, это плотное прилегание рамки, образующей входное сечение кожуха балометра, к потолку (или к иной плоскости, на которой закреплен фильтр или диффузор, например, к боковой стене или полу).

Представленный на рис. 5 балометр модели AFH фирмы Dwyer (США) позволяет измерять объемный расход воздуха в диапазоне от 50 до 2000 м³/час с точностью 2%. Результаты сразу же отображаются (в м³/час, л/с или куб. футах/мин) на жидкокристаллическом дисплее прибора, а также записываются в память прибора либо передаются в компьютер по RS-232. Прибор одновременно измеряет и температуру воздуха.



Рис. 5. Балометр (кожух с расходомером) модели AFH фирмы Dwyer (США).

Стандартный размер входной рамки балометра AFH – 2 × 2 фута, т.е. 61 × 61 см, что позволяет перекрывать большинст-

во стандартных типоразмеров фильтров. Однако в качестве дополнительного оборудования можно приобрести и кожухи других размеров – 1 × 4 фута, 2 × 4 фута, 3 × 3 фута (1 фут = 30,48 см).

Несмотря на кажущуюся громоздкость, с прибором легко управляется один оператор. Для поддержки кожуха балометра во время «потолочных» измерений к прибору прилагаются специальные штанги, а сам прибор (его вес 12 кг) переносится в кейсе.

Скажите, пожалуйста, а можно ли включать приборы для измерения воздушных потоков в системы мониторинга чистых помещений?

Конечно. Единственным условием для этого является наличие у прибора выхода RS 232 или (и лучше) RS 485. Однако я бы не советовал включать в состав системы мониторинга именно приборы. Для этого намного лучше подойдут специальные датчики, причем их применение обойдется существенно дешевле.

В качестве примера я опять приведу изделия Dwyer – ведь приборы для измерения воздушных потоков (как, впрочем, и для измерения перепада давления) – это «фирменная» продукция этой компании, ставшая своего рода эталоном в анемометрии.



Рис. 6. Датчик скорости потока воздуха 641RM фирмы Dwyer (США).

Итак, в системах мониторинга можно установить датчики типа 641RM (см. рис. 6). Они не только передадут информацию в компьютер, но и отобразят результаты измерения на встроенном дисплее. Если отображение информации на месте не требуется, используются датчики типа 641. Они также позволяют измерять скорости потоков до 75 м/с (хотя можно выбрать и более узкий диапазон), имеют стандартный выход 4-20 мА. Аналогичные характеристики имеет и серия датчиков AVU. Поэтому подобрать датчики с нужными характеристиками для системы мониторинга – совершенно не проблема, пожалуйста, обращайтесь в нашу компанию, поможем.

Датчиками скорости воздуха снабжаются (в качестве дополнительного оборудования) и многие счетчики частиц аэрозолей, например, приборы Solair фирмы Lighthouse Worldwide Solutions (США). В этом случае результаты измерений отображаются на дисплее прибора Solair, запоминаются, распечатываются, обрабатываются и передаются в компьютер наряду с результатами измерений других параметров. Поэтому, если ваше предприятие планирует или уже купило современный счетчик аэрозолей, возможно, его дооснащение датчиком скорости воздуха будет вполне разумным и экономичным решением.

В заключение хотел бы отметить, что я рассказал о типичных представителях каждого типа приборов для измерения потоков воздуха. Однако в чистых помещениях могут использоваться любые приборы, технические характеристики которых соответствуют таблицам, приведенным в разделе С стандарта ИСО 14644-3.

Более подробную консультацию по любым приборам, используемым для контроля чистых производственных Вы можете получить в компании «Клинрум Инструментс». Там же Вы можете заказать и приобрести эти приборы.



ООО «Клинрум Инструментс»

Почтовый адрес: 123060 г. Москва, а/я 32
 ☎ (495) 196-7727, 7594; ☎ (495) 196-7727
 http://www.clri.ru, e-mail: clri@clri.ru



УРАЛЬСКИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ

Фильтры для сверхтонкой очистки газов

- Имеют полностью металлическую конструкцию, полированные поверхности корпусов, металлические уплотнительные соединения;
- Изготавливаются из материалов, стойких к агрессивным средам (при необходимости, из стали 316L);
- Испытываются на оборудовании, аттестованном для регистрации частиц размером $\geq 0,01$ мкм;
- Проходят подготовку к работе в чистых боксах класса 100;
- Имеют двойную упаковку в среде особо чистого газа;
- Комплекуются арматурой для установки в газовые линии.

Фильтры унифицированы с изделиями мировых производителей и могут быть доработаны для использования в специальных целях.

Производство осуществляется в соответствии с требованиями системы качества ГОСТ Р ИСО 9001



624130, Россия, Свердловская область
 г. Новоуральск, ул. Дзержинского 2
 тел./факс: (34370) 2-52-20, 9-59-54
 e-mail: kso@ueip.ru, www.ueip.ru