

# Контроль качества воздуха в помещении

## при помощи счетчика частиц Fluke 985

**В условиях современного крупного города загрязнения сосредоточены, в основном, в приземном слое высотой до 1–2 км, а в средних городах — в слое толщиной в сотни метров. Источники загрязнения атмосферы могут быть природные/естественные (пыльные бури, выветривание) и антропогенные/искусственные (промышленные предприятия, транспорт, теплоэлектростанции). Между тем исследования показывают, что зачастую воздух внутри помещений в пять раз более загрязнен, чем снаружи. Прибор Fluke 985 позволяет обнаруживать наличие и концентрацию вредоносных частиц, чтобы затем устранить причину проблемы.**

**Дмитрий Громцев**  
(по материалам  
компании Fluke)

kip@pribor.ru

Загрязнения в атмосферном воздухе присутствуют в различных агрегатных состояниях: в виде твердых взвешенных частиц (аэрозолей), в виде пара, капель жидкости и газов. Наиболее часто атмосферный воздух загрязняется окисью и двуокисью углерода, окислами азота, окислами серы и другими соединениями серы (сероводород, сероуглерод). Нередко в воздушной среде обнаруживаются высокотоксичные вещества, активно взаимодействующие с компонентами атмосферы и биосферы: свинец, мышьяк, ртуть и др. Внутри производственных, офисных, жилых, торговых и других помещений в воздухе встречаются различные виды взвешенных частиц — от шерсти животных, пыльцы и бактерий до частиц стекловолокна, асбеста и продуктов сгорания, возникающих в результате работы оборудования или технологических процессов.

Гигиеническая оценка степени загрязнения воздуха дается на основании сопоставления результатов анализов воздуха с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) веществ в атмосферном воздухе. Для правильной оценки проблем с качеством воздуха в помещении и поиска их причин специалисту нужен прибор, который бы не только регистрировал концентрацию частиц, но и давал дополнительную информацию для процесса контроля (рис. 1).

Счетчик частиц — ключевой элемент в профессиональном наборе инструментов для систем обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ) и анализа качества воздуха в помещениях. Он предоставляет потребителю информацию относительно концентрации и источника частиц в исследуемой атмосфере. Счетчик может использоваться в системах мониторинга качества воздуха, для проверки производительности фильтров и критически важных компонентов систем ОВКВ для сертификации по 5–9 классам ISO.

### Исследование качества воздуха в помещениях

В жилых, коммерческих и производственных помещениях (домах, офисах, гостиницах) исследования качества воздуха необходимо проводить прежде всего по соображениям здоровья и комфорта. При этом в разных местах допустимы различные уровни концентрации взвешенных частиц, но в любом случае слишком высокие уровни могут приводить к заболеваниям, например таким, как «синдром нездорового здания», к снижению производительности труда, заражению продукции и т. п.

На производстве системы ОВКВ являются крупнейшим потребителем электроэнергии. Их отключение на время, когда в здании отсутствуют персонал или посетители, может дать определенную экономию, но в то же время приводит к снижению качества воздуха в помещении, поскольку загрязнители накапливаются в воздухе.

Проверка качества воздуха является первым шагом программы технического обслуживания или выполняется в ответ на жалобы, которые потенциально связаны с качеством воздуха. Независимо от того, является ли помещение жилым/коммерческим или производственным/официальным, методы остаются теми же:

1. Изучение поступивших жалоб (суть претензий, симптомы, сконцентрированность/рассредоточенность жалующихся). Это позволит оценить уровень токсичности по аллергическим реакциям, нарушениям комфорта, повышению зараженности продукции и т. д.
2. Исследование истории здания (время постройки/реконструкции, график и качество ремонтных работ — например, могли быть устранены повреждения кровли или канализации, но не приняты надлежащие меры по ликвидации ущерба от воды, — методы обслуживания здания и т. п.).



Рис. 1. Счетчик частиц Fluke 985

3. Визуальный осмотр объекта с целью выявить возможные источники распространения загрязнения воздуха (взвешенных частиц). Особое внимание следует уделять местам расположения систем ОВКВ, а также потенциально неблагоприятным участкам (места со свежей краской, ковровыми покрытиями, посторонними запахами, плесенью и т. п.).

4. Замеры качества воздуха. При проведении полного обследования необходимо произвести замеры температуры, влажности, CO и CO<sub>2</sub> для выявления проблем, связанных с неправильной или загрязненной вентиляцией и т. п. Высокая влажность и высокая концентрация частиц размером 3 мкм и более могут указывать на присутствие спор плесени; высокая концентрация частиц от 0,3 до 10 мкм может означать присутствие бактерий, потенциально опасных, например, для пациентов в хирургическом отделении или специализированных боксах. Рассмотрим последний пункт подробнее.

Наиболее эффективная процедура оценки качества воздуха в помещении — получение нескольких фоновых замеров наружного воздуха с регистрацией точек взятия замеров по отношению к объекту. По крайней мере один из фоновых замеров должен быть сделан вблизи заборного устройства приточной вентиляции. Однако при этом необходимо учитывать ее расположение, чтобы замеры не оказались искажены присутствием источников загрязнения, таких, например, как участки погрузочно-разгрузочных работ. Затем необходимо рассчитать целевое значение концентрации взвешенных частиц путем внесения в фоновое значение поправки на эффективность фильтров системы вентиляции. В чистых помещениях в качестве фоновых значений можно использовать три стадии — «после постройки», «в покое», «в работе». После того как установлено фоновое значение, данные всегда должны сравниваться именно с этим показателем.

Частицы имеют свойство быстро распространяться в воздухе, что затрудняет выявление их источника. Один из методов состоит в том, чтобы выполнить наибольшее количество замеров в «области жалоб», а затем постепенно удаляясь от нее. При планировании маршрута осмотра важно ориентироваться на план установленных ОВКВ. В каждой зоне делается замер в центре самой зоны и возле входных/выходных отверстий вентиляции и любых других элементов ОВКВ. Особое внимание необходимо уделить замеру на входе и выходе каждого фильтра тонкой очистки воздуха. При сборе данных следует отмечать любые необычные повышения концентрации и размеров частиц.

Для учета различий в концентрации частиц можно использовать возможность присваивать имена помещений ячейкам для хранения данных прибора Fluke 985. Компания также выпускает прибор Fluke 971, который обладает функциями термометра и гигрометра, что позволяет измерить температуру и влажность и сравнить их с допустимыми значениями

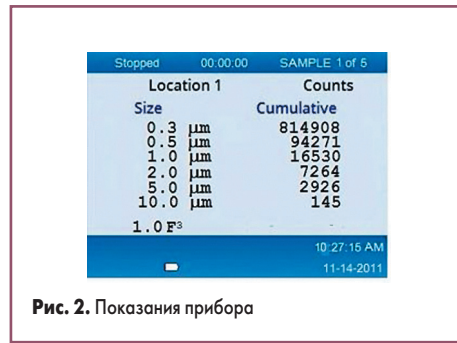


Рис. 2. Показания прибора

(см. стандарты ASHRAE 55 и 62) для базового обследования качества воздуха.

После устранения причины загрязнений проводится повторное обследование.

### Интерпретация данных

Предельно допустимые концентрации могут меняться в широких пределах в зависимости от типа и размеров объекта, а также в зависимости от других факторов. Учет внешних условий может помочь сузить список возможных источников взвешенных частиц. Кроме того, правильная интерпретация данных требует понимания зоны обследования, то есть необходимо определить:

- является ли зона жилой, коммерческой, чистым помещением или высокоточным производством;
- находится ли чистое помещение «в покое» или «в работе»;
- подвержена ли зона воздействию табачного дыма или частиц, возникающих в процессе горения;
- ведутся ли поблизости от зоны строительные работы.

Высокоуровневое рассмотрение может дать приблизительный ответ о том, существует проблема или нет. Следующие замеры наружного воздуха являются некими шаблонами и могут быть полезны для специалистов (рис. 2).

#### Тест 1

Данные о концентрации частиц на рис. 3 относятся к новому жилому зданию (<5 лет) и не показывают никаких превышений норм. Следует помнить, что в жилых зонах уровни наличия частиц иногда бывают выше, чем данные наружных замеров, например из-за присутствия дополнительных источников частиц (шерсти животных и т. п.), меньшей области рассеяния и часто менее совершенной фильтрации.

#### Тест 2

Данные о концентрации частиц на рис. 4 относятся к среднестатистическому офисному пространству и свидетельствуют об отсутствии превышения норм. В коммерческом помещении уровень концентрации частиц должен быть значительно ниже, чем при наружных замерах, ввиду хорошей фильтрации.

#### Тест 3

Данные о концентрации частиц на рис. 5 характерны для старого жилого помещения с видимым присутствием плесени. Показания существенно более высоки, и необходимо при-

нять меры для борьбы как с самой плесенью, так и с исходной причиной проблемы.

Если источник происхождения частиц определить не удастся, следует ориентироваться на их размеры и интерпретацию, приведенные в таблице на рис. 6. Для получения точных данных рекомендуется взять образцы частиц и обратиться в лабораторию для проведения анализов.

### Пример исследования чистого помещения

Чистые помещения — отличное место применения счетчика частиц. Сертификация чистых помещений обычно проводится на стадии «после постройки». Для иллюстрации протестируем прибор Fluke 985 в оценке чистого помещения ISO Class 5 (в соотв. с ISO 14644). Чтобы помещение рассматривалось как чистое помещение Class 5, уровни концентрации не должны превышать допустимых пределов в каждом из классов частиц по таблице (рис. 6).

В примере определим концентрацию в помещении частиц размером 0,3 мкм. Несколько двухлитровых заборов воздуха берутся в различных местах в шесть различных моментов времени внутри чистого помещения. Результаты приведены в таблицах 1, 2.

Отдельные измерения имеют достаточный запас в пределах ограничений для чистого помещения; однако мы предпримем следующие

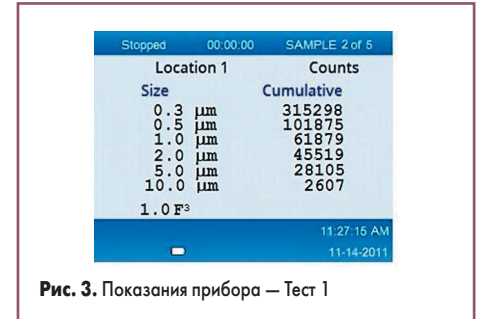


Рис. 3. Показания прибора — Тест 1

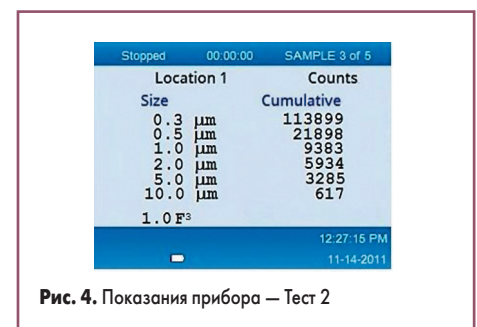


Рис. 4. Показания прибора — Тест 2

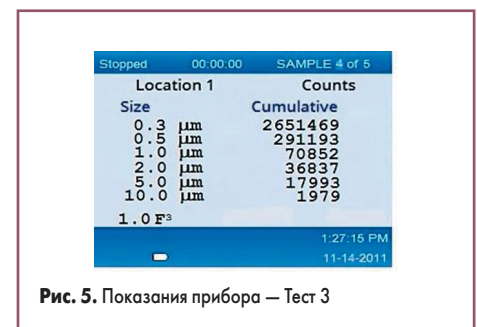


Рис. 5. Показания прибора — Тест 3

шаги, чтобы гарантировать статистическую достоверность измерений:

- Шаг 1. Расчет среднего значения общей концентрации частиц.

$$M = (AC1+AC2+AC3+AC4+AC5+AC6)/L;$$

$$995 = (674+1154+1097+841+828+1376)/6.$$

- Шаг 2. Расчет среднеквадратичного отклонения общих значений.

$$SD = (\sqrt{(AC1-M)^2 + \dots + (AC6-M)^2}) / (L-1);$$

$$116 = (\sqrt{(674-995)^2 + (1154-995)^2 + (1097-995)^2 + (841-995)^2 + (828-995)^2 + (1376-995)^2}) / (6-1).$$

- Шаг 3. Вычисление стандартной ошибки среднего общих значений.

$$SE = SD / (\sqrt{L});$$

$$47,36 = 116 / (\sqrt{6}).$$

- Шаг 4. Расчет верхнего доверительного предела (табл. 3).

$$UCL = M + (UCL \text{ Factor} \times SE);$$

$$1087 = 995 + (1,4 \times 47,36).$$

Получаемое в результате среднее значение для всех местоположений находится в пределах требований для чистого помещения класса Class 5.

Прибор Fluke 985 выдает данные о взвешенных частицах по шести каналам на одном дисплее, что позволяет специалисту охватить все показания одним взглядом. Хотя тест для чистого помещения был сфокусирован на частицах размером 0,3 мкм, на дисплее прибора немедленно появилась бы информация о превышении концентрации в любой другой категории частиц. Специалист может настраивать число каналов для различных размеров частиц, выводимых прибором Fluke 985, и устанавливать оповещение звуком или подсветкой текста для превышения концентраций тех размеров частиц, которые представляют интерес.

После сертификации чистого помещения специалист может осуществлять мониторинг концентрации частиц за заданный период при помощи функции графика трендов прибора Fluke 985. Ее можно использовать на стадии чистого помещения «в работе». Это позволяет специалисту отслеживать ход производственного процесса и при необычном увеличении концентрации частиц обнаруживать события, приводящие к загрязнениям. Эта функция также позволяет специалистам просматривать тренды сразу же на приборе, до экспорта данных, что экономит огромное количество времени. Данные прибора можно передавать на компьютер через USB или по сети для немедленного анализа и быстрого принятия мер (рис. 7). Функция задержки прибора Fluke 985 полезна для определения концентрации частиц для чистого помещения «в покое», когда все люди его покинули, система вентиляции профильтровала воздух и среда стабилизировалась.

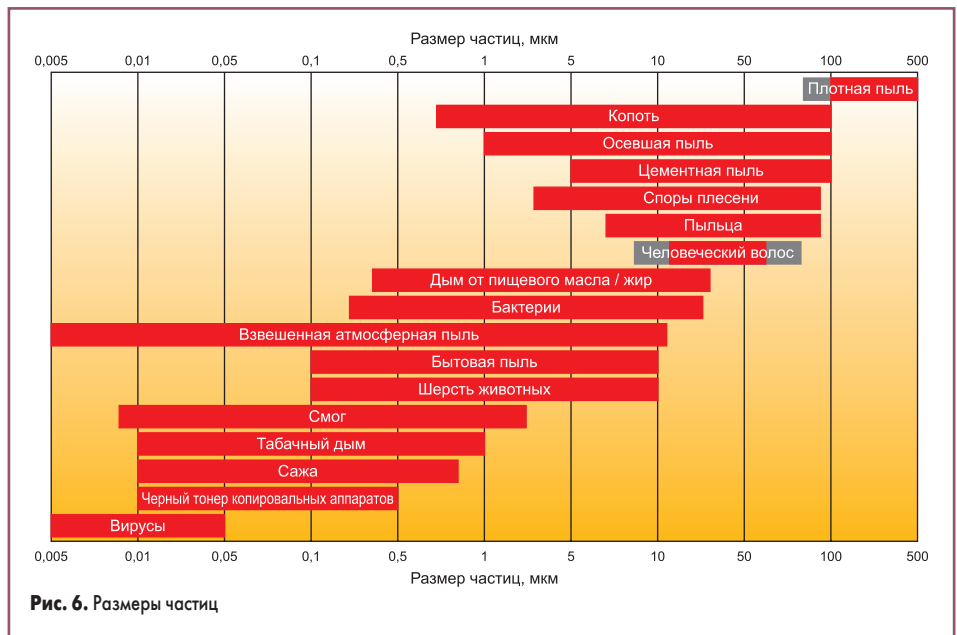


Таблица 1. Классификация ISO

Классификация ISO	Границы классов частиц					
	0,1 мкм	0,2 мкм	0,3 мкм	0,5 мкм	1 мкм	5 мкм
	м <sup>3</sup>					
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1000	237	102	35	8	
4	10 000	2370	1020	352	83	
5	100 000	23 700	10 200	3520	832	29
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8320	293
7				352 000	83 200	2930
8				3 520 000	832 000	29 300
9				35 200 000	8 320 000	293 000

Таблица 2. Концентрация частиц

Местоположение (L)	Концентрации (C1)						Ср. концентрация (AC1)
	1	2	3	4	5	6	
A	750	560	655	730			674
B	1575	1250	750	950	1100	1300	1154
C	1300	850	980	1125	1350	975	1097
D	1150	775	450	825	845	1000	841
E	825	855	730	940	695	925	828
F	1700	1585	1135	900	1725	1210	1376

Таблица 3. Коэффициент верхнего контрольного предела для доверительной вероятности 95%

Места забора	1	2	3	4	5	6	7	8	9+
Коэффициент верхнего контрольного предела для доверительной вероятности 95%	6,31	2,92	2,35	2,13	2,02	1,94	1,9	1,86	Нет данных

**Характеристики счетчиков частиц**

Работа со счетчиком частиц относительно проста, однако понимание характеристик, по которым счетчики отличаются, может представлять трудность. Рассмотрим параметры, описывающие точность, эффективность и другие свойства данных приборов.

**Режим подсчета**

Режим подсчета определяет, каким образом счетчик отображает данные для пользователя. Существуют два типичных режима подсчета — Concentration («Концентрация») и Raw Count

(«Прямой подсчет»). Кроме того, Fluke 985 дополнительно имеет режим Audio («Аудио»). В режиме концентрации прибор исследует небольшое количество воздуха и затем рассчитывает значение на заданную единицу объема (см<sup>3</sup>, кубический фут или литр), в то время как режим прямого подсчета позволяет получать фактическое количество обнаруженных частиц по мере того, как они накапливаются за время отбора пробы. Можно задать суммарный подсчет (общее количество частиц > размер каждого канала) или подсчет в виде разницы (число частиц попадает между размерами каналов). Аудиорежим удобен для поиска мест с превы-



Рис. 7. Прибор Fluke 985 позволяет передавать данные на компьютер через USB/Ethernet

шением заранее заданного порога концентрации частиц. При превышении порога прибор оповещает пользователя звуковым сигналом.

#### **Нулевой подсчет**

Нулевой подсчет является мерой точности счетчика и должен выполняться перед началом эксплуатации и затем периодически, а также тогда, когда имеется подозрение об ошибке замера. Если к счетчику частиц присоединен фильтр нулевого подсчета в соответствии с инструкциями производителя, подсчет осуществляется в течение 15 мин. Счетчик должен обнаружить не более одной частицы крупнее 0,3 мкм за 5 мин.

#### **Потери на совпадение**

Потери на совпадение имеют место тогда, когда две частицы пересекают луч счетчика одновременно и создают один импульс и, следовательно, регистрируются как одна частица. Эта ошибка чаще возникает тогда, когда концентрация частиц в образце возрастает.

По ISO 21501-4 потери на совпадение допускаются  $\leq 10\%$  при максимальной концентрации частиц. Для прибора Fluke 985 эта величина составляет 10% при 4 000 000 частиц на кубический фут.

#### **Эффективность подсчета**

Эффективность подсчета (вероятность того, что счетчик обнаружит и зарегистрирует частицу, проходящую через объем образца) представляет собой функцию размера вплоть до минимального порога эффективности, выше которого все частицы обнаруживаются и регистрируются. Обычно считается оптимальной эффективностью подсчета 50% на высшем пороге чувствительности, что позволяет сравнивать показания между оптическими счетчиками частиц и приборами с более высоким разрешением.

#### **Чувствительность**

Способность прибора обнаруживать мелкие частицы с определенной эффективностью

подсчета. Прибор Fluke 985 обнаруживает частицы размером 0,3 мкм с эффективностью подсчета 50%.

#### **Калибровка**

Набор операций или действий, предпринимаемых для того, чтобы установить соотношение между значениями, полученными при помощи прибора, и соответствующими параметрами, как определено в стандарте. Прибор Fluke 985 калибруется при помощи сфер из полистиролового латекса (PSL), широко используемым благодаря их однородному размеру и светопреломляющим свойствам и соответствующим стандарту ISO 21501-4 «Счетчик светорассеивающих взвешенных в воздухе частиц для чистых пространств».

#### **Выводы**

Ключевым фактором для успешного обследования качества воздуха в помещении является понимание среды как целого. Местоположение, история здания, жалобы, записи о процессе и измеримые факторы, такие как температура и влажность, давление и концентрации частиц, в совокупности позволяют раскрыть проблему с качеством воздуха в помещении. Следует учитывать, что источник частиц может быть всего лишь симптомом более серьезной скрытой проблемы, такой, например, как плохая фильтрация, недостаточная вентиляция или избыточная влажность. Если эти проблемы не решить, они непременно вызовут те же симптомы или еще более серьезные. Подсчет частиц как часть постоянного профилактического обслуживания имеет критически важное значение для поддержания здоровой среды и хорошей производительности. Прибор Fluke 985 — мощный, прочный и удобный инструмент, помогающий специалисту распознать проблемы с концентрацией частиц и направить действия на устранение их первопричины.