

Компьютерные системы контроля параметров чистых производственных помещений

Калечин В. И., Российский научный центр «Курчатовский институт»

Оптические счетчики частиц аэрозолей – фотоэлектрические приборы, определяющие число частиц, прокаченных через измерительный объем прибора, путём подсчёта количества импульсов света, рассеянного каждой отдельной частицей при её пролете через световой луч – были разработаны в конце 40-х гг. XX века. Они использовались исключительно в научно-исследовательских целях и представляли собой сложные дорогие комплексы из многокомпонентных оптических систем, пневматических узлов и электронных блоков. Серийный выпуск таких приборов стал возможен чуть позже, после появления лазеров, позволивших существенно упростить конструкцию многих элементов устройства. Однако подлинный расцвет в разработке и производстве счетчиков частиц аэрозолей наступил в 80-е гг. вместе с появлением и чрезвычайно быстрым распространением чистых производственных помещений. Оптические (в подавляющем большинстве – лазерные) счетчики частиц аэрозолей были – и остаются – единственным инструментом для определения класса чистоты помещения; их применение регламентировано всеми стандартами по чистым помещениям.

Технология чистых помещений сразу же столкнулась с задачей организации периодического мониторинга загрязнений, в первую очередь воздуха. Первоначально регулярные измерения осуществлялись путем перемещения довольно крупногабаритных счетчиков частиц по чистым помещениям на тележках, специально сконструированных для использования в условиях технологической чистоты. Возможность передачи данных измерений в компьютер в то время у приборов уже была, однако позволить себе создать компьютерную систему мониторинга путем размещения внутри чистого помещения нескольких очень дорогих громоздких приборов (по одному в каждой точке пробоотбора) могли себе позволить лишь единицы пользователей.

Положение изменилось только в начале 90-х гг. прошлого века после

широкого распространения полупроводниковых лазеров. Их внедрение позволило не только резко сократить размеры счетчиков частиц аэрозолей, но и удешевить их. Другим важным следствием стало появление нового класса приборов – датчиков частиц аэрозолей.

В отличие от «обычных» счетчиков частиц, датчики аэрозолей (в английском языке для этих приборов в основном используется термин remote, хотя встречается и традиционное sensor) не имеют пневматической системы, т.е. прокачка анализируемого воздуха через измерительный объем прибора осуществляется за счет внешнего источника разрежения (вакуумного насоса), как правило, одного для всей системы. Кроме того, электронный блок датчика предельно упрощен – фактически он только усиливает сигнал с фотоприемника, входящего в состав оптического блока, и преобразует его в форму (аналоговую или цифровую), необходимую для его передачи в центральный компьютер. Вся дальнейшая обработка информации и ее отображение (в форме зависимости концентрации частиц от времени или в виде гистограммы распределения частиц по размерам) осуществляется компьютером.

С момента появления датчиков частиц аэрозолей автоматизированные системы контроля параметров чистых помещений стали стремительно завоевывать рынок.

Типы подключения датчиков к системам контроля

Простейшим способом измерения чистоты воздуха в чистом помещении является использование одного счетчика аэрозолей, последовательно перемещаемого в различные точки пробоотбора. Более совершенные, хотя и более сложные способы организации пробоотбора, представлены на рис. 1.

Схема на рис. 1 (а) соответствует последовательному пробоотбору, при котором измерения проводятся одним стационарно установленным прибором (как правило, счетчиком частиц аэрозолей со скоростью прокачки воздуха

28,3 л/мин). При этом в каждой точке, в которой необходимо проводить измерения, устанавливаются пробоотборники, соединенные гибкими трубками с многопозиционным воздухоприёмным устройством – коллектором (manifold). Конструкция коллектора предусматривает несколько (до 32) входов, к которым присоединены трубки пробоотборников, и один выход, соединённый со счётчиком частиц. К коллектору присоединяется насос, который обеспечивает прокачку воздуха через все пробоотборные трубки одновременно, однако на вход прибора в данный момент времени поступает проба воздуха только из одной точки. После завершения измерения в каждой точке прибор «промывается» чистым воздухом, что исключает возможность попадания в измерительный объем воздуха не из анализируемой точки. Переключение точек пробоотбора осуществляется специальным контроллером (поставляемым вместе с коллектором) или непосредственно с рабочего места оператора. Таким образом, использование коллектора позволяет последовательно снимать показания в нескольких точках контроля одним счётчиком.

К сожалению, при измерениях методом последовательного пробоотбора интервал времени между отборами пробы в одной точке может быть довольно продолжительным (см. табл. 1), что негативно сказывается на оперативности контроля. Достоинством метода является возможность подключения к счетчику аэрозолей дополнительных датчиков контроля параметров окружающей среды. Так, например, к прибору Solair 3100 фирмы Lighthouse возможно одновременно с коллектором подключить датчики температуры, влажности, перепада давления и скорости воздуха, а результаты измерений выводить и на дисплей прибора, и передавать в компьютер. Таким образом, на базе Solair 3100 можно сформировать очень эффективную систему контроля параметров чистого помещения. Этот способ измерений очень популярен за рубежом при организации монито-

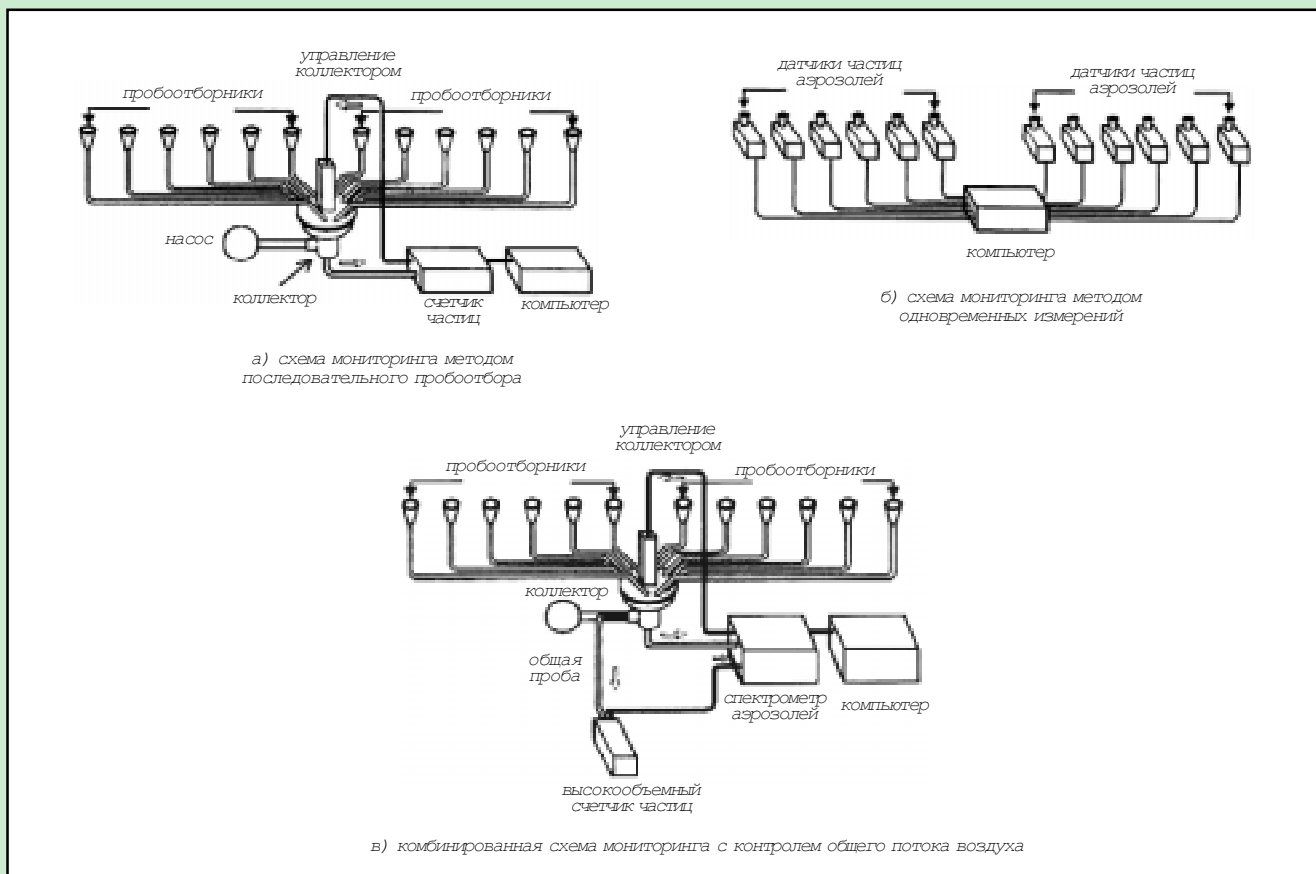


Рис. 1. Схемы различных типов контрольно-измерительных систем для определения содержания частиц аэрозолей в воздухе

ринга на предприятиях, имеющих небольшие площади чистых помещений, так как он не требует перемещения приборов и относительно дешёв. Особенно распространение измерения методом последовательного пробоотбора получили на фармацевтических предприятиях.

Следующий способ организации системы мониторинга лишен указанных недостатков. Система организуется таким образом, что в каждую контролируемую точку устанавливается датчик

частиц аэрозолей, который периодически (или непрерывно) передает информацию в компьютер, который обрабатывает её, архивирует и индицирует результаты измерений на дисплее. Такая система (рис. 1(б)) обеспечивает надёжный контроль одновременно во всех точках пробоотбора любого помещения.

Достоинствами системы мониторинга с помощью датчиков аэрозолей являются:

- измерения в реальном масштабе времени;

- высокая надежность контроля, поскольку интервал между последовательными измерениями в одной точке может быть сведен к нулю (при этом, в отличие от последовательного пробоотбора, даже не требуется периодическая очистка датчиков чистым воздухом);
- возможность немедленной сигнализации о превышении допустимых уровней загрязнений;
- возможность немедленной реакции на события, повлекшие загрязнение, вплоть до остановки технологического процесса.

Сравнение различных методов измерения концентрации частиц показывает, что при использовании датчика аэрозолей объем информации, который можно получить, проводя измерения только в одной точке, почти на два порядка превышает информативность измерений методом последовательного пробоотбора (с использованием коллектора) и на три порядка превышает возможности измерений, проводимых вручную оператором (рис. 2).

Метод организации мониторинга с помощью датчиков аэрозолей особенно эффективен при контроле параметров среды в критических точках, так как позволяет получать требуемую

Таблица 1

Характеристики измерений при использовании метода последовательного пробоотбора

Число точек контроля	Интервал между отборами пробы в одной точке *)	Число замеров в одной точке в течение суток *)
10	10 мин 40 сек	135
12	13 мин	110
16	17 мин 40 сек	81
24	27 мин	53
32	36 мин 20 сек	39

*) При расчете время пробоотбора в каждой точке принималось равным 1 мин, после чего в течение 10 сек происходит продувка прибора чистым воздухом

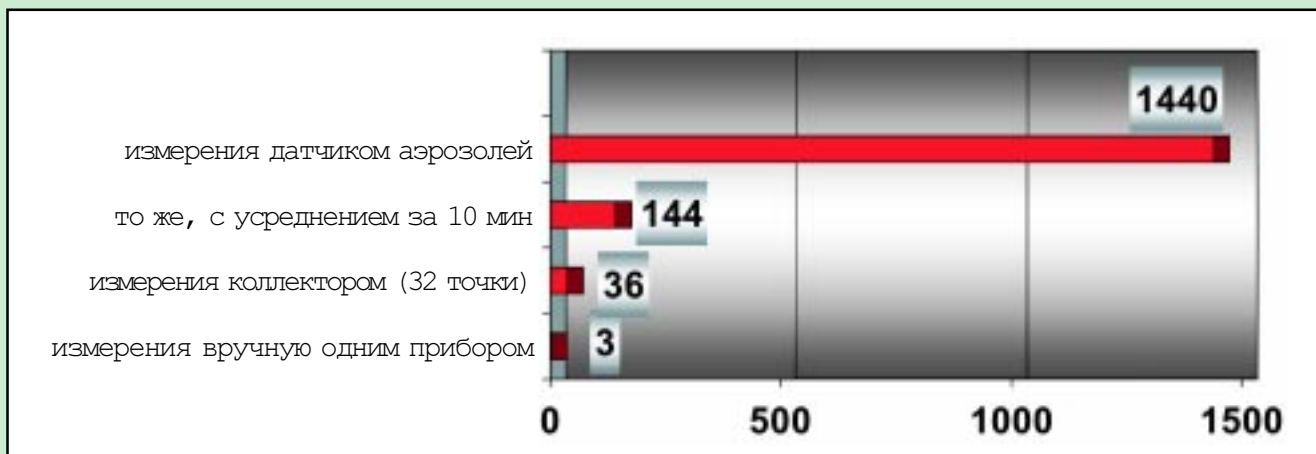


Рис. 2. Сравнение максимального числа измерений, получаемых в одной контролируемой точке в течение суток, при измерениях концентрации частиц различными методами

информацию непрерывно. Возможность быстрой реакции на изменившуюся обстановку позволяет избежать потерь продукции. Неудивительно, что системы с использованием датчиков аэрозолей получили очень широкое распространение в отраслях, где связь между чистой воздушной средой и выходом годной продукции очевидна, в частности, в полупроводниковой промышленности.

Системы, применяющие датчики аэрозолей, характерны для крупных предприятий с большой суммарной площадью помещений и, соответственно, с большим числом точек контроля – в этом случае последовательный опрос датчиков нецелесообразен. Многочисленность точек контроля определяет и сравнительно большую стоимость контрольно-измерительных систем такого типа. Впрочем, при небольшом числе

контролируемых точек (от 1 до 8) использование датчиков аэрозолей в любом случае экономически выгоднее, чем применение системы последовательного пробоотбора с коллектором.

Примером применения датчиков аэрозолей для контроля критических процессов является система мониторинга чистоты воздуха для линии розлива (рис. 3), рекомендуемая руководством FDA для асептических производств. В этом документе четко указывается количество обязательных точек контроля, их расположение (на входе флаконов в чистую зону, непосредственно в зоне розлива и перед входом на участок укупоривания) и ориентация пробоотборников (параллельно линиям воздушного потока на расстоянии не более 30 см от горлышка флаконов). При этом непосредственно во время розлива

рекомендуется использовать непрерывный режим работы датчиков аэрозолей.

Наконец, последняя схема организации пробоотбора (рис. 1 (в)) является промежуточной. Она почти полностью повторяет систему с коллектором с тем лишь отличием, что в ней используется два счетчика аэрозолей. Если первый из них, как и в случае 1 (а), проводит измерения потока воздуха, отобранного в одной из точек пробоотбора, то второй счетчик частиц контролирует содержание аэрозолей в воздушном потоке, отобранном в остальных точках пробоотбора. Таким образом, система такого типа осуществляет последовательный контроль в каждой точке пробоотбора и одновременно мониторинг общего числа частиц в помещении. Очевидно, что любое отклонение от нормальной работы оборудования, выразившееся

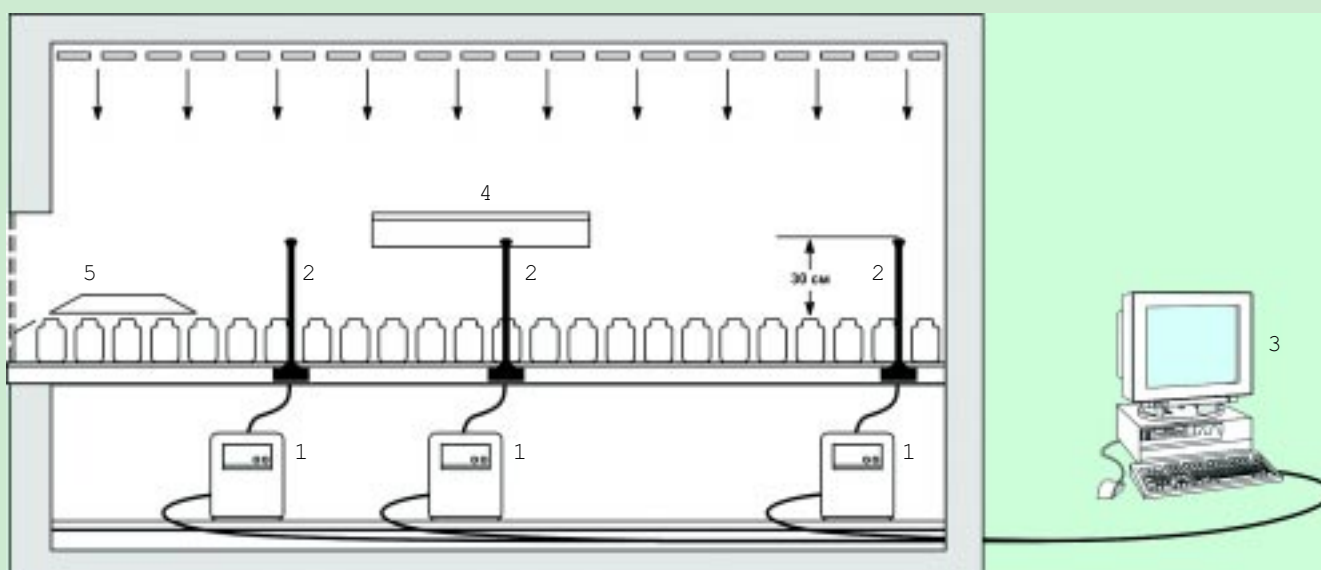


Рис. 3. Схема расположения точек контроля чистоты воздуха на линии розлива.

1 – датчик аэрозолей, 2 – пробоотборное устройство, 3 – компьютер, 4 – зона розлива, 5 – зона укупорки.

в увеличении запылённости, будет обнаружено вторым счётчиком немедленно. Контрольно-измерительные системы этого типа приближаются по своим возможностям к описанным выше системам с датчиками частиц, однако значительно дешевле.

Впрочем, все достоинства такой схемы мониторинга легко перенести и в систему с использованием датчиков аэрозолей – для этого достаточно добавить в систему еще один датчик, измеряющий содержание аэрозолей в воздушном потоке, выходящим из помещения.

Метод мониторинга общего числа частиц в помещении в последнее время стал очень популярен [1], особенно при контроле мизизон.

Особенности современных систем контроля параметров чистого помещения

Разумеется, современные автоматизированные системы контроля параметров чистых производственных помещений включают в себя не только датчики аэрозолей. Как правило, в компьютерных системах контроля стараются использовать принцип открытой архитектуры, что подразумевает возможность подключения датчиков любых других

параметров. К числу характеристик чистого помещения, которые могут контролироваться системой мониторинга, относятся:

- температура и влажность воздуха,
- перепад давления между помещениями,
- скорость воздушного потока в помещении или в воздуховоде,
- эффективность воздушных фильтров,
- наличие частиц аэрозолей в магистральных технологических газопроводах,
- наличие частиц в технологических жидкостях,
- наличие электростатических зарядов,
- наличие в воздухе отдельных летучих молекулярных загрязнений (конкретный набор определяется заказчиком в зависимости от типа производства).

Мониторинг последних трех параметров часто выносится в отдельные подсистемы контроля.

В состав системы мониторинга очень часто включаются концевые выключатели, показывающие состояние того или иного элемента оборудования или помещения, например, дверей. Таким образом, появляется возможность легко установить взаимосвязи между изменениями контролируемого параметра и состоянием помещения. Типичным примером является корреляция между

открыванием двери помещения, перепадом давления и уровнем чистоты воздуха.

Другим часто встречающимся в системах мониторинга элементом являются сигнальные устройства, которые включаются при превышении контролируемым параметром заданного уровня. Впрочем, в конструкции многих аэрозольных датчиков (например, Remote x012, x014, x104 фирмы Lighthouse) предусмотрен специальный канал, включающий внешнее сигнальное устройство без участия центрального компьютера, что еще более повышает оперативность и гибкость системы.

Многие индивидуальные особенности современных систем мониторинга определяются выбором технических средств реализации сети. Широко применяется связь между датчиками и компьютером через модем, по радиоканалу (как правило, через буферные устройства) и через Интернет. Например, одна из таких распределенных систем контроля, разработанная и реализованная фирмой Lighthouse, осуществляет мониторинг одним оператором (находящимся в США) одновременно 4 чистых помещений в Калифорнии, 2 – в Малайзии и одного в Японии.

Другие особенности современных систем мониторинга связаны непосред-

Lighthouse Worldwide Solutions (США) ПРЕДЛАГАЕТ:

Разработки 2003 года



LIGHTHOUSE
WORLDWIDE SOLUTIONS

- счетчики частиц аэрозолей
- системы мониторинга чистых помещений
- мониторинг молекулярных загрязнений
- счетчики частиц на поверхности
- счетчики частиц в жидкости

РУЧНОЙ СЧЕТЧИК АЭРОЗОЛЕЙ
HANDHELD 3016



Гарантия на все приборы 2 года

- ✓ чувствительность 0,3 мкм
- ✓ расход 2,8 л/мин
- ✓ вес 1 кг
- ✓ память 3000 измерений
- ✓ Li-Ion аккумулятор

Представитель в России - научно-производственная фирма "Топаз-К"

Авторизованный сервис-центр приборов фирмы Lighthouse. Консультации. Калибровка и обслуживание. Обучение персонала
123182 Москва, пл. Курчатова, 1. Тел.: (095)196-7727, (095)196-7594, факс: (095)196-9472
<http://www.topazk.ru> e-mail: lh@topazk.ru

ственно с программным обеспечением. Разумеется, программное обеспечение предоставляет возможность просматривать получаемую информацию в многооконном режиме и в самом разнообразном виде – табличном, графическом, с наложением архивных данных и пр. Кроме того, программное обеспечение системы контроля может при наступлении какого-либо критического события не только информировать оператора, выводя данные на дисплей, но и передавать сообщения на пейджер или по электронной почте, звонить по телефонам лиц, включенных в список рассылки. Высокая стабильность систем обеспечивается строгим регламентом доступа, дублированием всех систем (рекомендуется использовать т.н. зеркальный сервер), защищенностью линий связи. Часто система контроля параметров чистых помещений является частью общей системы управления микроклиматом [2], а в некоторых случаях – системы управления всем предприятием.

Однако в первую очередь информативность данных обеспечивается непосредственно датчиками аэрозолей.

Лазерные датчики аэрозолей

В одном из обзоров [1], посвященном последним достижениям в области контроля аэрозольных микрозагрязнений в чистых производственных помещениях, было отмечено, что миниатюризация и существенное снижение стоимости всех элементов микроэлектроники привели к появлению нового поколения ручных и портативных счетчиков частиц аэрозолей. В то же время указывалось, что аэрозольные датчики еще не пережили столь же революционных изменений своих технических характеристик. Прошло совсем немного времени, и можно отметить, что это утверждение устарело, и на смену разработанным еще в середине 90-х гг. моделям пришли новые разработки, обладающие принципиально новыми потребительскими свойствами.

Последние достижения в разработках аэрозольных датчиков лучше всего проиллюстрировать новыми приборами фирмы Lighthouse Worldwide Solutions (США). Эта компания уже более 15 лет занимается проектированием и монтажом систем контроля параметров чистых производственных помещений и, безусловно, является абсолютным лидером в этой области. Среди ее достижений можно отметить не только распределенные системы контроля, о которых упоминалось выше, но и крупнейшую систему мониторинга, расположенную на предприятии в Таиланде и включающую 9000 датчиков аэрозолей! Совсем недавно фирма Lighthouse организовала выпуск аэрозольных приборов и датчиков собственной разработки,

поэтому неудивительно, что в них воплощены последние достижения аэрозольного приборостроения. Кроме того, сотрудники Lighthouse специально подчеркивают: «мы 15 лет были потребителями аэрозольных приборов, поэтому хорошо знаем, какими они должны быть». Действительно, все приборы этой фирмы отличаются высокими потребительскими свойствами.

В качестве примера можно привести датчик аэрозолей Remote 2014 (рис. 4). Это самый малогабаритный (4,3 × 10,7 × 7,6 см) и самый легкий (0,38 кг) из имеющихся на рынке датчиков с чувствительностью 0,2 мкм. Кроме рассматриваемого, всего 2 модели датчиков – Airnet 210 компании PMS и CI-3100 xx32 фирмы Climet – имеют такую же чувствительность, но их габариты и вес заметно больше: (17 × 12 × 14 см и 2,3 кг) и (11,7 × 22,8 × 12,7 см при весе 3,15 кг) соответственно. Remote 2014 фирмы Lighthouse – один из немногих датчиков, подсчитывающий частицы сразу в 4 размерных диапазонах, но, кроме этого, к нему можно подключить дополнительный датчик температуры и влажности (см. на рис. 4). Такой возможности пока нет ни у кого из его конкурентов. Передача данных в компьютер осуществляется через RS-485. Кроме того, выпускаются модификации Remote 2010 и 2012 с импульсным и аналоговыми выходами соответственно, но эти приборы не имеют возможности измерения температуры и влажности.

Датчики аэрозолей с чувствительностью 0,3 и 0,5 мкм представлены на рынке значительно большим числом моделей. Их характеристики приведены в таблице 2.



Рис. 4. Лазерный датчик аэрозолей Remote 2014 фирмы Lighthouse Worldwide Solutions (США)

Все упомянутые выше датчики аэрозолей подключаются к внешнему источнику разрежения – вакуумному насосу или технологической вакуумной линии. Однако выпускаются несколько моделей датчиков со встроенными насосами, которые позволяют добиться значительно большей автономности приборов. На рис. 5 представлен лазерный датчик аэрозолей Remote 3014P фирмы Lighthouse (США) со встроенным насосом, обеспечивающим прокачку через прибор 2,8 литров воздуха в минуту. Этот прибор выпускается и в модифи-



Рис. 5. Лазерный датчик аэрозолей Remote 3014P фирмы Lighthouse Worldwide Solutions (США)

кациях 2014P, 3014P и 5014P, имеющих соответственно чувствительность 0,2; 0,3 и 0,5 мкм (остальные характеристики модификаций полностью совпадают). Датчики типа Remote x014P также являются самыми легкими (2 кг) и самыми малогабаритными (8,9 × 22,8 × 15,2 см) из представленных на рынке – для сравнения, приборы MiniNet 310 (PMS) и модификация датчика Climet CI-3100 с насосом имеют соответственно характеристики (30 × 35 × 20 см при весе 9 кг) и (11,7 × 22,8 × 21 см при весе 5,18 кг). Однако датчики со встроенным насосом фирмы Lighthouse имеют уникальную особенность – к каждому из них можно подключить четыре дополнительных датчика параметров окружающей среды – температуры, влажности, перепада давления и скорости воздуха. Это означает, по объему измеряемой информации такой датчик полностью аналогичен сложному и дорогому стационарному прибору с высокими метрологическими характеристиками и отличается от него только тем, что вся обработка информации происходит во внешнем компьютере, а не в элект-

При ходьбе могут возникать электростатические заряды до 35.000 Вольт. Но даже небольшой разряд в 20 Вольт способен вывести из строя чувствительный электронный прибор...

Электропроводные напольные покрытия из каучука **porag®** и ПВХ-покрытия **Gerflor** обеспечивают максимальную защиту от электростатических зарядов.

- электрическое сопротивление $10^6 < R_s < 10^7$
- статический заряд на поверхности менее 2 кВ
- монолитное покрытие пола за счет применения герметизирующих материалов
- соответствие требованиям "чистых помещений" и нормам DIN 51953, EN 1081, VDE 0100
- монтаж покрытий и устройство заземления с гарантией до 5 лет

Надежная защита

ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

ЛИК-СТРОЙ осуществляет поставку электропроводных напольных покрытий, клея и других расходных материалов, а также выполняет работы по устройству электропроводного пола в соответствии с требованиями заказчика.



929-6474 929-6640

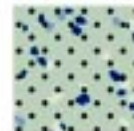
Москва, Цветной бульвар, 17
info@likstroy.ru
www.likstroy.ru



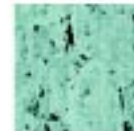
Искра 825



Асбест 827



Синий пол



Тренд 1.0-2

Таблица 3

Сравнительные характеристики датчиков аэрозолей с чувствительностью 0,1 мкм

	Remote 1100	Pacific Scientific R4000	PM S LPS-A-110
Чувствительность	0.1 мкм		
Число каналов	8	2	2 или 4
Пороги, мкм	0.10, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0	0.1, 0.3	0.1, 0.3, 0.5, 5.0
Расход воздуха, л/мин	28,3		
Насос	внешний источник разрежения (вакуумный насос или линия)		
Очищенный воздух	не требуется	требуется подача очищенного воздуха под давлением (300-860 кПа)	не требуется
Фон	<1 / 1 мин	<1 / 15 мин	<1 / 1.0 фут3
Источник излучения	He-Ne лазер		
Контроль расхода воздуха	критическая диафрагма	ручной	ручной
Выходы	импульсный, RS-485	RS-485, аналоговый 4-20 mA	импульсный, RS-485
Питание	24 В	24 В	115 В 50 Гц
Размер, см	44.96 x 12.7 x 12.7		48.3 x 30.5 x 17.8
Вес, кг	5.23	8.2	12.7

ронном блоке самого прибора. Появление подобной разработки позволяет в ближайшем будущем надеяться на широкое распространение экономичных систем контроля с минимальной инфраструктурой, но полным набором контролируемых параметров.

Системы мониторинга параметров чистых производственных помещений (в англоязычной литературе для них обычно применяется термин facility monitoring systems) получили очень широкое распространение за рубежом. Практически все вновь сдаваемые чистые помещения оснащаются, а большинство существующих комплексов уже оснащены подобными системами. В России применение систем мониторинга и контроля параметров чистых помещений делает только первые шаги, однако нет никаких сомнений в том, что их повсеместное распространение является неизбежным. Уже сейчас существуют отечественные разработки в области контроля параметров чистых помещений [2], успешно работающие на предприятиях полупроводниковой и

аэрокосмической промышленности. Развитие этих отраслей в России идет преимущественно по пути полного переоснащения существующих производств, что является благоприятным условием для внедрения систем мониторинга чистых помещений – ведь их стоимость относительно мала в масштабе общих затрат на реконструкцию производства, а выигрывает от сокращения потерь продукции очевиден и напрямую связан с эффективностью контроля.

Положение в фармацевтической промышленности несколько иное – здесь от эффективности систем мониторинга зависит не годность, а качество продукции. Однако ожидаемое в 2005 году повсеместное внедрение отечественных GMP (ОСТ 42–510–98) и приближающееся вступление России в ВТО также делают повсеместное внедрение систем контроля параметров чистых помещений неотвратимым. Отдельно следует подчеркнуть важную роль систем мониторинга в программах обеспечения качества – ведь данные, полученные на основании результатов измерений

параметров технологической среды чистого помещения, являются важным и документированным подтверждением правильности функционирования всего производственного комплекса.

Современное чистое помещение – это сложный комплекс технологического оборудования, точная и безошибочная работа которого невозможна без надёжной системы контроля и мониторинга всё возрастающего числа его параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калечиц В. И. Современные направления в контроле аэрозольных микророзагрязнений. «Чистые помещения и технологические среды», 2002, № 1, стр. 16–21.
2. Колпиков Ю. А., Лернер М. Д. Автоматизированные системы контроля и управления параметрами микроклимата для чистых производственных помещений. «Чистые помещения и технологические среды», 2002, № 2, стр. 24–26.

УВЛАЖНИТЕЛИ

МЖAir

ЖИВИТЕЛЬНАЯ ВЛАГА



Defensor

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

Москва, Локомотивный проезд, 21, офис 208
Тел.: (095) 787 6801. Факс (095) 462 1564
E-mail: arktika@arktika.ru



АРКТИКА
WWW.ARKTIKA.RU

Санкт-Петербург, улица Разъезжая, 12, офис 43
Тел.: (812) 325 4715, 325 4716
E-mail: arktika@arktika.quantum.ru