

В этом номере журнала завершается публикация раздела стандарта ISO 14644-3:2005 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы измерений», посвященного измерению взвешенных в воздухе частиц<sup>1,2</sup>. Сегодня мы знакомим читателей с переводом раздела стандарта, касающегося измерений концентрации макрочастиц, т.е. частиц с размерами более 5 мкм.

Измерения частиц в этом диапазоне особенно важны для аэрокосмической промышленности, где требования к содержанию в воздухе макрочастиц закреплены в отраслевых нормативных документах, и для некоторых других специальных применений.

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

Из раздела 4.2 «Общие положения»:

## 4.2.1 Определение концентрации взвешенных в воздухе частиц

Этот вид измерений используется для определения чистоты воздуха и может включать в себя три следующих вида измерений:

- a) измерения для классификации чистых помещений (см. раздел В. 1)<sup>1</sup>;
- b) измерения количества ультратонких частиц (дополнительный тест) (см. раздел В. 2)<sup>2</sup>;
- c) измерения количества макрочастиц (дополнительный тест) (см. раздел В. 3).

Измерения b) и c) могут использоваться для описания чистоты воздуха или служить основой для специальных измерений, но не могут использоваться для классификации чистых помещений.

Из приложения В «Методы контроля чистых помещений»

## В.3 Определение количества взвешенных в воздухе макрочастиц

### В.3.1 Основные положения

Настоящий метод предназначен для определения концентрации взвешенных в воздухе частиц с пороговым размером более 5 мкм в диаметре (макрочастиц). Методика измерений, описанная в разделе В.3, приведена в соответствии с документом в IEST-G-CC1003:1999 [13]<sup>3</sup>. Измерения могут проводиться в любом из трех определенных состояний чистого помещения или чистой зоны. Измерения выполняются с целью определения концентрации макрочастиц в чистых помещениях в соответствии со стандартом

ISO 14644-1:1999, Приложение Е или при проведении периодического контроля в соответствии со стандартом ISO 14644-2. Особое внимание следует обратить на необходимость тщательного выполнения процедур отбора пробы и обращения с пробой, чтобы минимизировать потери макрочастиц во время этих операций.

### В.3.2 Обращение с пробой

Работа с макрочастицами требует внимательного отбора пробы и обращения с ней. Более полное обсуждение требований, предъявляемых к системам, которые могут быть использованы для изокинетического и анизокинетического отбора проб и транспортировки частиц до точки их измерения, содержится в [1] и [13].

## В.3.3 Методы измерения количества макрочастиц

### В.3.3.1 Общие положения

Существуют две основные группы методов измерения макрочастиц. Нельзя сравнивать данные, полученные при использовании разных методов измерения, поэтому поиск корреляции между данными, полученными разными методами, невозможен. Ниже приводится информация о размерах частиц, которая может быть получена с помощью следующих методов:

- a) отбор частиц путем осаждения на фильтр или с помощью инерционных эффектов с последующим измерением числа и размера частиц под микроскопом или измерением массы отобранных частиц;

- 1) отбор частиц на фильтр и их измерение под микроскопом (п. В.3.3.2.1) даст информацию о количестве макрочастиц с диаметром более установленной по соглашению величины;
- 2) отбор частиц с помощью каскадного импактора и их измерение под микроскопом (п. В.3.3.2.2a) даст информацию о количестве макрочастиц с диаметром более величины, выбранной оператором микроскопа;
- 3) отбор частиц с помощью каскадного импактора и измерение их массы (п. В.3.3.2.2b) даст информацию о количестве макрочастиц с размером, соответствующим аэродинамическому диаметру;
- b) определение *in situ* (на месте) концентрации и размера макрочастиц с помощью времяпролетного счетчика частиц или счетчика отдельных частиц:
  - 1) измерение с помощью счетчика отдельных частиц (п. В.3.3.3.2) даст информацию о количестве макрочастиц с размером, соответствующим эквивалентному оптическому диаметру;
  - 2) измерение с помощью времяпролетного счетчика частиц (В.3.3.3.3) даст информацию о количестве макрочастиц с размером, соответствующим аэродинамическому диаметру.

## В.3.3.2 Измерение макрочастиц с помощью их осаждения

### В.3.3.2.1 Отбор частиц на фильтр и их измерение под микроскопом

Выберите мембранный фильтр с держателем или предварительно приготовленный

<sup>1</sup> Методы измерения частиц для классификации чистых помещений описаны в нашей публикации в № 3 за 2007 г. (Прим. ред.).

<sup>2</sup> Методы измерения ультратонких частиц описаны в журнале № 4 за 2007 г. (Прим. ред.).

<sup>3</sup> Нумерация ссылок соответствует нумерации ссылок на литературные источники в тексте стандарта ISO 14644-3:2005 (Прим. ред.).

к измерениям аэрозольный монитор<sup>4</sup>; при этом размер пор мембраны должен быть 2 мкм или менее. Снабдите держатель фильтра этикеткой с информацией о помещении и месте отбора пробы. Присоедините к выходному отверстию вакуумный насос, который будет обеспечивать прокачивание воздуха через мембрану с требуемой скоростью пробоотбора. Если точка пробоотбора, в которой необходимо определить концентрацию макрочастиц, находится в области однонаправленного потока воздуха, скорость пробоотбора через мембрану должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить изокINETичность пробоотбора на входе в держатель фильтра или аэрозольный монитор, а входное отверстие должно быть ориентировано навстречу однонаправленному потоку.

Входное отверстие держателя фильтра или аэрозольного монитора должно быть направлено вертикально вверх. Для помещений, имеющих класс чистоты ИСО 6 (см. стандарт ISO 14644-1) и более чистых, объем отбираемой пробы воздуха должен быть не менее 0,28 м<sup>3</sup>. Для систем, менее чистых, чем класс ИСО 6, объем отбираемой пробы воздуха должен быть не менее 0,028 м<sup>3</sup>.

Удалите крышку с держателя мембранного фильтра или аэрозольного монитора и положите ее в чистое место. Проведите отбор воздуха в точках пробоотбора, согласованных между заказчиком и исполнителем. Если для обеспечения потока воздуха через фильтр используется переносной вакуумный насос, воздух, выходящий из насоса, должен быть выведен за пределы чистого помещения или проходить через соответствующий фильтр. После завершения отбора проб закройте крышкой держатель фильтра или аэрозольный монитор. Держатель фильтра должен транспортироваться таким образом, чтобы поверхность мембранного фильтра все время находилась в горизонтальном положении и не подвергалась воздействию вибраций или ударов как во время отбора проб, так и в процессе анализа. Подсчитайте количество частиц на поверхности фильтра [4].

### **В.3.3.2.2 Отбор частиц с помощью каскадного импактора и их измерение**

В случае применения каскадных импакторов отбираемый поток воздуха проходит через набор форсунок с отверстиями уменьшающихся размеров. Самые большие частицы оседают непосредственно под самыми большими

отверстиями, более маленькие частицы оседают на каждой последующей ступени импактора. Для сбора макрочастиц могут использоваться два типа каскадных импакторов. В первом частицы оседают на поверхности пластин, которые могут выниматься для проведения последующего взвешивания или исследования под микроскопом. В каскадных импакторах такого типа скорость пробоотбора обычно равна или превышает 0,00047 м<sup>3</sup>/с. В другом типе импакторов частицы оседают на пьезоэлектрическом кварцевом датчике микровесов, с помощью которого определяется масса частиц, собранных каждой ступенью импактора. В каскадном импакторе такого типа обычно используются потоки со значительно меньшими объемными скоростями воздуха.

а) Для первого типа каскадных импакторов перед проведением каких-либо измерений записывают начальный вес каждой собирающей ступени или подсчитывают начальное число частиц на единицу площади каждой такой ступени. Импактор включается на десять или более минут. После этого он плотно закрывается и направляется для взвешивания или измерений под микроскопом. Собирающие ступени импактора вынимаются, записывается вес или количество частиц, собранных на каждой ступени. Концентрация макрочастиц определяется затем как их полная масса или количество на соответствующих ступенях, деленные на общий расход воздуха, пропущенного через импактор.

б) Для второго типа каскадных импакторов масса частиц регистрируется в процессе отбора пробы. Поскольку датчик микровесов может показывать изменение веса каждой ступени, то нет необходимости определять их вес перед началом отбора пробы. Так же как и в каскадных импакторах первого типа отдельные ступени могут выниматься для проведения измерений отдельных частиц с помощью оптического микроскопа или состава частиц с помощью электронного микроскопа. Расход воздуха при отборе проб устанавливается равным 0,00039 м<sup>3</sup>/с, а длительность отбора – от десяти минут до нескольких часов в зависимости от класса чистоты чистой зоны. Импактор размещают в предварительно выбранной точке пробоотбора и включают. После окончания отбора пробы импактор может быть перемещен в другую точку, где могут быть проведены дополнительные измерения.

После этого определяют концентрацию макрочастиц как их общую массу или количество на соответствующих ступенях, деленные на общий расход воздуха, пропущенного через импактор.

### **В.3.3.3 Измерение макрочастиц без помощи их осаждения**

#### **В.3.3.3.1 Общие положения**

Определение количества макрочастиц может быть выполнено без осаждения частиц из воздуха. Этот процесс подразумевает измерение количества частиц, взвешенных в воздухе, оптическим методом. Во время отбора пробы воздух с определенной скоростью движется через счетчик отдельных частиц, который определяет либо эквивалентный оптический, либо аэродинамический диаметр частиц.

#### **В.3.3.3.2 Измерения с помощью счетчика отдельных частиц**

Процедура измерения макрочастиц с помощью счетчика отдельных частиц аналогична методике, описанной в п. В.1 для определения количества обычных частиц за одним исключением, которое заключается в том, что в данном случае чувствительность счетчика отдельных частиц не должна быть ниже 1 мкм, т.к. требуется измерить только макрочастицы. Необходимо следить за тем, чтобы счетчик отдельных частиц производил отбор пробы непосредственно в точке пробоотбора. При использовании счетчика отдельных частиц не следует использовать пробоотборные трубки длиннее 1 м. Счетчик отдельных частиц должен иметь возможность проводить отбор проб с объемной скоростью 0,00047 м<sup>3</sup>/с, причем размер входного отверстия пробоотборника должен соответствовать условию изокINETичности пробоотбора в зонах с однонаправленным потоком воздуха. В случае неоднаправленного потока воздуха входное отверстие пробоотборника счетчика отдельных частиц должно быть направлено вертикально вверх. Диаметр входного отверстия пробоотборника не должен быть менее 30 мм.

Настройка диапазона измеряемых размеров в счетчике отдельных частиц проводится таким образом, что регистрируются только макрочастицы. Следует провести измерение для одного из размеров менее 5 мкм (см. стандарт ISO 14644-1, табл. 1), чтобы убедиться, что концентрация частиц с размерами, меньшими размеров макрочастиц, не настолько велика, чтобы привести к ошибке

<sup>4</sup> Обычно в зарубежной технической литературе аэрозольными мониторами (aerosol monitor) называются небольшие приборы, обеспечивающие непрерывное измерение массовой концентрации частиц. В данном случае имеется в виду любой прибор, в котором в процессе измерения анализируемый воздух проходит через мембранный фильтр (Прим. ред.).

<sup>5</sup> Т.е. к ошибке из-за одновременного попадания в измерительный объем двух и более частиц (Прим. ред.).

из-за совпадений<sup>5</sup> в измерениях с помощью счетчика отдельных частиц. Концентрация частиц с этим более низким пороговым размером в сумме с концентрацией макрочастиц не должна превышать 50% от максимального рекомендованного значения концентрации, установленной для используемого счетчика отдельных частиц.

### В.3.3.3.3 Измерение размеров с помощью времяпролетного счетчика частиц

Размеры макрочастиц могут быть определены с помощью приборов, работающих на принципе измерения времени пролета частиц. Проба воздуха подается в прибор и ускоряется из-за расширения при ее пропускании через сопло в камеру с частичным вакуумом, где расположен измерительный объем. Частицы, находящиеся в воздухе, также будут ускоряться вместе с воздухом. Величина ускорения частиц обратно пропорционально их массе. Соотношение между скоростью воздуха и скоростью частицы в точке измерения может быть использовано для определения аэродинамического диаметра частицы. Величина скорости воздуха может быть рассчитана напрямую, если известен перепад давления между наружной средой и измерительным объемом. Скорость частицы измеряется по времени пролета между двумя лазерными лучами. Приборы, работающие на принципе определения времени пролета, измеряют аэродинамический размер частиц до 20 мкм с разрешением по размерам не хуже 10%. Процедура отбора пробы та же самая, что и для измерений макрочастиц с помощью счетчика отдельных частиц. Кроме того, для приборов, работающих на принципе измерения времени пролета частиц, применяются те же процедуры для установления диапазонов размеров частиц, как и для дискретных счетчиков частиц.

### В.3.4 Методика измерения количества макрочастиц

Установите пробоотборное устройство выбранного прибора. Проведите отбор проб воздуха в таком объеме, чтобы зарегистрировать как минимум 20 макрочастиц в каждой точке пробоотбора, и проведите измерения в соответствии со стандартами ISO 14644-1 и ISO 14644-2. Вычислите концентрацию макрочастиц (М-дескриптор) для выбранных диапазонов размеров, согласованных между заказчиком и исполнителем, и запишите данные. Если необходимо получить информацию о стабильности концентрации макрочастиц во времени, проведите три или более измерений в выбранных точках пробоотбора с интервалами времени, согласованными между заказчиком и исполнителем.

### В.3.5 Протокол измерений

По соглашению между заказчиком и исполнителем для классификации чистого помещения или его испытания в протокол измерений включается следующая информация и данные в соответствии с разделом 5 настоящего стандарта:

- параметры частиц, которые могут быть измерены с помощью используемого оборудования;
- тип измерений: классификация, определение М-дескриптора или мониторинг;
- описание типа каждого используемого прибора при измерениях прибора и данные об их калибровке;
- класс чистоты чистого помещения;
- диапазон(ы) размеров измеряемых макрочастиц и количество макрочастиц в каждом диапазоне;
- объемная скорость воздуха через входное отверстие пробоотборника и через измерительную камеру прибора;

- расположение точки (точек) отбора проб;
- схема отбора проб (при классификации чистого помещения) или план (расписание) отбора проб (при мониторинге);
- состояние(я) чистого помещения;
- стабильность концентрации макрочастиц, если требуется;
- другие данные, существенные для измерений.

Из приложения С «Приборы и оборудование»

### С.3 Определение количества макрочастиц

#### С.3.1 Измерение под микроскопом частиц, собранных на фильтровальной бумаге, см. ASTM F312 [4]

#### С.3.2 Каскадный импактор – устройство для осаждения частиц, в котором



## ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕДИЦИНЫ

### Проектирование и строительство

- Проектирование промышленных производств в соответствии с требованиями GMP и ISO
- Проектирование чистых помещений для медицинских учреждений (операционные блоки, палаты интенсивной терапии, родильные залы)
- Строительство чистых помещений "под ключ"
- Подбор и шеф-монтаж технологического оборудования в соответствии с заданием заказчика



### Производство оборудования для чистых помещений

- Ламинарные боксы
- Вытяжные шкафы
- Потолочные фильтроблоки
- Блоки фильтр - вентилятор







194156, Санкт-Петербург, пр. Пархоменко, д. 8  
 Тел.: +7 (812) 550-41-41, 550-41-71  
 www.sampo.componet.ru  
 E-mail: sampocom@mail.wplus.net



**Таблица С.5**  
Характеристики каскадного импактора

Параметр	Характеристики
Пределы/диапазон измерений:	Скорость пробоотбора должна соответствовать заданной
Чувствительность/разрешение:	При низком давлении могут накапливаться субмикронные частицы
Точность:	Точность ограничения размера на каждой ступени каскада $\geq 90\%$
Линейность:	Осаждается значительное количество частиц с размерами, значительно большими и меньшими, чем заданный
Стабильность:	Размер частиц с 50%-ным пропусканием зависит от скорости пробоотбора
Постоянная времени:	Минуты или дни, в зависимости от метода измерения
Период калибровки:	Максимум 12 месяцев

**Таблица С.6**  
Характеристики счетчика отдельных макрочастиц

Параметр	Характеристики
Пределы/диапазон измерений:	Концентрация частиц до $1,0 \times 10^6 / \text{м}^3$
Чувствительность/разрешение:	От 5 мкм до 80 мкм с разрешением 20%
Погрешность измерений:	Ошибка определения размера $\pm 5\%$
Линейность	Может изменяться в зависимости от состава и формы частиц
Период калибровки:	Максимум 12 месяцев
Эффективность счета:	$(50 \pm 20)\%$ при минимальном пороговом размере и $(100 \pm 10)\%$ для частиц, чей размер в 1,5 и более раз превышает минимальный пороговый размер

**Таблица С.7**  
Характеристики времяпролетного счетчика частиц

Параметр	Характеристики
Пределы/диапазон измерений:	Концентрация частиц до $1,0 \times 10^7 / \text{м}^3$
Чувствительность/разрешение:	От 0,5 мкм до 20 мкм с 10%-ным разрешением
Погрешность измерений:	$\pm 5\%$ установленного при калибровке размера
Период калибровки:	Максимум 12 месяцев
Эффективность счета:	$(50 \pm 20)\%$ при минимальном пороговом размере и $(100 \pm 10)\%$ для частиц, чей размер в 1,5 и более раз превышает минимальный пороговый размер

**Таблица С.8**  
Характеристики импактора с пьезоэлектрическим взвешиванием

Параметр	Характеристики
Чувствительность/разрешение:	Частицы размером от 5 до 50 мкм могут быть накоплены при низких давлениях
Линейность:	Осаждается значительное количество частиц с размерами значительно большими и меньшими, чем заданный
Стабильность:	Размер частиц, пропускаемых каждой ступеней каскада, изменяется в зависимости от скорости пробоотбора
Период калибровки:	Максимум 12 месяцев
Минимальная чувствительность к накоплению частиц:	$10 \text{ мкг}/\text{м}^3$ для частиц с удельным весом, равным 2

проба воздуха проходит с постоянной скоростью через ряд отверстий с уменьшающимися диаметрами; отверстия расположены напротив собирающих поверхностей. По мере увеличения скорости потока через отверстия на каждой ступени каскада уменьшается размер частиц, осаждающихся на собирающих поверхностях для их последующего подсчета или взвешивания.

Характеристики каскадного импактора приведены в табл. С.5.

### С.3.3 Счетчик отдельных макро-

**частиц** – прибор, позволяющий измерять размер и количество (если это необходимо) отдельных взвешенных в воздухе макрочастиц.

Характеристики счетчика отдельных макрочастиц приведены в табл. С.6.

### С.3.4 Времяпролетный счетчик

**частиц** – прибор, позволяющий производить измерение количества отдельных частиц и определять их размер. Определяет аэродинамический диаметр частиц путем измерения времени, необходимого частице для изменения своей скорости в ответ на изменение скорости воздуха. Обычно это реализуется путем измерения оптическими методами времени пролета частицы после изменения скорости потока воздуха.

Характеристики времяпролетного счетчика частиц приведены в табл. С.7.

### С.3.5 Импактор с пьезоэлектрическим взвешиванием

– устройство для осаждения частиц, в котором проба воздуха проходит с постоянной скоростью через ряд отверстий с уменьшающимися диаметрами; отверстия расположены напротив собирающих поверхностей, снабженных пьезоэлектрическими кварцевыми датчиками микровесов, с помощью которых определяется масса частиц, осевших на каждом каскаде в процессе пробоотбора.

Характеристики импактора с пьезоэлектрическим взвешиванием приведены в табл. С.8.

Цитируемые литературные источники

- [1] ASME N510-1989, *Testing of Nuclear Air-Treatment Systems*. Fairfield, New Jersey, US: American Society of Mechanical Engineers
- [4] ASTM F312-97 (2003), *Standard Test Methods for Microscopical Sizing and Counting Particles from Aerospace Fluids on Membrane Filters*. Philadelphia, Pennsylvania, US: American Society for Testing and Materials
- [13] IEST-G-CC1003:1999, *Measurements of Airborne Macroparticles*. Rolling Meadows, Illinois, US: Institute of Environmental Sciences and Technology

*Мы попросили прокомментировать эту часть стандарта В. И. Калечица, директора компании ПСК «Клинрум Инструментс», специализирующейся на приборах контроля параметров чистых производственных помещений.*

Измерения макрочастиц аэрозолей – достаточно специфический раздел метрологии чистых производственных помещений. Его сложность связана в первую очередь с тем, что при анализе полученных результатов измерений следует всегда принимать во внимание то обстоятельство, что по сравнению с частицами аэрозолей «обычного» для чистых помещений диапазона размеров (т.е. с диаметрами от 0,1 до 5,0 мкм) макрочастицы имеют значительно большую массу и, соответственно, отличаются высокой скоростью седиментации (оседания). Это приводит к тому, что концентрация взвешенных в воздухе макрочастиц быстро уменьшается по мере удаления точки пробоотбора от их источника, а статические аэрозольные системы из взвешенных в воздухе макрочастиц имеют малое время жизни.

С другой стороны, большая масса (и, соответственно, инерционность) макрочастиц приводит к тому, что в воздушном потоке они не следуют за изменяющейся траекторией линии тока, а стремятся сохранить прежнее направление движения. В результате частицы большого размера имеют значительно больше шансов столкнуться с препятствием, будь то стенка изгибающегося воздуховода, волокно фильтрующего материала или подложка пробоотборника.

Таким образом, при проведении любых измерений макрочастиц необходимо особенно тщательно проверять выполнение условий изокINETичности и изоаксиальности пробоотбора, добиваться минимальной длины и отсутствия изгибов пробоотборных трубок, а если это возможно, то и полного их отсутствия. Только соблюдение всех указанных требований поможет минимизировать потери макрочастиц на пути к измерительному объему прибора и обеспечить получение действительно представительных результатов измерений.

При выборе типа прибора для измерения количества макрочастиц в воздушной среде следует иметь ввиду следующие соображения.

Каскадные импакторы – «старожилы» среди приборов для определения дисперсного состава взвешенных в воздухе частиц. Они появились задолго до оптических счетчиков и в течение длительного времени оставались, по сути, единственной альтернативой утомительному и субъективному подсчитыванию частиц под микроскопом. Однако при этом и использование каскадных импакторов требовало огромных затрат времени – каждый из каскадов импактора необходимо было взвесить на аналитических весах дважды (до и после пробоотбора). Практически измерения с помощью каскадных импакторов в технике чистых производственных помещений не встречаются.

То же можно сказать и о времяпролетных счетчиках частиц, хотя в этом случае причина уже другая. Этот тип приборов просто не получил распространения. Достаточно сказать, что сейчас только одна зарубежная компания производит приборы такого типа, причем преимущественно для научных исследований. Очевидно, потребители оценили, что, с практической точки зрения, полученная информация о дисперсном составе не отличается от аналогичных данных, полученных с помощью обычного счетчика частиц (в тексте этого раздела стандарта его обычно называют «счетчик отдельных частиц»), при том,

что в первом случае речь идет об аэродинамическом диаметре, а во втором – об эквивалентном оптическом. Другими словами, с помощью времяпролетного счетчика можно измерить размеры и концентрацию макрочастиц, а вот сравнить результаты измерений с данными традиционных лазерных счетчиков уже нельзя. Поскольку тот же стандарт ISO 14644-3 рекомендует одновременно с измерениями макрочастиц контролировать и счетную концентрацию частиц в «обычном» диапазоне размеров (что можно сделать только традиционным счетчиком), то «сшить» результаты также не представится возможным.

Таким образом, в настоящее время наилучшим техническим решением для контроля макрочастиц являются традиционные лазерные счетчики аэрозолей (с диапазоном измерений, расширенным в сторону макрочастиц). Более того, одна из зарубежных фирм – Lighthouse Worldwide Solutions (США) – выпустила **специализированный счетчик макрочастиц**. Этот прибор называется **Boulder Counter**, что можно перевести примерно как «счетчик булыжников».

Этот прибор измеряет макрочастицы с размерами от 5 до 100 мкм, причем весь диапазон разбит на 6 каналов (5 мкм / 10 мкм / 25 мкм / 40 мкм / 50 мкм / 100 мкм). Разумеется, счетчик имеет все (уже ставшие в современных приборах стандартом) необходимые сервисные функции – встроенную аккумуляторную батарею, принтер, сохранение в памяти 3000 результатов измерений, обработку этих результатов по стандарту ISO 14644-1 и формирование соответствующего отчета, возможность подключения к компьютеру и работы в системе мониторинга и др.

Более подробную информацию как об этом приборе, так и других приборах контроля и системах мониторинга параметров чистых помещений вы можете получить у специалистов нашей компании



**проектно-сервисная компания  
«Клинрум Инструментс»**

г. Москва, ул. маршала Малиновского, д. 6, корп. 1  
Почтовый адрес: 123060 г. Москва, а/я 32  
☎ (499) 196-7727, 7594; 📠 (499) 196-7727  
<http://www.clri.ru> e-mail: [clri@clri.ru](mailto:clri@clri.ru)