ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 29463-2— 2024

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ И ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ИЗ ВОЗДУХА

Часть 2

Получение аэрозолей, испытательное оборудование и статистика счета частиц

(ISO 29463-2:2011, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Общероссийской общественной организацией «Ассоциация инженеров по контролю микрозагрязнений» (АСИНКОМ) на основе собственного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 184 «Обеспечение промышленной чистоты»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 мая 2024 г. № 605-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 29463-2:2011 «Высокоэффективные фильтры и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 2. Получение аэрозолей, испытательное оборудование и статистика счета частиц» (ISO 29463-2:2011 «High-efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 2: Aerosol production, measuring equipment and particle-counting statistics», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ТК 142 «Оборудование для очистки воздуха и других газов» Международной организации по стандартизации (ИСО).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА.

Дополнительные примечания в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ЕН 1822-2—2012

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2011
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Получение аэрозолей 2
4.1 Материал для получения аэрозолей 2
4.2 Получение монодисперсных аэрозолей 3
4.3 Получение полидисперсных аэрозолей 6
4.4 Нейтрализация аэрозолей 6
4.5 Минимальные технические требования для генераторов аэрозолей 8
4.6 Причины ошибок 8
4.7 Техническое обслуживание и контроль 8
5 Контрольные приборы 8
5.1 Оптический счетчик частиц 8
5.2 Счетчик ядер конденсации 10
5.3 Дифференциальный анализатор подвижности 13
5.4 Система анализов размеров частиц на основе анализа дифференциальной подвижности 15
5.5 Системы разбавления 15
5.6 Фотометр аэрозолей 16
5.7 Оборудование для измерения перепада давления 18
5.8 Оборудование для измерения абсолютного давления 18
5.9 Термометр 18
5.10 Гигрометр 18
6 Периодичность технического обслуживания и контроля 18
7 Статистика счета частиц 19
Приложение А (справочное) Средний размер распределения размеров частиц 21
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 23
Библиография 24

Введение

Стандарты ИСО 29463 (все части) получены из стандартов ЕН 1822 (все части) с рядом изменений, отражающих позицию стран, не входящих в ЕС. Они содержат требования, фундаментальные принципы испытаний и маркировки для высокоэффективных фильтров очистки воздуха от частиц с эффективностью от 95 % до 99,999995 %, которые могут использоваться для классификации фильтров в целом, либо по соглашению между поставщиком и пользователем.

Стандарты ИСО 29463 (все части) предусматривают оценку эффективности всех фильтров на основе счета частиц с использованием жидких или (как альтернатива) твердых контрольных аэрозолей, что позволяет выполнять стандартную классификацию фильтров как по интегральной, так и по локальной эффективности, что обычно покрывает большинство требований в различных областях применения. Отличие ИСО 29463 (все части) от других национальных стандартов заключается в методах определения интегральной эффективности. Вместо оценки эффективности по массовой концентрации или общих концентраций эти методы основаны на счете частиц в точке с наибольшим проскоком (MPPS — Most Particle Penetrating Size), которая для микростекловолокнистых фильтров составляет примерно от 0,12 до 0,25 мкм. Этот метод также позволяет испытывать сверхвысокоэффективные фильтры очистки воздуха со сверхнизким проскоком, что не достигалось при использовании прежних методов контроля из-за их недостаточной чувствительности. Для мембранных фильтров действует другое правило (см. ИСО 29463-5:2011, приложение В). Несмотря на то, что не приводятся эквивалентные методы испытаний заряженных фильтров, порядок обращения с этими фильтрами приведен в ИСО 29463-5:2011, приложение С. Специальные требования к методам испытаний, их периодичности и ведению протоколов могут быть согласованы между поставщиком и заказчиком. Для фильтров с меньшей эффективностью (группа Н) могут применяться альтернативные методы испытаний по ИСО 29463-4:2011, приложение А, с заключением специального соглашения между поставщиком и заказчиком и только при условии указания на это в маркировке фильтра согласно ИСО 29463-4:2011, приложение А.

Отличием стандартов ИСО 29463 (все части) от других методов является, например, то, что другие методы основаны на определении общей концентрации аэрозольных частиц, а не индивидуальных частиц. Краткое описание этих методов со ссылками на соответствующие стандарты дано в ИСО 29463-5:2011, приложение А.

Примечание — В Российской Федерации действует с 1990-х годов классификация высокоэффективных фильтров очистки воздуха EPA, HEPA и ULPA (E10-E12, H13, H14, U15-U17), так же как и в Евросоюзе.

ИСО 29463-1 устанавливает отличающуюся от этого классификацию фильтров, что не принято ни в Европе, ни в России. В связи с этим в Европе принят стандарт ЕН 1822-1:2019, идентичный перевод которого введен в России в качестве ГОСТ Р 71176—2023. Это обеспечивает удобство в работе и единое понимание производителей фильтров, монтажных организаций, испытателей и пользователей.

Область применения стандартов ИСО 29463-2, ИСО 29463-3, ИСО 29463-4 и ИСО 29463-5 ограничена преимущественно испытаниями фильтров их производителями.

В связи с этим в настоящем стандарте сохранены обозначения фильтров в соответствии с оригиналами. Таблица сопоставления обозначений приведена в ГОСТ Р 71176—2023.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ И ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ИЗ ВОЗДУХА

Часть 2

Получение аэрозолей, испытательное оборудование и статистика счета частиц

High-efficiency filters and filter media for removing particles in air. Part 2. Aerosol production, measuring equipment, particle counting statistics

Дата введения — 2025—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к генерированию аэрозолей и оборудованию для испытаний высокоэффективных фильтров и фильтрующих материалов по ИСО 29463-3, ИСО 29463-4 и ИСО 29463-5, а также дает статистическую основу для счета частиц при малом числе обнаруженных частиц. Его применение предусмотрено совместно с ИСО 29463-1, ИСО 29463-3, ИСО 29463-4 и ИСО 29463-5.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)].

ISO 29463-1, High-efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 1: Classification, performance, testing and marking (Высокоэффективные фильтры очистки воздуха EPA, HEPA и ULPA. Часть 1. Классификация, методы испытаний, маркировка)

ISO 29463-3, High efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 3: Testing flat sheet filter media (Высокоэффективные фильтры очистки воздуха и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 3. Испытания плоского фильтрующего материала)

ISO 29463-4:2011, High efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 4: Test method for determining the leakage of the filter element — Scan method [Высокоэффективные фильтры очистки воздуха и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 4. Метод испытаний фильтрующих элементов на утечку (метод сканирования)]

ISO 29463-5:2011*, High efficiency filters and filter media for removing particles in air — Part 5: Test method for filter element (Высокоэффективные фильтры очистки воздуха и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 5. Методы испытаний фильтрующих элементов)

ISO 29464, Cleaning of air and other gases — Terminology (Очистка воздуха и других газов. Терминология)

* Заменен на ISO 29463-5:2022. Однако для однозначного соблюдения требования настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины и определения по ИСО 29463-1, ИСО 29464, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1 **эффективность счета** (counting efficiency): Отношение числа частиц определенного размера в анализируемом потоке воздуха к числу частиц в измеряемом объеме и посчитанных счетчиком частиц.

Пример — Отношение полученной концентрации к действительной концентрации аэрозоля.

Примечание — Эффективность счета зависит от размера частиц и существенно снижается вблизи нижнего предела обнаружения счетчика частиц.

4 Получение аэрозолей

При контроле фильтров в качестве эталонного метода контроля следует использовать контрольный аэрозоль с жидкими частицами по ИСО 29463-1. В качестве альтернативного метода для контроля локальной эффективности (тест на проскок) может быть использован аэрозоль с твердыми частицами (PSL, см. ИСО 29463-4:2011, приложение Е).

При контроле сверхвысокоэффективных фильтров (ИСО 65 U и выше) следует использовать методы генерирования аэрозолей с высокой производительностью (от 10^{10} до 10^{11} $с^{-1}$), чтобы обеспечить статистически значимые данные после фильтра.

Следует предусмотреть возможность изменения среднего диаметра частиц аэрозолей путем регулирования параметров генератора аэрозолей так, чтобы диаметр был равен точке MPPS. Концентрация и распределение размеров частиц генерируемых аэрозолей должны оставаться неизменными в течение всего времени контроля.

4.1 Материал для получения аэрозолей

Для эталонного метода материалом для генерирования аэрозолей является жидкость с давлением паров настолько низким при данной температуре воздуха, что размер получаемых капелек не изменяется значительно из-за испарения в течение времени контроля (нескольких секунд).

К возможным материалам относятся:

- DEHS;
- PAO;
- парафиновое масло низкой вязкости.

Данный перечень не является исчерпывающим.

Наиболее критическими свойствами материала для генерирования аэрозолей являются:

- индекс рефракции;
- давление паров;
- плотность,

которые не должны слишком отличаться от значений, приведенных для указанных трех материалов в таблице 1.

При обращении с этими материалами следует выполнять принятые стандартные меры безопасности работы в лаборатории. Это обеспечивается применением вытяжных систем и герметичных для аэрозолей систем воздуховодов так, чтобы не допустить вдыхания контрольного аэрозоля. При возникновении сомнений следует руководствоваться требованиями к безопасности работы с соответствующими материалами.

Таблица 1 — Параметры материалов для генерирования аэрозолей при температуре 20 °С

Наименование	DEHS	PAO[a]	Парафиновое масло низкой вязкости
Химическое обозначение	Бис-(2-этилгексил)овый эфир себациновой кислоты (например, CAS 122-62-3)	Полиальфаолефин (например, CAS[b] 68649-12-7)	Смесь (например, CAS 64742-46-7)
Наименование	Диэтилгексилсебацинат	Полиальфаолефин	Парафиновое масло
Плотность, кг/м^3	912	800—820 (820[c])	843
Точка плавления, К	225	~ 280	259
Точка кипения, К	529	650—780 (674[c])	526
Точка воспламенения, К	>473	445—500	453
Давление паров при температуре 293 К, кПа	1,9 < 0,1 кПа при 423 К	0,1—0,13	<0,1
Динамическая вязкость, кг/м·с	От 0,022 до 0,024	0,0031—0,0034 при 373 К 0,014 при 313 К[c]	0,026
Кинематическая вязкость, мм^2/с	—	3,8—4,2 при 373 К	3,0—4,5 при 313 К
Индекс рефракции/длина волны, нм	1,450/650 1,452/600 1,4535/550 1,4545/500 1,4585/450 1,475/400	1,4556[c]	1,466[c]

[a] Патенты США 5,059,349, 5,059,352 и 5,076,965 дают описание и ограничение на использование PAO для контроля фильтров. Свойства материла PAO — по стандартам Японии JACA 37—2001 и ИСО 14644-3.

[b] CAS, номер регистрации химических соединений химическими кодами, издаваемыми Американским химическим обществом.

[c] Специфическим примером PAO является «Emery 3004».

Источник: Crosby, David W., Concentration produced by a Laskin nozzle generator, a comparison of substitute materials and DOP, 21st DOE/NRC Nuclear Air Cleaning Conference.

4.2 Получение монодисперсных аэрозолей

4.2.1 Методы конденсации

Предпочтительными методами генерирования монодисперсных аэрозолей являются методы конденсации, так как частицы формируются конденсацией из парообразного состояния. Следует различать гетерогенную и гомогенную конденсацию.

4.2.1.1 Гетерогенная конденсация

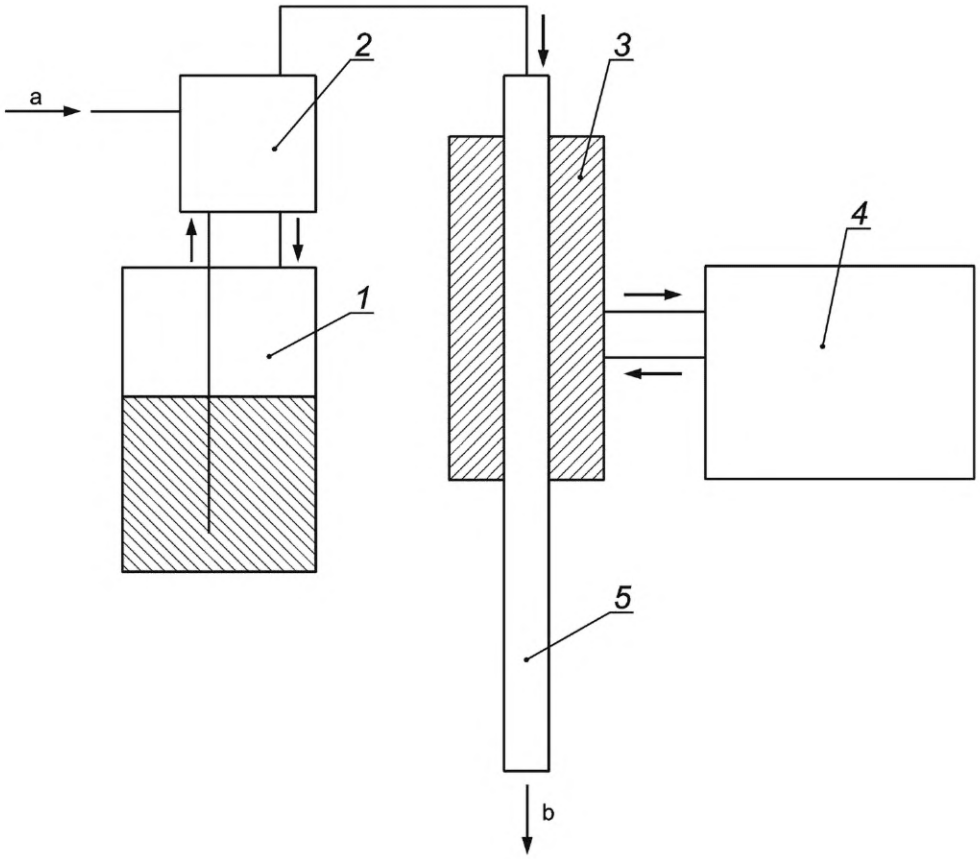
При гетерогенной конденсации пары конденсируются при относительно низком уровне перенасыщения на поверхность очень малых частиц, которые уже существуют, на так называемые ядра конденсации. Распределение размеров получаемого аэрозоля имеет геометрическое стандартное отклонение между σ_g = 1,05 и σ_g = 1,15.

К генераторам аэрозолей, работающим по принципу гетерогенной конденсации и пригодным для испытаний фильтров по настоящему стандарту, относится генератор Рапапорт-Вайнштоk (Rapaport-Weinstock) (рисунок 1).

4.2.1.1.1 Генератор Рапапорт-Вайнштоk

Примечание — См. рисунок 1.

Субстанция аэрозоля распыляется через форсунку в виде чистой субстанции или в растворе. Полученный полидисперсный аэрозоль испаряется при прохождении подогреваемой секции стеклянной трубки. При этом остатки ядер загрязнений материала сохранятся.



[a] Сжатый воздух.

[b] Аэрозоль.

1 — сосуд с жидкостью; *2* — распылитель; *3* — секция испарения; *4* — термостат; *5* — секция конденсации

Рисунок 1 — Схема генератора аэрозолей Рапапорт—Вайншток

При прохождении секции конденсации субстанция аэрозолей конденсируется на эти ядра с образованием монодисперсного аэрозоля (см. также [1]).

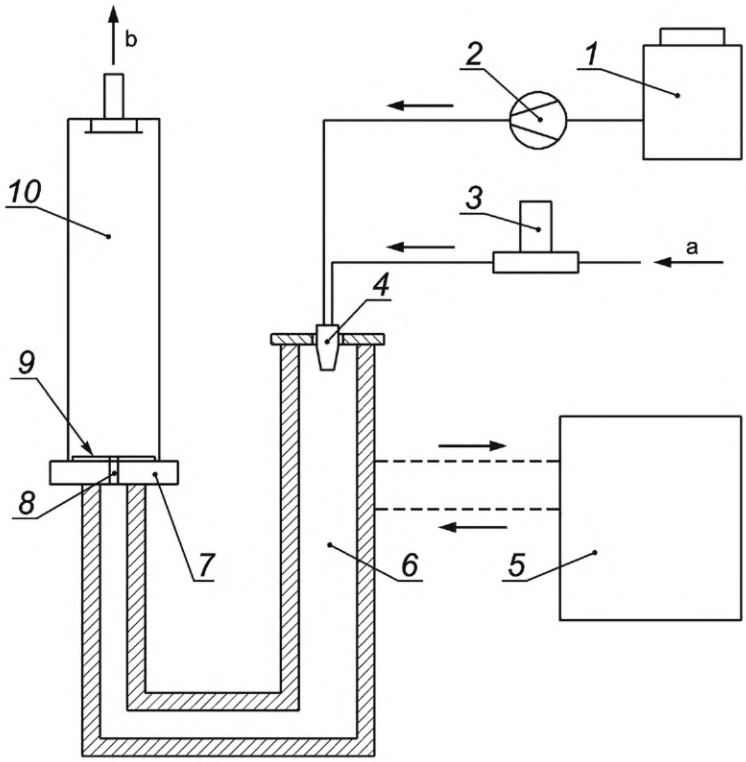
Соотношение субстанции аэрозоля и растворителя при смешивании определяет размер частиц аэрозоля. Полученный в конце процесса аэрозоль содержит использованный растворитель (например, пропанол) в виде пара.

Интенсивность образования частиц в генераторе этого типа достигает 10^9 $с^{-1}$. Диаметр частиц может изменяться примерно от 0,1 до 1,5 мкм.

4.2.1.2 Гомогенная конденсация

При высоких уровнях перенасыщения происходит спонтанное формирование агломератов (скоплений, кластеров) молекул паров при отсутствии ядер конденсации. Эти агломераты растут и образуют частицы размером в несколько нанометров в диаметре (гомогенная конденсация). Затем в результате коагуляции этих частиц образуются более крупные частицы. Распределение частиц по размерам в полученном аэрозоле имеет стандартное отклонение σ_g ~ 15 независимо от среднего размера частиц и может рассматриваться только как квазимонодисперсное. С другой стороны, интенсивность образования аэрозолей по этому методу может быть на два порядка больше, чем при гетерогенной конденсации (более 10^{11} $с^{-1}$).

Схема генератора аэрозолей со свободным распылением по этому принципу показана на рисунке 2.



[a] Азот.

[b] Аэрозоль.

1 — сосуд с DEHS; *2* — насос; *3* — расходомер; *4* — ультразвуковой распылитель; *5* — термостат; *6* — испарительная трубка с подогревом и изоляцией; *7* — защитный поток чистого воздуха; *8* — форсунка; *9* — спеченная металлическая пластина; *10* — секция коагуляции

Рисунок 2 — Схема генератора аэрозолей со свободным распылением

Субстанция аэрозолей подается насосом (с определенным расходом) к ультразвуковому распылителю. Относительно большие генерируемые капли (более 20 мкм) затем испаряются в подогреваемой трубке. Концентрация оставшихся ядер настолько мала, что они не влияют на последующий процесс гомогенной конденсации. Поток горячего азота, содержащий пар, проходит затем через форсунку в холодный ламинарный поток защитного воздуха. Турбулентное перемешивание распыляемого материала с холодным воздухом приводит к перенасыщению, необходимому для гомогенной конденсации. Изменение размеров и концентрации частиц может быть выполнено путем регулирования расхода потока аэрозольной субстанции (DEHS), азота и защитного воздуха.

4.2.2 Классификация размеров частиц

Используя дифференциальный анализатор подвижности (см. 5.3), можно отделять фракцию с почти одинаковой электрической подвижностью от полидисперсного аэрозоля (см. также [2]). В результате эти частицы имеют одинаковый электрический заряд, фракция характеризуется одинаковой подвижностью и является монодисперсной. При необходимости частицы больших размеров, которые имеют разные заряды и такую же электрическую подвижность, что и частицы с одинаковым зарядом, должны быть удалены из входящего полидисперсного аэрозоля соответствующим методом. Поскольку доля частиц с одинаковым зарядом в представляющем интерес диапазоне размеров менее 10 %, из которого выбирается только узкая полоса размеров, счетная концентрация монодисперсного аэрозоля на выходе будет меньше, чем концентрация на входе, примерно в 100 раз. Следовательно, этот метод получения монодисперсных аэрозолей пригоден только для определения фракционной эффективности фильтровального материала (см. ИСО 29463-3).

Степень монодисперсности аэрозоля, получаемого этим методом, может быть описана стандартным геометрическим отклонением σ_g<1,1. Однако на практике параметры часто изменяются, чтобы увеличить концентрацию частиц за счет большего стандартного отклонения.

4.3 Получение полидисперсных аэрозолей

Полидисперсные жидкие аэрозоли, как правило, получают распылением аэрозольной субстанции через двойную форсунку с использованием сжатого воздуха. Находящийся далее инерционный сепаратор в форме пластин-отбойников или циклонный сепаратор служит для осаждения более крупных частиц и уменьшения диапазона распределения размеров. Стандартное геометрическое отклонение получаемого распределения находится между 1,6 и 2,5. Размер частиц может доводиться до малых значений путем изменения рабочего давления в форсунке. Большее изменение размера частиц обычно достигается растворением аэрозолей в летучем растворителе (например, пропаноле) до распыления. При испарении растворителя остаются частицы размерами, определяемыми соотношением аэрозольной субстанции к растворителю.

Можно относительно легко увеличить интенсивность получения частиц, используя несколько струй параллельно.

Максимальная интенсивность получения частиц с помощью одной форсунки составляет $5 \cdot 10^{10}$ $с^{-1}$.

Примечание — Описание типового струйного распылителя дано, например, в [3].

При получении более высокой концентрации аэрозоля по ИСО 29463-5 рекомендуется применять генераторы аэрозолей с распылителем Ласкина.

4.3.1 Генератор полидисперсных аэрозолей с распылителем Ласкина

Генератор аэрозолей с распылителем Ласкина использует форсунку для получения полидисперсного аэрозоля из жидкости, такой как DOP, DEHS или PAO с применением сжатого газа (см. также [4]). Генератор дает аэрозоль со средним диаметром по массе примерно 0,45 мкм и геометрическим диаметром по рассеиванию света примерно 0,72 мкм. Распределение среднего размера капелек по рассеиванию света показано на рисунке 3 (см. также [4]).

4.3.2 Распылитель Ласкина — проверка значений при низком давлении

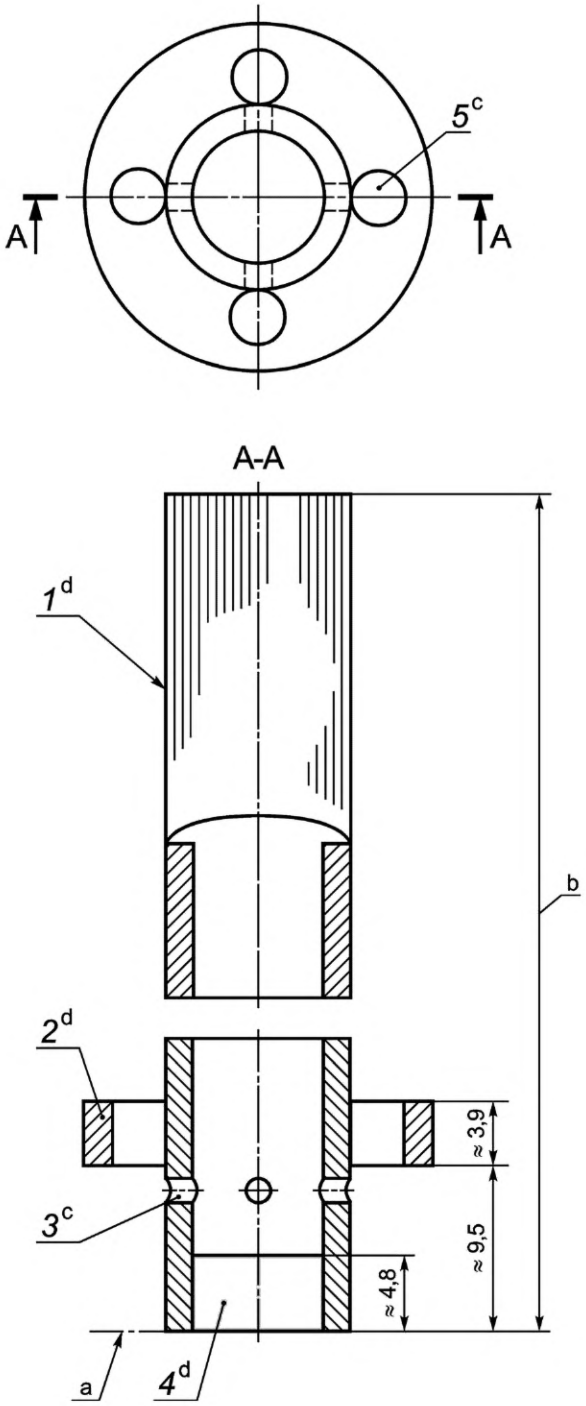
Подробное описание приведено в IEST RP CC013. При определении действительных характеристик аэрозоля в микрограммах на литр, получаемого от каждой форсунки Ласкина дополнительно применяют гравиметрический метод отбора проб.

4.4 Нейтрализация аэрозолей

Поскольку эффективность удержания фильтрами заряженных частиц выше, чем незаряженных, для контроля фильтров следует использовать электрически нейтральные частицы. Под нейтральным зарядом обычно понимается стационарное равновесие, достигаемое, когда к заряженным аэрозольным частицам добавляется достаточное число положительных и отрицательных ионов газов. Обычно для этого газ-носитель аэрозоля ионизируется радиоактивным излучением или коронным разрядом. Остаточным зарядом в аэрозоле после этой нейтрализации, имеющим малую величину, можно пренебречь для целей фильтрации.

Аэрозольные частицы становятся электрически заряженными, если при их получении, например при распылении, образуется заряд. Это происходит при распылении полярных жидкостей, например воды или в меньшей степени пропанола. При получении чистых DEHS или DOP образуются относительно низкие заряды. В процессах конденсации без предварительного распыления образуются фактически незаряженные аэрозоли, которые не подлежат распылению.

Для того чтобы обеспечить нейтрализацию аэрозолей с высокой концентрацией, которые используются для контроля фильтров, необходимо в нейтрализаторах обеспечивать достаточно высокую концентрацию ионов. Аэрозоли должны также находиться в ионизированной атмосфере в течение достаточно долгого периода (см. также [5]).



[a] Примерно на 12,7 мм (1/2 дюйма) выше дна резервуара с распыляемой жидкостью.

[b] Изменяемая длина для монтажа.

[c] Допуски ±0,05 мм на размеры отверстий.

[d] Допуски ±0,51 мм на остальные размеры.

1 — латунная трубка наружным диаметром 9,5 мм (3/8 дюйма) и толщиной стенки 1,7 мм (0,065 дюйма); *2* — латунный хомут наружным диаметром 15,9 мм (5/8 дюйма), припаянный серебром к трубке; *3* — радиальные отверстия диаметром 1 мм (0,4 дюйма), под углом 1,6 радиан (90°) друг от друга, верхний край отверстий почти касается нижней части хомута (4 отверстия); *4* — латунная пробка — пайка серебром на месте (с полным проникание); *5* — продольные отверстия диаметром 2 мм (0,08 дюйма) рядом с радиальными отверстиями в трубке (4 отверстия)

Рисунок 3 — Схема распылителя Ласкина (см. [4])

4.5 Минимальные технические требования для генераторов аэрозолей

Установлены следующие требования:

a) генераторы для контроля фильтрующего материала:

1) интенсивность получения частиц от 10^6 до 10^8 $с^{-1}$;

2) регулирование диаметра частиц в диапазоне от 0,04 до 1,0 мкм;

b) генераторы для контроля фильтрующих элементов:

1) интенсивность получения частиц от 10^8 до 10^{11} $с^{-1}$;

2) регулирование диаметра частиц в диапазоне от 0,08 до 1,0 мкм.

4.6 Причины ошибок

Давление газа, подаваемого на генератор аэрозолей (сжатый воздух, азот), должно быть постоянным. Подаваемый газ не должен содержать частиц и иметь достаточно низкую влажность.

Форсунки распылителей могут постепенно засоряться, что приводит к незаметным изменениям характеристик распыления.

Конденсационные генераторы чувствительны к изменениям температуры по ходу тракта конденсации. Эта чувствительность может увеличиваться, например, при сквозняках. Субстанции аэрозолей, которые подвергаются воздействию высоких температур в течение длительного времени и физические и химические свойства которых могут изменяться, подлежат замене с установленной периодичностью.

4.7 Техническое обслуживание и контроль

Генераторы аэрозолей подлежат плановому техническому обслуживанию в соответствии с инструкциями производителя.

Следует предусматривать средства контроля распределения размеров частиц и постоянства скорости получения аэрозоля согласно разделу 5 с периодичностью, указанной в разделе 6.

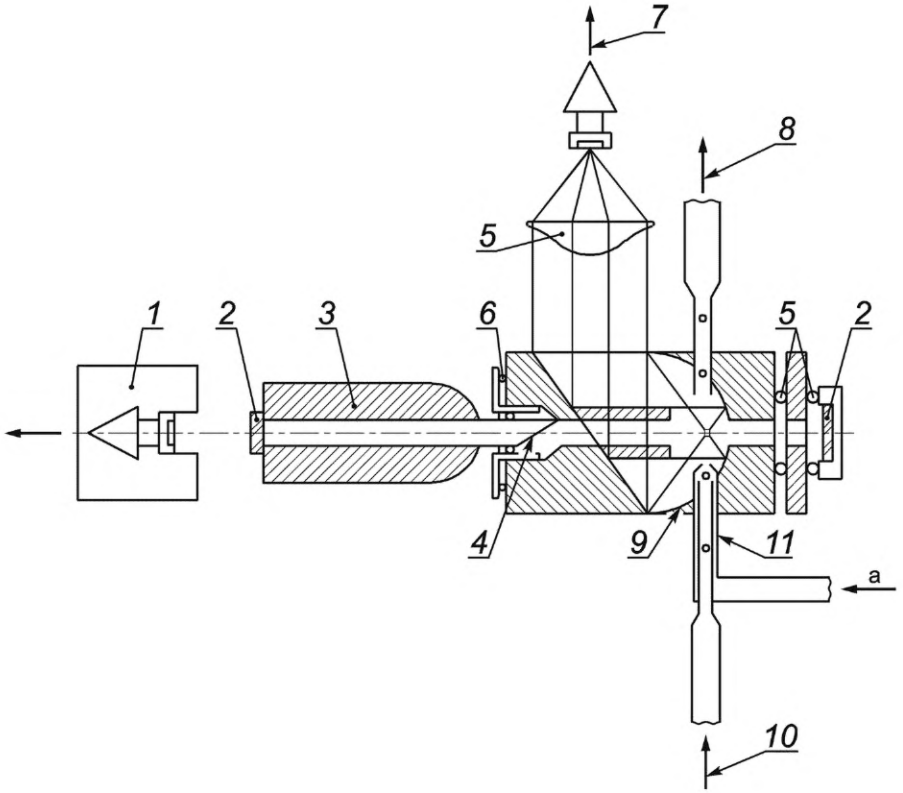
5 Контрольные приборы

5.1 Оптический счетчик частиц

5.1.1 Принцип действия

В оптическом счетчике частиц частицы проходят последовательно через интенсивно освещаемый измерительный объем. При прохождении через измерительный объем частицы рассеивают свет, который направляется на фотоприемник под заданным пространственным углом и преобразуется в электрический импульс. Величина этого импульса позволяет провести сопоставление с размером частиц, а число импульсов в единицу времени — с концентрацией частиц в анализируемом объеме воздуха.

Пример общей схемы оптического счетчика частиц с лазерным источником света показан на рисунке 4.



[a] Защитный поток чистого воздуха.

1 — эталонный детектор; *2* — зеркало лазера; *3* — гелий-неоновый лазер; *4* — брюстеровское окно; *5* — уплотнительное кольцо; *6* — асферические линзы; *7* — фотоприемник; *8* — выход аэрозоля; *9* — параболическое зеркало; *10* — вход аэрозоля; *11* — насадка для аэрозоля

Рисунок 4 — Пример схемы оптического счетчика частиц

5.1.2 Минимальные технические требования

Предъявляются следующие требования:

a) оптические счетчики частиц должны соответствовать ИСО 21501-1 и/или ИСО 21501-4;

b) диапазон размеров частиц: от 0,1 до 2,0 мкм (при эффективности счета 50 %), наличие как минимум одного канала размером менее точки MPPS испытуемого фильтра; предпочтительно размером, равным половине значения MPPS;

c) минимальное число классов по размерам частиц между 0,1 и 0,3 мкм:

1) пять классов для контроля фильтрующего материала;

2) два класса для контроля фильтрующих элементов. С практической точки зрения этим требованиям могут удовлетворять диапазоны каналов от 0,1 до 0,2 и от 0,2 до 0,3 многих коммерческих счетчиков частиц;

d) число регистрируемых частиц при нулевом счете — менее одной частицы в минуту.

5.1.3 Источники и пределы ошибок

Оптический счетчик частиц определяет размер частицы как эквивалентный диаметр, полученный по рассеянному свету (см. также [7]), который зависит не только от геометрического размера частицы, но и от формы и оптических свойств материалов частицы. Характер этой зависимости изменяется для различных конструкций счетчиков частиц. Результаты измерений двумя разными счетчиками частиц можно сравнивать только в случае, если они калиброваны для рассматриваемого материала частиц.

Если концентрация частиц слишком высока, то имеет место ошибка совпадения. Это означает, что несколько частиц попадают в измерительный объем одновременно и воспринимаются как одна частица с большим размером. Для того чтобы не допустить превышения максимальной концентрации, установленной производителем, следует использовать системы разбавления (см. 5.5). Максимальная

концентрация для конкретного счетчика частиц может быть определена путем генерирования аэрозоля с постоянной интенсивностью в заданный объем воздуха. Концентрация частиц должна быть такой, чтобы число частиц составляло примерно от 20 000 до 30 000 в минуту в известном объеме воздуха. После того, как концентрация определена, следует поддерживать ту же интенсивность генерирования, но снизить объем воздуха. Новую более высокую измеренную концентрацию следует сравнить с расчетной, используя уравнение

$$C_c \cdot V_c = C_m \cdot V_m, \quad (1)$$

где C_c — расчетная концентрация;
V_c — расчетный объем;
C_m — измеренная концентрация;
V_m — измеренный объем.

Если измеренный и расчетный объемы соответствуют друг другу, то следует повторить процедуру при новом, меньшем объеме (расходе) воздуха. Этот процесс продолжают до тех пор, пока измеренная концентрация не станет равной 95 % от вычисленной концентрации. Это будет максимальной концентрацией аэрозоля, которую можно определять счетчиком частиц с ошибкой совпадения <5 %.

Расходомер счетчика частиц следует калибровать с использованием прослеживаемого стандарта.

5.1.4 Техническое обслуживание и контроль

Оптические счетчики частиц следует регулярно обслуживать и контролировать квалифицированным персоналом. В эти работы входит также калибровка с использованием аэрозолей PSL (полистиреновый латекс).

Контроль правильности работы пользователем должен включать проверку расхода, а также регулярную проверку нулевого счета с помощью фильтра класса ИСО 35 или выше на входе.

Если используют несколько счетчиков частиц, дополнительную проверку можно проводить путем сравнения измерений контрольного аэрозоля.

5.1.5 Калибровка

Как правило, оптические счетчики частиц калибруют с помощью латексных частиц PSL (см. также [8] и [9]). Допускается калибровка с помощью других, обычно жидких аэрозольных материалов (например, DEHS), используя аэрозольный генератор с вибрирующим отверстием (см. также [10]) или независимым оборудованием для определения размера аэрозольных частиц.

Для определения эффективности счета необходимы монодисперсные аэрозоли с известной концентрацией (например, с помощью дифференциального анализатора подвижности и аэрозольного электрометра или счетчика ядер конденсации). Это возможно только в хорошо оборудованных аэрозольных лабораториях (см. также [2]).

В качестве альтернативного метода контроля эффективности счета может служить сравнительный контроль латексными аэрозолями PSL с использованием другого оптического счетчика частиц. Поскольку эффективность счета зависит от размера частиц и резко снижается вблизи низшего предела определения счетчика частиц, нижний порог счетчика сравнения должен быть существенно ниже, чем калибруемого счетчика.

5.2 Счетчик ядер конденсации

5.2.1 Принцип действия

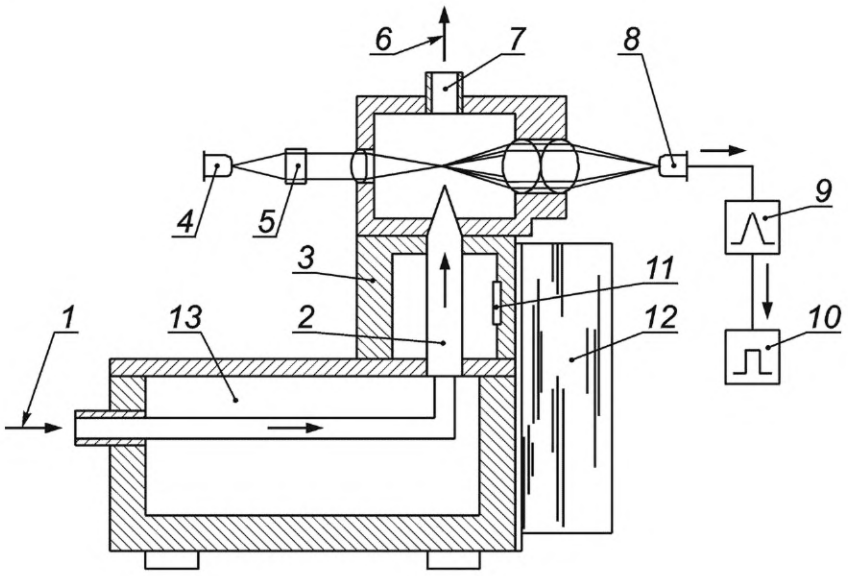
Счетчики ядер конденсации CPC предназначены для частиц, которые слишком малы для прямого оптического измерения. В этих счетчиках частицы увеличиваются за счет конденсации паров до измерения рассеянного света или затухания света. Концентрация полученных капель определяется счетом или фотометрическим методом, но при использовании последнего метода данные о первоначальных размерах частиц теряются.

Перенасыщение, требуемое для конденсации паров, может быть выполнено для счетчиков ядер конденсации с непрерывным потоком двумя способами.

При первом способе аэрозоль сначала насыщается парами при температуре, превышающей температуру окружающей среды, и затем охлаждается за счет контакта с холодной стенкой трубки (внешнее охлаждение, см. также [11]). Структура этого устройства показана на рисунке 5. Поток аэрозоля сначала проходит через трубку, в которой он насыщается парами бутанола, а затем через трубку кон-

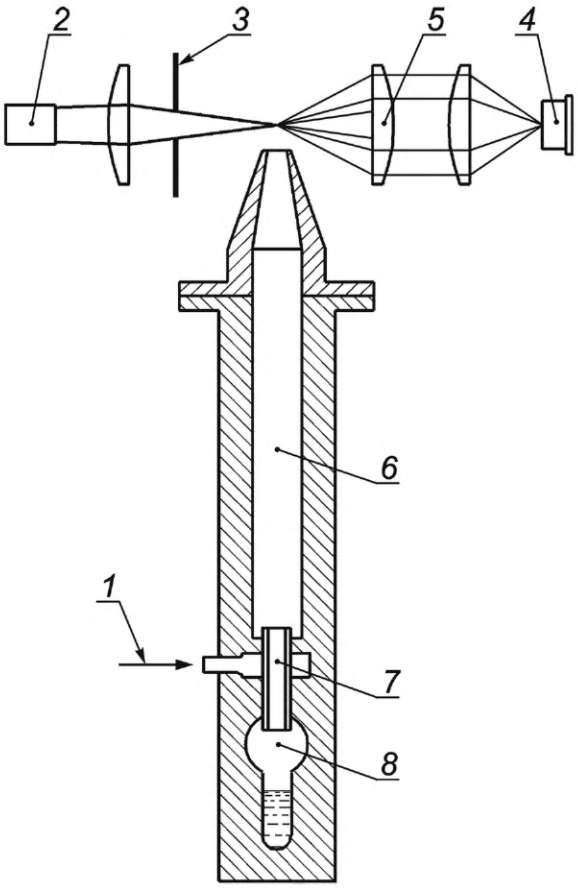
денсации, в которой он охлаждается. Полученные капли регистрируются фотодетектором рассеянного света.

При втором способе аэрозоль, имеющий температуру окружающего воздуха, смешивается с более теплыми, не содержащими частиц парами, насыщающими поток воздуха. Смешивание приводит к перенасыщению и конденсации (см. также [12]). Этот принцип показан на рисунке 6. В данном случае аэрозоль направляется непосредственно в смешивающую форсунку кратчайшим путем. Капли пропиленгликоля, которые образуются вдоль секции конденсации, повторно регистрируют фотодетектором рассеянного света.



1 — вход аэрозоля; *2* — конденсационная трубка; *3* — термоизоляция; *4* — лазерный диод; *5* — система линз; *6* — выход аэрозолей; *7* — форсунка; *8* — фотодетектор; *9* — аналоговый сигнал; *10* — цифровой сигнал; *11* — элемент Пельтье; *12* — радиатор для отвода тепла (свободная конвекция); *13* — трубка насыщения и резервуар со спиртом

Рисунок 5 — Схема счетчика ядер конденсации с использованием внешнего охлаждения



1 — вход аэрозоля; *2* — лазерный диод; *3* — диафрагма; *4* — фотодетектор; *5* — фокусирующая линза; *6* — секция конденсации; *7* — смешивающая форсунка; *8* — ввод паров

Рисунок 6 — Схема счетчика ядер конденсации с использованием принципа смешивания

5.2.2 Минимальные технические требования

Предъявляются следующие требования:

- диапазон размеров частиц: от 50 нм до 0,8 мкм (для 100 %-ной эффективности счета);
- число регистрируемых частиц при нулевом счете — менее одной частицы в минуту.

5.2.3 Источники и пределы ошибок

Если счетчик ядер конденсации CPC используется в режиме счета, то определение концентрации частиц зависит в основном от точности отбора объема пробы. В зависимости от метода измерения или контроля эта ошибка находится в пределах от 2 % до 5 %.

В фотометрическом режиме работы отношение между численной концентрацией и сигналом на выходе также зависит от размера полученных капель. Использовать фотометрический режим работы не рекомендуется, поскольку в крайних случаях ошибка может достигать 100 % (см. также [13], [14]).

5.2.4 Техническое обслуживание и контроль

Следует регулярно проверять уровень материала, используемого для образования паров в резервуаре. Этот материал следует периодически заменять, поскольку он аккумулирует воду и его термодинамические свойства изменяются.

Контроль правильности работы должен включать проверку расхода, а также регулярную проверку нулевого счета с помощью фильтра класса ИСО 35 Н или выше, устанавливаемого на входе.

Если используется несколько счетчиков частиц, то дополнительную проверку можно проводить путем сравнения измерений по контрольному аэрозолю.

5.2.5 Калибровка

Счетчик ядер конденсации, работающий в режиме счета, может рассматриваться как независимое средство контроля, практически не требующее калибровки. Следует только периодически проверять правильность отбора объема пробы путем сравнения, например, с помощью поплавкового ротаметра.

Калибровка счетчика ядер конденсации CPC в фотометрическом режиме и определение эффективности счета требуют монодисперсных аэрозолей с известной концентрацией (используя дифференциальный анализатор подвижности и электрометр аэрозолей, см. также [2]) и, как правило, возможна в хорошо оборудованных аэрозольных лабораториях.

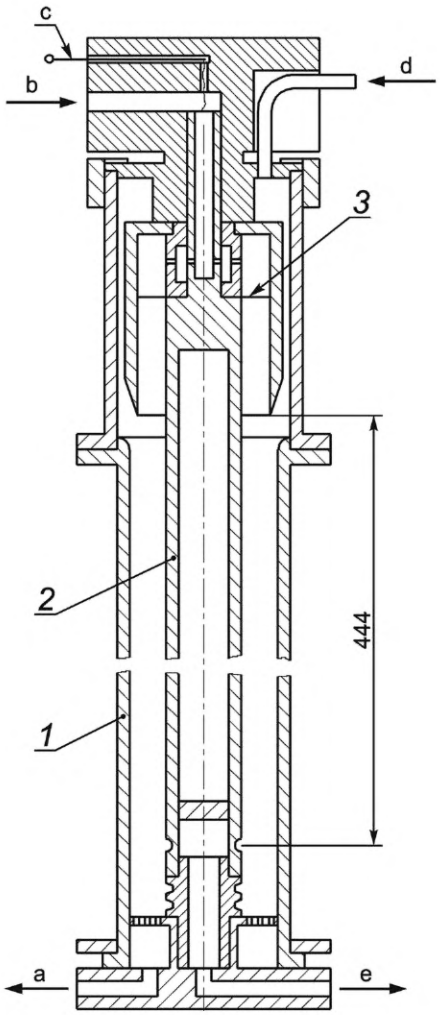
5.3 Дифференциальный анализатор подвижности

5.3.1 Принцип действия

В дифференциальном анализаторе подвижности частицы могут быть классифицированы по их электрической подвижности. Электрическая подвижность частицы является функцией размера частицы и величины электрического заряда на ней. Схема дифференциального анализатора подвижности DMA показана на рисунке 7.

Анализатор подвижности состоит из двух концентрических цилиндрических электродов. Подлежащий классификации полидисперсный аэрозоль сначала получает требуемый электрический заряд путем введения ионов газа, а затем подается в дифференциальный анализатор подвижности через узкий круговой зазор, находящийся вдоль другого электрода. Вдоль внутреннего электрода вводится изокинетический и не содержащий частиц воздух. Под влиянием электрического поля между электродами частицы с одной полярностью движутся под прямым углом относительно направления потока к центральному электроду. Частицы с зарядами противоположной полярности притягиваются к внешнему электроду. У нижнего конца внутреннего электрода есть узкая щель, через которую выводится часть потока с частицами, имеющими определенную электрическую подвижность.

При надлежащем выборе распределения размеров частиц первичного полидисперсного аэрозоля все эти частицы имеют только один электрический заряд и одинаковый размер.



[a] Избыточный воздух.

[b] Защитный воздух.

[c] Высокое напряжение.

[d] Полидисперсный аэрозоль.

[e] Монодисперсный аэрозоль.

1 — внешний электрод; *2* — центральный электрод; *3* — ламинатор потока

Рисунок 7 — Схема анализатора подвижности

5.3.2 Минимальные технические требования

Предъявляются следующие требования:

- диапазон размеров частиц от 10 нм до 0,8 мкм;
- стандартное геометрическое отклонение квазимонодисперсного аэрозоля менее 1,3.

5.3.3 Источники и пределы ошибок

Если распределение размеров первичного аэрозоля неточно подходит к размеру частиц монодисперсного аэрозоля на выходе, то при размерах частиц менее 0,1 мкм в аэрозоле на выходе возможна значительная концентрация больших частиц с множеством значений зарядов.

Утечки и неправильное регулирование потока могут приводить к отклонению от выбранных размеров частиц и нарушению монодисперсности.

5.3.4 Техническое обслуживание и контроль

В связи с тем, что частицы оседают на электродах во время работы, электроды следует периодически очищать.

После проведения очистки следует проверить оборудование на утечки по инструкциям изготовителя. Следует периодически проверять калибровку внутренних массовых расходомеров. Регулировка потока в оборудовании играет первостепенную роль для его правильной работы. При обнаружении частиц на выходе оборудования, когда отсутствует разница потенциалов между электродами, следует проверить интенсивность потока.

5.3.5 Калибровка

Расчет диаметра частицы монодисперсного аэрозоля на выходе может быть выполнен из схемы оборудования расхода, объема и разности потенциалов. В связи с этим оборудование часто используют в качестве стандарта для калибровки. Следует периодически проверять работу оборудования с использованием эталонных фильтров известной эффективности для заданных размеров частиц. При наличии признаков неправильной работы оборудования может потребоваться сравнение с другим оборудованием того же типа или использование латексных аэрозолей PSL (см. также [8], [15]) для его калибровки.

5.4 Система анализов размеров частиц на основе анализа дифференциальной подвижности

5.4.1 Принцип действия

Рассматриваемая в данном разделе система анализа размеров частиц по дифференциальной подвижности DMPS состоит из дифференциального анализатора подвижности DMA и счетчика ядер конденсации CPC. Если численная концентрация монодисперсного аэрозоля определяется на выходе дифференциального анализатора подвижности DMA с определенным набором значений напряжений на центральном электроде, то распределение частиц исходного полидисперсного аэрозоля может быть вычислено при известном распределении электрических зарядов на аэрозольных частицах. Процесс измерения системой анализа размеров частиц по дифференциальной подвижности контролируется тем же компьютером, который обрабатывает данные измерений.

5.4.2 Минимальные технические требования

Предъявляются следующие требования:

a) скорость отбора проб более 0,3 л/мин;

b) диапазон измерений:

1) размеров частиц от 10 нм до 0,8 мкм;

2) концентрации частиц от 10^3 до 10^6 $см^{-3}$.

5.4.3 Источники и пределы ошибок

При работе по этому методу измерений необходимо знать распределение заряда в аэрозоле. Процесс заряда частиц может быть нарушен составом газа носителя (например, молекулами спирта) или слишком высокими концентрациями частиц.

5.4.4 Техническое обслуживание и контроль

Порядок технического обслуживания и контроля для счетчика ядер конденсации приведен в 5.2.4, для дифференциального анализатора подвижности — в 5.3.4.

5.4.5 Калибровка

Порядок калибровки для счетчика ядер конденсации приведен в 5.2.5, для дифференциального анализатора подвижности — в 5.3.5.

5.5 Системы разбавления

5.5.1 Принцип действия

В системах разбавления концентрация аэрозолей снижается до определенного уровня путем добавления не содержащего частиц газа (обычно воздуха). Как правило, системы разбавления отбирают точный и небольшой объем исходного аэрозоля. Дополнительная часть воздуха для пробы, подаваемая на счетчик частиц, обычно идет от HEPA-фильтра. Характер разбавления для определенного диапазона размеров частиц должен быть независимым от размера частиц и постоянным во времени.

Чистый воздух может быть получен путем фильтрации части потока аэрозоля. Неотфильтрованная часть обычно подается по капилляру, и перепад давления на этом капилляре используется для контроля скорости потока (см. также [15]).

Другим вариантом является введение не содержащего частиц воздуха извне, например от линии со сжатым воздухом.

Некоторые системы работают по принципу эжектора. Поток чистого воздуха вызывает перепад давления на оборудовании, благодаря которому вводится разбавляемый аэрозоль (см. также [17]). Коэффициент разбавления определяется схемой оборудования и, как правило, не может быть изменен оператором.

Другим вариантом является контролируемое смешивание потока аэрозоля с потоком чистого воздуха без использования эффекта эжектора. Объем потока в этом случае следует определять по балансу с объемами других потоков. Коэффициент разбавления может свободно регулироваться в заданных пределах.

При использовании каскада из нескольких систем разбавления можно достичь высоких значений коэффициента разбавления (до 10 000) с высокой степенью точности (см. также [16], [18]).

5.5.2 Минимальные технические требования

Предъявляются следующие требования:

a) регулирование расхода воздуха для подачи на измерительный прибор;

b) коэффициент разбавления в пределах от 10 до 10 000 в зависимости от первоначальной концентрации газа и используемого измерительного прибора;

c) точность коэффициента разбавления не ниже 10 %;

d) нулевой счет менее 10 частиц/мин (измеряется с применением абсолютного фильтра на входе системы разбавления).

5.5.3 Источники и предел ошибок

Засорение капилляров и форсунок может приводить к изменению коэффициента разбавления.

5.5.4 Техническое обслуживание и контроль

Установленные фильтры подлежат замене с периодичностью, указанной производителем. Если при выполнении испытания с применением не содержащего частиц воздуха обнаруживаются частицы, то система разбавления должна быть очищена. Коэффициент разбавления следует периодически проверять, например, путем определения концентрации частиц на входе и выходе ступени разбавления.

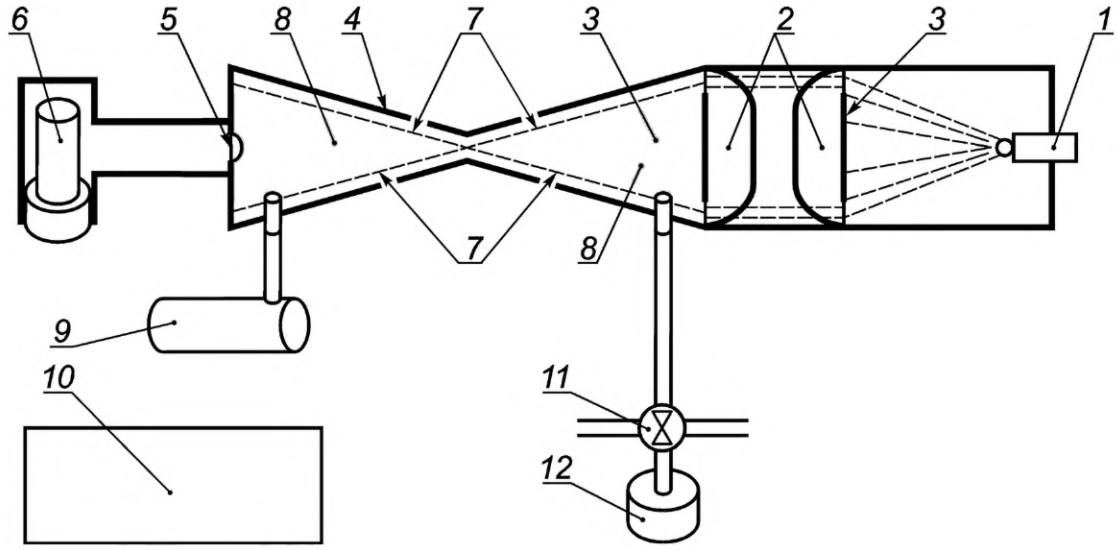
5.6 Фотометр аэрозолей

Фотометр аэрозолей представляет собой контрольно-измерительный прибор, принцип действия которого также основан на рассеивании света. Допускается применение фотометра аэрозолей в качестве альтернативного средства испытаний фильтров группы H согласно ИСО 29463-4:2011, приложение B. В отличие от счетчика отдельных частиц фотометр определяет общую концентрацию аэрозоля по интенсивности рассеянного света вместо счета каждой частицы. Поскольку интенсивность рассеивания света аэрозолем зависит примерно от кубического диаметра частицы (в пределах определенного диапазона размеров частиц), этот прибор часто ошибочно считают средством измерения массы или объема аэрозоля. Однако, благодаря зависимости от объема частиц, этот прибор часто калибруют по гравиметрическим измерениям аэрозоля с известным размером. Поэтому при оценке эффективности фильтра с помощью этого прибора обычно используют оценку массы аэрозоля вместо размера частиц. В приложении A указано, что оценка массы аэрозоля и распределения частиц по размерам в качестве взаимозаменяемых методов приводит к ошибочным результатам.

5.6.1 Принцип действия

Фотометр аэрозолей оценивает массовую концентрацию аэрозоля до и после испытуемого фильтра и преобразовывает результаты непосредственно в проценты проскока частиц.

Не содержащий частицы воздух проходит через переднюю камеру рассеивания света, так как балансировка прибора выполняется с учетом любого случайного блуждания света. Базовый уровень устанавливается в качестве основы для сравнения либо по определяемой концентрации частиц до фильтра, либо с помощью внутренней эталонной цепи. Концентрация до фильтра устанавливается в необходимом диапазоне от 10 до 100 мкг/л для известного типа частиц полидисперсного аэрозоля на масляной основе. После установки базового уровня любые данные о проскоке частиц выражаются в процентах относительно этого уровня. Диапазон изменения концентрации принимается в пределах от 100 % до 0,0001 %. Для фотометра аэрозолей могут использоваться несколько масляных аэрозолей, при этом фотометр должен быть калиброван по этому аэрозолю, либо изготовитель должен дать корректирующие коэффициенты для альтернативных аэрозолей. Поскольку прибор определяет массовую концентрацию частиц, то размер, форма или цвет аэрозоля не являются критическими факторами, но важно, чтобы было достаточное количество частиц. На рисунке 8 показана схема фотометра аэрозолей.



1 — источник света; *2* — направляющие линзы; *3* — ограничители света; *4* — оптическая камера; *5* — фокусирующие линзы; *6* — детектор-фотоумножитель; *7* — конус света; *8* — конус темноты; *9* — вакуумный насос; *10* — электронный процессор и измерительные цепи; *11* — клапан выбора потока воздуха: до фильтра, после фильтра, чистый; *12* — внутренний HEPA-фильтр

Рисунок 8 — Схема фотометра аэрозолей

5.6.2 Минимальные параметры для работы

Предъявляются следующие требования:

a) скорость отбора проб: 28 л/мин ± 10 %;

b) диапазон измерений: от 0,0001 мкг PAO на литр воздуха с концентрацией аэрозоля до фильтра между 10 и 100 мкг/л;

c) точность: 1 % от полной шкалы или используемого диапазона;

d) чувствительность (разрешающая способность): 0,001 мкг/л;

e) определяемые размеры частиц: примерно 0,1 мкм и более.

5.6.3 Источники ошибок и пределы ошибок

Поскольку фотометры аэрозолей являются средствами измерения массы, то их работа зависит от достаточной концентрации аэрозоля до фильтра. При концентрации аэрозоля менее 10 мкг/л возможно влияние внешних шумов в нижней части рабочего диапазона 0,0001 %. В оптическую камеру могут попадать частицы большого размера из потока воздуха. Частицы, попавшие в камеру, могут отражать свет в сторону детектора, что приводит к ложному счету. Утечки в системе отбора проб могут привести к ошибочным данным о проскоке.

5.6.4 Техническое обслуживание и проверки

Следует ежедневно проверять ручной пробоотборник и систему отбора проб на утечки. Следует ежедневно или при необходимости проверять и очищать улавливающий экран системы отбора проб. Фотометр аэрозолей должен обеспечивать стабильность считываний 0,000 % при установке наибольшей чувствительности для внутреннего эталонного значения 10 мкг/л, либо с точностью трех десятичных случаев (0,000) или 0,1 % шкалы. Линейность и стабильность цепи детектора может быть проверена при отборе пробы комнатного воздуха после установки внутреннего эталонного значения от 10 до 100 мкг/л соответственно. Результаты для двух проб комнатного воздуха не должны отклоняться более, чем в 10 раз друг от друга ±10 %.

5.6.5 Калибровка

Фотометр аэрозолей, как правило, обычно калибруют с использованием аэрозоля с концентрацией 100 мкг/л и проверяют скорость отбора проб, линейность усилителя, точность и линейность цепи детектора и стабильность.

В зависимости от типа фотометра аэрозолей при калибровке требуется тщательная очистка оптической камеры и системы отбора проб потока воздуха для удаления остатков масла и частиц на оптике, в камере и всех компонентах до оптической камеры. Периодичность калибровки следует определять

с учетом интенсивности использования и количества проходящего через фотометр аэрозоля. Методы калибровки фотометров аэрозолей подробно изложены в руководстве IEST RP CC013.

5.7 Оборудование для измерения перепада давления

Для измерения перепада давления на фильтре могут быть использованы приборы прямого измерения (такие, как жидкостной или мембранный манометр) или косвенного измерения (такие, как электрический или пневматический преобразователь). Электрические преобразователи подлежат периодической калибровке.

Минимальные технические требования:

- точность <3 % измеряемой величины;
- минимальная разрешающая способность 2,5 Па.

5.8 Оборудование для измерения абсолютного давления

Абсолютное давление на входе ограничителя может быть измерено ртутным барометром, барометром-анероидом или барометром с электрическим сенсором (преобразователем).

Минимальные технические требования:

- диапазон измерений от 90 до 120 кПа;
- точность ±0,6 кПа;
- минимальная разрешающая способность 5 Па.

5.9 Термометр

Для измерения температуры может быть использован как жидкостный термометр, так и термометр с электрическим сенсором (преобразователем) (см. также [19]).

Минимальные технические требования:

- диапазон измерений от 273 до 313 К;
- точность 2 К.

5.10 Гигрометр

Для измерения относительной влажности следует использовать соответствующий гигрометр (электролитический LiCl гигрометр по точке росы, зеркальный гигрометр по точке росы, психрометр и т. д.), (см. также [19]).

Минимальные технические требования:

- диапазон измерений от 25 % до 95 % относительной влажности;
- точность 5 % относительной влажности.

6 Периодичность технического обслуживания и контроля

Работы по техническому обслуживанию и контролю оборудования, указанные в таблице 2, следует выполнять не реже, чем один раз в указанный интервал времени. Ежегодная калибровка приборов должна быть оформлена протоколами калибровки для каждого прибора.

Таблица 2 — Периодичность технического обслуживания и контроля

Наименование	С использованием фильтра	Один раз в день	Один раз в неделю	Один раз в месяц	Один раз в год	После замены[a]
Перепад давления						
Регулировка нуля						x
Абсолютное давление					x	x
Температура					x	x
Относительная влажность					x	x

Окончание таблицы 2

Наименование	С использованием фильтра	Один раз в день	Один раз в неделю	Один раз в месяц	Один раз в год	После замены[a]
Лазерный счетчик частиц						
Нулевой счет	x					x
Определение размеров					x	x
Эффективность счета					x	x
Ошибка совпадения					x	x
Расход (по объему)					x	
Дифференциальный анализатор подвижности DMA						
Нулевое напряжение		x				x
Расход (по объему)					x	x
Очистка				x		x
Счетчик ядер конденсации CTC						
Нулевой счет	x					x
Эффективность счета					x	x
Ошибка совпадения					x	x
Расход (по объему)					x	x
Уровень наполнения		x				x
Генератор аэрозолей						
Распределение размеров						x
Стабильность					x	x
Нейтральность					x	x
Система разбавления						
Нулевой счет		x				x
Коэффициент разбавления					x	x

[a] Изменение в системе контроля или оборудования.

7 Статистика счета частиц

При счете частиц возможен статистический разброс. Чем меньше число частиц, тем меньше уровень доверия. Этот уровень может быть оценен с помощью распределения Пуассона.

В таблице 3 приведены двусторонние (верхние и нижние) 95 %-ные доверительные пределы для данного числа событий по распределению Пуассона.

Таблица 3 — Верхний и нижний доверительные пределы для числа частиц по распределению Пуассона

Число частиц	Нижний предел	Верхний предел	Число частиц	Нижний предел	Верхний предел
0	0,0	3,7	30	20,2	42,8
1	0,1	5,6	35	24,4	48,7
2	0,2	7,2	40	28,6	54,5
3	0,6	8,8	45	32,8	60,2
4	1,0	10,2	50	37,1	65,9
5	1,6	11,7	55	41,4	71,6
6	2,2	13,1	60	45,8	77,2
8	3,4	15,8	65	50,2	82,9
10	4,7	18,4	70	54,6	88,4
12	6,2	21,0	75	59,0	94,0
14	7,7	23,5	80	63,4	99,6
16	9,4	26,0	85	67,9	105,1
18	10,7	28,4	90	72,4	110,6
20	12,2	30,8	95	76,9	116,1
25	16,2	36,8	100	81,4	121,6

Например, если обнаружено пять частиц, то при повторении измерений в 95 % случаев число обнаруженных частиц будет в пределах от 1,6 до 11,7.

При малом числе частиц распределение доверительного интервала очень несимметрично. При больших числах N распределение Пуассона трансформируется в симметричное нормальное распределение. В этом случае 95 %-ный доверительный интервал может быть получен по формуле

$$N_{95\,\%} = N \pm 1{,}96 \cdot \sqrt{N}. \qquad (2)$$

При определении эффективности и проскока фильтра по счету частиц следует вычислять только наименее благоприятное значение доверительного интервала и использовать его в качестве критерия для расчета. Это, как правило, означает, что вместо измеренного значения для измерений до фильтра следует использовать нижний предел, а для измерений после фильтра — верхний предел.

Следует учесть, что пределы определяются по первичным данным о числе частиц, а не по вторичным параметрам (например, по концентрации частиц или значениям, которые уже учитывают коэффициент разбавления).

Статистику Пуассона можно применять только для оценки ошибок, обусловленных малым числом обнаруженных частиц. При обнаружении других случайных или систематических ошибок их следует снижать путем дополнительных корректировок.

Приложение А
(справочное)

Средний размер распределения размеров частиц

Под размером частиц в большинстве случаев применения в области контроля загрязнений и выполнения измерений понимается средний размер известного или принятого распределения размеров частиц. Если распределение почти монодисперсное со стандартным геометрическим отклонением σ_g менее 1,25, то обычно считают аэрозоль монодисперсным. Получить абсолютный монодисперсный аэрозоль с σ_g = 1 практически невозможно. Даже эталонные полистироловые микросферы имеют узкое, но определенное распределение размеров с σ_g примерно равным 1,1.

А.1 Показатели распределений размеров

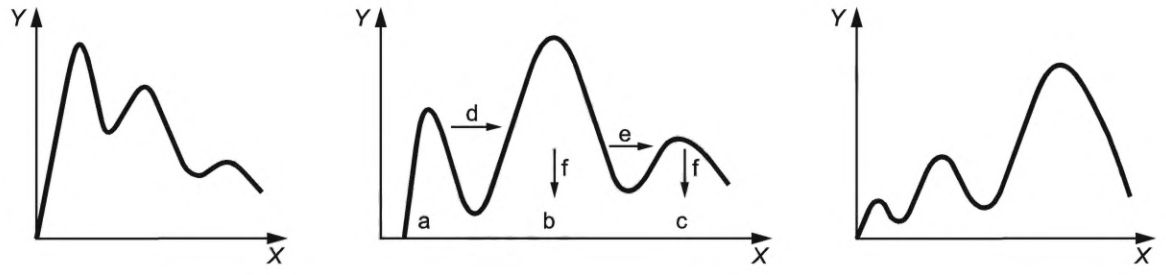
Не смотря на то, что под термином «распределение размеров частиц» понимается распределение частот по размерам, что не всегда так. Распределение размеров может быть описано многими способами. Для распределений размеров частиц, как правило, используют показатели числа или частоты, площадь поверхности или их объем (или массу, если плотность всех частиц одинакова). С функциональной точки зрения эти три показателя могут быть выражены следующим образом:

a) Y_{count} как $F(n_i d_i^0)$ или показатель нулевого порядка или распределение частот частиц размером d;

b) $Y_{surface}$ *как* $F(n_i d_i^2)$ или показатель второго порядка или распределение площади поверхности частиц размером d;

c) $Y_{voluime}$ как $F(n_i d_i^3)$ или показатель третьего порядка или распределение объемов частиц размером d.

Во всех трех случаях принято, что частицы являются сферическими. В качестве примера ниже приведены три показателя для распределения типичных аэрозолей в наружном воздухе.



X — размер частиц
Y — число или частота

a) Распределение числа частиц

X — размер частиц
Y — площадь поверхности

b) Распределение поверхностей

X — размер частиц
Y — масса или объем

c) Распределения массы или объема

[a] Ядра.

[b] Накопление.

[c] Крупные частицы.

[d] Преобразование газа в частицы от ядер к накоплению.

[e] Частицы от механических процессов.

[f] Осаждение.

Рисунок А.1 — Показатели распределения для типичных распределений по размерам частиц в атмосфере

Все три графика показывают одно и то же распределение размеров частиц в наружном воздухе. Распределение чисел или частот подчеркивает частицы с наименьшими размерами и наибольшим числом, показанных как ядра. Распределение поверхностей подчеркивает частицы средних размеров или накопление, когда для большинства аэрозолей происходит переход от газа к частицам. Считается, что это вызвано влиянием поверхностей и второй показатель соответствует этому случаю. Для больших частиц, число которых меньше, но масса больше, действует третий показатель или распределение масс. Таким образом, распределение частиц по массе характерно для частиц большего размера, чем распределение частиц по размерам. Все три показателя представляют собой одно и то же распределение, но в различной трактовке.

А.2 Смысл размеров частиц при испытаниях

Задание эффективности фильтров при определенном размере частиц является общепринятой практикой, например, MPPS. Но при этом предполагают, что распределение частиц по размерам также известно. Неправильное задание показателей распределения или использование различных параметров, как взаимозаменяемых, может привести к серьезным ошибкам при оценке эффективности фильтра. Например, в США принята практика испытаний HEPA-фильтров с помощью частиц размером 0, 3 мкм по стандарту US Military Standard 282. Но 0,3 мкм является средним диаметром аэрозоля по массе согласно этому стандарту. В действительности средний размер по числу частиц этого аэрозоля равен примерно 0,18 мкм. Следовательно, испытания фильтров при большем размере частиц 0,3 мкм приведет к завышению его эффективности или испытания могут рассматриваться как менее жесткие. Такие ошибки возможны, если не учитывать распределение частиц по размерам при испытаниях и концентрировать внимание только на их среднем размере.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 29463-1	—	*, 1)
ISO 29463-3	IDT	ГОСТ Р ИСО 29463-3—2024 «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 3. Испытания плоского фильтрующего материала»
ISO 29463-4:2011	IDT	ГОСТ Р ИСО 29463-4—2024 «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 4. Метод испытаний фильтрующих элементов на утечку (метод сканирования)»
ISO 29463-5:2011	—	*, 2)
ISO 29464	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты.

1) В Российской Федерации вместо ИСО 29463-1 действует ГОСТ Р 71176—2023, идентичный ЕН 1822-1:2019.

2) Действует ГОСТ Р ИСО 29463-5—2024 «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха и фильтрующие материалы для удаления частиц из воздуха. Часть 5. Методы испытаний фильтрующих элементов», идентичный ISO 29463-5:2022.

Библиография

[1] VDI 3491, Messen von Partikeln. Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 7, Aerosolgenerator nach Rapaport und Weinstock (Particulate matter measurement; aerosol generator according to Rapaport und Weinstock)

[2] Liu, B.Y.H. and Pui, D.Y.H., A Submicron Aerosol Standard and the primary Absolute Calibration of the Condensation Nucleus Counter, J. Coll. Int. Sci. 47, p. 155, 1974

[3] VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 5, Herstillung von Prufaerosolen aus Farbstofflosungen mit Dusenzerstaubern (Particulate matter measurement; generation of test aerosols by nebulisation with nozzle atomizers)

[4] Echols, W.H. and Young, J.A., Studies of Portable Air-Operated Aerosol Generators. U.S. Naval Reasearch Laboratory (NRL) Report 5929, Washington, D.C., 1963

[5] Liu, B.Y.H. and Pui D.Y.H. A., Electrical Neutralization of Aerosols, J. Aerosol Sci. 5, pp. 465—472, 1974

[6] VDI 3489, Messen von Partikeln, Methoden zur Charakterisierung und Uberwachung von Pufaerosolen, Blatt 3: Optischer Partikelzahler (Particulate matter measurements; methods for characterization and monitoring of test aerosols; optical particle counter)

[7] VDI 3491, Messen von Partikeln, Blatt 1, Kennzeichnung von Partikeldispersionen in Gasen — Begriffe und Definitionen (Particulate matter measurement; characteristics of suspended particulate matter in gases; terms and definitions)

[8] VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 3, Herstllung von Latexaerosolen unter Verwendung von Dusenzerstaubern (Particulate matter measurement; generation of latex aerosols using nozzle atomizers)

[9] Peters, C., Gebhart J., Roth C. and Sehtr S., Test of High Sensitive Laser Particle Counters with PSL- Aerosols and a CNC Reference, J. Aerosol Sci. 22, Suppl. 1, S 363—366, 1991

[10] VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 13, Herstellung von Prufaerosolen mittels eines Schwingblenden-Aerosolgenerators (Particulate matter measurement generation of test aerosols using a vibration orifice generator)

[11] Bricard, J., Delattre, P., Madelaine, G., Pourprix, M., Detection of ultrafine particles by means of a continuous flux condensation nuclei counter. In Fine Particles, B.Y.H. Liu Ed., Academic Press Inc., New York, 1976

[12] Kousaka, Y., Niida T., Okuyama K. and Tanaka H., (1982) Development of a Mixing Type Condensation Nucleus Counter. J. Aerosol Sci. 13, pp. 231—240, 1982

[13] VDI 3489, Messen von Partikeln, Methoden zur Charakterisierung und Uberwachung von Prufaerosolen, Blatt 2: Kondensationskemzahler mit kontinuierlichem Durchflub (Particulate matter measurement — Methods of characterizing and monitoring test aerosols — Continuous flow condensation nucleus counter)

[14] Dreiling, V., Haller P., Helsper C., Kamindki U., Plomp A., . Raes F., Roth C., Schier J. and Schurmann G., Intercomparison of Eleven Condensation Nucleus Counters, J. Aerosol Sci. 17, pp. 565—570, 1986

[15] Gebhart, J., Heyder J., Roth C. und Stahlhofen W., Herstellung und Eigenschaften von Latexaerosolen. Staub-Reinh. Luft 40, pp. 1—8, 1980

[16] Remiarz R.J. and Johnson E.M., A New Diluter for High Concentration Measurements with the Aerodynamic Particle Sizer, TSI Quarterly 10, 1, pp. 7—12, 1984

[17] Koch, W., Loddin H., Molter W.and Munzinger F., Verdunnungssystem fur die Messung hochkonzentrierter Aerosole in optischen Partikelzahlem, Staub-Reinh. Luft 48, pp. 341—344, 1988

[18] Helsper, C., Molter W. and P. Haller, Representative Dilution of Aerosols by a Factor of 10,000. J. Aerosol Sci. 21, Suppl. 1, S637—640, 1990

[19] VDI 2080, Meßverfahren und Meßgerate fur Raumlufttechnische Anlagen (Measuring methods and measuring instruments for air conditioning systems)

[20] EN 1822-1, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) — Part 1: Classifiaction, performance testing and marking

[21] EN 1822-2, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) — Part 2: Aerosol production, measuring equipment, particle counting statistics

[22] EN 1822-3, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) — Part 3: Testing flat sheet media

[23] EN 1822-4, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) — Part 4: Determining leakage of filter elements (scan method)

[24] EN 1822-5, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) — Part 5: Determining efficiency of filter elements

[25] IEST RP CC 001, HEPA and ULPA Filters, Inst. of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[26] IEST RP CC 007, *Testing ULPA Filters*, Inst. of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[27] IEST RP CC 013, Calibration Procedures and Guidelines for Select Equipment Used in Testing Cleanrooms and Other Controlled Environments, Inst. of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[28] IEST RP CC 021, Testing of HEPA and ULPA Media, Inst. of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[29] IEST RP CC 034, Leak Testing HEPA and ULPA filters, Inst. of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[30] ISO 5167-1, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements

[31] ISO 5167-2, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 2: Orifice plates

[32] ISO 5167-3, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 3: Nozzles and Ventury nozzles

[33] ISO 5167-4, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 4: Venturi tubes

[34] ISO 14644-3, Cleanrooms and associated controlled environments — Part 3: Test methods

[35] US Military Standard 282, Filter Units, Protective Clothing, Gas-Mask Components And Related Products: Performance — Test Methods

[36] ISO 21501-1, Determination of particle size distribution — Single particle light interatcion — Part 1: Light scattering aerosol spectrometer

[37] ISO 21501-4, Determination of particle size distribution — Single particle light interation — Part 4: Light scattering airborne particle counter for clean spaces

[38] JACA Standard No. 37-2001, Guideline of substitute materials for DOP (Japan JIS Standard No. Z 8901-2006)

УДК 543.275.083:628.511:006.354 ОКС 91.140.30

Ключевые слова: эффективность, проскок, фильтры, очистка, счетчики частиц, счетчики ядер концентрации, концентрация частиц, испытания, аэрозоль

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 16.05.2024. Подписано в печать 27.05.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 2,98.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru