ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 28439— 2015

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Характеристика ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей. Определение распределения частиц по размерам и счетной концентрации частиц с применением систем анализа дифференциальной электрической подвижности

ISO 28439:2011
Workplace atmospheres — Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols — Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analysing systems
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 457 «Качество воздуха»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 октября 2015 г. № 1545-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 28439:2011 «Воздух рабочей зоны. Характеристика ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей. Определение распределения частиц по размерам и счетной концентрации частиц с применением систем анализа дифференциальной электрической подвижности» (ISO 28439:2011 «Workplace atmospheres — Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols — Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analysing systems», IDT).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). 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 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

© Стандартинформ, 2016

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 1
4 Обозначения и сокращения 2
4.1 Обозначения 2
4.2 Сокращения 2
5 Принцип 3
6 Оборудование 3
6.1 Основное оборудование 3
6.2 Линия отбора проб 4
6.3 Пресепаратор 4
6.4 Устройство зарядки частиц 5
6.5 Классификатор дифференциальной электрической подвижности (КДЭП) 5
6.6 Детектор частиц аэрозоля 5
7 Метод измерений 6
8 Методика измерений 6
8.1 Подготовка 6
8.2 Отбор проб 6
9 Представление результатов измерений и их оценка 7
10 Проверка характеристик САДЭП 7
10.1 Проверка классификации частиц 7
10.2 Проверка эффективности подсчета числа частиц 8
11 Проблемы и ошибки 8
11.1 Эффективность подсчета частиц в конденсационном счетчике частиц (счетчике ядер конденсации) 8
11.2 Частицы с несколькими зарядами 8
11.3 Потери при отборе проб 8
11.4 Неопределенность результатов 10
11.5 Перегрузка 10
11.6 Отбор проб волокон 10
11.7 Влажность 11
11.8 Техническое обслуживание 11
Приложение А (справочное) Методы определения воздействия 12
Приложение В (справочное) Перечень изготовителей приборов (не исчерпывающий) 13
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации 14
Библиография 15

Введение

В области гигиены труда содержание аэрозолей традиционно выражают в единицах массовой концентрации. Для некоторых ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей важными, вероятно, могут стать другие показатели воздействия на здоровье, такие как счетная концентрация и поверхностная концентрация, в зависимости от их химических и физических свойств. Настоящий стандарт устанавливает метод определения счетной концентрации и распределения частиц по размеру ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей в воздухе рабочей зоны с применением систем анализа дифференциальной электрической подвижности частиц (САДЭП). Данный метод может быть применен специалистами по гигиене труда и исследователями для оценки содержания таких аэрозолей на рабочих местах. САДЭП не пригодны для проведения измерений с целью оценки воздействия на конкретного работника.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Характеристика ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей. Определение распределения частиц по размерам и счетной концентрации частиц с применением систем анализа дифференциальной электрической подвижности

Workplace atmospheres. Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols. Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analysing systems

Дата введения — 2016—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит рекомендации по определению счетной концентрации и распределения по размеру ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей с применением системы анализа дифференциальной электрической подвижности (САДЭП). Рассматривают только фракцию частиц аэрозоля. Для ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей значимыми являются такие показатели воздействия, как счетная и поверхностная концентрация частиц.

Настоящий стандарт также содержит рекомендации по определению воздействия на работников ультрадисперсных наноаэрозолей в рабочей зоне.

Особое внимание уделено системе САДЭП, действие которой основано на анализе дифференциальной подвижности частиц, выпускаемой несколькими производителями. В настоящем стандарте приведены принципы работы САДЭП, требования к отбору проб аэрозолей в рабочей зоне, калибровке САДЭП, техническому обслуживанию САДЭП, а также неопределенность и представление результатов измерений.

Описаны возможные проблемы и ограничения, которые необходимо учитывать при проведении измерений с целью определения соответствия, установленным предельным значениям[1)] измеряемой величины.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте приведена ссылка на международный стандарт:

ГОСТ Р 54597—2011 Воздух рабочей зоны. Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц и наноструктурированных частиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании (ISO/TR 27628:2007, «Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment»).

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **критическая электрическая подвижность, Z_{crit}** (critical electrical mobility Z_{crit}): Электрическая подвижность частиц, которые в классификаторе дифференциальной электрической подвижности переносятся из потока пробы воздуха в выходящий поток монодисперсного аэрозоля.

Примечание — Из-за ограниченности классификатора дифференциальной электрической подвижности (КДЭП) выходящий монодисперсный поток не является строго монодисперсным, но соответствует диапазону значений электрической подвижности для каждого напряжения.

[1)] В Российской Федерации термину «предельное значение» соответствует эквивалентный термин «предельно допустимая концентрация».

Издание официальное

3.2 **равновесие зарядов частиц** (particle charge equilibrium): Условия зарядки частиц аэрозоля, которые остаются стабильными после воздействия на них положительно и отрицательно заряженных ионов в течение достаточно продолжительного периода времени.

Примечания

1 Биполярные ионы — ионы, производимые радиоактивным источником или в результате коронного разряда.

2 Электрический заряд на отдельных частицах аэрозоля в состоянии равновесия заряда не является нейтральным.

3 Взято из ИСО 15900:2009 [1], 2.11.

3.3 **(эквивалентный) диаметр частицы, обладающей электрической подвижностью** [(equivalent) particle electrical mobility diameter]: Диаметр сферической частицы, имеющей такую же электрическую подвижность, что и измеряемая частица.

4 Обозначения и сокращения

4.1 Обозначения

B	Механическая подвижность частицы	с/кг
C	Поправочный коэффициент Каннингема	1
C_N	Счетная концентрация частиц аэрозоля	$1/м^3$
d	Диаметр частицы	нм
d_p	Эквивалентный диаметр частицы, обладающей электрической подвижностью	м
$\overline{d}_p$	Средний эквивалентный диаметр частицы, обладающей электрической подвижностью	м
D	Коэффициент диффузии частицы	$м^2/с$
e	Основная единица заряда (элементарный заряд)	$1{,}602177 \cdot 10^{-19}$ Кл
q_1	Расход пробы воздуха в КДЭП	$м^3/с$
q_2	Расход воздуха в фильтрующей оболочке КДЭП	$м^3/с$
q_3	Избыточный расход воздуха в КДЭП	$м^3/с$
q_4	Расход воздуха, поступающего из КДЭП в детектор частиц	$м^3/с$
k	Постоянная Больцмана	$1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Н·м/К
L	Длина линии отбора проб	м
n	Число зарядов	1
p	Проникание в линии отбора проб	1
t	Время коагуляции	с
t_{scan}	Время сканирования	с
T	Абсолютная температура, при которой работает КДЭП	К
V_v	Вместимость буферного сосуда для отбираемого расхода воздуха	$м^3$
Z	Электрическая подвижность заряженной частицы аэрозоля	$м^2/(В \cdot с)$
Z_{crit}	Критическая электрическая подвижность заряженной частицы аэрозоля	$м^2/(В \cdot с)$
η	Вязкость газа	Па·с
μ	Параметр диффузионных потерь	1

4.2 Сокращения

СЯК	Счетчик ядер конденсации
КСЧ	Конденсационный счетчик частиц

КДЭП Классификатор дифференциальной электрической подвижности частиц

САДЭП Система анализа дифференциальной электрической подвижности частиц

ВЭФЧ Высокоэффективный фильтр частиц

Примечание — САДЭП также известен как измеритель дифференциальной электрической подвижности частиц (ИДЭП) или сканирующий классификатор электрической подвижности частиц (СКЭП).

5 Принцип

Аэрозоль отбирают в воздухе рабочей зоны в месте, представительном по воздуху, который может вдыхать работник. Частицы диаметром более 1 мкм будут оседать, а частицы размером менее 1 мкм будут попадать в прибор. После зарядки частицы аэрозоля разделяются в электрическом поле с помощью КДЭП ([6], [7]) в соответствии с их электрической подвижностью, которую вычисляют по формуле

$$\left.\begin{aligned} Z &= n\,e\,B \\ B &= \frac{C}{3\pi\eta d_p} \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

где Z — электрическая подвижность заряженной частицы аэрозоля, м^2/(В·с)

n — число электрических зарядов;

e — основная единица заряда (элементарный заряд), 1,602177·10^{-19} Кл;

B — механическая подвижность частицы, с/кг;

C — поправочный коэффициент Каннингема;

η — вязкость газа, Па·с

d_p — эквивалентный диаметр частицы, обладающей электрической подвижностью, м.

Критическая электрическая подвижность заряженной частицы Z_{crit} непосредственно зависит от геометрических размеров КДЭП. Эквивалентный диаметр частицы, обладающей электрической подвижностью d_p может быть определен по формулам, предусмотренным изготовителем прибора.

Число частиц определенного размера или размером в определенном интервале, подсчитывают с помощью счетчика ядер конденсации (СЯК), также известном как конденсационный счетчик частиц (КСЧ) или с помощью электрометра, и определяют счетную концентрацию частиц определенного размера или в определенном интервале размеров. Плавно или скачкообразно изменяя напряжение в КДЭП, получают распределение частиц по размерам. Диапазон диаметра частиц с электрической подвижностью от 3 до 1000 нм может быть по частям охвачен различными приборами [8]. Поскольку диаметр частиц, обладающих электрической подвижностью, приблизительно равен диаметру проекции частиц (определяемый как диаметр сферы с такой же площадью проекции, как у исследуемых частиц), КДЭП имеет преимущество в том, что имеет меньшие геометрические размеры. Счетную концентрацию всех частиц получают путем суммирования или интегрирования по каналам всех размеров.

Несмотря на то что состав отобранных частиц в пробе не может быть определен, распределение частиц по площади поверхности и, в некоторых случаях, их объемная доля (например, если известно, что частицы имеют сферическую форму) могут быть оценены по формулам, предусмотренным изготовителем прибора или имеющимся в литературе.

6 Оборудование

6.1 Основное оборудование

САДЭП состоит из следующих компонентов (рисунок 1):

a) Пресепаратор (устройство пробоподготовки);

b) устройство для зарядки частиц;

c) классификатор дифференциальной электрической подвижности (КДЭП) с контролем потока и напряжения;

d) детектор частиц;

e) системный контроллер, со сбором и анализом данных (обычно встроенное программное обеспечение или специализированное программное обеспечение на персональном компьютере).



Рисунок 1 — Основные блоки системы анализа дифференциальной электрической подвижности

6.2 Линия отбора проб

Аэрозоль отбирают с помощью гибкой трубки, чтобы иметь доступ в зону дыхания работника. Трубка должна быть изготовлена из токопроводящего материала. Потери частиц из-за диффузии должны быть сведены к минимуму. С этой целью применяют короткие трубки. Например, применение гибких пластиковых трубок из токопроводящих материалов длиной до нескольких метров с внутренним диаметром 4 или 6 мм обеспечивает небольшое время нахождения частиц в трубке (см. 11.3.2). Поток в пробоотборной трубке должен быть ламинарным.

При отборе проб значительно флуктуирующих аэрозолей, таких как сварочные аэрозоли, рекомендуется дополнительно применять буферный сосуд для усреднения счетной концентрации при сканировании. Буферный сосуд должен быть изготовлен из токопроводящего материала и заземлен. Среднее время нахождения частиц в буферном сосуде должно соотноситься со временем сканирования. Чтобы получить относительно стабильную счетную концентрацию за время сканирования, вместимость сосуда следует выбирать в соответствии с расходом отбираемой пробы воздуха с выполнением условия:

$$\frac{V_v}{q_1 t_{scan}} \geq 5, \qquad (2)$$

где V_v — вместимость буферного сосуда с учетом расхода отбираемой пробы воздуха, м^3;

q_1 — расход пробы воздуха в КДЭП, м^3/с;

t_{scan} — время сканирования, с.

Пример — При расходе пробы воздуха 0,3 л/мин [(0,5×10^{-5}) м^3/с] и времени сканирования 2 мин (120 с) подходит сосуд вместимостью 3 л [(3×10^{-3}) м^3].

Если происходит образование агломератов частиц аэрозоля в результате коагуляции (при высоком содержании элементарных частиц) (см. 11.3.3), следует применять буферные сосуды меньшей вместимости.

Примечание — Имеющиеся на момент публикации настоящего стандарта данные не позволяют сформулировать какие-либо рекомендации по выбору сосуда большей вместимости.

6.3 Пресепаратор

Пресепаратор необходим для того, чтобы осаждались крупные частицы с диаметром, превышающим верхний предел заданного диапазона. Это может быть осуществлено, например, за счет применения подходящего импактора или циклонного пылеуловителя. Пресепаратор следует регулярно очищать и, при необходимости, смазывать.

6.4 Устройство зарядки частиц

Аэрозольные частицы заряжаются при столкновении с ионами газа и электронами. Свободные электрические заряды обычно образуются с помощью радиоактивного источника в потоке воздуха, отделенного тонкой перегородкой. Применяют источники радиоактивных изотопов ^{85}Kr, ^{210}Po или ^{241}Am. Весь аэрозоль достигает состояния равновесия зарядов с известным распределением [9].

Примечание — Зарядка частиц, имеющих несферическую форму, отличается от зарядки сферических частиц. Поэтому распределение электрических зарядов, как функции размера частиц, в виде обратной зависимости от критической электрической подвижности в определенном интервале размеров частиц, будет строго выполняться только для сферических частиц.

6.5 Классификатор дифференциальной электрической подвижности (КДЭП)

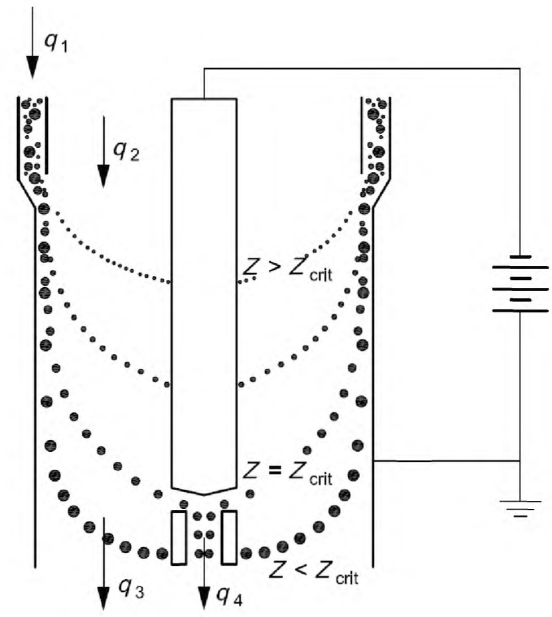
Подготовленный аэрозоль поступает в блок классификатора дифференциальной электрической подвижности. КДЭП обычно состоит из внутреннего и внешнего электродов с разницей потенциалов, поддерживаемой на уровне от 20 до 10000 В (рисунок 2).

Частицы переносятся ламинарным потоком вдоль кольцевой области или трубки вместе с потоком чистого воздуха в оболочку. Движение заряженных частиц зависит от их различной подвижности, что приводит к тому, что они достигают электрод в разных точках. Частицы, центрированные в узком диапазоне заданной электрической подвижности, отбираются через щель в конце кольцевой области и перемещаются в детекторный блок.

6.6 Детектор частиц аэрозоля

Частицы аэрозоля с установленной критической электрической подвижностью направляются на вход счетчика, который определяет их число в единице объема. Наиболее широко применяемыми счетчиками частиц являются КСЧ. В этом приборе аэрозоль приводится в контакт с перенасыщенными парами (спирта или воды), которые конденсируются на частицах. Частицы увеличиваются до капель диаметром до нескольких микрометров, и затем могут быть обнаружены оптическими методами. Другой тип счетчика — это электрометр, который измеряет электрический ток в системе, создаваемый отбираемыми частицами.

После прохождения детектора дальнейший анализ частиц невозможен. Могут быть использованы дополнительные пробоотборники параллельно с САДЭП для отбора проб с целью дальнейшего анализа, например электростатический или термический осадитель.



q_1 — расход пробы воздуха в КДЭП; q_2— расход воздуха в фильтрующем корпусе КДЭП; q_3— избыточный расход воздуха; q_4— расход воздуха, выходящего на детектор; Z — электрическая подвижность заряженной частицы аэрозоля; Z_{crit} — критическая электрическая подвижность заряженной частицы аэрозоля

Рисунок 2 — Схема системы анализа дифференциальной электрической подвижности частиц

7 Метод измерений

С помощью САДЭП получают информацию о распределении частиц аэрозоля по размерам в пределах заданного диапазона. Также САДЭП применяют для обнаружения источников выделения частиц в рабочей зоне или для измерений в зоне дыхания конкретного работника для получения информации об индивидуальном воздействии. Поскольку существующие на момент опубликования настоящего стандарта САДЭП могут быть использованы только в качестве стационарных пробоотборников, по возможности должно быть найдено представительное место отбора проб с применением трубок (см. 6.2). Характеристики воздушного потока на рабочем месте, например, направление воздушного потока относительно источника и места отбора пробы, и наличие нескольких источников будут существенными критериями для выбора места отбора пробы или интерпретации воздействия на работника.

Для отбора проб при оценке воздействия на работников, перемещающихся по рабочей зоне, необходима более тщательно разработанная методика отбора проб (см. приложение А).

Примечание — Для некоторых рабочих мест по условиям труда, не представляется возможным найти представительное место отбора проб. В этих случаях полученные результаты измерений будут менее достоверными.

Общая информация по методике проведения измерений в воздухе рабочей зоны приведена в ЕН 689 [2].

8 Методика измерений

8.1 Подготовка

Выходной сигнал САДЭП следует проверять регулярно, например перед и после серий измерений, по стандартным образцам частиц (см. 10.1).

Перед выполнением серии измерений необходима проверка нуля САДЭП, которую выполняют с применением высокоэффективного фильтра частиц (ВЭФЧ) как для линии отбора проб, так и для воздушного корпуса.

8.2 Отбор проб

Если оценивают воздействие на работника аэрозоля, то его следует отбирать в зоне дыхания. Все существующие на момент публикации международного стандарта САДЭП являются большими стационарными приборами. Пробу следует отбирать в представительном месте или очень близком к зоне дыхания работника. Может быть применена пробоотборная линия в соответствии с 6.2. Если работник не находится постоянно на рабочем месте, то пробы могут быть отобраны в разных местах путем перемещения входной насадки пробоотборной линии или всего САДЭП.

Следует учитывать диффузионные потери в пробоотборной линии (см. раздел 11).

Если САДЭП работает в сканирующем режиме или режиме пошагового изменения напряжения, то продолжительность одного измерения составляет несколько минут, обычно от 3 до 6 мин. За это время размер и число частиц аэрозоля не должны изменяться. Если необходимо измерять содержание аэрозолей с большой флуктуацией по интенсивности во времени, например при образовании сварочных аэрозолей, рекомендуется применять буферный сосуд вместимостью в несколько литров, подсоединенный к пробоотборной линии для предотвращения появления искусственных пиков во время сканирования. Другим способом будет усреднение результатов для серии проб, если кратковременные выделения наблюдаются регулярно.

Некоторые САДЭП позволяют выбрать параметры прибора, такие как расход пробы воздуха, расход воздуха в корпусе, время сканирования, или даже изменить тип КДЭП. Такие настройки влияют на диапазон измерений. Рекомендуется выбирать диапазон измерений таким образом, чтобы он охватывал весь диапазон размеров ультрадисперсных частиц аэрозоля на рабочем месте. Практический опыт показывает, что значения распределения частиц по размерам составляют от 10 до 500 нм, в зависимости от появления первичных, агрегатированных и агломерированных ультрадисперсных частиц.

Общая счетная концентрация частиц, полученная интегрированием по всему диапазону, составляет от 10^9 до 10^{14} частиц/м^3 в воздухе чистых помещений или вне зданий и сварочном аэрозоле соответственно [10].

9 Представление результатов измерений и их оценка

Полученное распределение счетной концентрации частиц C_N должно быть выражено через производную счетной концентрации частиц в терминах эквивалентного диаметра частиц, обладающих электрической подвижностью d_p, например, dC_N/dd_p или $d\log C_N/d\log d_p$, для того, чтобы обеспечить сравнимость параметров настройки различных САДЭП (число каналов кратных десяти, ширину каналов).

В зависимости от объекта измерений количественные данные о распределении по размерам могут быть представлены различными способами, например:

a) в виде результатов вычисления статистических данных, таких как значения максимума или медианы, что возможно, если охвачена достаточно большая часть распределения частиц по размерам;

b) в виде результатов вычисления общей счетной концентрации в диапазоне измерений, общей счетной концентрации для частиц с размером менее 100 нм или для любой другой отдельной фракции частиц с одним значением для сравнения различных условий воздействия;

c) в виде вычисления средневзвешенного по времени распределения частиц по размерам и общей счетной концентрации для всего регламентированного периода (например 8 ч или 15 мин);

d) в виде двухмерной диаграммы распределения по размеру (по оси *x* — время, оси *y* — размер частиц и счетная концентрация в виде кривых) или трехмерной диаграммы поверхности или каркасной диаграммы (со временем по оси x, размером частиц по оси y и с концентрацией по оси z) для того, чтобы представить вариацию содержания по всему распределению размера для всего отчетного периода времени или периода измерений;

e) в виде пиков, относящихся к процессам в рабочей зоне.

Примечание — Распределение частиц по площади поверхности и распределение частиц по объему могут быть оценены на основе их распределения по размерам, если отбирают в основном компактные или сферические частицы, или агломераты и агрегаты частиц. Для частиц несферической формы, например трубок и волокон, обе эти оценки, также как и распределение частиц по размерам, будут менее точными. Эти распределения могут быть представлены аналогичными способами по распределению данных, приведенных выше.

В качестве альтернативы распределение частиц по размерам может быть разбито на составляющие моды (пики), с последующим определением характеристик каждой моды (диаметра медианы распределения, геометрического стандартного отклонения и счетной концентрации частиц) и построением временного развития характеристик мод на нескольких диаграммах.

Все соответствующие параметры прибора, такие как диапазон измерений, расход воздуха, продолжительность сканирования, а также идентификация моделей САДЭП и КСЧ, должны быть приведены в протоколе измерений. Кроме того, в протоколе следует приводить описание оборудования, применяемого для отбора проб, например буферного сосуда или линии отбора проб. Подробно описывают меры по устранению диффузионных потерь. Приводят время отбора проб.

Основной характеристикой аэрозолей, определяемой с помощью САДЭП, является счетная концентрация. Сравнение со значениями, основанными на предельно допустимых значениях массы аэрозолей опасных веществ, невозможно. Например, можно использовать сканирующую электронную микроскопию или просвечивающую электронную микроскопию для определения химического состава частиц, а также в качестве альтернативы — для определения размера частиц (см. ИСО/ТО 27628)

10 Проверка характеристик САДЭП

10.1 Проверка классификации частиц

Калибровку САДЭП по размеру частиц можно выполнять с применением стандартного образца частиц полистирола размером от 20 до 900 нм, аттестованного по эталонам размера частиц. Желательно иметь три стандартных образца, содержащих частицы трех разных размеров, для проверки почти всего диапазона измерений. Частицы диспергируют в деионизированной воде, распыляют полученную суспензию с помощью атомизатора и частично высушивают перед отбором проб.

Наименьшая частица полистирола, которая может быть использована для калибровки САДЭП, имеет размер приблизительно 100 нм. Это обусловлено двумя причинами: максимум размера частиц, для частиц меньшего размера происходит наложение на их максимумы пиков фоновых частиц, примесей воды или осадка; поверхность распыляемых частиц полистирола может иметь тонкую пленку,

состоящую из примесей в воде, в результате чего частицы проявляют себя как более крупные, чем установлено.

Примечание — Это означает, что метрологические характеристики САДЭП не могут быть проверены пользователем в диапазоне размеров ультрадисперсных частиц и наночастиц менее 100 нм. На момент опубликования настоящего стандарта единственным методом калибровки САДЭП с применением частиц размером менее 100 нм является использование частиц, получаемых с помощью электрораспылителя или искрового разряда. Следует признать, что предлагаемый метод слишком сложный для применения пользователем. Информация по проверке калибровки САДЭП приведена также в ИСО 15900 [1].

10.2 Проверка эффективности подсчета числа частиц

На момент опубликования настоящего стандарта калибровку САДЭП по счетной концентрации можно было проводить только с применением образцового прибора и стабильного источника частиц. На момент опубликования не имелось первичного эталона счетной концентрации частиц. Возможный стандартизованный метод может быть основан на эффекте стабильной коагуляции [11].

На момент опубликования стандарта изготовители САДЭП применяли образцовые приборы для настройки скорости подсчета частиц выпускаемых ими приборов. В качестве альтернативы рекомендуется участвовать в межлабораторных круговых сличительных испытаниях [12], которые могут быть проведены на платной основе (см., например, «calibration workshops» в ссылке [13]). Информация о сличении КСЧ с электрометром приведена в ИСО 15900 [1].

11 Проблемы и ошибки

11.1 Эффективность подсчета частиц в конденсационном счетчике частиц (счетчике ядер конденсации)

Эффективность подсчета частиц в КСЧ (СЯК) различна в зависимости от доступного диапазона измерений. Например, КСЧ характеризуют более низким размером частиц, при котором эффективность счета достигает 50 %. Следует учитывать информацию, предоставляемую изготовителем прибора, и определить возможный диапазон измерений. Эффективность детектора частиц аэрозоля, как функция размера частиц, должна быть известна и интегрирована во встроенное программное обеспечение прибора. Все изменения, вносимые в данные по определению эффективности подсчета на этапе исходных результатов измерений, должны быть описаны в протоколе измерений. Максимальная детектируемая КСЧ (СЯК) счетная концентрация лимитирована совпадающими отсчетами, что приводит к ее заниженной оценке. Для предотвращения этого эффекта могут быть применены системы разбавления, установленные на входе в пробоотборную линию. Если эффективность подсчета частиц неизвестна, то это должно быть указано в протоколе измерений.

11.2 Частицы с несколькими зарядами

Частицы с несколькими зарядами могут привести к заниженной оценке диаметра частиц. Обычно в САДЭП имеются средства корректировки такого воздействия. Корректировка основана на известных пропорциях частиц с несколькими зарядами в состоянии равновесия зарядов. Эти эффекты должны быть оценены и поправки на них внесены в программное обеспечение прибора. В протоколе испытаний регистрируют факт применения метода с учетом частиц с несколькими зарядами.

11.3 Потери при отборе проб

11.3.1 Общие положения

Существует три типа потерь при отборе проб, которые изменяют (приводят к смещению) полученное распределение частиц по размерам:

a) потери из-за диффузии в пробоотборной линии (при ее применении), см. 11.3.2;

b) коагуляция в буферном сосуде (при его применении), см. 11.3.3;

c) диффузионные потери в САДЭП, см. 11.3.4

11.3.2 Потери из-за диффузии в пробоотборной линии

Для пробоотборной линии (с круглым поперечным сечением), диффузионные потери могут быть вычислены по формуле (3) ([14], 7.4):

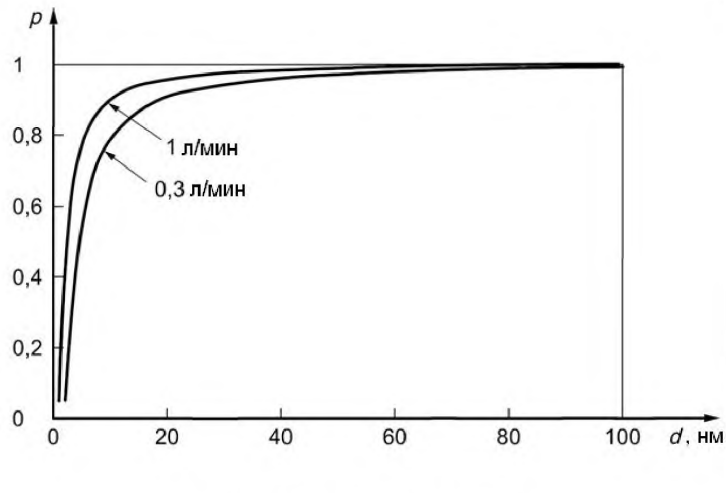
$$p = \begin{cases} 1 - 5{,}50\mu^{2/3} + 3{,}77\mu & \mu < 0{,}009 \\ 0{,}819\exp(-11{,}5\mu) + 0{,}097\ 5\exp(-70{,}1\mu) & \mu \geq 0{,}009 \end{cases}$$

$$\mu = \frac{D_L}{q_1} \qquad (3)$$

$$D = kTB,$$

где p — проникание через трубку пробоотборной линии;
μ — параметр диффузионных потерь;
B — механическая подвижность частиц, с/кг;
D — коэффициент диффузии частиц, $м^2/с$;
k — постоянная Больцмана, $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Н·м/К;
L — длина пробоотборной трубки, м;
q_1 — расход пробы воздуха в КДЭП, $м^3/с$;
T — абсолютная температура, при которой работает КДЭП, К.

Пример диффузионных потерь приведен на рисунке 3. Потери вычисляют для ламинарного потока в трубке длиной 1 м для расхода воздуха 0,3 и 1 л/мин (что эквивалентно $0{,}5 \cdot 10^{-5}$ и $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ $м^3/с$) соответственно. Диаметр трубки не влияет на вычисление диффузионных потерь. Для частиц диаметром менее 40 нм (что эквивалентно $40 \cdot 10^{-9}$ м) потери для рассмотренного случая превышают 5 %.



p — проникание, d — диаметр частицы.

Рисунок 3 — Диффузионные потери, вычисленные для трубки длиной 1 м для двух значений расхода

11.3.3 Систематическая ошибка, обусловленная буферным сосудом

Применение буферного сосуда (см. 6.2) в пробоотборной линии может привести к изменению, как в счетной концентрации частиц аэрозоля, так и в распределении по размерам. Нахождение частиц в буферном сосуде приводит к тому, что аэрозоли с высоким содержанием частиц, например сварочный аэрозоль или древесный дым, будут коагулировать. Это приводит к уменьшению счетной концентрации частиц и увеличению счетной медианы диаметра частиц. Для аэрозоля с унимодальным распределением размеров не следует применять буферный сосуд, если значение счетной концентрации частиц C_N превышает $0{,}3 \cdot 10^{12}$ $м^{-3}$.

Примечание — В буферном сосуде могут происходить потери за счет осаждения частиц на стенках, но рекомендации относительно способа оценки этого эффекта не могут быть даны.

11.3.4 Внутренние диффузионные потери

Диффузионные потери внутри САДЭП должны быть определены изготовителем прибора и внесены в его встроенное программное обеспечение, однако это должно быть проверено пользователем. Диффузионные потери максимальны при низком расходе воздуха и составляют менее 0,5 л/мин. Пользователь может определить внутренние диффузионные потери в САДЭП, работающем при низком расходе, путем параллельного отбора проб с использованием САДЭП, работающего при высоком расходе, с применением тестового аэрозоля, генерируемого в лаборатории, равномерно распределенного в пространстве и постоянного во времени, и путем сравнения измеренных значений счетной концентрации частиц и выводом формулы, скорректированной на зависимость от размера частиц. Другим способом является сравнение отдельного САДЭП с двумя последовательно соединенными САДЭП (без кондиционирования заряда перед вторым САДЭП), когда все они настроены на одну и ту же электрическую подвижность частиц.

11.4 Неопределенность результатов

11.4.1 Общие положения

Неопределенность результатов определения электрической подвижности Z возникает вследствие, как условий работы прибора, таких как расход воздуха, применяемая разность потенциалов в КДЭП или эффективность зарядки частиц, так и конструкции САДЭП, определяющей допуски геометрических размеров или внутренние потери частиц. Расширенная неопределенность приведена в ИСО 15900 [1].

11.4.2 Расход воздуха

Стабильность расхода пробы воздуха влияет как на определение диаметра частицы, обладающей электрической подвижностью, так и на счетную концентрацию частиц в детекторе.

Стабильность расхода воздуха в воздушном корпусе влияет на определение диаметра частицы, обладающей электрической подвижностью. Часто применяют соотношение потоков воздуха проба-корпус 1:10. Изменение соотношений, установленных изготовителем прибора, может привести к изменению функции преобразования САДЭП и, таким образом, к разрешению по размеру частиц.

Расход воздуха и средства измерений расхода воздуха в приборе следует регулярно проверять. Следует избегать турбулентных потоков воздуха в блоке анализатора. Обычно необходимость учета этих факторов приведена в инструкциях по эксплуатации прибора.

11.4.3 Электрическое напряжение

Электрическое напряжение в КДЭП напрямую влияет на отбор частиц в соответствии с их электрической подвижностью. Флуктуации напряжения приводят к отбору частиц иного диаметра и уширению функции преобразования. Необходимо регулярно поверять источник высокого напряжения и вольтметр.

11.4.4 Конструкция системы анализа дифференциальной электрической подвижности

Неточные геометрические размеры САДЭП приводят к отклонениям при отборе частиц в соответствии с их электрической подвижностью. Кроме того, необходимо учитывать потери частиц в системе подачи потока пробы.

11.5 Перегрузка

При высокой счетной концентрации частиц небольшое число частиц может остаться в САДЭП, например, в нижней части классификатора, на время, превышающее период одного сканирования. При запуске следующего сканирования эти частицы считаются первоначально при неправильном положении относительно их размера, что будет приводить к ошибке в значении счетной концентрации. Увеличивая промежуток времени между сканированием можно устранить причину такой ошибки [15].

11.6 Отбор проб волокон

При отборе проб аэрозоля, содержащего волокна или агрегаты частиц в виде цепочек, соответствующий диаметр частиц, обладающих электрической подвижностью, будет отличаться как от диаметра волокон, так и от их длины. Для получения более подробной информации о форме частиц аэрозоля необходимо отбирать частицы определенного диаметра, например, используя кондиционер заряда частиц после КДЭП вместо детектора частиц, и анализировать их с помощью растровой или просвечивающей электронной микроскопии.

11.7 Влажность

Влажность может изменить размер частиц, особенно при отборе проб гигроскопичных аэрозолей или в условиях значительно изменяющейся влажности. Перед отбором проб аэрозоль высушивают с помощью диффузионного осушителя или сухого разбавляющего воздуха или используют другие приборы контроля влажности для получения стабильных условий. В этом случае протокол испытаний должен содержать подробное описание контроля влажности в измерительной системе.

11.8 Техническое обслуживание

Следует регулярно очищать САДЭП для предотвращения изменений в нем параметров электрического поля. Техническое обслуживание прибора следует выполнять в соответствии с инструкциями изготовителя, в зависимости от регулярности его применения. Например, жидкость в КСЧ следует регулярно заменять.

При применении и хранении радиоактивного источника в кондиционере заряда частиц и при транспортировании САДЭП выполняют требования местных, национальных или международных нормативных документов [5]. Обычно о применении радиоактивного источника уведомляют персонал организации, проводящий отбор проб.

Приложение А
(справочное)

Методы определения воздействия

Определение счетной концентрации частиц в воздухе рабочих зон проводят с применением САДЭП, включая частицы, выделяемые фоновыми источниками (например, частицы, образующиеся при технологических процессах, осуществляющихся поблизости; в результате дорожного движения или процессов горения, включая частицы, содержащиеся в сигаретном дыме). Частицы, выделяемые фоновыми источниками, практически всегда присутствуют в воздухе в различном количестве, но при оценке воздействия по массовой концентрации наиболее часто определяемых вдыхаемой, торакальной или респирабельной фракций аэрозоля их вклад обычно не учитывают. Однако по результатам измерения счетной концентрации частиц ультрадисперсных аэрозолей или наноаэрозолей в воздухе рабочей зоны, их влияние на здоровье работников может быть значительным и при этом нестабильным, и его следует учитывать при оценке воздействия на работника выделяемых в ходе технологического процесса ультрадисперсных аэрозолей или наноаэрозолей.

Для оценки воздействия ультрадисперсных аэрозолей или наноаэрозолей на здоровье работников в ходе рабочего процесса определяют распределение частиц по размеру и их массовую концентрацию в наружном воздухе, и их фоновое содержание. Расположение контрольной точки может быть выбрано большей близости от технологического процесса. Должно быть учтено направление ветра. Возможно, что для этой цели могут быть применены приборы, основанные на принципе измерений, отличном от САДЭП, например КСЧ, если они охватывают то же распределение частиц по размерам. Влияние частиц, образующихся в наружном воздухе, может быть определено путем применения операций вычитания или деления данных по фоновым частицам в виде общего числа частиц в воздухе рабочей зоны, или распределения частиц по размерам.

Другой возможностью определения вклада технологического процесса при проведении измерений только в одной точке или одним прибором, является сравнение данных, полученных между активным и неактивным периодами работы.

Для оценки воздействия за полную рабочую смену могут быть усреднены результаты нескольких кратковременных измерений. При выборе самой короткой продолжительности отбора проб для последующей интегральной оценки воздействия за полную рабочую смену применяют рекомендации, установленные в национальных нормативных документах. Также для оценки воздействия могут быть применены результаты оценки воздействия за кратковременный период, которую обычно вычисляют как среднее содержание, полученное для периода 15 мин. В зависимости от типа источника частиц и трудовой активности работника, отбор проб в определенной зоне обычно не может быть применен для оценки воздействия на конкретного работника с приемлемой неопределенностью. Это возможно только в том случае, если может быть определена точка отбора проб представительная для рассматриваемой технологической операции или если направление движения работника и расстояние от него до источника(ов) частиц значительно изменяется за рабочую смену. Опыт в области промышленной гигиены за последние 40 лет показал, что статический отбор проб в определенной зоне обычно приводит к получению заниженной в 2—10 раз оценки воздействия по сравнению с персональным отбором проб, но в некоторых исключительных случаях результаты могут быть занижены еще больше, хотя также бывают и случаи, когда не получают значительной разницы между результатами, полученными с применением персонального отбора проб и отбора проб в определенной зоне ([16]—[22]). Взвешенные по времени результаты измерений, полученные на основе проб, отобранных в разных местах, могут быть использованы для оценки воздействия на конкретного работника, если в процессе работы он перемещается. Более подробно вопросы оценки воздействия частиц на работников рассмотрены в ИСО/ТО 27628.

При оценке воздействия вся трудовая деятельность, осуществляемая в рабочей зоне, должна быть соблюдена и задокументирована для получения дополнительной информации, которая может оказаться полезной при интерпретации результатов отбора проб в определенной зоне. Данные о других источниках аэрозолей, системе вентиляции рабочей зоны, местах расположения вытяжной вентиляции, видах деятельности работника и средствах его индивидуальной защиты могут быть полезными при дальнейшей оценке. На момент опубликования настоящего стандарта, даже в случаях, когда мера оценки воздействия ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей неизвестна, рекомендуется сохранять все записи за период продолжительностью 5 лет.

Приложение В
(справочное)

Перечень производителей приборов[2)]
(не исчерпывающий)

- Grimm Aerosol Technik GmbH & Co KG
Dorfstrasse 9
D-83404 AINRING
Germany
gost.e-ecolog.ru

- Hauke GmbH & Co KG
Cumberlandstrasse 46
A-4810 GMUNDEN
Austria
gost.e-ecolog.ru

- MSP Corporation
5910 Rice Creek Parkway, Suite 300
SHOREVIEW
MN 55126
USA
gost.e-ecolog.ru

- TSI Incorporated
500 Cardigan Road
SHOREVIEW
MN 55126
USA
gost.e-ecolog.ru

- Tsukasa Sokken KK
1-19-4, Tamazutsumi
Setagaya-ku
TOKYO 158-0087
Japan
gost.e-ecolog.ru

[2)] Данная информация приведена для удобства пользователей стандарта и не служит рекламой данных производителей. Приведенная информация относится к 2011 году и на данный момент может являться недействительной.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО/ТО 27628	IDT	ГОСТ Р 54597—2011/ISO/TR 27628:2007 «Воздух рабочей зоны. Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц и наноструктурированных частиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1] ISO 15900:2009 *Determination of particle size distribution — Differential electrical mobility analysis for aerosol particles* (ИСО 15900:2009, Определение распределения частиц по размерам. Анализ дифференциальной электрической подвижности частиц аэрозоля)

[2] EN 689 *Workplace atmospheres — Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy* (ЕН 689, Воздух рабочей зоны. Руководство по оценке воздействия химических веществ при их вдыхании для сравнения с предельными значениями и методология измерений)

[3] EN 1540 *Workplace atmospheres — Terminology* (ЕН 1540, Воздух рабочей зоны. Терминология и определения)

[4] CEN/TR 15230 *Workplace atmospheres — Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions* (СЕН/ТО 15230, Воздух рабочей зоны. Руководство по отбору проб вдыхаемой, торакальной и респирабельной фракций аэрозоля)

[5] Council Directive 96/29/Euratom, 13 May 1996, *Basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation*

[6] Wang, S.C., Flagan, R.C. Scanning electrical mobility spectrometer. *Aerosol Sci. Technol*. 1990, **13**, pp. 230-240

[7] Flagan, R.C. Electrical techniques. In: Baron, P.A., Willeke, K., editors. *Aerosol measurement: Principles, techniques and applications*, 2nd edition, pp. 537-568. New York, NY: Wiley, 2001

[8] Chen, D.R., Pui, D.Y.H., Hummes, D., Fissan, H., Quant, F.R., Sem, G.J. Design and evaluation of a nanometer aerosol differential mobility analyzer (nano-DMA). *J. Aerosol Sci*. 1998, **29**(5), pp. 497-509

[9] Wiedensohler, A. An approximation of the bipolar charge distribution for particles in the submicron range. *J. Aerosol Sci*. 1998, **19**(3), pp. 387-389

[10] Möhlmann, C. Ultrafeine Aerosole am Arbeitsplatz, Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt [Ultrafine aerosols in the workplace, technical safety information and worksheet], 120130, *BGIA-Handbuch*. Berlin: Erich Schmidt, 2007

[11] Koch, W., Pohlmann, G., Schwarz, K. A reference number concentration generator for ultrafine aerosols based on Brownian coagulation. *J. Aerosol Sci.* 2008, **39**(2), pp. 150-155

[12] Dahmann, D., Riediger, G., Schlatter, J., Wiedensohler, A., Carli, S., Graff, A., Grosser, M., HojgR, M., Horn, H.G., Jing, L., Matter, U., Monz, C., Mosimann, T., Stein, H., Wehner, B., Wieser, U. Intercomparison of mobility particle sizers (MPS), *Gefahrst. Reinhalt. L.* 2001, **61**(10), pp. 423-428

[13] Swiss Federal Office of Metrology (METAS). *Combustion particles — Nanoparticles — Fine dust*. Available (viewed 2010-10-15) in EN, FR, DE, IT at:
gost.e-ecolog.ru

[14] Hinds, W.C. *Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles*, 2nd edition. New York, NY: Wiley, 1999

[15] Japuntich, D.A., Franklin, L.M., Pui, D.Y., Kuehn, T.H., Kim, S.C., Viner, A.S. A comparison of two nano-sized particle air filtration tests in the diameter range of 10 to 400 nanometers. *J. Nanoparticle Res.* 2007, **9**, pp. 93-107

[16] Langmead, W.A. Air sampling as part of an integrated programme of monitoring of the worker and his environment. In: Walton, W.H., editor. *Inhaled Particles 3*, pp. 983-994. Old Woking: Unwin Brothers, 1971

[17] Breslin, A.J., Glauberman, H., George, A.C., LeClare, P., Ong, L. The accuracy of dust exposure estimates obtained from conventional air sampling. *Am. Indust. Hyg. Assoc. J.* 1967, **28**(1), pp. 56-61

[18] Stevens, D.C. The particle size and mean concentration of radioactive aerosols measured by personal and static air samples. *Ann. Occup. Hyg.* 1969, **12**(1), pp. 33-40

[19] Fletcher, B., Johnson, A.E. Comparison of personal and area concentration measurements and the use of a manikin in sampling. In: VINCENT, J.H., editor. *Ventilation '88*, pp. 161-165. New York, NY: Pergamon, 1989

[20] Bauer, H.-D., Baumgart, S., Berger, D., Dahmann, D., Fricke, H.-H., Schriever, E. Dieselmotoremissionen am Arbeitsplatz — Probleme beim Vergleich verschiedener Probenahmeverfahren [Diesel engine emissions in the workplace — Problems in the comparison of different sampling procedures]. *Gefahrst. Reinhalt. L.* 1995, **55**, pp. 103-106

[21] Gibb, H.J., Lees, P.S.J., Pinsky, P.F., Rooney, B.C. Lung cancer among workers in chromium chemical production. *Am. J. Indust. Med.* 2000, **38**(2), pp. 115-126

[22] Metha, A.J., Wang, X.R., Eisen, E.A., Dai, H.L., Astrakianakis, G., Seixas, N., Camp, J., Checkoway, H., Christiani, D.C. Work area measurements as predictors of personal exposure to endotoxin and cotton dust in the cotton textile industry. *Ann. Occup. Hyg.* 2008, **52**(1), pp. 45-54

УДК 504.3:006.354 ОКС 13.040.30 Т58

Ключевые слова: воздух, рабочая зона, наноаэрозоль, ультрадисперсная аэрозоль, метод определения, распределение частиц по размерам, счетная концентрация, анализатор, дифференциальная электрическая подвижность

Редактор *Л.Б. Базякина*
Корректор *Ю.М. Прокофьева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Подписано в печать 08.02.2016. Формат 60 ×84 $^{1}/_{8}$.
Усл. печ. л. 2,32. Тираж 35 экз. Зак. 3854.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru