

---

---

**Воздух рабочей зоны. Характеристика  
ультрадисперсных  
аэрозолей/наноаэрозолей.  
Определение распределения по  
размерам и численной концентрации с  
помощью анализаторов  
дифференциальной электрической  
подвижности**

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

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a62a60aa-15d8-4ad2-bfa8-b7c215dde177/iso-28439-2011>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R  
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO



Ссылочный номер  
ISO 28439:2011(R)

**Отказ от ответственности при работе в PDF**

Настоящий файл PDF может содержать интегрированные шрифты. В соответствии с условиями лицензирования, принятыми фирмой Adobe, этот файл можно распечатать или смотреть на экране, но его нельзя изменить, пока не будет получена лицензия на интегрированные шрифты и они не будут установлены на компьютере, на котором ведется редактирование. В случае загрузки настоящего файла заинтересованные стороны принимают на себя ответственность за соблюдение лицензионных условий фирмы Adobe. Центральный секретариат ISO не несет никакой ответственности в этом отношении.

Adobe – торговый знак фирмы Adobe Systems Incorporated.

Подробности, относящиеся к программным продуктам, использованные для создания настоящего файла PDF, можно найти в рубрике General Info файла; параметры создания PDF были оптимизированы для печати. Были приняты во внимание все меры предосторожности с тем, чтобы обеспечить пригодность настоящего файла для использования комитетами-членами ISO. В редких случаях возникновения проблемы, связанной со сказанным выше, просьба проинформировать Центральный секретариат по адресу, приведенному ниже.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 28439:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a62a60aa-15d8-4ad2-bfa8-b7c215dde177/iso-28439-2011>



**ДОКУМЕНТ ОХРАНЯЕТСЯ АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

© ISO 2011

Все права сохраняются. Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO, которое должно быть получено после запроса о разрешении, направленного по адресу, приведенному ниже, или в комитет-член ISO в стране запрашивающей стороны.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Опубликовано в Швейцарии

## Содержание

Страница

Предисловие .....	iv
Введение .....	v
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 .....	3
5 Сущность метода .....	3
6 Оборудование .....	4
6.1 Общие положения .....	4
6.2 Пробоотборная линия .....	5
6.3 Предсепаратор .....	5
6.4 Устройство, регламентирующее заряд частиц .....	5
6.5 DEMC .....	6
6.6 Детектор аэрозольных частиц .....	6
7 Стратегия измерения .....	7
8 Методика измерения .....	7
8.1 Подготовка .....	7
8.2 Отбор проб .....	7
9 Представление и оценка данных .....	8
10 Проверка эффективности DMAS .....	9
10.1 Проверка на классификации частиц .....	9
10.2 Проверка эффективности подсчета числа частиц .....	9
11 Проблемы и ошибки .....	9
11.1 Эффективность счета для счетчиков CPC (CNC) .....	9
11.2 Многозарядные частицы .....	9
11.3 Потери при пробоотборе .....	10
11.4 Неопределенности .....	11
11.5 Перегрузка .....	12
11.6 Отбор проб волокон .....	12
11.7 Влажность .....	12
11.8 Техническое обслуживание .....	13
Приложение А (информативное) Методы определения воздействия .....	14
Приложение В (информативное) Перечень изготовителей (неполный) .....	15
Библиография .....	16

## Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) представляет собой всемирную федерацию, состоящую из национальных органов по стандартизации (комитеты-члены ISO). Работа по разработке международных стандартов обычно ведется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в теме, для решения которой образован данный технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные организации, правительственные и неправительственные, поддерживающие связь с ISO, также принимают участие в работе. ISO тесно сотрудничает с Международной электротехнической комиссией (IEC) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Международные стандарты разрабатываются в соответствии с правилами, приведенными в Части 2 Директив ISO/IEC.

Основное назначение технических комитетов заключается в разработке международных стандартов. Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, направляются комитетам-членам на голосование. Для их опубликования в качестве международных стандартов требуется одобрение не менее 75 % комитетов-членов, участвовавших в голосовании.

Внимание обращается на тот факт, что отдельные элементы данного документа могут составлять предмет патентных прав. ISO не несет ответственность за идентификацию каких бы то ни было или всех подобных патентных прав.

ISO 28439 был подготовлен Европейским комитетом по стандартизации (CEN) Техническим комитетом CEN/TC 137, *Оценка воздействий химических и биологических веществ в рабочей зоне*, совместно с Техническим комитетом ISO/TC 146, *Качество воздуха*, Подкомитетом SC 2, *Воздух рабочей зоны*, в соответствии с Соглашением по техническому сотрудничеству между ISO и CEN (Венское соглашение).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a62a60aa-15d8-4ad2-bfa8-b7c215dde177/iso-28439-2011>

## Введение

В рамках гигиены труда концентрации аэрозолей традиционно измеряют как массовые концентрации. Для некоторых ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей другие показатели воздействия, такие как число и концентрация на площадь поверхности, становятся важными для прогнозирования влияния на здоровье, в зависимости от химических и физических свойств. В данном международном стандарте представлен метод определения численной концентрации и распределения по размерам ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей в рабочей зоне с использованием анализаторов дифференциальной электрической подвижности (DMAS). Этот метод может использоваться промышленными гигиенистами и исследователями для измерения концентраций в некоторых рабочих зонах. Описываемая система анализа не подходит для измерений индивидуальных воздействий.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 28439:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a62a60aa-15d8-4ad2-bfa8-b7c215dde177/iso-28439-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a62a60aa-15d8-4ad2-bfa8-b7c215dde177/iso-28439-2011>



# Воздух рабочей зоны. Характеристика ультрадисперсных аэрозолей/наноаэрозолей. Определение распределения по размерам и численной концентрации с помощью анализаторов дифференциальной электрической подвижности

## 1 Область применения

В настоящем международном стандарте представлено руководство по определению численной (счетной) концентрации и распределения по размерам частиц ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей с помощью устройств, сортирующих частицы по подвижности (называемых также дифференциальными анализаторами подвижности). Учитываются только фракции аэрозольных частиц. Для ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей значение представляют только такие параметры воздействия, как численная концентрация и концентрация на площадь поверхности.

В настоящем международном стандарте также даются указания по определению воздействия ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей в рабочей зоне.

В частности, обсуждается анализатор дифференциальной подвижности (DMAS), в настоящее время поставляемый несколькими продавцами. Также охвачены принципы его действия, проблемы пробоотбора в рабочей зоне, калибровка, техническое обслуживание оборудования, неопределенность измерений и представление результатов измерения.

Описаны потенциальные проблемы и ограничения, которые необходимо учитывать при установлении предельных значений и осуществления измерений соответствия.

## 2 Нормативные ссылки

Следующие документы являются обязательными при использовании данного стандарта. Для датированных документов, допускаются к использованию только указанное издание. Для недатированных документов — последнее издание указанного документа (включая любые поправки).

ISO/TR 27628, *Воздух рабочей зоны. Аэрозоли ультрадисперсные и аэрозоли наночастиц и наноструктурированных частиц. Характеристики и оценка воздействия при вдыхании*

## 3 Термины и определения

В данном документе используются термины и определения, приведенные в ISO/TR 27628, а также следующие.

### 3.1

**критическая электрическая подвижность**  
**critical electrical mobility**

$Z_{crit}$

электрическая подвижность частиц, которые в классификаторе дифференциальной электрической подвижности (DEMC) переносятся из потока пробы воздуха в существующий монодисперсный аэрозольный поток

ПРИМЕЧАНИЕ Ввиду конечности (финитности) DEMC, существующий монодисперсный поток не является строго монодисперсным, а соответствует диапазону электрических подвижностей для каждого напряжения.

**3.2 равновесие зарядов частиц particle charge equilibrium**  
состояние заряженности аэрозольных частиц, которое остается стабильным после воздействия положительных и отрицательных ионов в течение достаточно длительного периода времени

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Биполярные ионы производятся либо радиоактивным источником, либо в результате коронного разряда.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Электрический заряд на отдельных частицах аэрозоля при равновесии зарядов не является нейтральным.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Заимствовано из ISO 15900:2009<sup>[1]</sup>, 2.11.

**3.3 диаметр (эквивалентной) электрически подвижной частицы эквивалентный диаметр (equivalent) particle electrical mobility diameter**  
диаметр сферы с такой же электрической подвижностью, как у рассматриваемой частицы

**4 Обозначения и сокращения**

**4.1 Обозначения**

<i>B</i>	механическая подвижность частицы	с/кг
<i>C</i>	поправочный коэффициент Каннингама (Cunningham)	1
<i>C<sub>N</sub></i>	численная (счетная) концентрация аэрозоля	1/м <sup>3</sup>
<i>d</i>	диаметр частицы	нм
<i>d<sub>p</sub></i>	эквивалентный диаметр электрически подвижной частицы	м
$\bar{d}_p$	средний эквивалентный диаметр электрически подвижной частицы	м
<i>D</i>	коэффициент диффузии частиц	м <sup>2</sup> /с
<i>e</i>	основная единица заряда (элементарный заряд)	1,602 177 × 10 <sup>-19</sup> С
<i>q<sub>1</sub></i>	скорость потока пробы воздуха в DEMC (Классификатор дифференциальной электрической подвижности)	м <sup>3</sup> /с
<i>q<sub>2</sub></i>	скорость потока фильтрованного воздуха в ножнах DEMC	м <sup>3</sup> /с
<i>q<sub>3</sub></i>	скорость избыточного потока воздуха в DEMC	м <sup>3</sup> /с
<i>q<sub>4</sub></i>	скорость потока возбужденного воздуха в DEMC, направляемого к детектору частиц	м <sup>3</sup> /с
<i>k</i>	постоянная Больцмана	1,38 × 10 <sup>-23</sup> Н·м/К
<i>L</i>	длина пробоотборной линии	м
<i>n</i>	число зарядов	1
<i>p</i>	проницаемость через пробоотборную линию	1
<i>t</i>	время (коагуляции)	с



$t_{\text{scan}}$	время сканирования	с
$T$	абсолютная температура, при которой работает DEMC	К
$V_v$	объем буферного сосуда для данной скорости пробы воздуха	м <sup>3</sup>
$Z$	электрическая подвижность заряженной частицы в воздухе	м <sup>2</sup> /В·с
$Z_{\text{crit}}$	критическая электрическая подвижность заряженной частицы в воздухе	м <sup>2</sup> /В·с
$\eta$	вязкость газа	Па·с
$\mu$	параметр для диффузионных потерь	1

## 4.2 Сокращения

CNC	счетчик ядер конденсации
CPC	счетчик частиц конденсации
DEMC	классификатор дифференциальной электрической подвижности
DMAS	анализатор электрической подвижности

ПРИМЕЧАНИЕ DMAS также известен как сепаратор частиц по электрической подвижности (DMPS) или сканер подвижности частиц (SMPS).

HEPA высокоэффективный воздушный фильтр

## 5 Сущность метода

Аэрозоль опробуют в рабочей зоне в репрезентативной позиции в отношении воздуха, которым дышат работники. Частицы крупнее приблизительно 1 мкм осаждаются, а частицы меньше приблизительно 1 мкм затягиваются в прибор. После регламентирования заряда частицы аэрозоля разделяются в электрическом поле DEMC (см. Ссылки [6] и [7]) согласно их электрической подвижности, которая задается Формулами (1).

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

где

- $Z$  электрическая подвижность, в метрах квадратных на вольт-секунду, заряженной аэрозольной частицы;
- $n$  число электрических зарядов;
- $e$  основная единица заряда (элементарный заряд),  $1,602\,177 \times 10^{-19}$  С;
- $B$  механическая подвижность частицы, в секундах на килограмм;
- $C$  поправочный коэффициент Каннингама;
- $\eta$  вязкость газа, в паскаль-секундах;
- $d_p$  эквивалентный диаметр электрически подвижной частицы, в метрах.

Критическая электрическая подвижность частицы,  $Z_{crit}$ , прямо пропорциональна геометрическим размерам DEMC. Эквивалентный диаметр электрически подвижной частицы,  $d_p$ , можно определить из уравнений, предоставленных изготовителем прибора.

Частицы определенного размерного диапазона подсчитывают в счетчике ядер конденсации (CNC) [также известном, как счетчик частиц конденсации (CPC)] или электрометром, и определяют численную концентрацию частиц для каждого размера или диапазона размеров. Посредством сканирования или пошагового изменения напряжения классификатора DEMC, получают численное распределение по размерам. Диапазон размеров диаметра электрически подвижной частицы от 3 нм до 1 000 нм может частично охватываться различными приборами (см. Ссылку [8]). Классификатор DEMC имеет то преимущество, что диаметр электрически подвижных частиц примерно эквивалентен диаметру спроектированной площади частиц (определенной как диаметр сферы с такой спроектированной площадью, как площадь сортируемых частиц) компактной геометрии. Общая численная концентрация получается при сложении или интегрировании всех размерных каналов.

Хотя состав опробуемых частиц получить невозможно, можно оценить распределение площадей поверхности и объемную концентрацию в некоторых примерах, например, когда известно, что частицы сферические, из расчетов, представленных изготовителем или найденных в литературе.

## 6 Оборудование

### 6.1 Общие положения

Анализатор DMAS состоит из различных отделов (см. Рисунок 1):

- a) предсепаратор;
- b) заряжающее частицы устройство или устройство, регламентирующее заряды частиц (кондиционер зарядов);
- c) классификатор дифференциальной электрической подвижности (DEMC), с контролем потока и высокого напряжения;
- d) детектор частиц;
- e) системный контроллер, с выполнением сбора и анализа данных (обычно с встроенными программами или специальной программой на персональном компьютере).



Рисунок 1 — Основные части DMAS

## 6.2 Пробоотборная линия

Аэрозоль часто забирают гибкой трубкой, чтобы облегчить доступ к зоне дыхания работника. Материал трубки должен быть проводником электричества. Потери на диффузию частиц следует свести к минимуму. Это можно выполнить, используя трубки короткой длины. Например, применение шлангов из проводящего материала, длиной до нескольких метров, внутренним диаметром 4 мм или 6 мм, обеспечивает непродолжительное время нахождения в трубке (см. 11.3.2). Течение в пробоотборной линии должно быть ламинарным.

При отборе проб в высокой степени флуктуирующих аэрозолей, наподобие газов, выделяемых при сварке, рекомендуется дополнительно использовать буферный сосуд, чтобы усреднять концентрацию в процессе сканирования. Буферный сосуд должен проводить электрический ток, его необходимо заземлить. Среднее время пребывания в буферном сосуде должно соотноситься с временем сканирования. Чтобы получить относительно стабильную концентрацию на все время сканирования, объем сосуда можно выбрать относительно скорости потока пробы воздуха по условию (2).

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

где

$V_v$  — объем, в метрах кубических, буферного сосуда для данной скорости потока пробы воздуха;

$q_1$  — скорость потока пробы воздуха в DEMC, в метрах кубических в секунду;

$t_{scan}$  — время сканирования, в секундах.

**ПРИМЕР** Для скорости пробы воздуха 0,3 л/мин ( $0,5 \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ ) и времени сканирования 2 мин (120 с), подойдет сосуд объемом 3 л ( $3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$ ).

Предпочтительно использовать меньшие буферные объемы, если аэрозольные частицы образуют агломераты при коагуляции (высокая концентрация первичных частиц) (см. 11.3.3).

**ПРИМЕЧАНИЕ** На момент публикации имеющиеся знания не позволяют давать рекомендации в отношении максимального объема буферного сосуда.

## 6.3 Предсепаратор

Предсепаратор требуется такой, чтобы осадить крупные частицы, размер которых выходит за пределы измеряемого диапазона. Например, это можно сделать, используя подходящий аэрозольный импактор (пробоотборник) или циклон. Предсепаратор необходимо чистить и регулярно смазывать.

## 6.4 Устройство, регламентирующее заряд частиц

Аэрозоль заряжают свободными электрическими зарядами путем соударения с ионами и электронами газа. Свободные электрические заряды обычно образуются с помощью радиоактивного источника в токе воздуха, отделенного тонкой перегородкой. Используются такие источники как  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{210}\text{Po}$  или  $^{241}\text{Am}$ . Весь аэрозоль достигает зарядного равновесия с известным распределением (см. Ссылку [9]).

**ПРИМЕЧАНИЕ** Приобретение зарядов несферическими частицами отличается от приобретения зарядов сферическими частицами. Поэтому распределение электрических зарядов, как функция размера частицы, применяемое при инверсии критической электрической подвижности в интервал размеров частиц, строго действительно только для сферических частиц.