ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 13138— 2014

КАЧЕСТВО ВОЗДУХА

Согласованные нормативы при отборе проб для оценки осаждения частиц аэрозоля в дыхательных путях человека

ISO 13138:2012
Air quality — Sampling conventions for airborne particle deposition in the human respiratory system
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

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 24 октября 2014 г. № 1422-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 13138:2012 «Качество воздуха. Согласованные нормативы при отборе проб для оценки осаждения частиц аэрозоля в дыхательных путях человека» (ISO 13138:2012 «Air quality — Sampling conventions for airborne particle deposition in the human respiratory system»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных и европейских региональных 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.ru)

© Стандартинформ, 2015

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

Введение

Аэрозоли представляют собой дисперсные системы частиц, жидких или твердых, неорганических или органических, антропогенного или природного происхождения. Аэрозоли можно обнаружить во всех рабочих и жилых помещениях, в воздухе замкнутых помещений и в атмосферном воздухе. Диапазон типов аэрозолей обширен. Многие из них могут быть опасны для людей, когда воздействие происходит при вдыхании, приводя к широкому спектру заболеваний в зависимости от того, в какой части дыхательных путей происходит осаждение вдыхаемых частиц. Хорошо известно, что многие специфические заболевания, такие как астма, бронхит, эмфизема, пневмокониозы (в том числе пневмокониозы работников угольной промышленности, силикозы и асбестозы), и рак легких связаны с воздействием аэрозолей при вдыхании. Таким образом, для защиты работников и населения необходимы обоснованные нормативы, с помощью которых можно регулировать воздействие. Необходимость таких норм уходит в начало 1900 гг., и она все более остро ощущалась на протяжении последних лет к моменту опубликования настоящего стандарта при возрастающем интересе к связям между воздействием и заболеванием, а также при лучшем понимании природы аэрозолей и их воздействия на здоровье. Даже в очень ранних исследованиях было осознано значение размера частиц при проникании в дыхательные пути и осаждении в них. В результате большого объема исследований, проводимых с 1960 гг. и ранее, пришло понимание значения размера частиц при распределении и осаждении их в различных областях дыхательных путей, что привело к договоренности отображать распределение частиц по размерам, что в свою очередь, стало руководством по установлению технических характеристик устройств отбора проб различных типов, которые могли бы широко применяться специалистами в области промышленной гигиены и охраны окружающей среды, и использоваться для установления прямой связи между воздействием и последствиями для здоровья.

Первоначальные согласованные нормативы, основанные на экспериментальных данных тщательно контролируемых исследований вдыхания добровольцами, были выражены как кривые, описывающие проникание частиц в интересующие области как функцию от их размера, который позднее (с 1960-х годов) стал (в соответствии с Системой СИ) известен как аэродинамический диаметр частицы с размером в диапазоне от 0,5 до 100 мкм. Согласованные нормативы привели к разработке пробоотборников для улавливания вдыхаемых аэрозольных частиц, по массе соответствующих вдыхаемой, торакальной и респирабельной фракций из окружающего воздуха рабочих и жилых помещений, хотя согласованные нормативы не ограничиваются исключительно отбором проб по массе. Согласованные нормативы преднамеренно установлены консервативно ввиду большой изменчивости при сравнении разных индивидов и для одного индивида и с полным подтверждением того, что фактическое осаждение частиц (и, следовательно, истинное воздействие) отличается от проникания, например, в или внутри альвеолярной области легких или в другие области, особенно при наличии мелкодисперсной аэрозоли. Поэтому, с самого начала следовало ожидать, что корреляции между заболеванием и воздействием может быть как то ограничены. Однако такой подход быстро подготовил почву для специалистов, изучающих аэрозоли, к разработке довольно простых пробоотборников или контрольных устройств, технические характеристики которых могла бы удовлетворительно соответствовать согласованным нормативам.

В связи с доступностью в настоящее время большого объема информации по осаждению аэрозольных частиц в дыхательных путях человека, с непрерывной разработкой более совершенных и действительно представительных приборов для отбора проб и с изучением факторов, определяющих здоровье, таких как площадь поверхности осевших частиц (в противоположность массе), установление согласованных нормативов при отборе проб, предоставляющих дополнительные возможности для прямых оценок действительного осаждения, теперь обосновано. Настоящий стандарт устанавливает согласованные нормативы для пробоотборников, предназначенных для определения фракций вдыхаемых аэрозольных частиц, действительно осаждающихся в конкретных областях дыхательных путей. Расширен диапазон размеров частиц до диаметра менее 0,1 мкм, при котором осаждение преобладает над диффузией (Броуновское движение).

Вопрос, приведут ли в действительности эти новые согласованные нормативы к значительному улучшению корреляции между воздействием и заболеванием на момент публикации настоящего стандарта еще остается открытым. Тем не менее, осаждение частиц, вероятно, будет потенциально более существенным фактором, вызывающим заболевание, по сравнению с фактором проникания, который учитывает также и выдохнутые частицы, не взаимодействующие с телом. Предыдущие согласованные нормативы уже учтены во многих законодательных актах в области определения соответствия уровням воздействия, принятым безопасными, ожидается, что новые согласованные нормативы в дальнейшем первоначально будут применены при исследовании воздействий на

здоровье человека. Со временем, однако, возможно, что согласованные нормативы будут пересмотрены, если будут созданы соответствующие пробоотборники, и, таким образом, значительно улучшится корреляция между определенным воздействием и его последствиями для здоровья человека.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЧЕСТВО ВОЗДУХА
Согласованные нормативы при отборе проб для оценки осаждения частиц аэрозоля в дыхательных путях человека

Air quality. Sampling conventions for airborne particle deposition in the human respiratory system

Дата введения — 2015—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает согласованные нормативы при отборе проб (далее согласованные нормативы) для определения идеальных характеристик пробоотборников для оценки осаждения нелетучих, негигроскопичных и неволокнистых аэрозолей в пяти конкретных локусах дыхательных путей. К пяти локусам относятся передний и задний области носовых каналов, реснитчатая и не реснитчатая часть трахеобронхиальной области, и альвеолярная область (область газообмена).

Согласованные нормативы разделены на три независимых эффективности определяемые через термодинамический диаметр, характеризующий диффузное (броуновское) движение частиц субмикрометрового размера, и четыре эффективности, определяемые через аэродинамический диаметр частиц диаметром $> 0{,}1$ мкм, характеризующие осаждение под действием импакции, задерживания или гравитации. Каждая кривая согласованных нормативов получена на основе 12 кривых осаждения, соответствующих 12 условиям дыхания, включая дыхание при выполнении тяжелой физической нагрузки в сидячем положении, дыхание мужчин или женщин, и режима дыхания (дыхание ртом или носом).

Примечание – Осаждение вычисляют в соответствии с моделью, разработанной Международной Комиссией по Радиологической защите (МКРЗ), см. [3].

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ – Электронная версия данного документа содержит цветные изображения, которые необходимы для корректного понимания его содержания. Поэтому пользователю следует рассматривать этот документ, распечатанный на цветном принтере.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные и европейские региональные стандарты:

ИСО 7708 Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле (ISO 7708, Air quality - Particle size fraction definitions for health-related sampling)

ИСО/МЭК Руководство 98-3:2008 Неопределенность измерений. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995) [ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)]

ЕН 481 Воздух рабочей зоны. Определение гранулометрического состава при измерении содержания взвешенных в воздухе частиц (EN 481, Workplace atmospheres – Size fraction definitions for measurement of airborne particles)

ЕН 13205 Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик приборов для определения содержания твердых частиц (EN 13205, Workplace atmospheres – Assessment of performance of instruments for measurement of airborne particle concentrations)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **аэродинамический диаметр, d_{ae}** (aerodynamic diameter d_{ae}): Диаметр сферической частицы плотностью $\rho_0 = 1{\cdot}10^3$ кг·м$^{-3}$ = 1 г·см$^{-3}$, которая в условиях спокойного воздуха за счет силы гравитации имеет скорость осаждения, равную скорости осаждения частицы в анализируемом воздухе при преобладающих значениях температуры, давления и относительной влажности.

Издание официальное

Примечания

1 Адаптировано из ИСО 7708:1995, 2.2.

2 Аэродинамический диаметр применим к любой частицы, но он зависит от ее плотности, формы и пористости.

3 При условиях, рассмотренных в настоящем стандарте, аэродинамический диаметр сферической частицы обычно равен $d_s\sqrt{(\rho/\rho_0)}$, где d – геометрический диаметр сферы. Для сферической частицы с высокой плотностью и диаметром порядка 0,1 мкм, когда корпускулярные характеристики воздуха могут иметь значительное влияние, необходимо вводить поправку на «скольжение» (см. [3]).

4 Для частиц с аэродинамическим диаметром менее приблизительно 0,4 мкм, термодинамический диаметр частиц становится более значимым при получении характеристик осаждения по сравнению с аэродинамическим диаметром.

3.2 **термодинамический диаметр,** d_{th} (thermodynamic diameter): Диаметр сферической частицы с коэффициентом диффузии, равным коэффициенту диффузии частицы при преобладающих значениях температуры и давления в дыхательных путях.

Примечания

1Слабой зависимостью термодинамического диаметра от относительной влажности пренебрегают (см. [3]).

2 Термодинамический диаметр применим для любой частицы независимо от ее формы и плотности.

3 Термодинамический диаметр равен геометрическому диаметру сферических частиц, рассматриваемых в настоящем стандарте.

4 Для частиц с аэродинамическим диаметром больше приблизительно 0,4 мкм, аэродинамический диаметр становится более значимым при получении характеристик осаждения по сравнению с термодинамическим диаметром частиц.

3.3 **вдыхаемая фракция** (inhalable fraction): Доля всех взвешенных в воздухе частиц заданного размера, вдыхаемых через нос и рот.

Примечания

1 Адаптировано из ИСО 7708:1995, пункт 2.3.

2 Фракции частиц, определенные в 3.3 – 3.8, в соответствии с их специфичностью по отношению к размеру частиц (характеризуемому термодинамическим и аэродинамическим диаметрами) не зависят от принципа измерений, например по массе, площади поверхности или числу частиц.

3 Значительная часть частиц, попавших в дыхательные пути при вдыхании, может быть выдохнута, но поскольку эти частицы меньших размеров, их влияние на общую массу осевших частиц может быть минимальным.

3.4 **эффективность осаждения в экстраторакальной ET_1 области** (extrathoracic ET_1 deposition efficiency): Доля вдыхаемых частиц данного размера, осевших в переднем отделе носовых каналов (т.е. на входе непосредственно в нос).

Примечания

1 Частицы могут осесть в области ET_1 непосредственно при вдыхании через нос или косвенно, попав из далее расположенных отделов дыхательных путей при выдохе. Частицы, попавшие при вдыхании через рот, могут осесть в области ET_1 только при выдохе.

2 Деление вдыхаемых частиц на проникшие через нос/рот отражено в согласованных нормативах, установленных в настоящем стандарте, на основе усреднения условий дыхания (см. 6.6) или за счет индивидуальной корректировки (см. приложение А).

3.5 **эффективность осаждения в экстраторакальной ET_2 области** (extrathoracic ET_2 deposition efficiency): Доля вдыхаемых частиц данного размера, осевших в заднем отделе носовых каналов, включающем гортань и глотку.

Примечание – Частицы могут осесть в области ET_2 непосредственно при вдыхании через рот или косвенно, попав из носа или при выдохе.

3.6 **эффективность осаждения в трахеобронхиальной BB области** (tracheobronchial BB deposition efficiency): Доля вдыхаемых частиц заданного размера, осевших после гортани в трахее и бронхах, из которых осевшее вещество удаляется за счет очищающего действия ресничек.

Примечание – Подробная информация приведена в [3].

3.7 **эффективность осаждения в трахеобронхиальной bb области** (tracheobronchial bb deposition efficiency): Доля вдыхаемых частиц заданного размера, осевших после BB области в

бронхиолах и концевых бронхиолах перед альвеолярной областью (областью газообмена).

Примечание – Подробная информация приведена в [3].

3.8 **эффективность осаждения в альвеолярной области** (alveolar deposition efficiency): Доля вдыхаемых из воздуха частиц заданного размера, осевших в альвеолах.

3.9 **объем вдоха-выдоха,** V_T (tidal volume): Объем газа, поступающего или покидающего легкие на фазе вдоха или выдоха.

Примечания

1 Адаптировано из ИСО 10651-4:2002 [1], 3.15.

2 Объем вдоха-выдоха выражают в миллилитрах.

3.10 **частота дыхания,** f (breathing rate, f): Число вдохов в минуту.

3.11 **скорость вдыхаемого потока,** q (inspiratory flow rate q): Суммарный объем воздуха, вдыхаемого и выдыхаемого легкими человека в единицу времени.

Примечания

1 Скорость вдыхаемого потока выражают в миллилитрах в секунду.

2 Иногда скорость вдыхаемого потока обозначают как $\dot{V}$.

3 Скорость вдыхаемого потока q, вычисляют по формуле

$$q = 2fV_T,$$

где f – частота дыхания,

V_T – объем вдоха-выдоха.

3.12 **функциональная остаточная емкость,** FRC (functional residual capacity, FRC): Объем воздуха, находящегося в легких по окончании выдоха, если дополнительные усилия по выдыханию воздуха не прикладываются.

4 Основные положения

4.1 Общие положения

4.1.1 Известно большое число исследований по осаждению частиц в дыхательных путях человека. Опыт состоял, в основном, из изучения физических моделей тела, подвергаемого воздействию частиц известного размера при контролируемых режимах ветра или в прослеживании пути радиационно-помеченных частиц после их вдыхания исследуемыми субъектами. Обзор результатов различных исследований приведен в [4]. В ссылке [3] представлены подробные модели, обобщающие экспериментальные данные.

4.1.2 На момент опубликования настоящего стандарта в ИСО 7708, ЕН 481, [2] и [5] были приняты только согласованные нормативы по отбору проб фракций, классифицируемых по массе частиц, находящихся в окружающей среде (как либо вдыхаемой, торакальной либо респирабельной) в соответствии с их осаждением в определенных частях дыхательной системы. Согласованные нормативы являются компромиссом между ранее существовавшими определениями, которые были предназначены для приближения фракции пыли с частицами заданного размера, которая проникает в (скорее чем осаждается на) различные поверхности тела.

4.2 Принципы, лежащие в основе ранних соглашений по нормативам при проникании частиц (см. ЕН 481 и ИСО 7708)

4.2.1 Согласованные нормативы были установлены консервативным образом, со значительным завышением действительного проникания частиц так, чтобы охватить большие изменения для конкретного индивида и между различными индивидами.

4.2.2 При рассмотрении грубодисперсных частиц (с d_{ae} более приблизительно 0,5 мкм), таких, какие присутствуют в рудничной атмосфере, установленная в согласованных нормативах респирабельная фракция и частицы аэрозоля, осажденные в области газообмена, в среднем, хорошо согласуются между собой.

4.2.3 Существуют пробоотборники для индивидуального отбора проб, которые удовлетворительно работают в соответствии с соглашениями относительно проникания частиц.

4.3 Необходимость введения соглашений, относительно осаждения частиц

4.3.1 Соглашения, основанные на проникании (см. ИСО 7708, ЕН 481) были установлены без учета выдоха частиц субмикрометрового размера, а в некоторых случаях это необходимо для прослеживания связи с заболеваниями.

4.3.2 ИСО 7708 и ЕН 481 не содержат положений, относящихся к повышенному осаждению в альвеолярной и экстраторакальной областях частиц с диаметром менее 0,5 мкм.

4.3.3 В ИСО 7708 и ЕН 481 нормативы были установлены как предельно допускаемые значения, а не оценки полученных знаний. Согласованные нормативы, по осаждению, больше не привязанные к консервативным пределам (см. 4.2.1), могут обеспечить получение более подробной информации об оценке рабочих мест, а также улучшить установление обоснованных пределов воздействия на рабочем месте.

4.4 Предполагаемое применение

4.4.1 Согласованные нормативы, установленные в настоящем стандарте, могут найти непосредственное применение при исследовании воздействия на здоровье людей и получении улучшенной корреляции между оценкой качества воздуха и наблюдаемыми заболеваниями. В частности может быть оценена поглощенная доза, полученная до очистки. Например, предполагают, что масса осажденных частиц является мерой рассматриваемого влияния на здоровье. Оцененную поглощенную дозу частиц, осажденных в области x, $m_{x,D}$, в миллиграммах, вычисляют по формуле

$$m_{x,D} = \frac{1}{2} q t \frac{m_x}{q_x t_s}, \quad (1)$$

где q – скорость потока, вдыхаемого обследуемым индивидом, мл·с$^{-1}$;

t – время экспозиции индивида, с;

m_x – масса отобранных частиц, мг;

q_x – скорость отбора проб, мл·с$^{-1}$;

t_s – время отбора пробы, с.

4.4.2 Принятие окончательных согласованных нормативов, по осаждению, будет способствовать разработке новых приборов: как для определения распределения частиц по размерам (с помощью классификаторов размера частиц), так и для пробоотборников, предназначенных специально для отбора проб в соответствии с согласованными нормативами по осаждению (см. [6] – [12]).

5 Допущения и приближения

5.1 Многие приближения играют роль при установлении согласованных нормативов, предназначенных для имитации осаждения частиц в дыхательных путях человека. Они приведены в 5.2 – 5.6.

5.2 Согласованные нормативы, приведенные в настоящем стандарте, являются усредненными по репрезентативному набору характеристик дыхания (см. таблицу 1).

5.3 Частицы, достигающие альвеолярной области, но не осаждающиеся в ней, могут осесть в верхних дыхательных путях при прохождении через них во время выдоха.

Примечание – В случае облака частиц достаточно малых, чтобы избежать импакции или гравитационного осаждения в дыхательных путях, осаждение может быть значительным в экстраторакальной области в результате броуновского движения во время выдоха и вдоха.

5.4 Влияние изменения диаметра гигроскопичных частиц из-за поглощения ими влаги при попадании в дыхательные пути, хотя и является значимым фактором, например при осаждении растворимых солей и кислотных туманов, не входит в область применения настоящего стандарта.

5.5 Влияние заряда частиц не рассматривают в настоящем стандарте.

5.6 Модель осаждения МКРЗ (см. ссылку [3]), аппроксимирует чистую вероятность захвата частиц в каждом локусе дыхательных путей как квадратный корень из суммы квадратов (ККСК) термодинамической и аэродинамической субвероятностей. ККСК равен простой сумме за исключением области перекрывания для частиц размером от 0,1 до 1,0 мкм, в которой импакция, седиментация и осаждение в результате диффузии являются неэффективными. Нелинейная комбинация вероятностей осаждения проблематична для применения к пробоотборнику. Таким образом, в настоящем стандарте рассмотрено чисто линейное приближение. В приложении А приведены способы уменьшения погрешности в определении области перекрывания путем подбора линейных комбинаций согласованных нормативов применительно к аппроксимации ККСК. (Подробная информация приведена в [13]).

6 Согласованные нормативы к отбору пробы

6.1 Как в ИСО 7708 и ЕН 481, в настоящем стандарте приведен небольшой перечень согласованных нормативов к отбору проб вместо применения неотработанных моделей (см. [3]), включающих большое число изменяемых параметров. Основной целью было сосредоточить внимание на положениях представляющих интерес. Более того ожидается, что ограничение числа применяемых согласованных нормативов сконцентрирует усилия на разработке новых приборов, применимых на практике.

6.2 В настоящем стандарте применены функции $F[d;(d_c,\sigma)]$ и $F'[d;(d_c,\sigma)]$ (либо термодинамического либо аэродинамического) диаметра *d*. Функция *F* представляет собой кумулятивное логарифмически нормальное распределение, параметризованное в отношении констант распределения частиц по размерам, диаметра, соответствующего центральной медиане распределения d_c и дисперсии распределения σ^2. Функция *F'*, определенная как угловой коэффициент при диаметре *d*, это логарифмически нормальная функция распределения вероятности, которую можно представить в следующем виде:

$$F'[d;(d_c,\sigma)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma d}\exp\left[-\frac{\ln^2(d/d_c)}{2\sigma^2}\right], \quad (2)$$

Различные программы табличных вычислений и все программы для проведения статистических расчетов имеют встроенные подпрограммы для быстрого расчета кумулятивной функции распределения *F*. В качестве альтернативы может быть применен алгоритм, приведенный в ИСО 7708.

6.3 Функции *F* и *F'* применяют для моделирования различных кривых. Кроме того, интегрирование распределений частиц по размерам является достаточно простым. Подробная информация по применению логарифмически нормальных функций приведена в [13].

6.4 Согласованные нормативы при отборе проб на вдохе

6.4.1 В настоящем стандарте установлены согласованные нормативы, выраженные через эффективность отбора проб аэрозольных частиц после их вдыхания. Это возможно, поскольку модель осаждения МКРЗ (см. [3]) обеспечивает оценку эффективности осаждения после вдыхания. Таким образом, для оценки поглощенной дозы из облака аэрозольных частиц, необходимо провести предварительный расчет для вдыхаемой фракции (см. 3.3).

6.4.2 Согласованный норматив по вдыхаемой фракции для $d_{ae} \leq 1$ мкм принимают равным 1,00.

6.4.3 Согласованный норматив по вдыхаемой фракции для $d_{ae} > 1$ мкм следует выбирать в соответствии с ИСО 7708 или ЕН 481, охватывая условия умеренного ветра (см. [14] – [16]). Также данные, полученные на момент опубликования настоящего стандарта (см. [17] – [21]), охватывающие вдыхание в условиях небольшой скорости ветра, наблюдаемой в воздухе рабочих зон в замкнутых помещениях, могут рассматриваться как пригодные. Критерии приемлемости в данном случае должны быть в соответствии с руководством ИСО/МЭК 98-3 и ЕН 13205.

Примечание – Модель осаждения, предлагаемая МКРЗ (см. [3]) в дополнение к установленному осаждению после вдыхания, представляет информацию по способности вдыхать воздух, известную на время ее опубликования.

6.5 Локусы дыхательных путей

6.5.1 В модели осаждения МКРЗ (см. [3]) определены пять областей осаждения аэрозольных частиц в дыхательных путях: экстраторакальная ET_1, экстраторакальная ET_2, трахеобронхиальная BB, трахеобронхиальная bb и альвеолярная. Описание этих областей приведено в 3.4 – 3.8 и [3], [22], [23].

6.6 Условия дыхания

6.6.1 Эффективность осаждения в каждой области дыхательных путей изменяется в широких пределах в зависимости от характеристик дыхания: рабочей нагрузки, пола дышащего и режима дыхания. В настоящем стандарте рассмотрены три категории рабочей нагрузки для индивида, находящегося в сидячем положении или выполняющего легкую физическую нагрузку, или тяжелую физическую нагрузку, как приведено в [3]. Дыхание классифицируется по признаку того, что люди могут быть охарактеризованы как «нормально дышащий» и «дышащий через рот». Дышащие нормально вдыхают воздух исключительно через нос, кроме случаев выполнения тяжелой физической нагрузки. «Дышащие через рот» всегда часть воздуха пропускают через рот. В настоящем стандарте рассмотрено 12 наборов характеристик дыхания, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Сводка 12 специфических характеристик дыхания, относящихся к зависимостям: нормальное дыхание в сравнении с дыханием ртом, мужчины в сравнении с женщиной, и рабочая нагрузка

Параметр[a)]	Мужчины (М)	Женщины (Ж)	Фракция частиц, попадающих в рот при нормальном дыхании (н)	Фракция частиц, попадающих в рот при дыхании через рот (р)
FRC, мл	3301	2681		
В положении сидя (с): f, мин$^{-1}$ V_T, мл q, мл/с	 12 750 300	 14 464 217	0,00	0,30
При выполнении легкой физической нагрузки (л): f, мин$^{-1}$ V_T, мл q, мл/с	 20 1250 833	 21 992 694	0,00	0,60
При выполнении тяжелой физической нагрузки (т): f, мин$^{-1}$ V_T, мл q, мл/с	 26 1920 1670	 33 1364 1500	0,50	0,70

[a)] см. определения 3.9 – 3.12.

6.6.2 Отдельное определение эффективности для каждой из 12 характеристик дыхания, приведенных в таблице 1, является нецелесообразным для разработки специализированных пробоотборников. Вместо этого были взяты средние значения характеристик. Кроме того, число независимых согласованных нормативов, необходимых для охвата пяти физиологических локусов, уменьшается из-за приблизительного сходства между функциями осаждения. Подробное описание приведено в [13].

6.6.3 Необходимо из-за изменчивости, связанной с диапазоном возможных условий дыхания, при любом применении настоящего стандарта с индивидуальными пробоотборниками подтверждать выполнение согласованных нормативов. В качестве альтернативы в приложении А приведены способы для аппроксимации осаждения при любом конкретном наборе характеристик дыхания путем сочетания информации, полученной с применением ряда пробоотборников выполненных в соответствии с индивидуальными согласованными нормативами эффективности, установленной в настоящем стандарте.

6.7 Согласованные нормативы эффективности осаждения

6.7.1 Установлены четыре согласованных норматива эффективности аэродинамического осаждения: $D_{\mathrm{a\,ET_1}}[d_{\mathrm{ae}}]$, $D_{\mathrm{a\,BB}}[d_{\mathrm{ae}}]$, $D_{\mathrm{a\,bb}}[d_{\mathrm{ae}}]$ и $D_{\mathrm{a\,Alv}}[d_{\mathrm{ae}}]$ для экстраторакальной области $\mathrm{ET_1}$, двух трахеобронхиальных областей BB и bb, и альвеолярной области Alv (области газообмена). Эти функции были представлены в логарифмически нормальном виде в соответствии с эффективностями модели осаждения МКРЗ (см. [3]) для каждого локуса, усредненные по 12 характеристикам дыхания, приведенным в таблице 1. Параметры логарифмически нормального распределения приведены в таблице 2, а эффективности – на рисунке 1.

6.7.2 Установлены три эффективности термодинамического осаждения в соответствии с согласованным нормативом: $D_{\text{t ET}_2}[d_{\text{th}}]$, $D_{\text{t bb}}[d_{\text{th}}]$ и $D_{\text{t Alv}}[d_{\text{th}}]$ для экстраторакальной области ET_1, трахеобронхиальной области bb, и альвеолярной области Alv. Параметры логарифмически нормального распределения приведены в таблице 2, а эффективности – на рисунке 1.

6.7.3 Установлены три зависимые эффективности термодинамического осаждения: для экстраторакальной области ET_2 и трахеобронхиальной области BB, и одна эффективность аэродинамического осаждения для ET_2 взятые в виде, приведенном в таблице 3. Зависимые эффективности отмечены на рисунке 1 серым цветом.

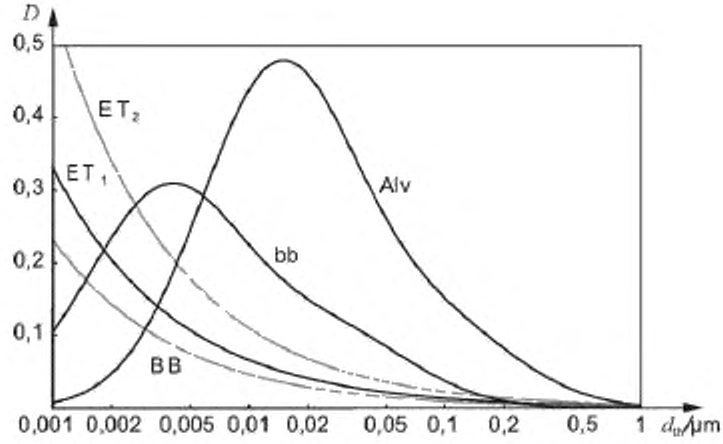
Таблица 2 – Согласованные нормативы при отборе проб, осажденных по отношению к вдыхаемым частицам аэрозоля, выраженные через логарифмически нормальные функции аэродинамического или термодинамического диаметра

Режим	Согласованный норматив по осаждению	Функция	d_c, мкм	σ
Термодинамический	$D_{\text{t ET}_1}[d_{\text{th}}]$	$0{,}0026^{+0{,}7}$мкм $d_{\text{th}}^{-0{,}7}$	—[a]	—[a]
	$D_{\text{t bb}}[d_{\text{th}}]$	$\left[0{,}31+1200\text{мкм}^{-2}(d_{\text{th}}-d_c)^2\right]\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}\ln\left(\frac{d_{\text{th}}}{d_c}\right)\right]$	0,0041	ln[2,57]
	$D_{\text{t Alv}}[d_{\text{th}}]$	$\left[0{,}48+100\text{мкм}^{-2}(d_{\text{th}}-d_c)^2\right]\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}\ln\left(\frac{d_{\text{th}}}{d_c}\right)\right]$	0,015	ln[2,54]
Аэродинамический	$D_{\text{a ET}_1}[d_{\text{ae}}]$	$0{,}325F\left[d_{\text{ae}},(d_c,\sigma)\right]$	2,7	ln[2,5]
	$D_{\text{a BB}}[d_{\text{ae}}]$	$0{,}12\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}\ln^2\left(\frac{d_{\text{ae}}}{d_c}\right)\right]$	5,2	ln[2,0]
	$D_{\text{a bb}}[d_{\text{ae}}]$	$0{,}05\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}\ln^2\left(\frac{d_{\text{ae}}}{d_c}\right)\right]$	3,4	ln[2,0]
	$D_{\text{a Alv}}[d_{\text{ae}}]$	$0{,}19\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}\ln^2\left(\frac{d_{\text{ae}}}{d_c}\right)\right]$	2,3	ln[2,0]

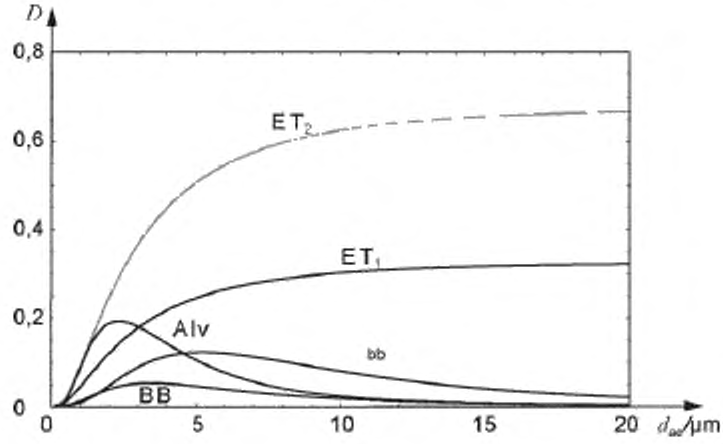
[a] Неприменимо.

Таблица 3 – Зависимые согласованные нормативы

Режим	Согласованный норматив по осаждению	Выражение
Термодинамический	$D_{\text{t ET}_2}[d]$	$1{,}67D_{\text{t ET}_1}[d]$
	$D_{\text{t BB}}[d]$	$0{,}70D_{\text{t ET}_1}[d]$
Аэродинамический	$D_{\text{a ET}_2}[d_{\text{ae}}]$	$2{,}08D_{\text{a ET}_2}[d_{\text{ae}}]$



a



b

a – термодинамические зависимости; *b* – аэродинамические зависимости;
D – осаждение; d_{ae} – аэродинамический диаметр; d_{th} – термодинамический диаметр; Alv – альвеолярная область; BB – трахеобронхиальная область 1; bb – трахеобронхиальная область 2; ET_1 – экстраторакальная область 1; ET_2 – экстраторакальная область

Рисунок 1 – Независимые согласованные нормативы по осаждению аэрозольных частиц (отмечены черным), параметризованные в таблице 2; зависимые от согласованных нормативов (отмечены серым), каждый пропорционален одному из независимых согласованных нормативов

Приложение А
(справочное)

Изменчивость осаждения и его корректировка

А.1 Изменчивость осаждения частиц аэрозоля при сравнении разных индивидов и для одного индивида настолько велика, что его взаимосвязь с воздействием на здоровье может быть и не выявлена. Назначение настоящего стандарта заключается в рассмотрении изменений осаждения частиц, связанных с рабочей нагрузкой (тяжелая физическая нагрузка в сравнении с легкой физической нагрузкой или в положении сидя), режимом дыхания (нормальное дыхание в сравнении с дыханием через рот) и полом (см. [3]).

А.2 Реализация этого подхода в данном случае связана с бóльшими трудностями по сравнению с применением ЕН 481 или ИСО 7708. Установленные ранее согласованные нормативы при отборе проб частиц, проникающих в дыхательные пути, не учитывали фактор изменчивости, так как были основаны на более консервативном подходе. Консервативная оценка может быть приемлема при соответствующих применениях. Однако, оценивание дозы для применения в санитарно-гигиенических целях отличается от простого определения факта превышения предельно допустимого значения.

А.3 Степень изменчивости приведена на рисунке А.1 для пяти локусов осаждения в дыхательных путях человека. Утолщенные линии отражают осаждение в экстраторакальной (ET_1), экстраторакальной (ET_2), трахеобронхиальной (BB), трахеобронхиальной (bb) и альвеолярной (Alv) областях для каждого рассмотренного влияющего фактора. Кривые, помеченные как D_{ET_1}, D_{ET_2}, D_{BB}, D_{bb} и D_{Alv} отражают согласованные нормативы по осаждению, установленные в 6.7.

А.4 Одним из способов учесть изменчивость является получение распределения частиц рассматриваемого аэрозоля по всем размерам и вычисление ожидаемого осаждения в каждой области для каких-либо заданных условий. Например, может быть разработана миниатюрная версия индивидуального устройства отбора проб, подобного приведенному в [12]. Другая возможность заключается в том, что для некоторых исследовательских целей, различия могут быть просто проигнорированы или не признаваться. Еще одним вариантом (см. [13]) может быть применение результатов, полученных с использованием набора пробоотборников, соответствующих согласованным нормативам при отборе проб, для корректировки осаждения частиц в любой конкретной области при любых условиях.

Примечание - Импакторы[1)] низкого давления, применяемые в настоящее время для индивидуального отбора проб, в некоторых случаях могут быть использованы для получения распределения по размерам частиц очень малого диаметра, когда частицы аэрозоля имеют простую форму и их можно идентифицировать, например, сферические частицы одного и того же вещества с известной насыпной плотностью. Осаждение частиц в этом случае зависит от физического диаметра d через коэффициент проскока, а также динамически от $d\sqrt{(\rho/\rho_0)}$. Проблема заключается в том, что термодинамический диаметр нельзя определить напрямую.

А.5 Таким образом, результаты измерений, полученные с применением набора пробоотборников, работающих в соответствии с согласованными нормативами, приведенными в таблице 2, могут быть затем использованы для корректировки любого конкретного набора характеристик дыхания, приведенных в таблице 1, а также для оценки осаждения частиц в любом из пяти локусов дыхательных путей. Для этого необходим набор коэффициентов преобразования, приведенных в таблице А.1. Также необходимо знание характеристик дыхания индивида, для которого оценивают поглощенную дозу аэрозоля.

А.6 Коэффициенты преобразования были определены следующим образом. Полагают эффективность осаждения, предусмотренную моделью осаждения, разработанной МКРЗ (см. [3]) для конкретного локуса и условия дыхания $E[d]$, где

d – (геометрический) диаметр сферической частицы плотностью ρ=1 г/см^3. Аппроксимируют $E[d]$ в виде линейной комбинации согласованных независимых функций $D_j[d]$ из таблицы 2:

$$E[d] \approx \sum_j C_j D_j[d] \ , \qquad (A.1)$$

[1)] Импакторы – устройства для фракционного осаждения частиц аэрозоля.

Константы C_j были определены методом наименьших квадратов на основе соответствия правой стороны уравнения (А.1) функции $E[d]$, известной из модели осаждения, разработанной МКРЗ (см. [3]). Изменения, выявленные при сравнении результатов, полученных для мужчин и женщин, были усреднены при вычислении коэффициентов преобразования, поскольку их различия в зависимости от пола были, как правило, незначительными (см. также [24].) Полученные таким образом коэффициенты преобразования приведены в таблице А.1. На рисунке А.1 представлено сравнение приближений (светлые линии) с истинной моделью осаждения МКРЗ (см. [3]) для всех локусов и 12 характеристик дыхания из таблицы 1.

А.7 Для частиц, плотностью ρ, отличающейся от 1 г/см^3, или частиц с формой отличающейся от сферической, происходит сдвиг обеих функций в формуле (А.1), функции в правой стороне – из-за зависимости аэродинамического подмножества из таблицы 2 от аэродинамического диаметра d_{ae}, а термодинамического подмножества – от термодинамического диаметра d_{th}. Левая сторона формулы, заданная моделью осаждения МКРЗ (см [3]), становится функцией d_{ae} и d_{th}, которая не является суммой отдельных функций d_{ae} и d_{th}. Однако приблизительное равенство сохраняется для формулы (А.1) для любого размера частиц, осаждение которых определяется только одним процессом (диффузией или импакцией), то есть в том случае, когда осаждение является существенным, поскольку перекрывание происходит в той области, где оба процесса неэффективны.

А.8 Грубая оценка неопределенности, присущей формуле (А.1), связана либо с недостаточным соответствием формулы рассматриваемой функции, либо с несоответствием сдвига (А.7) в область перекрывания, где осаждение неэффективно при любом из определяющих его процессов, приведена в [13]. При выборке случайным образом из набора распределений по размеру числа частиц, площади их поверхности или массе, принятых в качестве представительных, и при случайных условиях дыхания (см. таблицу 1) (относительная) неопределенность (одно стандартное отклонение) составляла от 9 % до 24 %, в зависимости от локуса дыхательных путей. Для сравнения, оценка эффективности осаждения просто на основе согласованных нормативов без коррекции, привела к неопределенности в диапазоне от 30 % до 122 %.

А.9 Дозу частиц вычисляют в соответствии с 4.4.1. Дозу частиц, осевших в локусе x, $m_{x,D}$, мг, для конкретного индивида вычисляют по формуле

$$m_{x,D} = \frac{1}{2} q t \sum_j \frac{C_{x,j} m_j}{q_j t_s} , \qquad (A.2)$$

где q – скорость потока воздуха при вдыхании, мл·с$^{-1}$;

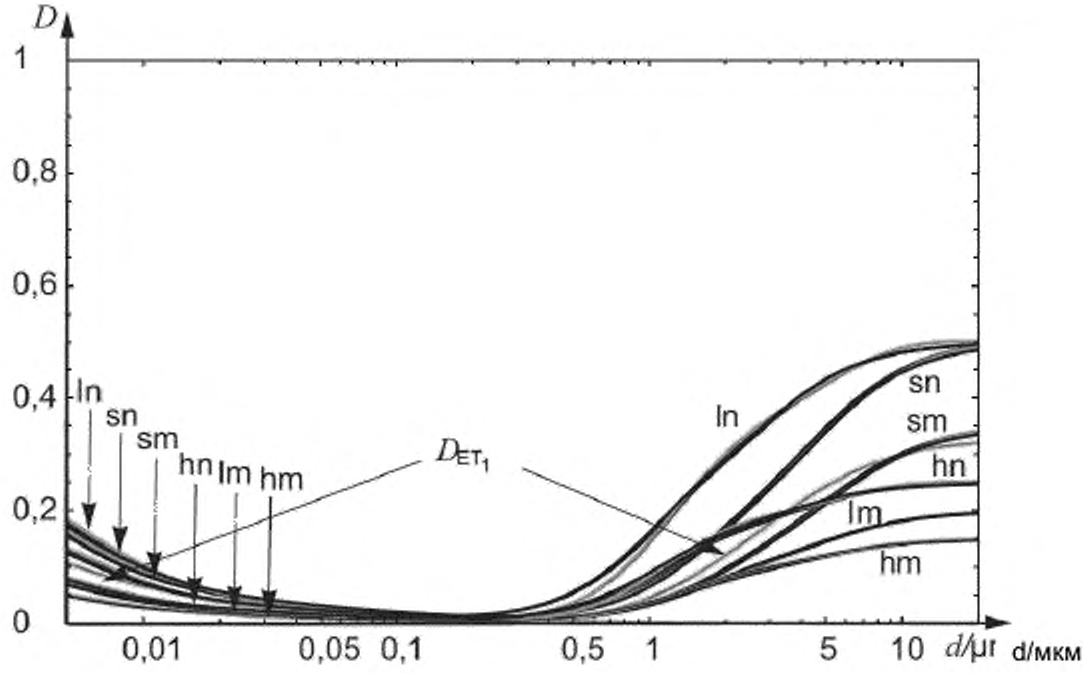
t – время экспозиции, с;

$C_{x,j}$ – коэффициент перевода, взятый из таблицы А.1: строка x, графа j

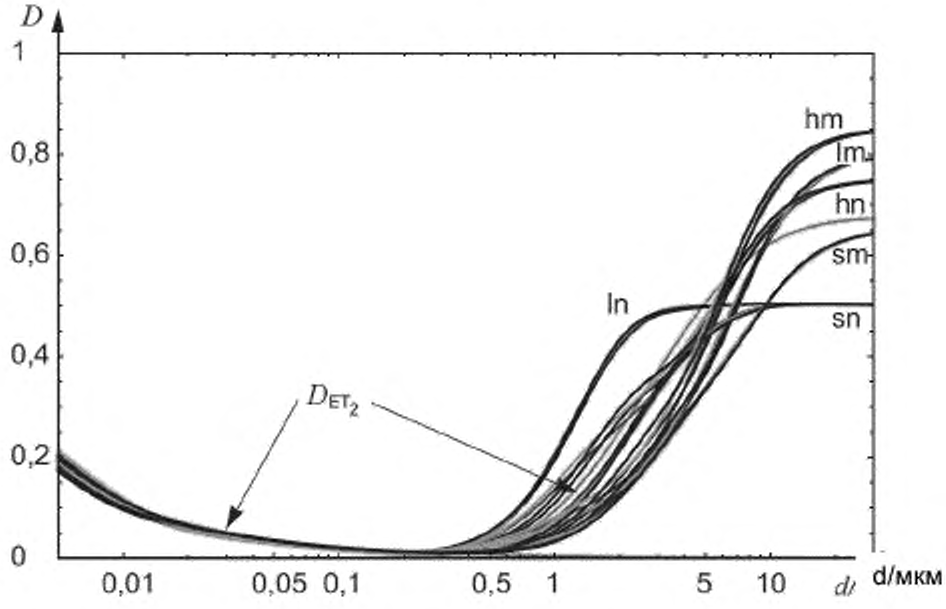
m_j – масса отобранных частиц, мг;

q_j – скорость отбора проб для j-того пробоотборника, мл·с$^{-1}$;

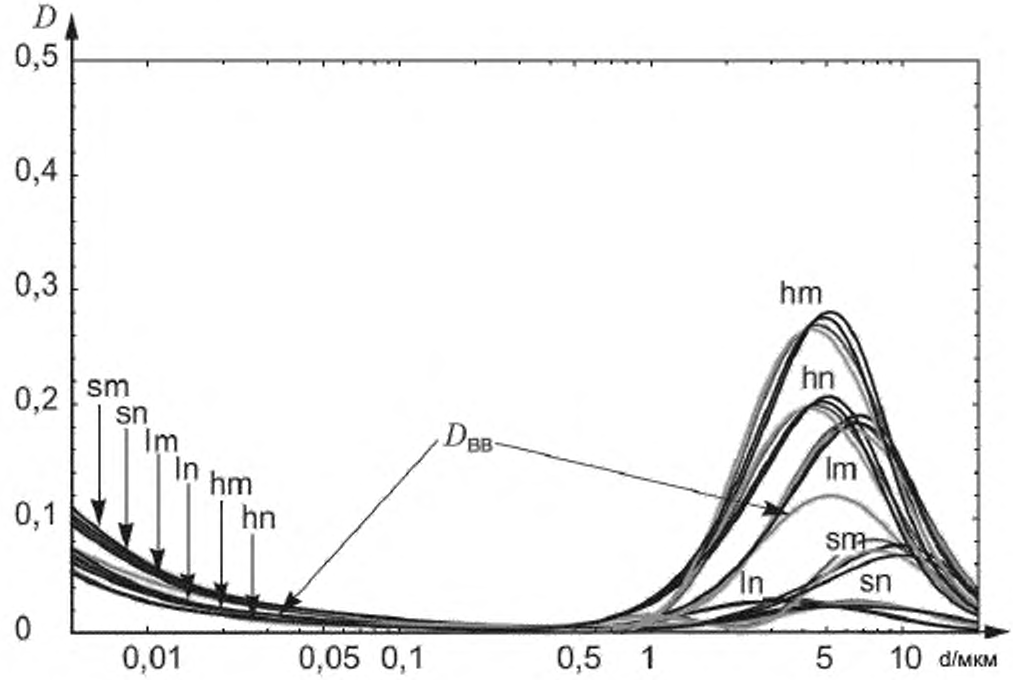
t_s – продолжительность отбора проб, с.


D
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
ln
sn
sm
hn
lm
hm
D_{ET_1}
ln
sn
sm
hn
lm
hm
0,01
0,05
0,1
0,5
1
5
10
d/μr
d/мкм

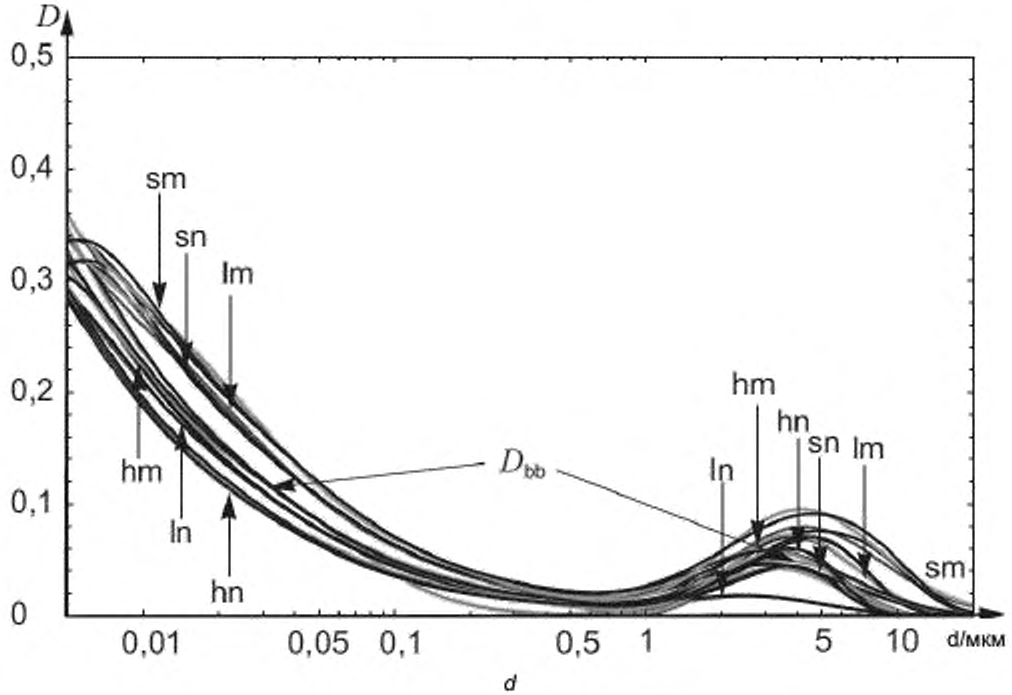
a


D
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
hm
lm
hn
sm
ln
sn
D_{ET_2}
0,01
0,05
0,1
0,5
1
5
10
d/
d/мкм

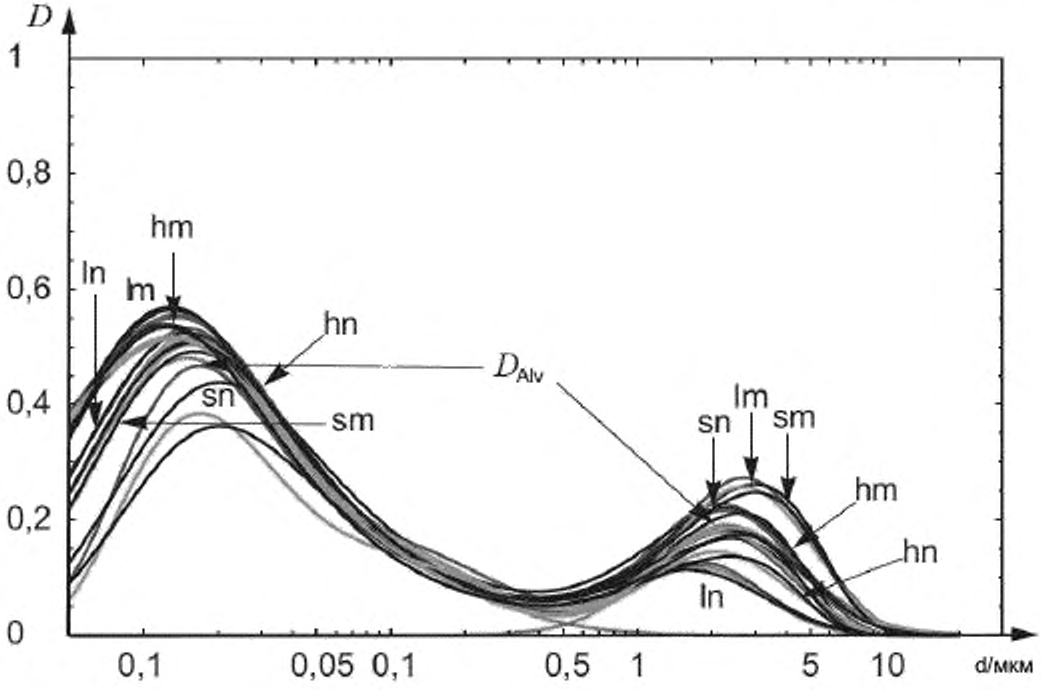
b


D
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
sm
sn
lm
ln
hm
hn
D_{BB}
hm
hn
lm
sm
ln
sn
0,01
0,05
0,1
0,5
1
5
10
d/мкм

c


D
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
sm
sn
lm
hm
ln
hn
D_{bb}
hm
hn
sn
lm
ln
sm
0,01
0,05
0,1
0,5
1
5
10
d/мкм

d



e

a – экстраторакальная область 1; *b* – экстраторакальная область 2;
c – трахеобронхиальная область 1; *d* – трахеобронхиальная область 2;
e – альвеолярная область; *D* – осаждение;
d – сферический диаметр частицы; D_{Alv} – осаждение в альвеолярной области; D_{bb} – осаждение в траобронхиальной области 1; D_{bb} – осаждение в траобронхиальной области 2; D_{ET_c} – осаждение в экстраторакальной области 1;
D_{ET_e} – осаждение в экстраторакальной области 2;
hm – при выполнении тяжелой физической нагрузки, дыхание через рот;
hn – при выполнении тяжелой физической нагрузки, нормальное дыхание;
lm – при выполнении легкой физической нагрузки, дыхание через рот; ln – при выполнении легкой физической нагрузки, нормальное дыхание; sm – в положении сидя, дыхание через рот; sn – в положении сидя, нормальное дыхание

Рисунок А.1 – Эффективность осаждения в различных областях дыхательных путей как линейная комбинация предложенных согласованных функций при плотности ρ = 1 г/см^3, в зависимости от геометрического диаметра сферической частицы *d*; кривые для мужчин (синие) и для женщин (красные) показаны как линейные
комбинации согласованных нормативов (зеленые); черные кривые отражают эффективность, вычисленную по [3].

Таблица А.1 – Коэффициенты преобразования C_i в формуле (А.1) для характеристик дыхания, приведенных в таблице 1

Условие	Локус	Термодинамическое осаждение			Аэродинамическое осаждение			
		ET_1	bb	Alv	ET_1	BB	bb	Alv
В положении сидя Нормальное дыхание	ET_1	1,36	0,17	- 0,06	1,54	-0,04	- 0,74	0,05
	ET_2	1,32	0,27	-0,08	1,54	0,31	0,88	- 0,10
	BB	0,99	-0,01	- 0,01	0,00	0,44	- 0,99	0,13
	bb	2,52	0,07	0,19	0,00	-0,04	0,92	0,04
	Alv	2,93	-1,75	1,22	0,00	- 0,16	0,08	1,09
В положении сидя Дыхание через рот	ET_1	0,96	0,13	-0,04	1,08	-0,26	- 0,06	-0,13
	ET_2	1,56	0,20	- 0,07	2,00	-1,25	1,40	-0,63
	BB	0,78	0,08	-0,03	0,00	1,67	- 4,68	0,54
	bb	2,69	0,08	0,18	0,00	0,31	1,23	- 0,07
	Alv	3,46	-1,91	1,23	0,00	- 0,54	4,97	0,42
Легкая физическая нагрузка Нормальное дыхание	ET_1	1,32	0,10	-0,04	1,54	0,73	-3,53	1,12
	ET_2	1,30	0,20	- 0,06	1,54	0,68	-3,11	1,72
	BB	0,63	-0,01	- 0,01	0,00	0,13	0,01	0,09
	bb	2,10	0,20	0,07	0,00	- 0,07	0,35	0,02
	Alv	1,32	-0,63	1,16	0,00	0,33	-3,24	1,19
Легкая физическая нагрузка Дыхание через рот	ET_1	0,54	0,06	-0,02	0,62	- 0,01	- 0,25	0,08
	ET_2	1,74	0,08	-0,05	2,46	- 0,86	-2,17	-0,25
	BB	0,64	0,01	-0,02	0,00	2,37	-3,34	0,30
	bb	2,78	0,08	0,06	0,00	-0,35	3,40	- 0,42
	Alv	1,87	-0,72	1,16	0,00	-0,93	5,35	0,43
Тяжелая физическая нагрузка Нормальное дыхание	ET_1	0,66	0,05	-0,02	0,77	0,42	-2,19	0,70
	ET_2	1,59	0,06	- 0,04	2,31	0,29	-5,19	0,92
	BB	0,93	- 0,15	0,00	0,00	0,71	3,24	-0,31
	bb	2,13	0,17	0,02	0,00	-0,33	2,12	-0,20
	Alv	0,41	0,33	0,94	0,00	-0,17	- 0,43	0,98
Тяжелая физическая нагрузка Дыхание через рот	ET_1	0,40	0,04	- 0,01	0,46	0,12	-0,67	0,22
	ET_2	1,76	0,03	-0,04	2,62	0,00	- 4,51	0,03
	BB	1,11	-0,21	0,00	0,00	0,97	4,68	- 0,54
	bb	2,28	0,15	0,02	0,00	-0,45	2,95	-0,30
	Alv	0,38	0,38	0,93	0,00	- 0,41	0,81	0,98

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных и европейских региональных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 7708	–	*
ИСО/МЭК Руководство 98-3:2008	IDT	ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/ МЭК 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения»
ЕН 481	–	*
ЕН 13205	IDT	ГОСТ Р ЕН 13205–2010 «Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик приборов для определения содержания твердых частиц»

*Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание – В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT – идентичный стандарт.

Библиография

[1] ISO 10651-4:2002 *Lung ventilators — Part 4: Particular requirements for operator-powered resuscitators*

[2] ASTM D6062 *Standard guide for personal samplers of health-related aerosol fractions*

[3] James, A.C., stahlhofen, W., Rudolf, G., KöbriCh, R., Briant, J.K., Egan, M.J., Nixon W., Birchall, A. Human respiratory tract model for radiological protection: ICRP Publication 66. *Ann. ICRP* 1994, **24**, pp. 1-300

[4] VinCent, J.H. Particle size-selective criteria for fine aerosol fractions. In: *Aerosol sampling: Science, standards, instrumentation and applications*, pp. 255-287. Hoboken, NJ: Wiley, 2007

[5] Phalen, R. F. *Particle size-selective sampling in the workplace*: *Report of the ACGIH Air Sampling Procedures Committee*, Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists,1985. 80 p. (Publication No. 0830.)

[6] McCawley, M.A. In: *Particle size-selective sampling for particulate air contaminants*, Vincent, J.H., editor. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental and Industrial Hygienists, 1999

[7] McCaWley, M.A., Martin, S., moyer, E., Berakis, M., Hornsby-Myers, J., Kent, M. Development of a filter assembly to match the deposition of ultrafine aerosol in the lung: A pilot study with beryllium. *Ann. Occup. Hyg.* 2002, **46**(S1), pp. 215–218. Available (viewed 2011-12-23) at: gost.e-ecolog.ru

[8] Kuo, Y.M., Huang, S.H., Shih, T.S., Chen, C.C., Weng, Y.-M., lin, W.-y. Development of a size-selective inlet-simulating ICRP lung deposition fraction. *Aerosol Sci. Technol.* 2005, **39**, pp. 437-443

[9] Koehler, K.A., Clark, P., Volckens, J. Development of a sampler for total aerosol deposition in the human respiratory tract. *Ann. Occup. Hyg.* 2009, **53**, pp. 731-738. Available (viewed 2011-12-23) at: gost.e-ecolog.ru .full.pdf+html

[10] Fissan, H., Neumann, S., Trampe, A., Pui, D.Y.H., Shin, W.G. Rationale and principle of an instrument measuring lung deposited nanoparticle surface area. *J. Nanoparticle Res* 2007, **9**, pp. 53–59

[11] Asbach, C., Fissan, H., Stahlmecke, B., Kuhlbusch, T.A.J., Pui, D.Y.H. Conceptual limitations and extensions of lung-deposited Nanoparticle Surface Area Monitor (NSAM). *J. Nanoparticle Res.* 2009, **11**, pp. 101-109

[12] Gorbunov, B., Priest, N.D., Muir, R.B., Jackson, P.R., Gnewuch, H. A Novel size-selective airborne particle size fractionating instrument for health risk evaluation. *Ann. Occup. Hyg.* 2009, **53**, pp. 225-237. Available (viewed 2011-12-23) at: gost.e-ecolog.ru

[13] Bartley, D.l., Vincent, J.H. Sampling conventions for estimating ultrafine and fine aerosol deposition in the human respiratory tract. *Ann. Occup. Hyg.* 2011, **55**, pp. 696-709. Available (viewed 2011-12-23) at: gost.e-ecolog.ru

[14] (a) Ogden, T.L., Birkett, J.L. The human head as a dust sampler. In: Walton, W.H., editor. *Inhaled Particles* IV, pp. 93–105. Oxford: Pergamon, 1977; (b) oGden, t.l., biRKett, J.L. An inhalable-dust sampler, for measuring the hazard from total airborne particulate. *Ann. Occup. Hyg.* 1978, **21**, pp. 41-50

[15] Armbruster, l., Breuer, H. Investigations into defining inhalable dust. *Ann. Occup. Hyg.* 1982, **26**, pp. 21-32

[16] VinCent, J.h., maRK, D. Application of blunt sampler theory to the definition and measurement of inhalable dust. *Ann. Occup. Hyg.* 1982, **26**, pp. 3-19

[17] aitken, R.J., baldwin, P.E.J., Beaumont, G.C., Kenny, l.C., maynard, A.D. Aerosol inhalability in low air movement environments. *J. Aerosol Sci.* 1999, **30**, pp. 613–626

[18] Sleeth, D.K., Vincent, J.H. Proposed modification to the inhalable aerosol convention applicable to realistic workplace wind speeds. *Ann. Occup. Hyg.* 2011, **55**, pp. 476-484

[19] Berry, R.D., Froude, S. *An investigation of wind conditions in the workplace to assess their effect on the quantity of dust inhaled* London: Health and Safety Executive, 1989. (UK Health and Safety Executive Report IR/L/DS/89/3.)

[20] Baldwin, P.E.J., Maynard, A.D., Measurement of windspeeds in indoor workplaces. In: *Proceedings of the 11th Annual Aerosol Society Conference*, Bristol: Aerosol Society, 1997

[21] Harper, M., lidén, G. The need for an international sampling convention for inhalable dust in calm air. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2006, **3**, pp. D94-D101

[22] Weibel, E.R. *Morphometry of the human lung.* Berlin: Springer, 1963. 151 p.

[23] Lippmann, M. Regional deposition of particles in the human respiratory tract. In: Lee, D.H.K., Falk,

H.L., Murphy, S.D., Geiger, S. R., editors. *Handbook of physiology*, pp. 213-232. Bethesda, MD: American Physiology Society, 1977

[24] Löndahl, J., Massling, A., Pagels, J., Swietlicki, E., Vaclavik, E., Loft, S. Size-resolved respiratorytract deposition of fine and ultrafine hydrophobic and hygroscopic aerosol particles during rest and exercise. *Inhal. Toxicol.* 2007, **19**, pp. 109-116

УДК 504.3:006.354 ОКС 13.040 Т58

Ключевые слова: качество воздуха, аэрозоль, согласованные нормативы, отбор проб, аэрозоль, частицы, осаждение, дыхательные пути, вдыхаемая фракция, экстраторакальная область, трахеобронхиальная область, альвеолярная область

Подписано в печать 02.03.2015. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 2,79. Тираж 36 экз. Зак. 787.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru