ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ЕН 13205— 2010

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Оценка характеристик приборов для определения содержания твердых частиц

EN 13205:2001
Workplace atmospheres — Assessment of performance of instruments for measurement of airborne particle concentrations
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2011

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0 — 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык 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 25 ноября 2010 г. № 524-ст

4 Настоящий стандарт идентичен европейскому стандарту ЕН 13205:2001 «Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик приборов для определения содержания твердых частиц» (EN 13205:2001 «Workplace atmospheres — Assessment of performance of instruments for measurement of airborne particle concentrations»)

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «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

© Стандартинформ, 2011

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 . . . 2
3 Термины и определения . . . 2
4 Требования . . . 3
4.1 Сводка требований . . . 3
4.2 Точность . . . 4
5 Методы испытаний . . . 4
5.1 Выбор лабораторных испытаний . . . 4
5.2 Обзор методов испытаний . . . 5
6 Типы оценки . . . 6
7 Руководство по эксплуатации . . . 6
8 Маркировка, контроль качества . . . 7
8.1 Маркировка . . . 7
8.2 Контроль качества . . . 7
Приложение А (обязательное) Лабораторное испытание пробоотборников на соответствие нормативам по отбору проб . . . 8
А.1 Общие положения . . . 8
А.2 Метод испытаний . . . 8
А.2.1 Общие положения . . . 8
А.2.2 Условия испытаний . . . 8
А.2.3 Контролируемые влияющие факторы . . . 8
А.2.3.1 Общие положения . . . 8
А.2.3.2 Размер частиц . . . 9
А.2.3.3 Скорость ветра . . . 10
А.2.3.4 Направление ветра . . . 10
А.2.3.5 Состав аэрозоля . . . 10
А.2.3.6 Масса отобранного аэрозоля . . . 10
А.2.3.7 Заряд аэрозоля . . . 10
А.2.3.8 Различие характеристик образцов пробоотборников одного типа . . . 10
А.2.3.9 Колебания расхода . . . 10
А.2.3.10 Обработка поверхности . . . 10
А.2.4 Требования к проведению экспериментов . . . 10
А.3 Методы вычисления . . . 12
А.3.1 Общие положения . . . 12
А.3.2 Обозначения и сокращения . . . 12
А.3.3 Определение эффективности отбора проб . . . 12
А.3.4 Вычисление содержания отобранного аэрозоля . . . 12
А.3.5 Вычисление содержания аэрозоля, отобранного идеальным пробоотборником . . . 13
А.3.6 Вычисление смещения характеристики пробоотборника . . . 13
А.3.7 Применение поправочного коэффициента . . . 13
А.3.8 Вычисление неопределенности оцененного смещения пробоотборника . . . 13
А.3.9 Вычисление точности пробоотборника . . . 14
А.4 Протокол испытаний . . . 14
А.4.1 Подробное описание испытательной лаборатории и финансирующей организации . . . 14
А.4.2 Описание испытуемого пробоотборника . . . 14
А.4.3 Критический анализ отбора проб . . . 14
А.4.4 Используемые лабораторные методы . . . 14
А.4.5 Подробное описание плана эксперимента . . . 15
А.4.6 Представление результатов экспериментов . . . 15
А.4.7 Анализ результатов . . . 15
А.4.8 Характеристики пробоотборника . . . 15

Приложение В (обязательное) Лабораторные сравнительные испытания . . . 18
В.1 Основные положения . . . 18
В.2 Метод испытаний . . . 18
В.2.1 Общие положения . . . 18
В.2.2 Условия испытаний . . . 18
В.2.3 Контролируемые влияющие факторы . . . 18
В.2.3.1 Общие положения . . . 18
В.2.3.2 Размер частиц . . . 19
В.2.3.3 Скорость ветра . . . 20
В.2.3.4 Направление ветра . . . 20
В.2.3.5 Состав аэрозоля . . . 20
В.2.3.6 Масса отобранного аэрозоля . . . 20
В.2.3.7 Температурная стабильность . . . 20
В.2.3.8 Стабильность во времени . . . 20
В.2.4 Требования к экспериментам . . . 20
В.3 Методы вычисления . . . 21
В.3.1 Обозначения и сокращения . . . 21
В.3.2 Распределение отношений . . . 21
В.3.3 Поправочный коэффициент . . . 21
В.3.4 Точность . . . 21
В.3.5 Температурная стабильность . . . 21
В.3.6 Стабильность во времени . . . 21
В.4 Протокол испытаний . . . 22
В.4.1 Подробное описание испытательной лаборатории и финансирующей организации . . . 22
В.4.2 Описание испытуемого и референтного пробоотборников . . . 22
В.4.3 Критический анализ отбора проб (см. раздел 5) . . . 22
В.4.4 Испытательное оборудование . . . 22
В.4.5 Подробное описание плана эксперимента . . . 22
В.4.6 Анализ результатов . . . 22
В.4.7 Характеристики испытуемого пробоотборника . . . 22
В.4.8 Заключение и информация для пользователя . . . 22
Приложение С (справочное) Рекомендуемая методика сравнения пробоотборников в условиях применения . . . 23
С.1 Общие положения . . . 23
С.2 Методика сравнения . . . 23
С.2.1 Общие положения . . . 23
С.2.2 Сравнение индивидуальных пробоотборников . . . 23
С.2.3 Сравнение статических пробоотборников . . . 23
С.2.4 Периодическая валидация . . . 24
С.3 Методы вычислений . . . 24
С.3.1 Обозначения и сокращения . . . 24
С.3.2 Оценка корректировочной функции . . . 24
С.3.3 Исключение выбросов . . . 24
С.3.4 Остаточная неопределенность после преобразования результатов с помощью корректировочной функции . . . 24
С.3.5 Эквивалентность . . . 25
С.4 Документация . . . 25
С.4.1 Общие положения . . . 25
С.4.2 Описание испытуемого и референтного пробоотборников . . . 25
С.4.3 Критический анализ отбора проб . . . 25
С.4.4 Сравнительные испытания пробоотборников в условиях применения . . . 25
С.4.5 Подробное описание плана эксперимента . . . 25
С.4.6 Анализ результатов . . . 25
С.4.7 Эквивалентность . . . 25

Приложение D (обязательное) Испытания по проверке влияния обработки и транспортирования 26
D.1 Общие положения 26
D.2 Методика испытаний 26
D.2.1 Общие положения 26
D.2.2 Испытательное оборудование 26
D.2.3 Установка пробоотборников 26
D.2.4 Тестовые аэрозоли и метод загрузки материалов для улавливания частиц . . .
D.2.5 Метод испытаний 26
D.3 Методы вычислений 27
D.4 Протокол испытаний 27
D.4.1 Подробное описание испытательной лаборатории и финансирующей организации 27
D.4.2 Описание испытуемого пробоотборника и материала для улавливания частиц . 27
D.4.3 Описание методов испытаний и используемых материалов 27
D.4.4 Результаты 27
D.4.5 Заключение 27
Приложение E (обязательное) Вычисление суммарной неопределенности 28
E.1 Общие положения 28
E.2 Определение относительной суммарной неопределенности 28
E.3 Объединение смещений отбора проб и анализа 28
E.4 Комбинирование прецизионности отбора проб и анализа 28
Приложение F (справочное) Анализ результатов определения эффективности отбора проб 30
F.1 Введение 30
F.2 Пример сбалансированного плана эксперимента 30
F.3 Анализ результатов определения эффективности отбора проб методом кусочно-линейной аппроксимации 30
F.3.1 Оценка среднего содержания уловленного аэрозоля 30
F.3.2 Статистическая модель 31
F.4 Метод подбора кривой 32
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации 33
Библиография 34

Введение

Нормативы по отбору проб различных фракций частиц в воздухе рабочей зоны для оценки их воздействия на здоровье людей установлены в ЕН 481. Нормативы установлены для вдыхаемой, торакальной и респирабельной аэрозольных фракций. Эти нормативы представляют собой условные характеристики для пробоотборников аэрозолей, выдающие идеальную эффективность отбора проб как функцию аэродинамического диаметра частиц.

В большинстве случаев эффективность отбора проб реальных пробоотборников будет отличаться от идеальной и, следовательно, масса собранных частиц аэрозоля будет отличаться от массы, которая могла бы быть собрана с помощью идеального пробоотборника. Кроме того на работу реальных пробоотборников влияют многие факторы, такие, например, как скорость ветра, зависящая от окружающих внешних условий, в которых используется пробоотборник.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Оценка характеристик приборов для определения содержания твердых частиц

Workplace atmospheres. Assessment of performance of instruments for measurement of airborne particle concentrations

Дата введения — 2011 — 12— 01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний приборов для отбора проб аэрозолей в заданных лабораторных условиях и требования к характеристикам, являющимся специфическими для этих приборов. Эти требования, в том числе соответствие нормативам, установленным в ЕН 481, применяют только к отбору проб аэрозолей, но не к анализу отобранных частиц аэрозолей. Несмотря на то, что анализ отобранных проб в ходе испытаний обычно необходим для оценки характеристик пробоотборника, установленные методы испытаний гарантируют, что погрешности анализа остаются очень малыми при испытании и не вносят значительный вклад в конечный результат. Определение погрешностей анализа и связанных с ними показателей (например, смещения, прецизионности и предела обнаружения метода анализа) не рассматриваются в настоящем стандарте. Требования к насосу, если при отборе проб аэрозолей необходим внешний (а не встроенный) насос, не рассмотрены в настоящем стандарте.

Общие требования к характеристикам методов определения содержания химических веществ в воздухе рабочей зоны установлены в ЕН 482. К этим требованиям относятся максимальные значения суммарной неопределенности (комбинация прецизионности и смещения), достигаемой в заданных лабораторных условиях для применяемых методов. Требования, приведенные в ЕН 482, применяют для объединенных результатов отбора и анализа проб аэрозолей. Настоящий стандарт конкретизирует, как некоторая характеристика методов определения содержания аэрозолей оценивается по отношению к общим требованиям, приведенным в ЕН 482, на основе объединения погрешностей отбора и анализа проб.

Настоящий стандарт применяют для всех приборов, используемых при определении содержания твердых частиц в воздухе рабочей зоны в рамках санитарно-гигиенического контроля, не зависимо от их принципа действия. В настоящем стандарте приведены различные методики испытаний и оценки, что обеспечивает его применение для приборов различного типа. Настоящий стандарт должен дать возможность изготовителям и пользователям приборов для определения содержания частиц аэрозолей принять непротиворечивый подход к валидации пробоотборников и дать основу для оценки их характеристик по отношению к требованиям ЕН 481 и ЕН 482. Изготовители таких приборов должны информировать пользователей об их характеристиках в лабораторных условиях[1)], установленных в настоящем стандарте. Пользователь должен гарантировать, что пробоотборник соответствует требованиям к суммарной неопределенности, установленным в ЕН 482, в реальных условиях применения.

[1)] Норматив по вдыхаемой фракции не установлен для частиц размером более 100 мкм или для скоростей ветра более 4 м/с. Испытания, необходимые для оценки характеристик, приведенные в стандарте, ограничены этими условиями. Если такие частицы большого размера или скорости ветра в действительности существуют во время отбора проб, то возможно, что различные приборы, соответствующие требованиям настоящего стандарта, могут выдать различные результаты.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

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 482 Воздух рабочей зоны. Общие требования к характеристикам методик измерений содержания химических веществ (EN 482, Workplace atmospheres — General requirements for the performance of procedures for the measurement of chemical agents)

ЕН 1232 Воздух рабочей зоны. Требования и методы испытаний насосов, используемых для индивидуального отбора проб химических веществ в воздухе рабочей зоны (EN 1232, Workplace atmospheres – Requirements and test methods for pumps used for personal sampling of chemical agents in the workplace)

ЕН 1540 Воздух рабочей зоны. Терминология (EN 1540, Workplace atmospheres — Terminology)

ЕН 12919 Воздух рабочей зоны. Насосы для отбора проб химических веществ с объемным расходом более 5 л/мин. Требования и методы испытаний (EN 12219, Workplace atmospheres — Pumps for the sampling of chemical agents with a volume flow rate of over 5 l/min — Requirements and test methods)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **точность**[1)] (accuracy): Верхняя доверительная граница смещения или относительной погрешности при отборе проб аэрозолей, обеспечивающая оценку области вокруг идеального или истинного значения содержания, в которой, можно ожидать, лежат 95 % значений содержания отобранных аэрозолей.

Примечания

1 Подробное описание способов вычисления точности, подходящих для различных методов испытаний, приведено в приложениях А и В.

2 Точность обычно определяют как «Степень близости результата измерений к принятому опорному значению» (по ИСО 3534-1).

3.2 **содержание аэрозоля в окружающем воздухе** (ambient aerosol concentration): Содержание частиц аэрозоля в воздухе до того, как на них повлиял пробоотборник или работник, на котором закреплен индивидуальный пробоотборник.

3.3 **смещение** (bias): Разность между математическим ожиданием результатов измерений и истинным (принятым опорным) значением.

[ЕН 482]

3.4 **испытуемый прибор (участвующий в сравнительных испытаниях)** [candidate instrument (for use in comparisons)]: Прибор любого типа, в том числе пробоотборник, используемый для определения содержания частиц аэрозоля, характеристики которого необходимо определить.

3.5 **корректировочная функция** (correction function): Математическая функция, связывающая содержания частиц аэрозоля, измеренные с помощью испытуемого прибора, и референтного пробоотборника, определяемая при сравнительном испытании двух приборов.

3.6 **индивидуальный пробоотборник** (personal sample): Пробоотборник, прикрепляемый к одежде работника для отбора проб воздуха в зоне дыхания.

[ЕН 1540]

3.7 **прецизионность** (precision): Степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях.

[ЕН 482]

3.8 **референтный пробоотборник (участвующий в сравнительных испытаниях)** [reference sampler (for use in comparisons)]: Пробоотборник, предварительно испытанный методами, приведенными в приложении А настоящего стандарта, с погрешностью не более 30 % при условиях окружающей среды, в которой проводят сравнительные испытания.

[1)] Содержание понятия «точность», приведенное в настоящем стандарте, не соответствует принятому в РМГ 29—99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения» и Международному словарю по метрологии JCGM 200:2008 (см. официальный перевод: изд-во НПО «Профессионал», СПБ, 2010).

3.9 **эффективность пробоотборника по входу; эффективность по входу** (sampler inlet efficiency; entry efficiency): Для каждого аэродинамического диаметра частиц отношение содержания аэрозоля, проходящего через систему впуска пробоотборника к соответствующему содержанию аэрозоля в окружающем воздухе.

Примечание — Эффективность по входу зависит от эффективности аспирации, которая определяет аэродинамические свойства входного отверстия пробоотборника, и связанные с размерами частиц эффекты отскока и потери частиц внутри и снаружи входного отверстия. Для некоторых типов пробоотборников потери на впускном отверстии могут зависеть от внешних факторов, таких как скорость ветра и распределение частиц аэрозоля по размерам.

3.10 **пробоотборник, прибор для отбора проб (общий термин)** [sampler, sampling instrument (generic term)]: Устройство для отделения частиц аэрозоля от газа-носителя (обычно воздуха).

3.11 **образец пробоотборника (специальный термин)** [sampler specimen (specific term)]: Единичный индивидуальный прибор данного типа.

3.12 **эффективность отбора проб** (sampling efficiency): Для каждого аэродинамического диаметра частиц отношение содержания отобранного для анализа аэрозоля к соответствующему содержанию аэрозоля в окружающем воздухе.

3.13 **отбор проб** (sampling process): Физические процессы, в результате которых происходит селективное всасывание частиц во впускное отверстие пробоотборника, разделение частиц по размерам за счет инерционных или других сил, перемещение их на пылеуловитель или другие внутренние поверхности или потеря их с пылеуловителя.

3.14 **эффективность разделения** (separation efficiency): Для каждого аэродинамического диаметра частиц отношение эффективности отбора проб к эффективности на входе.

3.15 **статический пробоотборник** (static sampler): Устройство не прикрепленное к работнику, с помощью которого отбирается воздух на конкретном участке.

[ЕН 1540]

4 Требования

4.1 Сводка требований

Таблица 1 — Сводка требований к характеристикам аэрозольных пробоотборников

Показатель	Требование	Метод испытаний	Примечания
Точность	См. 4.2	Приложение А Приложение В	
Различие характеристик образцов пробоотборников одного типа	Изменения отобранной массы < 5 % для группы из шести одинаковым образом экспонированных пробоотборников	Приложение А	1)
Стабильность потока воздуха (для пробоотборников с встроенными насосами)	Соответствующие разделы ЕН 1232 и ЕН 12919	Соответствующие разделы ЕН 1232 и ЕН 12919 (при необходимости модифицированные)	2)
Транспортирование и обращение	Для десяти испытываемых пылеуловителей не должно быть потери массы > 5 %	Приложение D	
Маркировка пробы	Обеспечение соответствующей зоны для нанесения маркировки	Визуальный осмотр	
Руководство по эксплуатации	Содержание руководства по эксплуатации в соответствии с разделом 7	Визуальный осмотр	
Безопасность конструкции	Соответствующие разделы ЕН 1232 и ЕН 12919	Соответствующие разделы ЕН 1232 и ЕН 12919	1)

Окончание таблицы 1

Фактор	Требование	Метод испытаний	Примечания
Электрическая безопасность	Соответствующие разделы EN 1232 и EN 12919	Соответствующие разделы EN 1232 и EN 12919	
Температурная стабильность	Выходной сигнал не должен отклоняться от среднего значения более чем на 5 %	Приложение В	[3]
Стабильность во времени	Выходной сигнал не должен отклоняться от среднего значения более чем на 5 %	Приложение В	[3]

[1] Испытания необязательны, если изготовитель может доказать, что допустимые отклонения размеров являются достаточно жесткими, чтобы различие характеристик образцов пробоотборников одного типа были ниже предела измерений.

[2] При необходимости любые более строгие требования по стабильности потока воздуха должны быть приведены в руководстве по эксплуатации прибора, предоставляемом изготовителем.

[3] Эти требования применимы только для приборов с прямым отсчетом показаний.

4.2 Точность

Испытуемый прибор соответствует нормативу по отбору проб, установленному в ЕН 481, при показателе точности не более 30 %:

a) при испытаниях первого типа (см. приложение А): для, по крайней мере, 85 % соответствующих распределений частиц по размерам (см. таблицу А.2) и для результатов всех обязательных испытаний в соответствии с таблицей А.1 или полученных на основе критического анализа;

b) при испытаниях второго типа (см. приложение В): для всех испытуемых распределений частиц по размерам и для результатов всех обязательных испытаний в соответствии с таблицей В.1 или полученных на основе критического анализа.

Требование должно выполняться при любой скорости ветра в предполагаемом диапазоне скоростей, при которых может применяться пробоотборник. Максимальная скорость ветра, при которой испытуемый пробоотборник соответствует требованию к точности, определяет верхнюю границу диапазона скоростей, при которых будет применяться пробоотборник.

Примечание — Даже если пробоотборник не полностью соответствует нормативу по отбору проб, установленному в ЕН 481, то его допустимо использовать для определения содержания частиц аэрозоля при выполнении требования к суммарной неопределенности, установленного в ЕН 482, в конкретных условиях (например, гранулометрического состава частиц, целей измерения, погрешностей анализа), при которых будет проводиться измерение.

5 Методы испытаний

5.1 Выбор лабораторных испытаний

Критический анализ является первым этапом оценки характеристик пробоотборника и определяет тип лабораторных испытаний (см. приложения А и В). Цель критического анализа — выявление условий окружающей среды и других факторов, вероятнее всего влияющих на эффективность отбора проб. Критический анализ позволяет получить обоснование для включения или исключения из испытаний влияющих факторов, приводя по возможности ссылки на опубликованные результаты. При анализе рассматривают условия окружающей среды, при которых будет использоваться пробоотборник, и принимают решения по значениям скорости ветра, характеристикам аэрозоля и другим параметрам, используемым при испытании. Результаты критического анализа приводят в протоколе испытаний, особо отмечая любые ограничения в области оценки характеристик, возникающие из принятых решений.

Таблица 2 — Основные факторы, влияющие на характеристики пробоотборников для аэрозолей

Фактор	Природа влияния	Тип пробоотборника, на который влияет фактор
Размер частиц	Распределение частиц по размерам	Пробоотборники всех типов
Скорость ветра	Скорость ветра на входе влияет на аспирационные свойства входного отверстия, особенно при высоких скоростях и большом размере частиц	Любой пробоотборник не имеющий определенное направление
Направление ветра	Направление потока воздуха на входе влияет на всасывание	Любой пробоотборник, не имеющий входного отверстия, одинакового по всем направлениям
Состав аэрозоля	Отскакивание и повторный захват частиц; разрушение агломератов	Например, циклоны, импакторы
Масса отобранного аэрозоля	Изменение эффективности улавливания при большой загрузке рабочих поверхностей	Например, импакторы, фильтры из пенопластов
Заряд аэрозоля	Притяжение и отталкивание от поверхностей	Все пробоотборники, особенно изготовленные из непроводящих материалов
Различие характеристик образцов пробоотборников одного типа	Небольшие различия размеров могут привести к значительным аэродинамическим эффектам	Например, циклоны, импакторы
Изменения расхода	Механизм разделения частиц сильно зависит от потока	Например, циклоны, отстойники, импакторы
Обработка поверхности	Эффективность улавливания зависит, например от смазочных материалов, используемых для покрытия рабочих поверхностей	Например, импакторы, импинжеры

В таблице 2 в качестве справочной информации приведен перечень основных факторов, влияющих на пробоотборники для аэрозолей, и примеры пробоотборников, для которых эти факторы могут оказать заметные влияния. При критическом анализе должны быть рассмотрены эти факторы, а также потенциальное влияние температуры, давления, влажности, вибрации, механического перемещения, ориентации, транспортирования пробы и электромагнитных полей. Также должны быть рассмотрены следующие общие проблемы, связанные с приборами для отбора проб:

- может ли при отборе проб произойти разрушение агломератов, т. е. измениться гранулометрический состав определяемого аэрозоля;
- может ли произойти улавливание не только частиц, попадающих во входное отверстие под воздействием побудителя расхода, но и частиц, перемещающихся к входному отверстию или в нем осаждающихся;
- может ли существовать взаимное влияние между расходом воздуха через пробоотборник и скоростью ветра, если перепад давления в пробоотборнике мал;
- могут ли пробоотборники реагировать различно по отношению к частицам жидких и твердых веществ или частицам, проявляющим различные свойства при отскоке.

5.2 Обзор методов испытаний

В приложении А установлен лабораторный метод испытаний для определения, насколько прибор для отбора проб соответствует заданному нормативу. В приложении А описаны способы обработки результатов испытаний для вычисления характеристик пробоотборника. Метод испытаний, приведенный в приложении А, пригоден для пробоотборников, соответствующих нормативам по отбору проб, установленным в ЕН 481, принцип действия которых основан на отделении частиц от газа-носителя в результате аэродинамических процессов[1)].

[1)] Примером прибора для определения содержания аэрозолей, не отделяющего частицы от воздуха в результате аэродинамического процесса, является селективный детектор частиц, основанный на принципе рассеяния света.

В приложении В описаны методики сравнения результатов лабораторных испытаний, полученных с использованием испытуемого прибора и референтного пробоотборника. Эти сравнительные испытания пригодны для пробоотборников, отделяющих частицы от газа-носителя в результате аэродинамических процессов, а также для приборов любого типа, предназначенных для измерения содержания частиц аэрозоля в газовой среде. При лабораторном сравнительном испытании характеристики испытуемого прибора сравнивают с нормативами по отбору проб, установленными в ЕН 481.

В приложении С описана методика установления эквивалентности двух методов измерений содержания аэрозоля путем сравнения в условиях применения. Результат сравнения в условиях применения зависит как от условий в рабочей зоне, так и от характеристик участвующих в испытании приборов. Цель методики — сделать возможным применение нестандартизованных приборов для измерений содержания аэрозолей в случаях, когда эквивалентность с референтными пробоотборниками была установлена с помощью стандартизованного испытания.

В приложении D описана методика испытания по оценке пригодности пробоотборников аэрозолей и погрешностей, возникающих при обработке и транспортировании проб.

При дальнейшем использовании испытанного пробоотборника учет погрешности анализа является очень важным для пользователя. Это связано с тем, что основные требования к характеристикам, установленные в ЕН 482, применяют ко всем этапам процесса измерения, включая отбор и анализ пробы. В приложении Е описан способ вычисления суммарной неопределенности измерения содержания аэрозолей на основе комбинации погрешностей отбора и анализа проб для оценки в соответствии с требованиями ЕН 482.

6 Типы оценки

Существует два различных типа оценки пробоотборников. Эти типы определяются в соответствии со следующим:

Тип 1: раздел 5 + приложение А + приложение D.

Тип 2: раздел 5 + приложение В + приложение D.

Эти типы оценки приведены в порядке уменьшения объема информации, имеющейся у пользователя прибора для отбора проб. Испытание первого типа дает пользователю больше информации, на основе которой можно оценить соответствующие характеристики пробоотборника в конкретных условиях применения. Испытание первого типа в отличие от испытания второго типа позволяет пользователю оценить суммарную неопределенность конкретной методики измерений (см. приложение Е).

7 Руководство по эксплуатации

Руководство по эксплуатации должно быть однозначным, исчерпывающим и содержать необходимые иллюстрации. Информация по использованию должна включать, по крайней мере, следующие положения:

- в соответствии с каким нормативом по отбору проб (если таковой используется), установленным в ЕН 481, предполагается использовать прибор для отбора проб;
- ограничения по использованию прибора;
- распределения частиц аэрозоля по размерам, диапазон значений скорости ветра и другие условия работы, при которых пробоотборник должен соответствовать требованиям к точности, установленным в 4.2;
- расчетный расход;
- указания по установке пробоотборника и настройке рабочих параметров (например объемного расхода);
- требования к внешнему насосу, если таковой используется; объемный расход, перепад давления, пульсации. Также должны быть приведены примеры рекомендуемых насосов;
- рекомендуемые батарейки и зарядное устройство для них, если таковые используются;
- продолжительность работы полностью заряженных батарей в обычных условиях работы;
- диапазон значений температуры при хранении и работе пробоотборника;
- подробное описание характеристик используемых пылеуловителей (например диаметр фильтра, материал, размер пор);
- общее руководство по типичному применению пробоотборника и методов анализа проб;
- минимальные требования к обслуживанию;
- описание ремонта, очистки и градуировки пробоотборника;

- предупреждения об известных проблемах, возникающих при использовании, например с ориентацией, механическими ударами;
- информация о запрете использования пробоотборников в некоторых условиях, например во взрывоопасной атмосфере, если таковые применяются.

8 Маркировка, контроль качества

8.1 Маркировка

На приборах для отбора проб аэрозоля должна быть несмываемая маркировка. На маркировке должно быть указано следующее:

- изготовитель;
- идентифицирующий код пробоотборника.

Для пробоотборников, оцененных по результатам испытаний первого или второго типа и соответствующих требованиям настоящего стандарта, на маркировке указывают номер настоящего стандарта и тип оценки.

8.2 Контроль качества

Изготовители должны следовать принятой программе обеспечения качества.

Приложение А
(обязательное)

Лабораторное испытание пробоотборников на соответствие нормативам по отбору проб

А.1 Общие положения

Целью лабораторных экспериментов является определение эффективности отбора проб как функции аэродинамического диаметра частиц в соответствующем диапазоне размеров частиц, а также как функции любых других важных параметров. Значения эффективности отбора проб сравнивают с заданным нормативом по отбору проб. Математическое моделирование применяют для оценки содержания частиц аэрозолей, уловленных в среде аэрозолей с идеальным логарифмически нормальным распределением частиц по размерам с использованием вычисленной эффективности пробоотборника и заданным нормативом по отбору проб. На основе этих данных оценивают смещение и прецизионность.

А.2 Метод испытаний

А.2.1 Общие положения

Эффективность отбора проб вычисляют, разделив значение содержания частиц аэрозоля, полученное на испытуемом приборе, на значение содержания частиц аэрозоля в окружающем воздухе. План эксперимента разрабатывают таким образом, чтобы надлежащее внимание было уделено случайному выбору и оценке основных влияний. Описание эксперимента и применяемую статистическую модель приводят в протоколе испытаний. Пример подходящего плана эксперимента приведен в приложении F.

А.2.2 Условия испытаний

Испытания пробоотборников, предназначенных для отбора вдыхаемой фракции частиц, проводят в аэродинамической трубе или аэрозольной камере. Индивидуальные пробоотборники для отбора вдыхаемой фракции, предназначенные для использования на открытом воздухе или в средах с сильной принудительной вентиляцией (т. е. при скорости ветра более 1 м/с), испытывают, закрепив их на манекене в натуральную величину или в условиях, для которых подтверждено получение эквивалентных результатов[1]. Положение манекена должно обеспечивать воспроизведение эффектов, вызванных присутствием головы и корпуса человека в натуральную величину, одетого в чистый хлопчатобумажный комбинезон или аналогичную одежду[2]. Размер и характеристики используемого манекена приводят в протоколе испытаний. Если пробоотборник испытывают в качестве индивидуального, то полученные результаты не применяют для его использования в качестве статического пробоотборника (и наоборот). Если по техническим причинам манекен использовать нельзя, то максимальная скорость ветра в аэродинамической трубе должна быть не более 2 м/с (например, не более 0,5 м/с, 1 м/с и 2 м/с), при этом ограничения по испытанию должны быть приведены в протоколе.

Для пробоотборников, предназначенных для улавливания торакальной или респирабельной фракции, эффективность отбора проб представляет собой комбинацию эффективности пробоотборника на входе и эффективности внутреннего разделения. Они могут быть получены в одном эксперименте, как описано выше, но при этом диапазон размеров частиц ограничен значениями, установленными для анализируемой фракции в таблице А.1. В качестве альтернативы эффективность отбора проб в этих случаях может быть определена на основе комбинирования результатов двух отдельных экспериментов: одного эксперимента по испытанию эффективности пробоотборника на входе, другого – по определению эффективности внутреннего разделения. Для испытаний по определению эффективности пробоотборника по входу применяют те же положения, что и для отбора вдыхаемой фракции, но при этом диапазон размеров частиц ограничен значениями, установленными для анализируемой фракции в таблице А.1. Испытания по определению эффективности разделения могут быть проведены в аэрозольной камере при низкой скорости потока воздуха с использованием изолированных пробоотборников.

А.2.3 Контролируемые влияющие факторы

А.2.3.1 Общие положения

Лабораторные испытания по определению эффективности отбора проб должны быть спланированы таким образом, чтобы количественно определить влияния тех факторов, которые по результатам критического анализа были признаны важными для испытуемого пробоотборника. В таблице А.1 приведен перечень наиболее важных влияющих факторов и отмечено, для каких факторов испытание обязательно (С), обязательно для пробоотборников некоторых типов или конкретных случаев применения (С*) или необязательно (О). Исключенные факторы должны быть четко идентифицированы в протоколе испытаний в разделе «Область применения».

---

[1] Для определения возможности применения другого способа, отличного от использования манекена, необходимо исследование.

[2] Примеры оценок характеристик индивидуальных пробоотборников для отбора вдыхаемой фракции приведены в работах Хиндса и Куо (1995), Кенни и др. (1997), Марка и Винсента (1986) и книге Винсента (1989), ссылки на которые указаны в библиографии.

В таблице А.1 также приведены диапазоны значений факторов, для которых проводят испытания, и число точек в этих диапазонах. В целом, выбранные значения не обязательно должны включать предельные значения диапазона, хотя в некоторых случаях устанавливают специальные требования. Если, исходя из плана эксперимента, необходимо выбрать, например состав тестового аэрозоля или тип пылеуловителя, то при критическом анализе рассматривают влияние сделанного выбора на пригодность результатов испытания для рутинного отбора проб.

Таблица А.1 — Контролируемые факторы

Фактор	Статус	Диапазон значений	Число точек	Раздел
Аэродинамический диаметр частиц	С С С	Вдыхаемая фракция от 1 до 100 мкм Торакальная фракция от 0,1 до 35 мкм Респирабельная фракция от 0,1 до 15 мкм	≥ 9, распределенных таким образом, чтобы были охвачены важные участки кривой эффективности	А.2.3.2
Скорость ветра	С С	В рабочей зоне только внутри помещений от 0 до 1 м/с В рабочей зоне внутри помещений или на открытом воздухе от 0 до 4,0 м/с	2: при скорости ветра ≤ 1 м/с 3: при скорости ветра 0,5 м/с, 1 м/с и 4 м/с	А.2.3.3
Направление ветра	С	Усредненное по всем направлениям	≥ 4 значений пошагово или непрерывное вращение пробоотборника	А.2.3.4
Состав аэрозоля	О	Фаза: твердая и/или жидкая Частицы известной формы	Выбирают подходящие материалы	А.2.3.5
Агломерация аэрозоля	О	Не агломерированная пыль; Высоко агломерированная пыль	Выбирают и документируют	А.2.3.5
Масса отобранного аэрозоля	О	Вплоть до массы, равной произведению: максимальное содержание × рассчитанный расход × время отбора проб	≥ 3	А.2.3.6
Заряд аэрозоля	О	Заряженный или нейтральный аэрозоль; Пробоотборник, изготовленный из токопроводящего или изоляционного материала	Выбирают и документируют	А.2.3.7
Изменчивость образцов пробоотборников	С*	Максимально возможное число пробоотборников в группе, но не менее шести образцов	—	А.2.3.8
Колебания расхода	С*	Рассчитанный расход ± 5 % при одной скорости ветра	3	А.2.3.9
Рабочие поверхности для улавливания частиц	О	Выбор материалов (например, фильтров, пористых материалов) и подробное описание любых применяемых способов обработки поверхности	—	А.2.3.10

С — обязательное
С* — обязательное для некоторых типов пробоотборников или конкретных случаев применения
О — необязательное

А.2.3.2 Размер частиц

Для испытания пробоотборников по отбору вдыхаемой фракции наибольший размер частиц должен быть не менее 90 мкм.

А.2.3.3 Скорость ветра

Диапазон значений скоростей ветра для «рабочей зоны на открытом воздухе» применяют для пробоотборников, используемых в помещениях с принудительной вентиляцией (при скорости потока воздуха более 1 м/с). Рекомендуемое в настоящем стандарте наибольшее значение скорости ветра может быть изменено, если при критическом анализе найдено более подходящее предельное значение в зависимости от предполагаемого использования пробоотборника.

А.2.3.4 Направление ветра

В соответствии с нормативом по отбору вдыхаемой фракции оценку влияния направления ветра получают усреднением отбора при вращении манекена или пробоотборников в ходе каждого испытания либо непрерывно, либо пошагово в четыре или более этапа. Для статических пробоотборников это требование может не соблюдаться, если пробоотборник сконструирован таким образом, что его входное отверстие всегда принимает наилучшее положение относительно ветра, или является одинаковым для всех направлений, или если отбор проб происходит в фиксированных положениях по отношению к источнику принудительной вентиляции.

А.2.3.5 Состав аэрозоля

При испытаниях пробоотборников для их классифицирования используют сферические или изометрические частицы (твердого вещества или жидкости). Степень агломерации тестового аэрозоля может быть проверена путем сравнения проб, отобранных с помощью двух приборов, одного, без разрушения агломератов (например, осадителя), и другого, в котором агломераты разрушаются (например, импактора).

А.2.3.6 Масса отобранного аэрозоля

Целью испытания является определение кривой зависимости эффективности пробоотборника от массы отобранных частиц аэрозоля, но не оценка погрешностей анализа. При проведении такого испытания выбирают максимальное содержание и время отбора проб, соответствующие предполагаемым целям измерения.

А.2.3.7 Заряд аэрозоля

Если пробоотборник изготовлен из материала, не проводящего электрический ток, то его испытание проводят с использованием электрически нейтрального аэрозоля. Однако результаты могут не отражать характеристику, получаемую при рутинном отборе проб, когда в воздухе присутствуют заряженные частицы аэрозоли. При проведении испытаний влияние электростатических зарядов должно быть по возможности уменьшено путем выбора пробоотборников, изготовленных из токопроводящих материалов, их тщательной очистки и заземления, если это указано в руководстве по эксплуатации.

А.2.3.8 Различие характеристик образцов пробоотборников одного типа

Испытание обязательно только для индивидуальных пробоотборников для отбора торакальной и респирабельной фракций. При испытаниях используют образцы оригинальных, серийно выпускаемых пробоотборников, но не их опытных образцов. Предпочтительно, чтобы используемые образцы пробоотборников были новыми; также должен быть установлен срок службы выбранных образцов. Если различие характеристик образцов пробоотборников будет незначимым, то получают, по крайней мере, шесть результатов испытаний, но испытания могут быть повторены и для одного и того же образца пробоотборника (см. 4.1).

А.2.3.9 Колебания расхода

Испытание обязательно только для пробоотборников для отбора торакальной и респирабельной фракций. Испытание для определения влияния расхода на отбор проб проводят при скорости ветра наиболее представительной для условий использования. Испытания для получения этой информации проводить не обязательно, если в опубликованной литературе имеются надежные данные.

А.2.3.10 Обработка поверхности

Примерами обработки поверхности являются смазывание и очистка материала для улавливания, нейтрализация фильтров и пористых материалов и очистка пробоотборника. Подбирают подходящие методы обработки поверхности и выбранные методы подробно описывают в инструкции по применению пробоотборника.

А.2.4 Требования к проведению экспериментов

Ниже приведены характеристики системы для проведения экспериментов.

А.2.4.1 Эксперименты проводят при температуре от 15 °С до 25 °С, давлении от 960 до 1050 гПа и относительной влажности от 20 % до 70 %, а если пробоотборник предназначен для использования в более жестких условиях, то условия испытания должны по возможности наиболее точно воспроизводить эти условия. Подробное описание условий окружающей среды, в которых проводят испытания, и реальные условия во время испытания приводят в протоколе испытаний.

А.2.4.2 Испытания можно проводить с полидисперсными или монодисперсными аэрозолями, или их комбинацией[1]. При использовании монодисперсных тестовых аэрозолей в результате единичного эксперимента получают одно значение эффективности отбора проб при одном значении аэродинамического диаметра. Отсюда следует, что необходимо использовать девять различных аэрозолей для получения значений эффективности, соответствующих девяти различным размерам частиц. Для каждого аэрозоля[2] определяют, в тех случаях, когда

---

[1] Примеры опубликованных оценок характеристик, полученных с использованием полидисперсных аэрозолей (обычно для пробоотборников для отбора респирабельной и торакальной фракций) приведены в публикациях, указанных в библиографии ([4], [8], [9], [10], [16], [18], [20] и [25]).

[2] См. например статью, ссылка на которую указана в библиографии [24].

это необходимо, поправочные коэффициенты для учета формы и плотности частиц. При использовании полидисперсного аэрозоля в результате одного эксперимента получают несколько значений эффективности отбора проб, соответствующих соседним значениям аэродинамического диаметра в пределах требуемого диапазона. Поправочные коэффициенты для учета плотности и формы частиц при их применении определяют как функции размера частиц.

А.2.4.3 Выбор аэрозоля зависит от доступности подходящего метода измерений аэродинамического диаметра частиц: он может быть определен любым методом с одной единственной, монотонной градуировочной характеристикой в соответствующем диапазоне размеров частиц. Должно быть приведено подробное описание методики градуировки, особенно если применяют поправочные коэффициенты для учета плотности, формы или других характеристик частиц тестового аэрозоля. Полученные значения аэродинамического диаметра должны быть применимы при ньютоновском характере течения, а их прецизионность (включая неопределенность любого используемого поправочного коэффициента) должна быть вычислена и приведена в протоколе испытаний.

А.2.4.4 В экспериментах по отбору проб респирабельной и торакальной фракций монодисперсность тестовых аэрозолей, определяемая через геометрические стандартные отклонения, не должна быть более 1,1. При отборе проб вдыхаемой фракции монодисперсность тестовых аэрозолей, определяемая через геометрические стандартные отклонения, не должна быть более 1,5. При использовании полидисперсных аэрозолей распределение частиц по размерам должно включать частицы с аэродинамическим диаметром, значительно превышающим самый большой диаметр, при котором должна определяться эффективность отбора, для того, чтобы при измерении погрешность находилась в установленных пределах[1].

А.2.4.5 Распределение частиц тестового аэрозоля в пространстве должно быть однородным и по размерам частиц и по содержанию. В некоторых случаях учитывают стабильность во времени. Содержание и распределение частиц аэрозоля по размерам во время испытаний должны быть тщательно выбраны для соответствия с ограничениями метода измерений аэродинамического диаметра и задокументированы. Распределение частиц аэрозоля по размерам и их содержание должны быть такими, чтобы погрешности анализа отобранного аэрозоля не были более 2 % их значений при анализе весовым или химическими методами и не более 1 % — при анализе методом счета частиц.

А.2.4.6 Содержание частиц аэрозоля в окружающем воздухе определяют с помощью отбора проб с использованием тонкостенных зондов с острой кромкой, работающих в изокинетическом режиме при испытании в аэродинамической трубе, или в псевдо-изокинетическом режиме при испытании в аэрозольной камере[2]. Зонды с острой кромкой размещают в представительных точках отбора проб в зоне, где находятся испытуемые пробоотборники, таким образом, чтобы можно было обнаружить изменения тестового аэрозоля в пространстве. Метод, используемый для вычисления эффективности пробоотборника, должен быть четко изложен, и в тех случаях, когда это возможно, должны учитываться изменения содержания частиц аэрозоля в пространстве и времени. Для метода, используемого для оценки содержания частиц аэрозоля в окружающем воздухе на основе результатов, полученных с помощью зонда с острой кромкой, должно быть доказано отсутствие смещения, а относительное стандартное отклонение оценок не должно быть более 10 %.

А.2.4.7 Действительные значения скорости ветра (или любых других параметров окружающей среды) во время испытаний не должны отличаться более чем на 10 % от заданного значения в зоне, где размещены образцы испытуемых пробоотборников. При использовании аэродинамической трубы ограничение потока воздуха манекеном или пробоотборниками не должно быть более 15 %. По возможности определяют и приводят в протоколе испытаний длину турбулентного участка и степень турбулентности в аэродинамической трубе; их значения должны быть постоянными для каждой из контролируемых скоростей ветра[3].

А.2.4.8 Несколько образцов пробоотборников могут быть испытаны вместе, если разместить их таким образом, что они не будут влиять друг на друга. Эксперимент планируют так, чтобы можно было изолировать пробоотборники и исключить любые влияния места размещения на результат эксперимента. Пробоотборники испытывают вместе с подходящими для них держателями; плоскость, в которой находится входное отверстие, должна быть ориентирована так же, как и при отборе проб в условиях применения. Места размещения пробоотборников и их ориентацию указывают в протоколе испытаний. Места размещения пробоотборников на манекене во время испытания должны быть представительными для места, где планируется их использование.

А.2.4.9 Протокол испытаний должен содержать подробное описание методов обработки и анализа проб, отбираемых во время испытаний, и методик очистки пробоотборников между отдельными экспериментами.

А.2.4.10 Пробоотборники испытывают вместе с подходящими для них насосами, при необходимости обслуживаемыми надлежащим образом. При испытаниях объемный расход тщательно настраивают, измеряют пузырьковым расходомером или газовым счетчиком и записывают. Используемые насосы должны соответствовать общим требованиям (ЕН 1232 или ЕН 12919) или требованиям, приведенным в 4.1, и любым более строгим

---

[1] Руководство по генерированию подходящих тестовых аэрозолей приведено в [31] — [32].

[2] См. пример, приведенный в публикации [2].

[3] Природа влияния турбулентности на характеристики пробоотборника в настоящее время не достаточно ясна, в документированные значения длины турбулентного участка и интенсивности турбулентности на нем позволят провести соответствующие исследования.

требованиям, установленным в руководстве по эксплуатации пробоотборника. Пробоотборники с встроенным насосом или побудителем расхода испытывают при тех же условиях потока, какие установлены для встроенного насоса или побудителя расхода.

А.3 Методы вычисления

А.3.1 Общие положения

Для вычисления точности пробоотборника необходимы значения оценок смещения и его неопределенности. В приложении F приведены примеры различных методов вычисления этих характеристик на основе экспериментальных данных; указаны ссылки на опубликованные статьи, содержащие рабочие примеры вычислений.

Экспериментальные данные — это значения содержания частиц аэрозоля, полученные с использованием испытуемого пробоотборника и пробоотборника, работающего в изокинетическом режиме, как функция аэродинамического диаметра частиц; подобные наборы данных могут быть доступны для ряда значений других факторов, таких как скорость ветра. В этом случае описанные вычисления должны быть повторены для каждого набора полученных значений эффективности для каждой контролируемой скорости ветра или другого влияющего фактора.

А.3.2 Обозначения и сокращения

$A(MMAD,GSD, D)$ — нормализованное логарифмически-нормальное распределение частиц аэрозоля по размерам с аэродинамическим диаметром, соответствующим массовой медиане распределения *MMAD*, и стандартным геометрическим отклонением размеров *GSD*;

D — аэродинамический диаметр;

$\overline{E}(D)$ — усредненная кривая эффективности отбора проб испытуемого пробоотборника;

$F(D)$ — целевой норматив по отбору проб;

$\overline{C}$ — среднее содержание уловленных частиц аэрозоля как доля их содержания в окружающем воздухе, полученное на испытуемом приборе для аэрозоля с распределением *A*;

C_{std} — содержание отобранного аэрозоля как доля содержания аэрозоля в окружающем воздухе, которое могло бы быть получено с использованием идеального пробоотборника с эффективностью *F(D)* для аэрозоля с распределением *A*;

Δ — смещение или относительная погрешность содержания аэрозоля, определенного с использованием испытуемого пробоотборника для аэрозоля с распределением *A*;

σ_Δ^2 — дисперсия оцененного смещения испытуемого пробоотборника для аэрозоля с распределением *A*;

ν_Δ — число степеней свободы оценки дисперсии смещения;

e_{ij} — экспериментально определенное значение эффективности для частиц с размером i (i = 1 до I при эксперименте j (j =1 до J);

q_{ij} — содержание частиц аэрозоля с размером i (i = 1 до I), отобранного с использованием испытуемого пробоотборника, при эксперименте j(j =1 до J);

h_{ij} — содержание частиц аэрозоля с размером i (i = 1 до I) в окружающем воздухе, оцененное на основе значений, полученных с использованием пробоотборника, работающего в изокинетическом режиме, при эксперименте j (j = 1 до J).

А.3.3 Определение эффективности отбора проб

Для всех размеров частиц и повторных экспериментов эффективность отбора проб вычисляют по формуле

$$e_{ij} = \frac{q_{ij}}{h_{ij}}. \qquad (A.1)$$

На основе отдельных значений e_{ij} с использованием подходящего метода определяют усредненную кривую зависимости эффективности отбора проб $\overline{E}(D)$. В приложении F приведены примеры двух различных методов. Если кривая согласуется с экспериментальными данными, то она должна быть приемлема с физической точки зрения, т. е. при значении аэродинамического диаметра 0 эффективность должна приближаться к 1, если неизвестно, что пробоотборник ведет себя иначе. Для кривой не должно наблюдаться несоответствие [6].

А.3.4 Вычисление содержания отобранного аэрозоля

Если $\overline{E}(D)$ — усредненная кривая эффективности отбора проб для испытываемого пробоотборника, то среднее содержание отобранных частиц аэрозоля $\overline{C}$ находят для каждого распределения частиц аэрозоля по размерам *A* вычислением интеграла по формуле

$$\overline{C} = \int_{D_{min}}^{D_{max}} A(MMAD, GSD, D)\, \overline{E}(D)\, dD. \qquad (A.2)$$

Числовое значение интеграла оценивают подходящим методом (например, методом интегрирования Ромберга, [26]) с погрешностью не более $1 \cdot 10^{-4}$. Пределы интегрирования D_{min} и D_{max} достигаются при значении A или $\overline{E}(D)$ не более $5 \cdot 10^{-4}$ или для вдыхаемой фракции при D_{max}, равном максимальному значению аэродинамического диаметра, полученного в экспериментах. См. также приложение F.

Если эффективность на входе и эффективность внутреннего разделения определяют в двух различных экспериментах, то умножают эффективность разделения $\overline{E}(D)$ на соответствующую измеренную эффективность на входе, $I(D)$. Заменяют $\overline{E}(D)$ в формуле (А.2) на это значение.

А.3.5 Вычисление содержания аэрозоля, отобранного идеальным пробоотборником

Содержание отобранного аэрозоля C_{std}, которое могло бы быть получено для распределения частиц аэрозоля по размерам A с использованием идеального прибора для отбора проб, вычисляют путем числового интегрирования по формуле (А.2), заменяя в ней измеренную эффективность отбора проб $\overline{E}(D)$ на соответствующий для испытуемого пробоотборника норматив по отбору проб $F(D)$ по формуле

$$C_{std} = \int_{D_{min}}^{D_{max}} A(MMAD, GSD, D)\, F(D)\, F(D)\, dD. \quad (A.3)$$

Пределы интегрирования должны быть такими же, как и в формуле (А.2).

А.3.6 Вычисление смещения характеристики пробоотборника

Для любого распределения частиц аэрозоля по размерам A смещение содержания отобранного аэрозоля вычисляют по формуле

$$\Delta = \frac{\overline{C} - C_{std}}{C_{std}}. \quad (A.4)$$

Вычисляют значения смещения для распределений частиц аэрозолей по размерам, приведенным в таблице А.2. Полученные значения смещения в виде таблицы приводят в протоколе испытаний, а также наносят на график, имеющий вид карты смещения, представляющей собой двухмерную диаграмму с *GSD* и *MMAD* на осях и точками с одинаковым смещением, соединенными для отображения контуров. Для каждой скорости ветра или других влияющих факторов строят свою диаграмму. При оценке характеристик пробоотборника (см. таблицу А.2) рассматриваемые распределения частиц аэрозоля по размерам должны быть отмечены на картах смещения.

А.3.7 Применение поправочного коэффициента

Если смещение приблизительно одинаково для всех рассматриваемых распределений частиц аэрозоля по размерам и для всех влияющих факторов, то смещение может быть уменьшено путем умножения всех значений содержания, полученных с помощью пробоотборника, на поправочный коэффициент $corr = (1+\Delta)^{-1}$ для получения лучшего соответствия нормативу по отбору проб. Если пробоотборник предполагается использовать таким образом, то смещение скорректированных результатов вычисляют по формуле

$$\Delta = \frac{\overline{C} \times corr - C_{std}}{C_{std}}. \quad (A.5)$$

Значение поправки приводят в протоколе испытаний пробоотборника. Для распределений частиц аэрозоля по размерам, установленным в А.3.6, строят новые карты смещения и наносят на них скорректированные смещения.

А.3.8 Вычисление неопределенности оцененного смещения пробоотборника

Неопределенность оцененного смещения распределения A частиц аэрозоля по размерам задается дисперсией смещения:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \frac{Var(\overline{C})}{C_{std}^2}. \quad (A.6)$$

Примеры методов вычисления $Var(\overline{C})$ приведены в приложении F. Дисперсию смещения вычисляют для распределения А частиц аэрозоля по размерам, установленных в А.3.6, а полученные значения в виде таблицы приводят в протоколе испытаний.

Число степеней свободы, при котором оценивается дисперсия смещения, ν_{Δ}, может быть принято равным N – p, где N — число повторных измерений для получения кривой эффективности, а p — число параметров, используемых для моделирования кривой эффективности. Примеры значений, взятых в качестве N и p, приведены в приложении F.

Если эффективность по входу и эффективность внутреннего разделения определяют в двух экспериментах, то дисперсии смещения в каждом эксперименте вычисляют отдельно, а затем суммируют по формуле

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_{\Delta\,(inlet)}^2 + \sigma_{\Delta\,(separation)}^2, \qquad (A.7)$$

где подстрочные индексы «inlet» («на входе») и «separation» («разделения») относятся к величинам, вычисленным в экспериментах по определению эффективности на входе и эффективности разделения соответственно.

А.3.9 Вычисление точности пробоотборника

Оценивают показатель точности пробоотборника, вычисляя одностороннюю 95%-ную доверительную границу абсолютного смещения Δ_{upper}, по формуле

$$\Delta_{upper} = 100\,(|\Delta| + t\,\sigma_{\Delta}), \qquad (A.8)$$

где t — значение для ν_{Δ} степеней свободы (см. А.3.7), превосходящее квантиль t-распределения Стьюдента при вероятности $\alpha = 0{,}05$;

$|\Delta|$ — абсолютное значение смещения, оцененное по А.3.6;

σ_{Δ} — оценено по А.3.8.

В настоящем стандарте показатель точности *Accuracy* равен Δ_{upper}.

Вычисляют значения показателя точности для распределений частиц аэрозоля по размерам, приведенных в таблице А.2. Полученные значения показателя точности в виде таблицы приводят в протоколе испытаний, а также наносят на график, имеющий вид карты показателя точности, представляющей собой двухмерную диаграмму, с *GSD* и *MMAD* на осях и точками с одинаковым значением показателя точности, соединенными для отображения контуров. Расстояние между контурами должно быть не более 10 %. Для каждой скорости ветра или других влияющих факторов строят свою диаграмму. При оценке характеристик пробоотборника (см. таблицу А.2) рассматриваемые распределения частиц аэрозоля по размерам должны быть отмечены на картах точности.

А.4 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать разделы в соответствии с приведенным ниже описанием.

А.4.1 Подробное описание испытательной лаборатории и финансирующей организации

Название и адрес испытательной лаборатории, перечисление персонала, выполняющего испытания, дата выполнения работ, название финансирующей организации.

А.4.2 Описание испытуемого пробоотборника

- наименование прибора;
- обобщенный тип, т. е. циклон, осадитель;
- норматив(ы) по отбору проб, на соответствие с которым проводится испытание;
- область применимости испытания и любые ограничения по применению пробоотборника в полевых условиях, обусловленные ограниченностью области применимости испытания;
- заводской номер, срок годности и предприятие — изготовитель испытуемых образцов.

А.4.3 Критический анализ отбора проб

(См. раздел 5)

- описание отбора проб испытуемым пробоотборником;
- факторы, влияющие на отбор проб;
- обоснование причин включения или исключения необязательных влияющих факторов, приведенных в таблице А.1.

А.4.4 Используемые лабораторные методы

Приводят подробное описание методов, используемых на всех этапах лабораторных испытаний, с приведением особых ссылок на методы, прослеживаемые к стандартам. Как правило в протоколе приводят:

a) схематичное изображение и описание испытательного оборудования, т. е. аэродинамической трубы или аэрозольной камеры, включая их размеры, с указанием месторасположения пробоотборников;

b) для аэродинамических труб подробное описание профилей скорости, мест ограничения потока и турбулентности;

c) для индивидуальных пробоотборников — описание манекена или другой конструкции для проведения эксперимента; местоположение и ориентация пробоотборников;

d) описание используемого(ых) тестового(ых) аэрозоля(ей) и системы их генерирования;

e) описание методов определения стабильности и однородности аэрозоля;

f) данные по распределению частиц аэрозоля по размерам;

g) описание градуировки приборов для определения аэродинамического диаметра;

h) погрешности определения аэродинамического диаметра;

i) описание референтного метода отбора проб;

j) подробное описание калибровки побудителя расхода пробоотборника;

k) подробное описание любых используемых внешних насосов;

l) значения температуры, давления и влажности во время испытаний;

m) описание методов анализа и погрешности анализа;

n) описание методов вычисления опорных значений содержания; относительные стандартные отклонения опорных значений содержания;

o) описание выбора и обработки пылеуловителей и процедур очистки пробоотборников.

А.4.5 Подробное описание плана эксперимента

В протоколе испытаний в виде таблицы приводят план эксперимента с указанием числа испытываемых образцов, размеров частиц тестового аэрозоля, внешних факторов, таких например, как скорость ветра и числа уровней для каждого фактора. Также указывают порядок, в котором фактически проводились эксперименты. В этом разделе протокола приводят подробное описание любых дополнительных экспериментов, таких например, как эксперимент по определению зависимости эффективности отбора проб от характеристик потока. Также в протоколе приводят подробное описание порядка проведения основного испытания.

А.4.6 Представление результатов экспериментов

Составляют таблицу, в которой приводят все значения эффективности пробоотборника, полученные при установленных значениях аэродинамических диаметров частиц, для всех образцов пробоотборников. В таблице(ах) должен быть подробно идентифицирован образец пробоотборника, положение манекена (если таковой применяется), скорость ветра и другие учитываемые факторы. Результаты дополнительных испытаний приводят в отдельной таблице.

А.4.7 Анализ результатов

В протоколе приводят описание методов вычисления смещения пробоотборника и дисперсии смещения, а результаты вычислений сводят в таблицу. Диаграммы смещения и показателя точности пробоотборника как функций параметров распределения частиц аэрозолей по размерам приводят для каждой установленной при испытании скорости ветра или другого фактора.

А.4.8 Характеристики пробоотборника

Выявляют распределения частиц аэрозоля по размерам и скорость ветра, при которых пробоотборник дает оценку истинного содержания, завышенную или заниженную более чем на 10 %.

Выявляют распределения частиц аэрозоля по размерам и скорости ветра (или другие параметры окружающей среды), при которых пробоотборник работает с требуемой точностью (см. 4.2).

Определяют любые поправочные коэффициенты, которые применяют для значений содержания, полученных с помощью пробоотборника.

Определяют любые специальные ограничения рабочих характеристик пробоотборника.

Таблица А.2 — Распределения частиц по размерам, необходимые для оценки характеристик пробоотборников аэрозолей

MMAD	*GSD*									
	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0
1	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
2	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
3	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
4	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
5	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
6	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
7	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
8	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
9	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
10	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
11	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
12	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
13	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
14	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
15	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
16	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
17	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I

Продолжение таблицы А.2

MMAD	GSD									
	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0
18	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
19	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
20	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
21	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
22	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
23	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
24	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
25	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I
26	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I	
27	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I	R, T, I		
28	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I	R, T, I		
29	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I			
30	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	R, T, I			
31	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I				
32	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I				
33	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I	T, I				
34	I	T, I	T, I	T, I	T, I					
35	I	T, I	T, I	T, I	T, I					
36	I	T, I	T, I	T, I	T, I					
37	I	T, I	T, I	T, I						
38	I	T, I	T, I	T, I						
39	I	I	T, I	T, I						
40	I	I	T, I	T, I						
41	I	I	T, I							
42	I	I	T, I							
43	I	I	T, I							
44	I	I	T, I							
45	I	I								
46	I	I								
47	I	I								
48	I	I								
49	I	I								
50	I	I								

Окончание таблицы А.2

R = респирабельные фракции
T = торакальные фракции
I = вдыхаемые фракции

Область значений *MMAD* и *GSD*, приведенная в этой таблице, включает распределения частиц аэрозоля по размерам, представляющих наибольший интерес для отбора проб аэрозолей в воздухе рабочей зоны. Критерии по включению конкретного распределения частиц по размерам для респирабельной, торакальной или вдыхаемой фракций следующие:

1) Более 84 % массы аэрозоля определяется частицами с аэродинамическим диаметром не более 100 мкм, т. е. *MMAD* × *GSD* составляет не более 100;

2) В случае респирабельной и торакальной фракций, масса фракции, представляющей интерес, составляет, по крайней мере, 5 % общей массы аэрозоля. Существует 362 распределения частиц по размеру, представляющих интерес для пробоотборников вдыхаемой фракции, 333 — для пробоотборников торакальной фракции и 224 — для пробоотборников респирабельной фракции.

Приложение В
(обязательное)

Лабораторные сравнительные испытания

В.1 Основные положения

Прибор для определения содержания пыли испытывают совместно с референтным пробоотборником. Оба прибора помещают в среду с одними и теми же тестовыми аэрозолями в аэродинамической трубе или аэрозольной камере, а испытания повторяют в заданных условиях, соответствующих предполагаемому применению испытуемого прибора. Затем сравнивают значения содержания, полученные на разных приборах. Результаты, полученные на испытуемом приборе, должны согласовываться в установленных пределах с результатами, полученными с помощью референтного пробоотборника.

Принципиальное отличие этого метода от метода испытаний, приведенного в приложении А, состоит в том, что при лабораторном сравнении не определяют кривую эффективности пробоотборника и, следовательно, испытуемый прибор не может быть напрямую проверен на соответствие нормативам по отбору проб, установленным в ЕН 481. Это означает, что, проводя это испытание, невозможно вычислить показатель точности или суммарную неопределенность испытуемого прибора для любого произвольно выбранного распределения частиц аэрозоля по размерам, не примененного в испытаниях. Выбор тестовых аэрозолей и условий испытаний является особенно важным, поскольку они будут ограничивать область применения прибора в полевых условиях.

В.2 Метод испытаний

В.2.1 Общие положения

Значения содержания аэрозоля, полученные с использованием испытуемого пробоотборника, делят на значения содержания аэрозоля, полученные с использованием референтного пробоотборника, (см. определения испытуемого и референтного пробоотборников в разделе 3). План эксперимента продумывают таким образом, чтобы особое внимание было уделено случайному выбору и оценке основных влияющих факторов. План и приведенную в нем статистическую модель описывают в протоколе испытаний.

В.2.2 Условия испытаний

Испытания с аэрозолем проводят в аэродинамической трубе или аэрозольной камере с подходящим источником генерирования аэрозолей[1)]. Содержание аэрозоля должно быть однородным в месте проведения измерений, где размещены пробоотборники. Испытательная установка должна обеспечивать изменение контролируемых факторов в соответствии с требованиями В.2.3. Испытания по проверке температурной стабильности датчика пыли с прямым отсчетом показаний проводят в климатической камере, в которой температура может изменяться в соответствии с требованиями В.2.3. Испытуемые индивидуальные пробоотборники для отбора вдыхаемой фракции, предназначенные для использования на открытом воздухе или в средах с интенсивной принудительной вентиляцией (т. е. при скорости ветра более 1 м/с), сравнивают с референтными пробоотборниками, для которых было подтверждено соответствие требованиям в этих условиях. Предпочтительно оба пробоотборника (испытуемый и референтный) установить на один и тот же манекен и провести испытание в одно и тоже время. Размер и характеристики материала используемого манекена указывают в протоколе испытаний. Альтернативные методы испытаний могут быть применены, если было доказано, что они дают аналогичные результаты[2)]. Положение манекена должно воспроизводить эффекты, вызванные присутствием человека, т. е. его голова и корпус, одетый в чистый хлопчатобумажный комбинезон или аналогичную одежду[3)]. Если пробоотборник испытывают в качестве индивидуального, то полученные результаты не применяют для его использования в качестве статического пробоотборника в среде с большой скоростью ветра (и наоборот). Если по техническим причинам манекен использовать нельзя, то скорости ветра в аэродинамической трубе должны быть не более 2 м/с (например, не более 0,5 м/с, 1 м/с и 2 м/с), а ограничения по испытанию приводят в протоколе.

В.2.3 Контролируемые влияющие факторы

В.2.3.1 Общие положения

Сравнительные испытания должны включать те влияющие факторы, которые отмечены как важные для испытуемого прибора. В таблице В.1 приведен перечень наиболее важных факторов и отмечено, для каких из них испытание обязательно (С), обязательно для приборов некоторых типов или конкретных случаев применения (С*) или необязательно (О). Исключенные факторы с обоснованием причины исключения указывают в разделе протокола испытаний, где приведена область их применения.

[1)] Полезные указания по генерированию подходящих тестовых аэрозолей приведены в [31] — [33].

[2)] Для того чтобы выяснить, каким способом, кроме использования манекена, это может быть осуществлено, необходимо провести исследование.

[3)] Примеры оценок характеристик индивидуальных пробоотборников для отбора вдыхаемой фракции приведены в работах [12], [24] и [30].

В таблице В.1 приведены диапазоны значений факторов, для которых проводят испытания, и число точек в этих диапазонах. Обычно, выбранные значения не обязательно должны включать предельные значения диапазона, хотя в некоторых случаях устанавливают специальные требования. Если, исходя из плана эксперимента, необходимо выбрать, например материалы, используемые для генерирования тестовых аэрозолей, то при критическом анализе рассматривают влияние сделанного выбора на пригодность результатов испытания для рутинного отбора проб.

Испытания по определению зависимости содержания аэрозоля от размера частиц проводят при фиксированных значениях всех остальных факторов (например, только при одной скорости ветра, являющейся наиболее представительной для условий использования). Испытания по определению зависимости от других факторов проводят только с одним тестовым аэрозолем.

Для каждого сочетания условий эксперимента получают шесть параллельных результатов. Шесть параллельных результатов могут быть получены при выполнении испытаний последовательных испытаний или одновременного испытания группы образцов пробоотборников, если это позволяют размеры испытательного оборудования и пробоотборников (В.2.4.4).

Таблица В.1 — Контролируемые влияющие факторы

Фактор	Статус	Диапазон значений	Число контролируемых точек в диапазоне	Пункт
Аэродинамический диаметр частиц	С С С	Вдыхаемая фракция от 1 до 100 мкм Торакальная фракция от 0,1 до 35 мкм Респирабельная фракция от 0,1 до 15 мкм	≥ 3 полидисперсных аэрозолей, выбранных так, чтобы был охвачен соответствующий диапазон	В.2.3.2
Скорость ветра	С С	В рабочей зоне только внутри помещений от 0 до 1 м/с В рабочей зоне внутри помещений или на открытом воздухе от 0 до 4,0 м/с	2: при скорости ветра ≤ 1 м/с 3: при скорости ветра 0,5 м/с, 1 м/с и 4 м/с	В.2.3.3
Направление ветра	С	Усредненное по всем направлениям	непрерывное вращение пробоотборника или ≥ 4 значений пошагово	В.2.3.4
Состав аэрозоля	С*	Показатель преломления, форма и цвет частиц	Выбирают подходящие материалы	В.2.3.5
Агломерация аэрозоля	О	Не агломерированная пыль; Высоко агломерированная пыль	Выбирают и документируют	В.2.4.2
Масса отобранного аэрозоля	О	Вплоть до массы, равной произведению: максимальное содержание × рассчитанный расход × время отбора проб	3	В.2.3.6
Температурная стабильность	С*	Диапазон температуры от 0 °С до 40 °С	5	В.2.3.7
Стабильность во времени	С*	Максимальная продолжительность периода отбора проб — вплоть до восьми часов	≥ 6	В.2.3.8

С — обязательное.
С* — обязательное для некоторых типов пробоотборников или конкретных случаев применения.
О* — необязательное.

В.2.3.2 Размер частиц

Выбирают порошки, подходящие для генерирования трех полидисперсных тестовых аэрозолей. При отборе проб торакальной и респирабельной фракций процент массы частиц, содержащихся в торакальной и респирабельной фракции (соответственно), должен составлять приблизительно 10 % для первого аэрозоля, 50 % — для второго и 90 % — для третьего. При отборе проб вдыхаемой фракции аэродинамические диаметры, соответству-

ющие массовой медиане распределения частиц тестовых аэрозолей, должны хорошо отличаться друг от друга и по крайней мере, 85 % массы аэрозоля должны приходится на частицы с аэродинамическим диаметром не более 100 мкм.

В.2.3.3 Скорость ветра

Диапазон значений скорости ветра для «рабочей зоны на открытом воздухе» также применяют для пробоотборников, используемых в помещениях с принудительной вентиляцией (при скорости потока воздуха более 1 м/с). Рекомендуемое в настоящем стандарте наибольшее значение скорости ветра может быть изменено, если при критическом анализе найдено более подходящее верхнее предельное значение в зависимости от предполагаемого использования пробоотборника.

В.2.3.4 Направление ветра

В соответствии с определением норматива по вдыхаемой фракции влияние направления ветра должно быть усреднено путем вращения пробоотборников в ходе каждого испытания либо непрерывно, либо пошагово в четыре или более приема. Для статических пробоотборников может быть сделано исключение из этого правила, если пробоотборник сконструирован таким образом, что его входное отверстие всегда принимает наилучшее положение относительно внешнего ветра или является одинаковым для всех направлений, или если отбор проб происходит в фиксированных положениях по отношению к источнику принудительной вентиляции.

В.2.3.5 Состав аэрозоля

Испытание является обязательным только для проботоборников с прямым отсчетом показаний, основанных на принципе светорассеяния. Выбирают несколько образцов порошка разного цвета и/или с разными показателями преломления, но приблизительно с одинаковым распределением частиц по размерам.

В.2.3.6 Масса отобранного аэрозоля

Целью испытания является определение зависимости отклика пробоотборника от массы отобранного аэрозоля, но не оценка погрешностей анализа. При проведении такого испытания выбирают максимальное содержание и время отбора проб, соответствующие предполагаемым целям измерения.

В.2.3.7 Температурная стабильность

Испытание обязательно только для приборов с прямым отсчетом показаний. Для испытания подбирают различные диапазоны температуры, наиболее приближенные к условиям, в которых будет эксплуатироваться прибор. Помещают прибор в климатическую камеру и записывают его выходной сигнал при нулевом содержании пыли по мере изменения температуры внутри камеры с шагом в 10 ?С. Повторяют испытание при заданном ненулевом содержании искусственной пыли, близком к значению из середины предполагаемого диапазона значений содержания для прибора.

В.2.3.8 Стабильность во времени

Испытание обязательно только для приборов с прямым отсчетом показаний. Испытание проводят в нормальных лабораторных условиях. При нулевом содержании пыли снимают показания прибора через, по крайней мере, шесть равных интервалов времени, распределенных по периоду измерения максимальной продолжительности (обычно 8 ч). Испытание повторяют при ненулевом содержании искусственной пыли, близком к значению из середины предполагаемого диапазона значений содержания для прибора.

В.2.4 Требования к экспериментам

Испытательная установка должна удовлетворять следующим требованиям.

В.2.4.1 Эксперименты должны проводиться при температуре от 15 °С до 25 °С, давлении от 960 до 1050 гПа и относительной влажности от 20 % до 70 %, а если пробоотборник предназначен для использования в более жестких условиях, то условия испытания должны по возможности воспроизводить эти условия. Подробное описание окружающей среды, в которой проводят испытания, и реальные условия во время испытания приводят в протоколе испытаний.

В.2.4.2 Соответствие требованиям к массовому распределению частиц тестового аэрозоля должно быть проверено путем отбора проб аэрозоля в точке, где проводят измерение. Степень агломерации тестового аэрозоля проверяют путем сличения проб, отобранных с использованием двух приборов, одного, предотвращающего разрушение агломератов (например, отстойника), и другого, в котором агломераты разрушаются (например, импактора).

В.2.4.3 При проведении испытаний в аэродинамической трубе или аэрозольной камере распределение частиц по размерам и содержание тестовых аэрозолей должно быть однородным и по размерам частиц и по содержанию. Содержание аэрозоля и время отбора проб должны быть достаточными, чтобы погрешность анализа составляла не более 2 %. Однородность должна быть достаточной, чтобы погрешности оценок содержания, определенного с использованием референтного пробоотборника, были несмещенными с относительным стандартным отклонением не более 10 %. Расстояние до источника пыли и вертикальное направление входных отверстий должно быть одинаковым для испытуемого и референтного пробоотборников.

В.2.4.4 Действительные значения скорости ветра (или любого другого параметра окружающей среды) во время испытаний не должны отличаться от заданного значения более чем на 10 % в зоне, где размещены образцы пробоотборников. В аэродинамической трубе запирание потока воздуха приборами должно составлять не более 15 %. По возможности определяют и приводят в протоколе испытаний длину турбулентного участка и степень турбулентности в аэродинамической трубе; их значения должны быть постоянными для каждой из контролируемых скоростей ветра.

В.2.4.5 Несколько образцов приборов могут быть испытаны вместе, если разместить их таким образом, что они не будут влиять друг на друга. Эксперимент планируют так, чтобы можно было изолировать приборы и исключить любые влияния места размещения на результат эксперимента. Приборы испытывают вместе с соответствующими для них держателями; плоскость, в которой находится входное отверстие должна быть ориентирована так же, как и при отборе проб в условиях применения. Места размещения приборов и их ориентацию указывают в протоколе испытаний.

В.2.4.6 В протоколе испытаний приводят подробное описание методов обработки и анализа проб, отбираемых во время испытаний, и методик очистки приборов между отдельными экспериментами.

В.2.4.7 Приборы испытывают вместе с подходящими для них насосами, при необходимости обслуживаемыми надлежащим образом. При испытаниях объемный расход тщательно настраивают, измеряют пузырьковым расходомером или газовым счетчиком и записывают. Используемые насосы должны соответствовать общим требованиям (ЕН 1232 или ЕН 12919) или требованиям, приведенным в 4.1, и любым более строгим требованиям, установленным в руководстве по эксплуатации прибора. Приборы с встроенным насосом или побудителем расхода испытывают при тех же условиях потока, какие установлены для встроенного насоса или побудителя расхода.

В.3 Методы вычисления

В.3.1 Обозначения и сокращения

X_i — i-ое значение содержания (i = 1 до 6), полученное на испытуемом приборе, при заданном контролируемом факторе (например, тестовом аэрозоле, скорости ветра);

Y_i — i-ое значение содержания (i = 1 до 6), полученное с использованием референтного пробоотборника, при заданном контролируемом факторе (например, тестовом аэрозоле, скорости ветра);

R_i — отношение i-ого значения содержания, полученного на испытуемом приборе, к i-ому значению содержания, полученному с использованием референтного пробоотборника, вычисляемое по формуле

$$R_i = \frac{X_i}{Y_i}.$$

В.3.2 Распределение отношений

Для каждого контролируемого фактора, например вида тестового аэрозоля, скорости ветра, вычисляют среднее геометрическое (GM_R) шести отношений R_i:

$$\ln GM_R = \frac{1}{6}\sum_i \ln R_i. \qquad (B.1)$$

Вычисляют геометрическое стандартное отклонение (GSD_R) для шести отношений R_i, по формуле

$$\ln GSD_R = \left(\frac{1}{5}\sum_i (\ln R_i - \ln GM_R)^2\right)^{\frac{1}{2}}. \qquad (B.2)$$

В.3.3 Поправочный коэффициент

Допустимо использовать только один поправочный коэффициент (*Corr*), кроме случаев использования приборов с прямым отсчетом показаний на основе принципа рассеяния света, в которых могут быть применены корректировочные функции. При использовании поправочного коэффициента или корректировочной функции их выбирают таким образом, чтобы максимально увеличить число факторов, определяющих условия испытания, при которых (после введения поправочного коэффициента) получают удовлетворительные характеристики. При последующем использовании прибора при измерении содержания частиц аэрозолей поправочный коэффициент или корректировочная функция должны быть применены ко всем результатам измерений. Значение любого поправочного коэффициента, вид функции, отклонение и зависимость от любой используемой корректировочной функции указывают в протоколе испытаний.

В.3.4 Точность

Показатель точности пробоотборника вычисляют по формуле

$$Accuracy = 100\left\{\left|GM_R \cdot Corr - 1\right| + 2(GSD_R - 1)\right\}. \qquad (B.3)$$

Если для прибора не используют поправочный коэффициент или корректировочную функцию, то *Corr* = 1,0.

В.3.5 Температурная стабильность

Для каждого контролируемого фактора (т. е. нулевого и ненулевого показания) вычисляют средний выходной сигнал прибора, как среднее арифметическое показаний при различных значениях температуры. Вычисляют разность между каждым отдельным значением и средним значением, в процентах от среднего значения.

В.3.6 Стабильность во времени

Для каждого контролируемого фактора (т. е. нулевого и ненулевого показания) вычисляют средний выходной сигнал прибора, как среднее арифметическое показаний, снятых в разное время. Вычисляют разность между каждым отдельным значением и средним значением, в процентах от среднего значения.

В.4 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать разделы в соответствии с приведенным ниже описанием.

В.4.1 Подробное описание испытательной лаборатории и финансирующей организации

Название и адрес испытательной лаборатории, перечень персонала, выполняющего испытания, дата выполнения работ, название финансирующей организации.

В.4.2 Описание испытуемого и референтного пробоотборников

- наименования приборов;
- обобщенный тип, т. е. циклон, осадитель;
- норматив по отбору проб для референтного пробоотборника;
- область применимости испытания и любые ограничения по применению пробоотборников в полевых условиях, обусловленные ограниченностью области применимости испытания;
- заводской номер, срок годности и предприятие — изготовитель испытуемых образцов.

В.4.3 Критический анализ отбора проб (см. раздел 5)

- описание отбора проб испытуемым пробоотборником;
- факторы, влияющие на отбор проб.

В.4.4 Испытательное оборудование

Приводят подробное описание оборудования, используемого на всех этапах лабораторных испытаний, с указанием особых ссылок на средства измерений, прослеживаемые к эталонам. Протокол обычно должен включать:

a) схематичное изображение и описание испытательного оборудования, т. е. аэродинамической трубы или аэрозольной камеры, включая их размеры, с указанием месторасположения пробоотборников;

b) подробное описание профилей скорости, ограничений потока для аэродинамических труб и уровней турбулентности;

c) описание плана эксперимента; местоположение и ориентация пробоотборников;

d) описание используемого(ых) тестового(ых) аэрозоля(ей), в том числе распределение частиц по размерам, и описание системы их генерирования;

e) описание методов определения стабильности и однородности аэрозоля;

f) проверка соответствия распределения частиц аэрозоля по массам установленным требованиям;

g) подробное описание градуировки пробоотборника в отношении характеристик потока;

h) подробное описание любых используемых внешних насосов;

i) подробное описание температуры, давления и влажности во время испытаний;

j) описание методов анализа и погрешностей анализа;

k) описание методик очистки.

В.4.5 Подробное описание плана эксперимента

В протоколе испытаний в виде таблицы приводят план эксперимента с указанием числа испытуемых образцов, вида тестовых аэрозолей, внешних факторов, таких как скорость ветра, и числа уровней для каждого фактора. Указывают порядок, в котором фактически проводились эксперименты. Также в этом разделе протокола приводят подробное описание любых дополнительных экспериментов.

В.4.6 Анализ результатов

Сводят в одну таблицу результаты экспериментов и вычислений для каждого условия испытаний. Если для прибора вычисляли корректировочный коэффициент или функцию, об этом делают запись в протоколе. Также приводят описание вычислений стабильности по температуре и стабильности во времени для приборов с прямым отсчетом показаний.

В.4.7 Характеристики испытуемого пробоотборника

- Выявляют условия испытаний, при которых пробоотборник дает оценку истинного содержания, завышенную или заниженную более чем на 10 %.
- Выявляют условия испытаний, при которых пробоотборник работает с требуемой точностью.
- Для пробоотборников с прямым отсчетом показаний определяют, соответствует ли испытуемый пробоотборник требованиям по температурной стабильности и стабильности во времени.
- Определяют любые поправочные коэффициенты, которые применяют для значений содержания аэрозольных частиц, полученных с помощью пробоотборника.
- Определяют любые специальные ограничения по использованию пробоотборника, например условия, при которых он не соответствует требованиям настоящего стандарта.

В.4.8 Заключение и информация для пользователя

В конце протокола испытаний приводят заключение, в котором описывают область применения испытаний и их основные результаты. Также указывают характеристики пробоотборника и ограничения по его использованию. Описывают любые известные трудности, возникающие при рутинном использовании пробоотборника.

Приложение С
(справочное)

Рекомендуемая методика сравнения пробоотборников в условиях применения

С.1 Общие положения

Настоящее приложение предназначено в большей степени для пользователей приборов, чем для их изготовителей. В приложении описан метод, рекомендуемый для установления эквивалентности испытуемого прибора и референтного пробоотборника в конкретной рабочей зоне. Определения терминов «испытуемый прибор» и «референтный пробоотборник» приведены в разделе 3. Испытуемый прибор — это пробоотборник аэрозолей или любой другой прибор для измерения содержания частиц аэрозолей, в том числе такой, в котором при измерении в действительности не происходит отбор проб. Эквивалентность двух методов устанавливают с целью обеспечения для пользователей приборов возможности проводить скрининговые или периодические измерения содержания пыли с использованием приборов, которые не прошли лабораторные испытания в соответствии с настоящим стандартом. Референтный и испытуемый пробоотборники должны быть оба либо индивидуальными, либо статическими. Методы, описанные в настоящем приложении, не применяют для сравнений индивидуальных пробоотборников со статическими и наоборот.

Анализ результатов сравнения в условиях применения проводят с использованием корректировочной функции, связывающей значения содержания аэрозоля, полученные с использованием испытуемого и референтного пробоотборников соответственно. При последующем использовании испытуемого пробоотборника в условиях, для которых применима корректировочная функция, полученные результаты преобразуют с помощью корректировочной функции. Вид корректировочной функции будет зависеть как от свойств аэрозоля, находящегося в воздухе при проведении испытания, т. е. его состава, содержания, распределения частиц по размерам, их формы, цвета, показателя преломления, заряда и т. д., так и от условий окружающей среды, задаваемых при проведении испытания, т. е. скорости ветра, температуры, давления, влажности и т. д. Корректировочная функция будет специфической для вида деятельности в рабочей зоне, учитываемой при сравнении, и не может быть признана пригодной для других условий.

В настоящем приложении рекомендованы критерии, на основании которых преобразованные результаты, полученные с помощью испытуемого пробоотборника, признают эквивалентными результатам, полученным с помощью референтного пробоотборника. Если степень эквивалентности неудовлетворительна при сравнении, то это, скорее всего, обусловлено учетом слишком широкого диапазона видов деятельности, а не неудовлетворительными характеристиками пробоотборников. Поэтому сравнительные испытания повторяют для более строго определенной группы лиц, подверженных воздействию загрязненного воздуха, или видов деятельности, пока не будет получена соответствующая степень эквивалентности. В некоторых рабочих зонах особенности производственного процесса и его организация могут быть таковы, что сделать это будет невозможным.

С.2 Методика сравнения

С.2.1 Общие положения

Парные результаты измерений получают с использованием референтного и испытуемого пробоотборников, экспонированных в среде одного и того же аэрозоля. Число полученных пар результатов измерений должно быть по возможности максимальным, но не меньше 10. Измерения должны охватывать диапазон свойств аэрозоля, содержания частиц аэрозолей и условий окружающей среды, наблюдающихся в местах отбора проб, и быть получены, по крайней мере, в течение двух дней (хотя предпочтительно для большего числа дней)[1].

Референтный и испытуемый пробоотборники должны работать в соответствии с указаниями, приведенными в руководстве по эксплуатации для каждого из них. Любые отклонения от этих указаний приводят в протоколе сравнения. Признают действительными и рассматривают при анализе результатов только те пробы, которые были получены в соответствии с документированными рабочими процедурами.

С.2.2 Сравнение индивидуальных пробоотборников

На каждом выбранном работнике референтный и испытуемый пробоотборники размещают обычным образом (например, в области плеча/лацкана/воротничка). Пробоотборники размещают как можно ближе друг к другу, но так, чтобы они не оказывали взаимного влияния и не возникало отклонений от их обычных положений. Важно размещать референтный и испытуемый пробоотборники случайным образом, чтобы избежать смещения результатов, связанного с положением при измерении.

С.2.3 Сравнение статических пробоотборников

Входные отверстия референтного и испытуемого пробоотборников размещают как можно ближе друг к другу, но так, чтобы они не оказывали взаимного влияния. Все пробоотборники, для которых критично направление входного отверстия, располагают одинаково по отношению к внешним потокам воздуха.

---

[1] Примеры результатов сравнения приборов для отбора проб аэрозолей в условиях применения приведены в опубликованных статьях [27] — [28].

Опорные значения содержания частиц аэрозолей на входе или в чувствительной зоне испытуемого пробоотборника могут быть получены путем усреднения результатов, полученных с помощью нескольких референтных пробоотборников. Одним из примеров реализации этого подхода является размещение испытуемого пробоотборника в центре равностороннего треугольника, а трех референтных пробоотборников — в его вершинах. Если испытания проводят с использованием пар пробоотборников, расположенных в различных местах, то при каждом испытании меняют их расположение, чтобы избежать смещения результатов, связанных с положением.

С.2.4 Периодическая валидация

Эквивалентность двух методов периодически проверяют путем сравнения небольшого числа результатов, вновь полученных с использованием испытуемого и референтного пробоотборников. Если результаты эксперимента показывают, что корректировочная функция в дальнейшем не может быть применена или если происходит изменение вида деятельности в рабочей зоне, то сравнительные испытания следует повторить по полной программе. Если новые пары результатов сравнительных испытаний адекватно описываются предыдущей корректировочной функцией, то ее следует периодически обновлять путем комбинирования вновь полученных и существующих данных.

С.3 Методы вычислений

С.3.1 Обозначения и сокращения

X_i — i-ое значение содержания (i = 1 до n), полученное с использованием испытуемого пробоотборника;

Y_i — i-ое значение содержания, полученное с использованием референтного пробоотборника;

$y = f(x)$ — корректировочная функция, связывающая содержания, полученные с использованием испытуемого пробоотборника, с содержаниями, полученными с использованием референтного пробоотборника;

n — число пар значений содержания частиц аэрозоля, полученных при сравнении в условиях применения;

R_i — отношение i-ого преобразованного значения содержания, полученного с использованием испытуемого пробоотборника, к i-ому значению содержания, полученному с использованием референтного пробоотборника, вычисляемое по формуле

$$R_i = \frac{Y_i^*}{Y_i}, \text{ где } Y_i^* = f(X_i).$$

С.3.2 Оценка корректировочной функции

Вычисляют логарифмы значений X_i, Y_i и строят графическую зависимость для пар $\ln(X_i)$ и $\ln(Y_i)$. Функциональную зависимость $y = f(x)$ между значениями содержания частиц аэрозоля, полученными с использованием испытуемого и референтного пробоотборников, получают на основе логарифмических данных по известной методике статистической обработки результатов, описание которой приводят в протоколе испытаний. Получить конкретную функциональную зависимость можно, например методом наименьших квадратов для криволинейной регрессии (см. например [6]). Полученная корректировочная функция должна быть монотонной в том диапазоне измерений, в котором ее будут впоследствии использовать. Корректировочную функцию представляют в виде графика, на котором отмечают парные результаты. Значения параметров корректировочной функции и их неопределенности приводят в протоколе испытаний.

С.3.3 Исключение выбросов

Из последующего анализа исключают пары результатов сравнительных испытаний с отношениями R_i более 2,5 при условии, что a) из каждых 10 пар точек не исключают больше одной пары результатов; и b) в итоге должно остаться, по крайней мере, 10 не исключенных точек.

С.3.4 Остаточная неопределенность после преобразования результатов с помощью корректировочной функции

Вычисляют среднее геометрическое (GM_R) для отношений R_i по формуле

$$\ln GM_R = \frac{1}{n}\sum_i \ln R_i. \qquad (C.1)$$

Вычисляют среднее геометрическое стандартное отклонение (GSD_R) для отношений R_i по формуле

$$\ln GSD_R = \left(\frac{1}{n-1}\sum_i (\ln R_i - \ln GM_R)^2\right)^{\frac{1}{2}}. \qquad (C.2)$$

Если какие-либо выпадающие точки были исключены в соответствии с С.3.3, то n изменяют соответствующим образом.

С.3.5 Эквивалентность

Степень эквивалентности двух методов считают приемлемой, если:

- $GSD_R \leq 1{,}3$ для последующих измерений при содержаниях > 0,5 LV;
- $GSD_R \leq 1{,}5$ для последующих измерений при содержаниях ≤ 0,5 LV,

где LV — соответствующее предельно допустимое значение для определяемого вещества.

С.4 Документация

Рекомендуется документировать методику сравнения в соответствии с положениями приведенными ниже.

С.4.1 Общие положения

Приводят перечень персонала, выполняющего испытания, и дату выполнения работы.

С.4.2 Описание испытуемого и референтного пробоотборников

Приводят:

- наименования пробоотборников;
- обобщенный тип, т. е. циклон, отстойник;
- норматив по отбору проб для референтного пробоотборника;
- описание градуировки референтного пробоотборника в отношении расхода;
- описание способа отбора проб с использованием испытуемого пробоотборника;
- факторы, влияющие на измерение.

С.4.3 Критический анализ отбора проб

(См. раздел 5)

Приводят:

- описание способа отбора проб с использованием испытуемого пробоотборника;
- факторы, влияющие на измерение.

С.4.4 Сравнительные испытания пробоотборников в условиях применения

Приводят:

- описание места, в котором проводили сравнительные испытания, и учитываемых видов деятельности;
- описание свойств исследуемого аэрозоля, т. е. состав, содержание, распределение частиц по размеру, их форма, цвет, показатель преломления, заряд и т. д.;
- описание параметров окружающей среды в месте проведения испытаний, т. е. скорости ветра, температуры, давления, влажности и т. д.

С.4.5 Подробное описание плана эксперимента

В протоколе испытаний в виде таблицы приводят план эксперимента с описанием мест размещения пробоотборников во время отбора проб, указанием продолжительности периодов отбора проб, даты, а также числа полученных пар результатов. Приводят подробное описание методов определения содержания частиц аэрозоля, полученного с использованием испытуемого и референтного пробоотборников.

С.4.6 Анализ результатов

Результаты представляют в графической форме, приводя корректировочную функцию, построенную на основе полученных данных. Приводят описание методики получения корректировочной функции.

С.4.7 Эквивалентность

- устанавливают параметры корректировочной функции и их неопределенность;
- устанавливают среднее геометрическое и геометрическое стандартное отклонение отношений R_i;
- устанавливают диапазон значений содержания, в котором испытуемый и референтный пробоотборники рассматривают как эквивалентные.

Приложение D
(обязательное)

Испытания по проверке влияния обработки и транспортирования

D.1 Общие положения

В настоящем приложении описаны лабораторные испытания, выполняемые для воспроизведения случаев небрежного обращения с аэрозольными пробоотборниками, которые могут возникнуть при практическом использовании. В результате небрежного обращения уловленные частицы могут переместиться с материала для улавливания (фильтра, пористого материала, осаждающей поверхности) на стенки пробоотборника. Это может произойти при снятии индивидуального пробоотборника с одежды работника, а также при транспортировании любых пробоотборников с места отбора проб в лабораторию. Переворачивание пробоотборников с селективным отбором фракций по размеру частиц может привести к загрязнению фракций мелких частиц крупными частицами.

D.2 Методика испытаний

D.2.1 Общие положения

Это испытание относится к укомплектованным пробоотборникам и материалам для улавливания частиц, изъятым из пробоотборников и помещенным в специальные контейнеры для транспортирования в лабораторию. Если полностью собранный пробоотборник слишком велик для проведения этого испытания, то часть, содержащую материал для улавливания частиц, перед испытанием вынимают из пробоотборника. В зависимости от размера пробоотборников требуемые результаты могут быть получены последовательно или одновременно.

D.2.2 Испытательное оборудование

Установка, используемая для воспроизведения воздействий при транспортировании и обращении с пробоотборниками, представляет собой лабораторное вибрационное устройство со столиком, совершающим круговые движения в горизонтальной плоскости. Диаметр кругового движения должен составлять от 19 до 25 мм, частота вращения — 300 мин$^{-1}$. Предельно допускаемая масса испытуемого образца должна быть не менее 10 кг. Для загрузки частиц на материалы для улавливания перед проведением испытания необходимы аэрозольная камера и подходящий генератор пыли.

Для взвешивания материалов с уловленными частицами требуются аналитические весы с погрешностью отсчета не более 0,01 мг.

D.2.3 Установка пробоотборников

Для воспроизведения потенциального перемещения частиц при обращении с пробоотборником индивидуальные пробоотборники устанавливают на столик вибрационного устройства, ориентируя их таким же образом, как и во время отбора проб (т. е. если пробоотборники были закреплены на работнике входным отверстием вниз, то во время испытания их ориентируют таким же образом). Испытание применимо только для индивидуальных пробоотборников.

Для воспроизведения перемещения частиц при транспортировании проб из рабочей зоны в лабораторию пробоотборники с отобранной материалами для улавливания частиц пылью ориентируют запыленными поверхностями в направлении, соответствующем их транспортированию (обычно вверх). Если при обычном режиме транспортирования материалы для улавливания частиц с отобранной пылью помещают в специальные канистры или контейнеры, то и при испытании материалы с отобранной пылью должны находиться в канистре или контейнере. Это испытание проводят для индивидуальных и статических пробоотборников.

D.2.4 Тестовые аэрозоли и метод загрузки материалов для улавливания частиц

Материалы для улавливания должны быть загружены до массы отобранных частиц, соответствующей массовой концентрации приблизительно 10 мг/м^3 при улавливании вдыхаемой фракции или массовой концентрации приблизительно 5 мг/м^3 при улавливании респирабельной и торакальной фракций, в течение 8 ч при расчетном расходе. Расход и содержание при испытании могут быть увеличены для сокращения времени, необходимого для загрузки материала для улавливания. Действительная загруженная масса должна быть меньше заданной массы не более, чем на 10 %, но может быть и больше нее. Загрузку материалов для улавливания проводят в аэрозольной камере или аэродинамической трубе с использованием подходящего оборудования для превращения в пыль свободного от агломератов аэрозоля. Тестовый аэрозоль получают путем тщательного перемешивания порошка, составленного из равных масс образцов Duralum® марки F1200, F800 и F400 или Aloxite®[1]. Для удаления влаги порошок помещают на ночь в сушильный шкаф с температурой 60 °С.

D.2.5 Метод испытаний

Испытание включает следующие этапы:

а) кондиционирование материалов для улавливания частиц (включая по крайней мере три холостые пробы) в помещении для взвешивания до установления постоянного значения массы;

---

[1] Aloxite® и Duralum® — алоксит и дюраль соответственно; торговые наименования плавленого глинозема и дюралюминиевого сплава.

b) взвешивают материалы для улавливания частиц и устанавливают их в пробоотборники;

c) устанавливают пробоотборники в аэрозольную камеру и экспонируют их в среде аэрозоля в течение времени и при расходе, достаточных для получения требуемой массы частиц на материале для улавливания;

d) очищают внешние поверхности пробоотборников; изымают материалы для улавливания и кондиционируют их в помещении для взвешивания до установления постоянного значения массы;

e) повторно взвешивают материалы для улавливания частиц для определения массы собранных частиц; отбраковывают значения масс меньше приемлемого значения;

f) аккуратно повторно загружают взвешенные материалы для улавливания частиц в загрязненные пробоотборники или контейнеры для транспортирования;

g) помещают пробоотборники или контейнеры для транспортирования на столик вибрационного стенда и испытывают в течение 30 мин при частоте 300 $мин^{-1}$;

h) изымают материалы для улавливания частиц, повторно их кондиционируют до постоянного значения массы и взвешивают;

i) получают результаты, по крайней мере, для десяти образцов материалов для улавливания частиц и трех чистых образцов.

D.3 Методы вычислений

D.3.1 Вычисляют среднее изменение массы чистого пробоотборника.

D.3.2 Для каждого из десяти образцов материалов для улавливания частиц с отобранной пылью вычисляют разницу массы образца до и после испытания и вносят в него поправку, вычитая среднее изменение массы чистого образца. Полученное значение изменения массы выражают в процентах от значения массы до проведения испытания.

D.4 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать разделы в соответствии с приведенным ниже описанием.

D.4.1 Подробное описание испытательной лаборатории и финансирующей организации

Название и адрес испытательной лаборатории, перечень персонала, выполняющего испытания, дата выполнения работ, название финансирующей организации.

D.4.2 Описание испытуемого пробоотборника и материала для улавливания частиц

В протоколе указывают:

- наименование и тип пробоотборника (т. е. статический или индивидуальный, а также метод разделения частиц по размеру, если таковой используется);
- описание отбираемой фракции аэрозоля;
- тип материала для улавливания частиц, т. е. фильтр, пористый материал, смазанная пластинка; информацию о применении кассеты;
- описание контейнеров для транспортирования, если таковые используются;
- заводской номер, срок годности и предприятие — изготовитель испытуемых образцов.

D.4.3 Описание методов испытаний и используемых материалов

Приводят подробное описание оборудования и методов испытаний. Также приводят:

- технические характеристики лабораторного встряхивателя с платформой;
- подробное описание системы генерирования тестовых аэрозолей и загрузки материала для улавливания частиц.

D.4.4 Результаты

В виде таблицы приводят значения изменения массы, в процентах, для 10 образцов материалов с собранными частицами и 3 чистых образцов. Проверяют, выполняются ли требования 4.1 (см. таблицу 1).

D.4.5 Заключение

В конце протокола испытаний приводят заключение, в котором описывают область применения испытаний и их основные результаты. Описывают любые возникшие трудности, выявленные в ходе испытания, связанные с рутинным использованием пробоотборника, особенно при транспортировании материалов для улавливания с отобранной пылью. Описывают любые ограничения по средствам, используемым для транспортирования или обработки, потребовавшиеся для выполнения требований настоящего стандарта.

Приложение Е
(обязательное)

Вычисление суммарной неопределенности

Е.1 Общие положения

Для проверки соответствия характеристик метода отбора проб основным требованиям (см. ЕН 482), рассматривают весь процесс измерения, частью которого является отбор проб аэрозоля. Для этого необходимо объединить известные или оцененные смещение и прецизионность анализа проб со смещением и неопределенностью отбора проб. Определение смещения результатов анализа и прецизионности не входит в область применения настоящего стандарта, но в настоящем приложении приведен метод, с помощью которого эти величины могут быть скомбинированы, если они известны.

Более подробное описание оценки характеристик в целом приведено в опубликованных статьях [3], [11] и [13].

Е.2 Определение относительной суммарной неопределенности

Относительную суммарную неопределенность измерения *OU*, в процентах, как комбинацию смещения и прецизионности вычисляют по формуле (см. ЕН 482)

$$OU = \frac{\left|\overline{x} - x_{ref}\right| + 2\sigma_{(n-1)}}{x_{ref}} 100 = (\left|bias\right| + 2RSD)100, \qquad (E.1)$$

где $\overline{x}$ — среднее значение n результатов повторных измерений;

x_{ref} — истинное или принятое опорное значение;

$\sigma_{(n-1)}$ — стандартное отклонение n повторных измерений;

$$\left|\overline{x} - x_{ref}\right| = \left|bias\right|; \quad \frac{2\sigma_{(n-1)}}{x_{ref}} = 2RSD.$$

Определение смещения приведено в Е.3, а определение *RSD* — в Е.4.

Е.3 Объединение смещений отбора проб и анализа

Если отбор проб и анализ являются смещенными, то суммарное смещение измерения вычисляют по формуле

$$(1 + bias) = (1 + bias_{sampler})\ (1 + bias_{analysis}), \qquad (E.2)$$

где $bias_{sampler}$ — смещение отбора проб;

$bias_{analysis}$ — смещение анализа.

Смещение отбора проб эквивалентно характеристики неопределенности Δ, вычисляемой по формуле (А.4). Следует отметить, что значение этой характеристики обычно сильно зависит от гранулометрического состава частиц отбираемого аэрозоля и может зависеть от других факторов, таких как скорость ветра. Приблизительные значения, подходящие для воздуха рабочей зоны, где проводят отбор проб, берут из таблиц или карт смещения, приведенных в протоколе испытаний пробоотборника (см. приложение А).

Смещение анализа определяют экспериментально, и оно может также зависеть от ряда факторов, в том числе от содержания аэрозоля и гранулометрического состава частиц.

Е.4 Комбинирование прецизионности отбора проб и анализа

Дисперсии комбинируют, суммируя их квадраты

$$RSD^2 = RSD^2_{sampler} + RSD^2_{flow} + RSD^2_{analysis}, \qquad (E.3)$$

где $RSD^2_{sampler}$ — квадрат относительного стандартного отклонения отбора проб аэрозоля, который может быть приблизительно приравнен дисперсии смещения σ^2_Δ, вычисляемой по формуле (А.6);

RSD^2_{flow} — квадрат относительного стандартного отклонения отбора проб аэрозоля, связанный с нестабильностью расхода, $RSD_{flow} = \frac{\sigma_{flow}}{x_{ref}}$;

$RSD^2_{analysis}$ — квадрат относительного стандартного отклонения отбора проб аэрозоля, связанный с изменчивостью анализа, $RSD_{analysis} = \frac{\sigma_{analysis}}{x_{ref}}$.

Следует отметить, что относительные стандартные отклонения вычисляют относительно истинного значения x_{ref}.

Значение $RSD^2_{sampler}$ обычно сильно зависит от гранулометрического состава частиц улавливаемого аэрозоля и может зависеть от других факторов, таких как скорость ветра. Приблизительные значения, относящиеся к воздуху рабочей зоны, где проводят отбор проб, берут из таблиц σ^2_Δ ($\equiv RSD_{sampler}$), приведенных в протоколе испытаний пробоотборника (см. приложение А).

В случае пробоотборников аэрозолей, для которых не характерна взаимосвязь между характеристиками разделения частиц по размерам и объемным расходом, погрешность, вызванная его нестабильностью, может быть просто оценена, по крайней мере, при малых изменениях расхода. В ЕН 1232 установлена максимальная допускаемая погрешность объемного расхода, равная 5 %. Полагая, что это условие выполняется для 99,9 % случаев, коэффициент изменчивости содержания отбираемого аэрозоля в зависимости от расхода будет приблизительно равен 0,05/3, т. е. RSD_{flow} = 0,0167. Если между характеристиками разделения частиц по размерам и объемным расходом существует взаимосвязь, например в случае пробоотборников циклонного типа, то погрешность, связанная с изменчивостью расхода, может быть вычислена при условии, что известен вид зависимости эффективности отбора проб от расхода. См. например [4] .

Вариацию результатов анализа оценивают экспериментально с учетом всех этапов, начиная с отбора проб и заканчивая получением результата. Она может зависеть от ряда факторов, в том числе от содержания аэрозоля и гранулометрического состава частиц.

Приложение F
(справочное)

Анализ результатов определения эффективности отбора проб

F.1 Введение

В настоящем приложении приведен пример соответствующего плана экспериментов для оценок характеристик пробоотборника 1-го типа (см. раздел 6) и рассмотрены способы анализа экспериментальных данных. Выбор метода анализа данных зависит в первую очередь от того используются ли в лабораторном эксперименте монодисперсные или полидисперсные аэрозоли. В настоящем приложении описаны два альтернативных метода вычислений, известные под названиями метод *кусочно-линейной аппроксимации* и метод *подбора кривой*. Применительно к испытаниям с использованием монодисперсных аэрозолей используют любой из этих методов, а для испытаний с использованием полидисперсных тестовых аэрозолей предпочтительно использовать метод *подбора кривой*. В экспериментах с использованием монодисперсного аэрозоля обычно получают небольшое число результатов, из-за чего метод подбора кривой может оказаться сложным для практического применения.

Описанные упрощенные методы обработки данных о характеристиках аэрозольного пробоотборника позволяют оценить пробоотборники в заданных лабораторных условиях, хотя результаты не обязательно будут отражать характеристики в условиях применения. Ссылки на опубликованные статьи [4], [7], [15] и [21], в которых приведены рабочие примеры этих двух и других методов анализа данных о характеристиках аэрозольного пробоотборника, указаны в библиографии.

F.2 Пример сбалансированного плана эксперимента

В таблице F.1 приведен план эксперимента, в котором s образцов пробоотборников испытывались при i значениях диаметра частиц в серии из r запусков. Он может быть частью более масштабного эксперимента, в котором приведенный план повторяется для различных параметров условий окружающей среды, таких как скорость ветра.

Таблица F.1 — Пример сбалансированного плана эксперимента

Диаметр	Запуск 1		Запуск 2		Запуск 3	
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x	x
9	x	x	x	x	x	x

Этот план может быть реализован несколькими способами. Например, при испытании с использованием полидисперсных тестовых аэрозолей в эксперименте одновременно будут участвовать частицы всех i диаметров, а s образцов пробоотборников будут испытаны последовательно, т. е. в этом случае $r = s$. При испытании с использованием монодисперсных тестовых аэрозолей в эксперименте будут участвовать частицы одного из i диаметров, а образцы пробоотборников будут испытаны либо группами, как показано в таблице, либо последовательно. В одном предельном случае все s образцов пробоотборников могут быть испытаны вместе (т. е. $r = 1$); в другом — один образец пробоотборника может быть повторно испытан много раз (т. е. $s = 1$). Если существует вероятность наличия значительных различий между образцами пробоотборников, то число испытуемых образцов s должно быть по возможности максимальным.

F.3 Анализ результатов определения эффективности отбора проб методом кусочно-линейной аппроксимации

F.3.1 Оценка среднего содержания уловленного аэрозоля

Необработанные данные (значения эффективности) это значения e_{ij}, где индекс i обозначает аэродинамический диаметр частиц (i = 1 до I), а j — номер результата при заданном диаметре (j = 1 до J). Повторные экспери-

менты могут быть осуществлены за счет испытания нескольких образцов пробоотборников или за счет многократного испытания одного и того же образца, как описано в F.2, т. е. они не обязательно должны быть правильно идентифицированы. Среднее значение эффективности при каждом значении диаметра D_i вычисляют по формуле

$$\hat{E}_i = \frac{1}{J}\sum_j e_{ij}. \qquad (F.1)$$

Это точечная оценка кривой эффективности отбора проб $\overline{E}(D)$ при аэродинамическом диаметре частиц $D = D_i$. Кусочно-линейная аппроксимация для оценки среднего нормализованного содержания $\overline{C}$ произвольного аэрозоля с распределением $A(D)$ (см. формулу А.2) может быть вычислена по формуле трапеций или с использованием других способов интегрирования:

$$\overline{C} \approx \sum_{i=1}^{I} W_i \hat{E}_i, \qquad (F.2)$$

где $W_i = \dfrac{A_i + A_{(i+1)}}{2}$, $i \neq 1$;

$W_1 = A_1 + \dfrac{A_2}{2}$;

$A_i = \int_{D_{(i-1)}}^{D_i} A(D)\,dD$.

Для вычисления первого и последнего весового коэффициентов W_1 и W_I экстраполируют результаты для получения значения E при $D = 0$ и D при $E = 0$. В приведенном примере принято, что E при $D = 0$ равно E при D_1; а значение D, при котором $E = 0$, находят путем продолжения линии, проходящей через точки, соответствующие двум наибольшим диаметрам. Следует отметить, что экстраполяция в области больших диаметров не обязательна при анализе данных, полученных для пробоотборника для улавливания вдыхаемой фракции.

F.3.2 Статистическая модель

Значения эффективности e_{ij} анализируют в соответствии с моделью

$$e_{ij} = \mu_i + \beta_i + \varepsilon_{ij}, \qquad (F.3)$$

где μ_i — истинное среднее значение эффективности пробоотборника при диаметре частиц $D = D_i$

β_i — систематическое отклонение от истинного среднего значения эффективности, связанное с неопределенностью содержания, полученного с использованием референтного пробоотборника при каждом значении диаметра;

ε_{ij} — случайная погрешность эксперимента, учитывающая изменчивость расхода и различия между образцами пробоотборников.

Кусочно-линейная аппроксимация для оцененного среднего значения содержания [формула (А.2)] может быть вычислена по формуле

$$\overline{C} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\frac{W_i}{J}(\mu_i + \beta_i + \varepsilon_{ij}) = \sum_{i=1}^{I} W_i \mu_i + \sum_{i=1}^{I} W_i \beta_i + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\frac{W_i}{J}\varepsilon_{ij}. \qquad (F.4)$$

Дисперсию среднего содержания, $Var(\overline{C})$, учитывающую составляющие, обусловленные случайными погрешностями и неопределенностью содержания, полученного с использованием референтного пробоотборника при каждом значении диаметра, вычисляют по формуле

$$Var(\overline{C}) \approx \hat{\sigma}_\varepsilon^2 \sum_{i=1}^{I}\frac{W_i^2}{J} + \frac{RSD_{ref}^2}{r}\sum_{i=1}^{I} W_i^2\,\hat{E}_i^2, \qquad (F.5)$$

где $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ — оцененная остаточная дисперсия значений эффективности;

RSD_{ref} — оцененное относительное стандартное отклонение значений содержания, полученного с использованием референтного пробоотборника;

r — число экспериментов при каждом значении диаметра.

При обработке результатов таким способом полагают, что остаточная дисперсия и дисперсия содержания, полученного с использованием референтного пробоотборника, не зависят от диаметра частиц. Если это не подтверждается, то можно использовать более сложные методы обработки данных (см. [15]). Число степеней свободы оцененной дисперсии смещения, получаемой методом кусочно-линейной аппроксимации, может быть принято равным $\nu_\Delta = J - 1$.

F.4 Метод подбора кривой

Полагают, что линейная комбинация небольшого числа P функций $E_p(D)$ может адекватно описать эффективность отбора проб. Комбинации функций $E_p(D)$ могут быть получены, например методом наименьших квадратов для нелинейной регрессии. Для каждого образца пробоотборника s регрессия значений эффективности отбора проб e_{ij} определяется оценками параметров $\hat{\theta}_{ps}$:

$$e_{ij} = \sum_{p=1}^{P} \hat{\theta}_{ps} E_p(D_i) + \varepsilon_{ij}. \qquad (F.6)$$

Случайные погрешности эксперимента ε_{ij} полагают нормально распределенными с нулевым средним значением и одинаковым распределением для всех диаметров частиц. В противном случае регрессия может быть выполнена методом наименьших квадратов с весами или соответствующего преобразования значений эффективности. Кривую эффективности для образца пробоотборника s оценивают по формуле

$$\hat{E}_s(D) = \sum_{p=1}^{P} \hat{\theta}_{ps} E_p(D), \qquad (F.7)$$

которую используют для оценки среднего значения содержания $\overline{C}_s$ для образца s, сделав замену в формуле (А.2).

Оцененное среднее содержание для пробоотборника конкретного типа представляет собой значение, усредненное по содержаниям, полученным для нескольких образцов пробоотборников, взвешенное в соответствии с числом значений эффективности для каждого образца по формуле

$$\overline{C} = \sum_{s} \frac{N_s}{N} \overline{C}_s , \qquad (F.8)$$

где N_s — общее число значений эффективности, полученных для образца пробоотборника s, а $N = \Sigma N_s$.

Дисперсия оцененного среднего содержания может быть оценена напрямую используя весы, равные числу измерений эффективности для каждого образца пробоотборника:

$$Var(\overline{C}) = \sum_{s} \frac{N_s}{N} (\overline{C}_s - \overline{C})^2 . \qquad (F.9)$$

Число степеней свободы дисперсии смещения, оцененной методом подбора кривой, может быть принято равным $\nu_\Delta = N - p$, где p — число параметров, используемых при подборе кривых для значений эффективности. Более подробное описание обработки данных методом подбора кривой приведено в [15].

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ЕН 481	—	*
ЕН 482	—	*
ЕН 1232	—	*
ЕН 1540	—	*
ЕН 12919	—	*

* 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.

Библиография

[1] ISO 3534-1 Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: Probability and general statistical terms (ИСО 3534-1:1993, Статистика. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Термины, используемые в теории вероятности, и общие статистические термины)

[2] Aitken, R. J., Baldwin, P. E. J., Beaumont, G. C., Kenny, L. C. and Maynard, A. D. (1999). Aerosol inhalability in very low winds. J. Aerosol Sci., 30(5), 613—626

[3] Bartley, D. L. and Fischbach, T. J. (1993) Alternative approaches for analyzing sampling and analytical methods. Appl. Occup. Environ. Hyg., 8(4), 381—385

[4] Bartley, D.L., Chen, C-C., Song, R., Fischbach, T. J. (1994). Respirable aerosol sampler performance testing. AIHA Journal, 55(11), 1036

[5] Demange M, Gendre J. C., Herve-Bazin B, Carton B, Peltier A (1990). Aerosol evaluation difficulties due to particle deposition on filter holder inlet walls. Ann. Occup. Hyg 34(4), 399—403

[6] Draper, N and Smith, H (1981). Applied Regression Analysis. ISBN 0-471-02995-5, John Wiley, New York

[7] Fabriès, J-F. (1990). Simulation of particle size selective samplers placed in a polydisperse aerosol. Aerosol Sci. Tech. 12, 673—685

[8] Görner, P, Fabriès, J-F and Wrobel, R (1994). Thoracic fraction measurement of cotton dust. J. Aerosol Sci., 25 Suppl. 1, 487

[9] Görner, P, Witschger, O and Fabriès, J-F (1996). Annular aspiration slot entry efficiency of the CIP-10 aerosol sampler. The Analyst, 121(1), 1257—1260

[10] Gudmundsson, A and Lidèn, G (1997). Determination of cyclone model variability using a time-of-flight instrument. Aerosol Sci. Tech., 28(3), 197—214

[11] Gunderson, E. C. and Anderson, C. C. (1980). Development and validation of methods for sampling and analysis of workplace toxic substances. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health, Pub no. 80—133

[12] Hinds, W.C. and Kuo, T-L (1995). A low velocity wind tunnel to evaluate inhalability and sampler performance for large dust particles. Appl. Occup. Environ. Hyg., 10(6), 549—556

[13] Kennedy, E.R, Fischbach, T. J., Song, R., Eller, P. M. and Shulman, S. M. (1996). Summary of the NIOSH guidelines for air sampling and analytical method development and evaluation. The Analyst, 121(1), 1207—1214

[14] Kenny, L. C (1995). Pilot study of CEN protocols for the performance testing or workplace aerosol sampling instruments. Final report to the European Commission, produced as Health and Safety Laboratory report no. IR/L/DS/95/18, available from author

[15] Kenny, L.C. and Bartley, D.L. (1995). The performance evaluation of aerosol samplers tested with monodisperse aerosols. J. Aerosol Sci., 26(1), 109—126

[16] Kenny, L.C. and Gussman, R.A. (1997). Characterisation and modeling of a family of cyclone aerosol preseparators. J. Aerosol. Sci., 28(4), 677-688

[17] Kenny, L.C., Aitken, R, Chalmers, C., Fabries, J-F, Gonzalez-Fernandez, E., Kromhout, H., Lidén, G., Mark, D., Riediger, G. and Prodi, V. (1997). Outcome of a collaborative European study of personal inhalable sampler performance. Ann. Occup. Hyg. 41, 2, p. 135—154

[18] Lidén, G. and Gudmundsson, A. (1997). Optimization of a cyclone to the 1993 international sampling convention for respirable dust. Appl. Occ. Env. Hyg., 11(12), 1398—1408

[19] Lidén, G. and Kenny, L.C. (1994). Errors in inhalable dust sampling for particles exceeding 100 micrometres. Ann. Occup. Hyg. 38(4), 373—384

[20] Lidén, G. and Kenny, L.C. (1991). Comparison of respirable dust sampler penetration curves with sampler conventions. Ann. Occup. Hyg., 35(5), 485-504

[21] Lidén, G. and Kenny, L.C. (1992). The performance of respirable dust samplers: Bias, precision and inaccuracy. Ann. Occup. Hyg., 36(1), 1—22

[22] Lidén, G., (1993). Evaluation of SKC personal sampling cyclones. Appl. Occup. Env. Hyg., 8(3), 179-190

[23] Mark D., Vincent J.H. and Witherspoon W.A. (1985). Applications of Closely-Graded Powders of Fused Alumina as Test Dusts for Aerosol Studies. J. Aerosol Sci., 16, 125—131

[24] Mark D., Vincent J.H. (1986). A new personal sampler for airborne total dust in workplaces. Ann. Occup. Hyg., 30(1), 89—102

[25] Maynard, A.D. and Kenny, L.C. (1995). Sampling efficiency determination for three models of personal cyclone, using an Aerodynamic Particle Sizer. J. Aerosol. Sci., 26(4), 671—684

[26] Press, W.H., Flannery, B.P, Teukolsky, S.A. and Vetterling, W.T (1989) Numerical Recires in Pascal. Cambridge University Press

[27] Vaughan, N.P, Chalmers, C.P, Botham, R.A (1990). Field comparison of personal samplers for inhalable dust. Ann. Occup. Hyg. 34, 553—573

[28] Verva D.K, Sebestyen A, Julian J.A, Muir D.C.F (1992). Field comparison of respirable dust samplers. Ann. Occup. Hyg. 36(1), 23—34

[29] Werner, V.F, Srear, T.M and Vincent, J.H (1996). Investigation into the impact of introducing workplace aerosol standards based on the inhalable fraction. The Analyst, 121(1), 1207—1214

[30] Vincent, J.H (1989). Aerosol Sampling — Science and Practice. John Wiley, ISBN 0 471 92175-0

[31] VDI 2066 Particulate matter measurement; measuring of particulate matter in flowing gases,. Available from Beuth Verlag GmbH, Berlin

[32] VDI 3489 Method s for characterizing and monitoring test aerosols. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4. Available from Beuth Verlag GmbH, Berlin

[33] VDI 3491 Characteristics of suspended particulate matter in gases. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4. Available from Beuth Verlag GmbH, Berlin

УДК 504.3:006.354 ОКС 13.040.30 Т 58

Ключевые слова: Воздух, рабочая зона, твердые частицы, аэрозоли, прибор, пробоотборник, характеристики, требования, методы испытаний

Редактор *А. В. Маркин*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Н. И. Гаврищук*
Компьютерная верстка *З. И. Мартыновой*

Сдано в набор 18.07.2011. Подписано в печать 01.09.2011 Формат 60×84 $^{1}/_{8}$. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,12 Уч.-изд. л. 4,61. Тираж 141 экз. Зак. 786.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.