ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70378.2— 2023

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля

Часть 2

Методика испытаний в лабораторных условиях, основанная на определении эффективности отбора проб

(EN 13205-2:2014, NEQ)
(CEN/TR 13205-3:2014, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха» (АО «НИИ Атмосфера») совместно с Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД»)

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 15 сентября 2023 г. № 869-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений европейского стандарта ЕН 13205-2:2014 «Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля. Часть 2. Методика испытаний в лабораторных условиях, основанная на определении эффективности отбора проб» (EN 13205-2:2014 «Workplace exposure — Assessment of sampler performance for measurement of airborne particle concentrations — Part 2: Laboratory performance test based on determination of sampling efficiency», NEQ) и европейского документа CEN/TR 13205-3:2014 «Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля. Часть 3. Анализ результатов определения эффективности отбора проб» (CEN/TR 13205-3:2014 «Workplace exposure — Assessment of sampler performance for measurement of airborne particle concentrations — Part 3: Analysis of sampling efficiency data», NEQ)

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ЕН 13205—2010 в части приложений A и F

6 Некоторые элементы настоящего стандарта могут являться объектами патентных прав

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

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения и обозначения 2
5 Основные положения 6
6 Методика испытаний 6
6.1 Общие положения 6
6.2 Условия испытаний 7
6.3 Контролируемые влияющие величины 7
7 Требования к условиям испытаний 10
8 Вычисление систематического отклонения от норматива по отбору проб и расширенной неопределенности измерений 12
8.1 Общие положения 12
8.2 Определение эффективности отбора проб 13
8.3 Вычисление систематического отклонения от норматива по отбору проб 13
8.4 Вычисление расширенной неопределенности 17
9 Протокол испытаний 26
9.1 Общие положения 26
9.2 Сведения об испытательной лаборатории и заказчике испытаний 26
9.3 Сведения об испытуемом пробоотборнике 26
9.4 Критический анализ отбора проб 27
9.5 Испытательное оборудование, методики и условия испытаний 27
9.6 Подробное описание плана эксперимента 27
9.7 Представление результатов измерений 28
9.8 Методы вычислений и анализ результатов измерений 28
9.9 Характеристики испытуемого пробоотборника 28
9.10 Отчет о лабораторных сравнительных испытаниях 28
9.11 Краткое заключение для пользователя пробоотборника 28
Приложение А (обязательное) Анализ результатов определения эффективности отбора проб 29
Библиография 32

Введение

Нормативы по отбору проб различных фракций частиц в воздухе рабочей зоны для оценки их воздействия на здоровье людей приведены в ГОСТ Р ИСО 7708. Нормативы установлены для вдыхаемой, торакальной и респирабельной фракций аэрозоля. Данные нормативы представляют собой условные характеристики аэрозольных пробоотборников в виде идеальной эффективности отбора проб как функции аэродинамического диаметра частиц.

В большинстве случаев эффективность отбора проб для реальных пробоотборников будет отличаться от идеальной и, следовательно, масса отобранных аэрозольных частиц будет отличаться от массы, которую можно было получить с применением идеального пробоотборника. Кроме того, на работу реальных пробоотборников влияют различные величины, например скорость потока воздуха в рабочей зоне. Как правило, существует взаимосвязь между влияющими величинами и распределением частиц аэрозоля по размерам в воздухе рабочей зоны, где предполагается применять пробоотборник.

В настоящем стандарте, ГОСТ Р 70378.4 и ГОСТ Р 70378.5 установлены три вида методик испытаний и оценки характеристик пробоотборников, отличающиеся объемом получаемой по итогам испытания информации и стоимостью.

Настоящий стандарт устанавливает методику испытаний, позволяющую оценить характеристику эффективности отбора проб для испытуемого пробоотборника.

Совместно применяя ГОСТ Р 70378.1, настоящий стандарт, ГОСТ Р 70378.4 и ГОСТ Р 70378.5, изготовители и пользователи аэрозольных пробоотборников получают возможность разработать единый подход к валидации пробоотборников и общие принципы для оценки соответствия их характеристик требованиям ГОСТ Р ИСО 7708 и ГОСТ Р 59670.

Изготовители аэрозольных пробоотборников обязаны предоставлять пользователям информацию о лабораторных условиях[1)], установленных в других стандартах серии ГОСТ Р 70378, при которых были получены характеристики пробоотборника. Пользователь должен гарантировать, что предполагаемые реальные условия применения пробоотборников находятся в пределах допустимых диапазонов, установленных изготовителем для проведения испытаний.

[1)] Норматив по вдыхаемой фракции не установлен для частиц размером более 100 мкм и скорости потока воздуха более 4 м/с. Оценка характеристик пробоотборников ограничена этими условиями. Если при отборе проб существует реальная вероятность обнаружить частицы размером более 100 мкм или скорость потока воздуха более 4 м/с, то пробоотборники, соответствующие требованиям настоящего стандарта, скорее всего, будут выдавать различные результаты.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля

Часть 2

Методика испытаний в лабораторных условиях, основанная на определении эффективности отбора проб

Workplace exposure. Assessment of sampler performance for measurement of airborne particle concentrations. Part 2. Laboratory performance test based on determination of sampling efficiency

Дата введения — 2024—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методику испытаний в лабораторных условиях для аэрозольных пробоотборников, применяемых при отборе вдыхаемой, респирабельной и торакальной фракций аэрозольных частиц, основанную на определении кривой эффективности отбора проб испытуемого пробоотборника для частиц заданного размера. Кривую эффективности отбора проб определяют по крайней мере для девяти значений размера частиц. В настоящем стандарте установлены требования к испытаниям аэрозольных пробоотборников в лабораторных условиях для оценки соответствия их характеристик требованиям ГОСТ Р 70378.1.

Настоящий стандарт применяют для аэрозольных пробоотборников любого типа и принципа действия, используемых при определении содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны в рамках санитарно-гигиенического контроля.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 34100.3—2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ Р 8.961 Государственная система обеспечения единства измерений. Дисперсные характеристики аэрозолей и взвесей. Термины и определения

ГОСТ Р 51109 Промышленная чистота. Термины и определения

ГОСТ Р 59670 (ИСО 20581:2016) Воздух рабочей зоны. Общие требования к методикам определения содержания химических веществ

ГОСТ Р 70063.1 (ИСО 21083-1:2018) Материалы фильтрующие для улавливания наночастиц. Методика испытаний для определения эффективности улавливания сферических наночастиц. Часть 1. Наночастицы размером в диапазоне от 20 до 500 нм

ГОСТ Р 70064.2 (ИСО 16890-2:2016) Фильтры очистки воздуха общего назначения. Часть 2. Определение фракционной эффективности и перепада давления

ГОСТ Р 70378.1—2022 Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля. Часть 1. Общие требования

ГОСТ Р 70378.4 Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля. Часть 4. Методика испытаний в лабораторных условиях на основе сравнения значений содержания

Издание официальное

ГОСТ Р 70378.5—2023 Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля. Часть 5. Методика испытаний аэрозольных пробоотборников на рабочих местах и сравнение их характеристик

ГОСТ Р ИСО 3534-2 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 2. Прикладная статистика

ГОСТ Р ИСО 7708—2006 Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле

ГОСТ Р ИСО 13137 Воздух рабочей зоны. Насосы для индивидуального отбора проб химических и биологических веществ. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р ИСО 14966 Атмосферный воздух. Определение концентрации неорганических волокнистых частиц. Метод сканирующей электронной микроскопии

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р ИСО 3534-2, ГОСТ Р 8.961 и ГОСТ Р 51109, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **относительное содержание** (relative concentration): Содержание аэрозольных частиц в воздухе, выраженное через долю содержания всех взвешенных в воздухе частиц.

3.2 **содержание всех взвешенных в воздухе частиц** (total airborne particle concentration): Содержание аэрозольных частиц в воздухе до того, как на них повлияет пробоотборник или лицо, носящее индивидуальный пробоотборник.

4 Сокращения и обозначения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

СКЗ — среднеквадратичное значение;

ММАД — аэродинамический диаметр, соответствующий медиане массового распределения частиц по размерам;

СГО — стандартное геометрическое отклонение;

$A(D_A, \sigma_A, D)$ — относительное логарифмически нормальное распределение аэрозольных частиц по размерам с аэродинамическим диаметром, соответствующим медиане массового распределения частиц по размерам D_A, и СГО, равным σ_A, 1/мкм.

Примечание — Понятие «относительное» в данном случае означает, что общее число частиц равно единице, т. е. $\int_0^\infty A(D_A,\sigma_A,D)\mathrm{d}D=1$;

a — подстрочный индекс для обозначения контрольного аэрозоля;

$C_{иск}$ — искомое относительное содержание аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженное через долю содержания всех взвешенных в воздухе частиц, которые могли бы быть отобраны идеальным пробоотборником с эффективностью отбора проб, неотличимой от норматива по отбору проб $F(D)$, безразмерное;

$\overline{C}_i$ — среднее относительное содержание аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженное через долю содержания всех взвешенных в воздухе частиц, которые по расчетам могут быть отобраны испытуемым пробоотборником, при значении влияющей величины ξ_i, безразмерное;

c — поправочный коэффициент, применяемый для корректировки результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, для устранения несоответствия нормативу по отбору проб, регламентированный изготовителем пробоотборника, методикой измерений или принятый равным 1,00;

D — аэродинамический диаметр, мкм;

D_A — аэродинамический диаметр, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A, мкм;

D_{A_a} — аэродинамический диаметр a, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A, мкм;

$D_{макс}$ — диаметр частиц, соответствующий верхней границе диапазона интегрирования для рассматриваемого аэрозоля, мкм;

$D_{мин}$ — диаметр частиц, соответствующий нижней границе диапазона интегрирования для рассматриваемого аэрозоля, мкм;

D_p — аэродинамический диаметр частиц контрольного аэрозоля p (от 1 до N_p), мкм;

$\overline{E}_i(D_p)$ — средняя эффективность испытуемого пробоотборника для частиц контрольного аэрозоля диаметром D_p при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная (метод кусочно-линейной аппроксимации);

$\overline{E}_i(Q, D_p)$ — средняя эффективность испытуемого пробоотборника для диаметра частиц контрольного аэрозоля D_p при расходе Q и значении влияющей величины ξ_i, безразмерная (метод кусочно-линейной аппроксимации);

$E_{is}^{оц}(D)$ — подобранная кривая эффективности отбора проб отдельного испытуемого пробоотборника s при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная (метод подбора кривой);

$E_{is}^{оц}(Q, D_p)$ — подобранная кривая эффективности отбора проб отдельного испытуемого пробоотборника s при расходе Q и значении влияющей величины ξ_i, безразмерная (метод подбора кривой);

$e_{ipr[КЛА]}$; $e_{ips[ПК]}$ — экспериментально определенные значения эффективности с указанием применяемого метода (кусочно-линейной аппроксимации и подбора кривой соответственно). Подстрочные индексы относятся к: i — значению влияющей величины ξ_i, p — диаметру частиц контрольного аэрозоля (в диапазоне от 1 до N_p), s — номеру отдельного пробоотборника (в диапазоне от 1 до N_s), и r — номеру серии измерений (в диапазоне от 1 до N_R), обозначения в квадратных скобках относятся к методу кусочно-линейной аппроксимации и подбору кривой соответственно;

$F(D)$ — заданный норматив по отбору проб, безразмерный;

$g_{ipr[КЛА]}$; $g_{ips[ПК]}$ — содержание частиц аэрозоля, полученное при применении испытуемого пробоотборника, мг/м^3 или 1/м^3. Подстрочные индексы относятся к: i — значению влияющей величины ξ_i, p — диаметру частиц контрольного аэрозоля (в диапазоне от 1 до N_p), s — номеру отдельного пробоотборника (в диапазоне от 1 до N_s), и r — номеру серии измерений (в диапазоне от 1 до N_R), обозначения в квадратных скобках относятся к методу кусочно-линейной аппроксимации и подбору кривой соответственно;

$h_{ipr[КЛА]}$; $h_{ips[ПК]}$ — соответствующее содержание всех взвешенных в воздухе аэрозольных частиц, отобранных остроконечным зондом для отбора проб, мг/м^3 или 1/м^3. Подстрочные индексы относятся к: i — номеру значения влияющей величины ξ_i, p — номеру значения диаметра частиц контрольного аэрозоля (в диапазоне от 1 до N_p), s — номеру отдельного пробоотборника (в диапазоне от 1 до N_s), и r — номеру серии измерений (в диапазоне от 1 до N_R), обозначения в квадратных скобках относятся к методу кусочно-линейной аппроксимации и подбору кривой соответственно;

I — подстрочный индекс для обозначения номера выбранного значения из группы различимых значений влияющей величины;

i — подстрочный индекс для обозначения номера значения влияющей величины ξ;

$i0$ — подстрочный индекс для обозначения номера выбранного значения из группы неразличимых значений влияющей величины, при котором получают наибольшее значение суммарной стандартной неопределенности для испытуемого пробоотборника;

$m_i\,(D_A, \sigma_A, Q)$ — средняя масса аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженная через долю массы всех взвешенных в воздухе частиц, которая по расчетам может быть отобрана испытуемым пробоотборником при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$N_{ВВ}$ — число значений других влияющих величин, учитываемых при проведении испытаний;

N_p — число значений размера (аэродинамического диаметра) частиц контрольного аэрозоля;

$N_{повт}$ — число повторных измерений для контрольного аэрозоля p отдельным испытуемым пробоотборником s при значении влияющей величины ξ_i (для метода кусочно-линейной аппроксимации $N_{повт}$ равно числу повторных измерений, для метода подбора кривой — числу повторных измерений отдельным испытуемым пробоотборником);

$N_{РР}$ — общее число распределений аэрозольных частиц по размерам A;

N_s — число отдельных испытуемых пробоотборников s (для метода кусочно-линейной аппроксимации N_s равно числу отдельных пробоотборников, применяемых при повторных измерениях, для метода подбора кривой — общему числу отдельных испытуемых пробоотборников);

p — подстрочный индекс, обозначающий номер значения размера (аэродинамического диаметра) контрольного аэрозоля;

Q — фактический объемный расход воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником, дм^3/мин;

Q^0 — номинальный объемный расход воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником, дм^3/мин;

q_0 — параметр, принимаемый равным 0 или 1.

Если содержание аэрозольных частиц респирабельной и торакальной фракций, отобранных испытуемым пробоотборником, вычисляют на основе номинального значения объемного расхода воздуха при отборе проб Q^0, то $q_0 = 1$, если содержание вычисляют на основе фактического значения объемного расхода воздуха Q, то $q_0 = 0$.

Соответствующее значение выбирают в соответствии с требованиями методики измерений, включающей отбор проб испытуемым пробоотборником;

$q_i(D_A, \sigma_A)$ — зависимость объемного расхода воздуха при отборе проб от массы отобранных аэрозольных частиц с распределением по размерам A при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

r — подстрочный индекс, обозначающий номер серии измерений;

s — подстрочный индекс, обозначающий номер отдельного испытуемого пробоотборника;

$s^{ИП}_{расх_{ai}}$ — составляющая неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими[1)] эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального и/или начального значения для a-го распределения частиц по размерам A при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

[1)] В настоящем стандарте составляющие неопределенности разделены на «случайные» и «систематические» в соответствии с их взаимосвязью с погрешностями, возникающими, соответственно, из случайных и известных систематических эффектов. Такая классификация составляющих неопределенности может привести к неоднозначности толкования при ее практическом применении. Например, «случайная» составляющая неопределенности в одном измерении может стать «систематической» составляющей в другом измерении, в котором результат первого измерения используют в качестве входных данных. При классификации методов оценивания составляющих неопределенности, а не самих составляющих, такая неоднозначность устраняется (см. ГОСТ 34100.3—2017, пункт 3.3.3, примечание).

$U_{ИП}$ — расширенная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, безразмерная;

$u_{ИП}$ — суммарная стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, безразмерная;

$u_{ИПi}$ — суммарная стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$u^{ИП}_{норм_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанными с несоответствием результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, нормативу по отбору проб при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$u^{ИП}_{кал_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими и случайными эффектами, связанными с экспериментальным определением размера и числа частиц контрольного аэрозоля, вычисленная как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех N_{PP} при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$u^{ИП}_{расх_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными или систематическими эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$u^{ИП}_{мод_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с несовершенством подобранной математической модели, вычисляемая как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех N_{PP} при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$u^{сист}_{ИП}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, связанных с систематическими эффектами, безразмерная;

$u^{сист}_{ИП_i}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, связанных с систематическими эффектами, при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$u^{случ}_{ИП}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, связанных со случайными эффектами, безразмерная;

$u^{случ}_{ИП_i}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, связанных со случайными эффектами, при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

$u^{ИП}_{РХ_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с различием характеристик образцов пробоотборников, при значении влияющей величины ξ_i, безразмерная;

W_p — средневзвешенное значение интеграла по кривой распределения аэрозольных частиц по размерам A в диапазоне между двумя значениями размера частиц, безразмерное (кусочно-линейная аппроксимация);

Δ_i — систематическое отклонение от норматива по отбору проб (относительная систематическая погрешность) содержания аэрозольных частиц с распределением по размерам A, отобранных испытуемым пробоотборником, при значении влияющей величины ξ_i, безразмерное;

$\delta_{\text{расх}}^{\text{рег}}$ — максимальное значение относительного стандартного отклонения объемного расхода воздуха от номинального значения, связанного с регулировкой расхода, безразмерное;

$\delta_{\text{ПР}}$ — максимальное значение относительного стандартного отклонения объемного расхода воздуха от номинального значения, связанного с нестабильностью работы побудителя расхода, безразмерное;

ξ — значение другой влияющей величины, например скорости потока воздуха или массы пыли, поданной в пробоотборник, в диапазоне i от 1 до $N_{\text{ВВ}}$, в единицах соответствующей влияющей величины;

ξ_i — i-е значение другой влияющей величины.

Примечание — Единица каждого значения ξ_i зависит от влияющей величины, но уточнение единиц нецелесообразно, поскольку значения величин не применяют при вычислениях;

σ_A — СГО логарифмически нормального распределения аэрозольных частиц по размерам A, взятое из таблицы 2, безразмерное;

σ_{A_a} — СГО a-го логарифмически нормального распределения аэрозольных частиц по размерам A, отобранных испытуемым пробоотборником, мкм.

5 Основные положения

Методика испытаний, приведенная в настоящем стандарте, основана на определении зависимости эффективности отбора проб испытуемого пробоотборника от аэродинамического диаметра аэрозольных частиц независимо от того, являются ли все отбираемые частицы частью пробы (как в большинстве пробоотборников вдыхаемой фракции) или происходит проскок аэрозольных частиц некоторых размеров на участке между входным отверстием пробоотборника и уловителем (как в пробоотборниках торакальной и респирабельной фракций). Систематическое отклонение от норматива по отбору проб оценивают на основе сравнения полученной кривой зависимости эффективности отбора проб с соответствующим нормативом по отбору проб. Также определяют другие составляющие неопределенности отбора проб, связанные с систематическими и случайными эффектами, например с различием характеристик образцов пробоотборников одного типа, с отклонениями от номинального значения объемного расхода воздуха при отборе проб, с неопределенностью оценки содержания частиц в воздухе и промахами.

Целью экспериментов в условиях лаборатории является определение эффективности отбора проб как функции аэродинамического диаметра частиц в заданном диапазоне размеров, а также как функции любых других значимых влияющих величин (выявленных при критическом анализе по ГОСТ Р 70378.1—2022, подраздел 6.2). Для оценки содержания в воздухе аэрозольных частиц, которые могли бы быть уловлены в среде аэрозоля с идеальным логарифмически нормальным распределением частиц по размерам, применяют математическое моделирование с использованием вычисленной эффективности отбора проб испытуемого пробоотборника и заданного норматива по отбору проб. На основе этих данных оценивают характеристики пробоотборника.

6 Методика испытаний

6.1 Общие положения

Значения эффективности отбора проб получают, разделив содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, на содержание всех взвешенных в воздухе частиц. Экспе-

римент планируют таким образом, чтобы обеспечивался случайный выбор и учет основных влияющих величин. Описание эксперимента и математической статистической модели, используемой для вычислений, приводят в протоколе испытаний.

Выбор математической статистической модели, применяемой для анализа результатов измерений, зависит от того, применяется в лабораторном эксперименте монодисперсный или полидисперсный аэрозоль. В соответствии с настоящим стандартом применяют метод кусочно-линейной аппроксимации и метод подбора кривой. При проведении испытаний с монодисперсными аэрозолями применяют оба метода, с полидисперсными аэрозолями — предпочтительно метод подбора кривой. При применении монодисперсного аэрозоля, как правило, получают небольшое число результатов измерений, из-за чего метод подбора кривой может оказаться непригоден.

Пример плана эксперимента приведен в приложении А.

6.2 Условия испытаний

Испытания пробоотборников вдыхаемой фракции частиц проводят в аэродинамической трубе или аэрозольной камере. Индивидуальные пробоотборники вдыхаемой фракции, предназначенные для использования в атмосферном воздухе или в помещениях с интенсивной принудительной вентиляцией (т. е. при скорости потока воздуха более 0,5 м/с), испытывают, закрепив их на ростовом манекене или на конструкции, имитирующей тело человека. Положение манекена или другой подходящей конструкции должно обеспечивать воспроизведение влияния на отбор проб головы и корпуса человека в натуральную величину.

Примечание — При проведении испытаний в аэродинамической трубе диаметром 1,2 м, длиной 1,8 м было с использованием конструкции, имитирующей тело человека, шириной 33 см, высотой 21 см и толщиной 21 см, на все четыре вертикальных плоскости которой установлены пробоотборники, были получены такие же результаты, как и при использовании манекена в натуральную величину.

Габаритные размеры и характеристики используемого манекена приводят в протоколе испытаний. Результаты испытаний пробоотборника для индивидуального отбора проб не пригодны при его использовании в качестве стационарного пробоотборника в среде с высокой скоростью потока воздуха, а результаты испытаний стационарного пробоотборника не пригодны при его использовании в качестве пробоотборника для индивидуального отбора проб.

Для пробоотборников торакальной или респирабельной фракций эффективность отбора проб представляет собой комбинацию эффективности пробоотборника на входе и внутреннего проскока. Эти величины могут быть получены в одном эксперименте, диапазон размеров частиц будет ограничен анализируемой фракцией (см. таблицу 1). В качестве альтернативы суммарную эффективность отбора проб можно определить путем комбинирования результатов двух отдельных экспериментов: одного эксперимента по определению эффективности пробоотборника на входе, другого — по определению внутреннего проскока. Эффективность пробоотборника на входе определяют так же, как и при отборе вдыхаемой фракции, но при этом диапазон размеров аэрозольных частиц будет ограничен анализируемой фракцией (см. таблицу 1). Испытания по определению проскока могут быть проведены в аэрозольной камере при низкой скорости потока воздуха с использованием изолированных пробоотборников.

6.3 Контролируемые влияющие величины

6.3.1 Общие положения

Лабораторные испытания по определению эффективности отбора проб планируют таким образом, чтобы обеспечить количественную оценку влияния величин, признанных значимыми по результатам критического анализа, на характеристики испытуемого пробоотборника. В таблице 1 приведен перечень наиболее значимых влияющих величин и информация об испытаниях (обязательное, обязательное для пробоотборников некоторых типов или конкретных случаев применения или необязательное). Величины, влияние которых не учитывают, должны быть четко идентифицированы в описательной части протокола испытаний с указанием соответствующего обоснования.

Таблица 1 — Контролируемые влияющие величины

Величина	Категория испытаний	Диапазон	Число значений	Пункт настоящего стандарта
Аэродинамический диаметр частиц	С	От 1 до 100 мкм для вдыхаемой фракции. От 1 до 35 мкм для торакальной фракции. От 1 до 15 мкм для респирабельной фракции	Не менее 9 значений, распределенных по диапазону размеров таким образом, чтобы были учтены характерные участки кривой эффективности	6.3.2
Скорость потока воздуха	С	В рабочей зоне только внутри помещений	Одно значение, не более 0,1 м/с	6.3.3
Природа аэрозоля	С	В рабочей зоне внутри помещений или на открытом воздухе от 0 до 4,0 м/с	Два значения, одно не более 0,1 м/с, второе — 1 м/с	6.3.5
Направление потока воздуха	С	Усреднение по всем направлениям	Непрерывное вращение пробоотборника или не менее 4 направлений пошагово	6.3.4
Заряд аэрозоля	О	Аэрозоль, содержащий заряженные частицы, или нейтральный аэрозоль (с равновесным распределением заряда). Пробоотборник, изготовленный из токопроводящего материала, или из диэлектрика	Подбирают условия, наиболее близкие к исследуемым	6.3.7
Различие характеристик образцов пробоотборников одного типа	С*	Максимально возможное число пробоотборников в группе	Не менее 6 экземпляров	6.3.8
Отклонение объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения	С*	Номинальный объемный расход воздуха и более низкое и более высокое значения расхода при одной скорости потока воздуха	Не менее 6 экземпляров, испытанных при 3 различных значениях расхода	6.3.9
Уловитель	О	Материал/среда, подходящие для улавливания аэрозольных частиц (например, фильтрующие материалы, вспененные материалы и т. д.) с соответствующей обработкой поверхности (например, пропитанные реактивом, гладкие, покрытые смазкой и т. д.)	—	6.3.10
Примечание — Обозначение категории испытаний: С — обязательное, С* — обязательное только для некоторых типов пробоотборников респирабельной и торакальной фракций, О — необязательное.				

В таблице 1 также приведены диапазоны значений величин, при которых проводят испытания, и число значений в этих диапазонах. Выбранные значения не обязательно должны включать границы диапазона, для некоторых величин в таблице 1 установлены конкретные требования. Если, исходя из плана эксперимента, необходимо выбрать, например, природу контрольного аэрозоля или тип уловителя, то при критическом анализе рассматривают влияние сделанного выбора на пригодность результатов испытаний при регулярном отборе проб.

В настоящем стандарте приведены способы оценки составляющих неопределенности и их учета при вычислении расширенной неопределенности только для тех величин, влияние которых определяют в обязательных испытаниях. Оценку влияния второстепенных величин и составляющих неопределенности пользователь настоящего стандарта осуществляет на свое усмотрение.

6.3.2 Размер частиц

Для проведения испытаний пробоотборников вдыхаемой фракции наибольший размер аэрозольных частиц должен находиться в диапазоне от 90 до 100 мкм. Для проведения испытаний пробоотборников респирабельной и торакальной фракций по крайней мере одно значение размера частиц должно быть выбрано из области вблизи нижней границы диапазона размеров (1 мкм), а наибольший размер частиц выбирают таким образом, чтобы наименьшая измеренная эффективность отбора проб составляла не менее 0,04.

Диапазоны значений размера частиц, приведенные в таблице 1, соответствуют нормативам по отбору проб (см. ГОСТ Р ИСО 7708—2006, рисунок В.1).

Примечание — Для нормативов по отбору проб респирабельной и торакальной фракций эффективность отбора проб 0,04 соответствует размеру приблизительно 8 и 22 мкм.

6.3.3 Скорость потока воздуха

В рабочей зоне внутри помещений средняя скорость потока воздуха составляет в среднем от 0,1 до 0,3 м/с. Диапазон значений скорости потока воздуха в «рабочей зоне на открытом воздухе» применяют для пробоотборников, используемых в помещениях с интенсивной принудительной вентиляцией (при скорости потока воздуха более 0,25 м/с). Рекомендуемое в настоящем стандарте наибольшее значение скорости потока воздуха может быть изменено, если при критическом анализе было установлено, что верхняя граница диапазона значений скорости потока воздуха выше, чем указанная в таблице 1.

6.3.4 Направление потока воздуха

В соответствии с нормативом по отбору вдыхаемой фракции влияние направления потока воздуха оценивают в каждом испытании, вращая манекен (или конструкцию, имитирующую тело человека) или пробоотборники медленно и непрерывно, либо пошагово меняя направление, используя четыре (например, по сторонам света) или более направлений. Для стационарных пробоотборников это требование не всегда может быть выполнено, если пробоотборник сконструирован таким образом, что его входное отверстие всегда ориентируется определенным образом по отношению к направлению потока воздуха, или входной воздуховод обеспечивает одинаковое всасывание по всем направлениям или если отбор проб происходит в фиксированных точках отбора проб с регламентированной ориентацией пробоотборника по отношению к источнику принудительной вентиляции.

6.3.5 Природа аэрозоля

При валидации пробоотборников для их испытаний используют аэрозоль сферических частиц (твердых частиц или капель жидкости) или частиц формы, близкой к сферической. Степень агломерации частиц контрольного аэрозоля может быть определена посредством визуального осмотра частиц, собранных путем осаждения на предметные стекла, размещенные в рабочей секции аэродинамической трубы или испытательной камеры, под микроскопом (например, по ГОСТ Р ИСО 14966). Как правило, предполагают, что химический состав контрольного аэрозоля не влияет на результаты испытаний. Если при критическом анализе установлено, что подобное влияние существует (например, за счет адгезии частиц на внутренних поверхностях пробоотборника), то это необходимо учитывать при выборе контрольного аэрозоля и указывать в протоколе испытаний.

6.3.6 Масса отобранных аэрозольных частиц и масса частиц, потерянных при проскоке

Целью испытания является определение зависимости эффективности пробоотборника от массы отобранных аэрозольных частиц или массы частиц, потерянных при внутреннем проскоке. При испытании не оценивают неопределенность, связанную с процедурой количественного анализа. Значения массы уловленных частиц (вычисляемой как произведение содержания аэрозольных частиц в воздухе на объем пробы) должны соответствовать типичным значениям содержания частиц, определенного в рамках планового контроля качества воздуха на рабочем месте. Испытания следует проводить при значениях массы, соответствующих максимальному содержанию и продолжительности отбора проб, характерных для исследуемого рабочего места. Без обоснованных причин верхнюю границу диапазона не следует увеличивать.

Примечание — Пример такого испытания приведен в ГОСТ Р 70378.5—2023 (пункты 6.5.5 и 7.4.7).

6.3.7 Заряд аэрозоля

Если пробоотборник изготовлен из материала, не проводящего электрический ток, то испытания проводят с электрически нейтральным аэрозолем (аэрозолем с равновесным распределением заряда). Для нейтрализации аэрозолей применяют системы анализа дифференциальной электрической подвижности частиц или другие устройства (см. ГОСТ Р 70063.1). Допускается проводить испытания с

применением заряженного аэрозоля, если может быть показано, что заряд на частицах не влияет на эффективность отбора проб. Результаты испытаний и реального отбора проб могут значительно отличаться, если в воздухе присутствуют заряженные аэрозольные частицы. Предпочтительно сводить к минимуму влияние электростатических зарядов, выбирая пробоотборники, изготовленные из токопроводящих материалов, и обеспечивая тщательную очистку и заземление всего испытательного оборудования в соответствии с рекомендациями изготовителя.

6.3.8 Различие характеристик образцов пробоотборников одного типа

Примечание — Приведенные требования обязательны только для индивидуальных пробоотборников торакальной и респирабельной фракций.

При испытаниях используют оригинальные, серийно выпускаемые пробоотборники, по возможности бывшие в употреблении в течение известного периода времени и с известным сроком годности. Опытные образцы пробоотборников испытаниям не подлежат. Если есть основания полагать, что различия характеристик образцов пробоотборников одного типа незначительны, то получают по крайней мере шесть результатов, полученных в одинаковых испытаниях с применением шести одинаковых пробоотборников (см. ГОСТ Р 70378.1—2022, таблица 1).

6.3.9 Отклонение объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения

Примечание — Приведенные требования обязательны только для индивидуальных пробоотборников торакальной и респирабельной фракций.

Влияние отклонений объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения на результаты испытаний определяют при скорости потока воздуха, наиболее характерной для исследуемой рабочей зоны. Испытания проводить не обязательно, если в руководстве по эксплуатации пробоотборника приведены формулы для вычисления поправочных коэффициентов, учитывающих это влияние, или указаны их значения. Если испытания проводят при объемном расходе воздуха, отличном от номинального, то он должен быть одинаков для всех испытуемых образцов пробоотборников и отклоняться от номинального расхода не более чем на ± (5—10) %.

6.3.10 Обработка поверхности

Под обработкой поверхностей следует понимать смазывание и очистку уловителей (например, пластин импакторов), нейтрализацию фильтров и пористых материалов и очистку всего пробоотборника. Если при проведении испытаний применяют способы обработки поверхностей, отличные от рекомендованных в руководстве по эксплуатации пробоотборников, то подробное описание применяемых процедур с обоснованием применения приводят в протоколе испытаний.

7 Требования к условиям испытаний

7.1 Испытания проводят при следующих условиях:

- температура от 15 °С до 25 °С;
- давление от 960 до 1050 гПа;
- относительная влажность от 20 % до 70 %.

Допускается проводить испытания при других значениях температуры, атмосферного давления и относительной влажности в пределах рабочих диапазонов испытуемых пробоотборников, если они более точно воспроизводят условия в рабочей зоне. В протоколе испытаний приводят подробное описание рабочей зоны и параметры условий окружающей среды во время испытаний.

7.2 Испытания допускается проводить с применением аэрозоля жидкости или аэрозоля твердых частиц. Применяют полидисперсный или монодисперсный аэрозоль, или и тот и другой. Выбор типа аэрозоля зависит от природы аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны. При использовании монодисперсных контрольных аэрозолей [например, на основе ДЭГС (диоктил себацината/бис(2-этилгексил)декандиоата)] в одном эксперименте получают одно значение эффективности отбора проб для одного значения аэродинамического диаметра. Поэтому для получения значений эффективности, соответствующих девяти различным размерам частиц (см. таблицу 1), необходимо использовать как минимум девять монодисперсных аэрозолей. Предпочтительно применять аэрозоль сферических частиц, в противном случае будет необходимо вводить поправочные коэффициенты для учета формы и плотности частиц.

При использовании полидисперсного аэрозоля в одном эксперименте получают несколько значений эффективности отбора проб, соответствующих нескольким значениям аэродинамического диаметра в пределах заданного диапазона. Поправочные коэффициенты для учета плотности и формы

частиц (при их применении) определяют как функции размера частиц. Дисперсная фаза аэрозоля должна состоять из частиц, практически не способных к конденсации, испарению и коагуляции.

7.3 Выбор аэрозоля зависит от доступности подходящего метода измерений аэродинамического диаметра частиц; он может быть определен с применением любого средства измерений, имеющего монотонную градуировочную характеристику в соответствующем диапазоне размеров частиц. Используемые средства измерений с прямым отсчетом показаний должны обеспечивать получение информации о размере частиц в единицах аэродинамического диаметра частиц. В других случаях средство измерений может быть признано пригодным, если для него может быть получена градуировочная характеристика на основе аэродинамического диаметра частиц, или если полученные результаты измерений могут быть известным способом пересчитаны на аэродинамический диаметр частиц, например путем вычислений, учитывающих плотность или форму частиц. Если применяют последний подход, в протоколе испытаний необходимо указать полную информацию о методе вычислений (и неопределенности). Приводят подробное описание методики градуировки (или приводят ссылку на аттестованную методику измерений или стандарт), особенно если применяют поправочные коэффициенты для учета плотности, формы или других характеристик частиц контрольного аэрозоля. Полученные значения аэродинамического диаметра и их прецизионность (включая неопределенность любого используемого поправочного коэффициента) должны быть вычислены и приведены в протоколе испытаний.

7.4 В экспериментах по отбору проб респирабельной и торакальной фракций монодисперсность контрольных аэрозолей, определяемая через СГО, не должна превышать 1,1. При отборе проб вдыхаемой фракции монодисперсность контрольных аэрозолей, определяемая через СГО, не должна превышать 1,3. 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 получения соответствующей неопределенности.

7.5 Распределение частиц контрольного аэрозоля в рабочем объеме аэрозольной камеры (аэродинамической трубы) должно быть однородным, стандартное отклонение, характеризующее изменчивость распределения частиц по размерам и их содержание в пространстве, должно составлять не более 10 %. Стандартное отклонение, характеризующее изменчивость распределения частиц по размерам и их содержания во времени, после введения каких-либо поправок должно составлять не более 10 %. Содержание и распределение аэрозольных частиц по размерам подбирают в соответствии с требованиями метода измерений аэродинамического диаметра частиц. Диапазон содержания полидисперсного аэрозоля подбирают таким образом, чтобы с адекватной точностью можно было определить содержание (или число) частиц каждого заданного размера, но исключить работу в области значений содержания, близких к ошибке совпадения средства измерений. Распределение частиц контрольного аэрозоля по размерам и содержание подбирают таким образом, чтобы неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, полученных аналитическим методом, составляла не более 20 % при анализе гравиметрическим или химическим методом, и не более 25 % — при определении счетной концентрации частиц. Результаты статистической обработки результатов измерений содержания приводят в протоколе испытаний.

7.6 Отбор проб для определения содержания аэрозольных частиц в окружающем воздухе проводят с помощью остроконечных тонкостенных зондов. При испытании в аэродинамической трубе отбор проб проводят в изокинетических условиях. Если из-за характеристик потока, особенностей применяемых зондов или свойств отбираемых аэрозольных частиц невозможно добиться изокинетичности, то в значения содержания вводят соответствующие поправки на неизокинетичность. При проведении испытаний в аэрозольной камере (при скорости потока воздуха менее 0,1 м/с) обеспечивают непрерывное вращение зондов и работу в псевдоизокинетическом режиме (в котором за счет вращения периодически и с почти равной вероятностью достигаются изокинетические условия). Остроконечные зонды размещают в аэрозольной камере таким образом, чтобы обеспечить оценку неоднородности распределения контрольного аэрозоля в пространстве (и времени, если генерируемый аэрозоль недостаточно стабилен). Разброс значений содержания аэрозоля в рабочем объеме аэрозольной камеры должен составлять не более 10 % (см. ГОСТ Р 70063.1 и ГОСТ Р 70064.2).

7.7 Значения скорости потока воздуха (или любых других параметров окружающей среды) во время испытаний не должны отличаться более чем на 10 % от значений, наблюдаемых в исследуемой рабочей зоне, где применяют образцы испытуемых пробоотборников. Манекен (или конструкция, имитирующая тело человека), пробоотборники, средства измерений и испытательное оборудование не должны перекрывать более 20 % площади поперечного сечения аэродинамической трубы. В протоколе

испытаний приводят информацию о наличии в аэродинамической трубе участка(ов) турбулентного потока и, по возможности, его (их) параметры (местоположение, длину).

7.8 Допускается параллельно испытывать несколько образцов пробоотборников, если имеется техническая возможность установить их таким образом, чтобы исключить взаимное влияние. Испытательное оборудование и средства измерений размещают таким образом, чтобы максимально изолировать каждую единицу и исключить влияние их положения на результаты испытаний. Пробоотборники испытывают вместе с предназначенными для них держателями; плоскость, в которой находится входное отверстие, должна быть ориентирована так же, как и при отборе проб в условиях применения. В протоколе испытаний приводят эскиз испытательной установки с указанием точек размещения пробоотборников и их ориентации. Размещение пробоотборников на манекене или конструкции, имитирующей тело человека (при использовании) при проведении испытаний должно быть аналогичным их размещению в предполагаемых условиях применения или любым другим, если имеется объективное подтверждение отсутствия влияния местоположения пробоотборника на манекене на результаты отбора проб.

7.9 При применении средств измерений с прямым отсчетом показаний для определения размера и числа аэрозольных частиц необходимо учитывать значимость потерь частиц, происходящих на участке между уловителем испытуемого пробоотборника или остроконечного зонда и рабочей камерой счетчика. Потери частиц могут быть скомпенсированы путем введения поправок или за счет подбора таких условий отбора проб испытуемым пробоотборником и остроконечными зондами, чтобы потери были одинаковы. Также необходимо учитывать (компенсировать) перепады давления в соединительных линиях и клапанах, связанные с тем, что расход воздуха при отборе проб отличается от расхода воздуха, при котором работает счетчик частиц.

7.10 Протокол испытаний должен содержать подробное описание процедур пробоподготовки и обращения с пробами, а также их количественного (химического) анализа (если эти процедуры являются частью методики измерений), процедур и регулярности очистки пробоотборников.

7.11 При испытаниях пробоотборников с невстроенным побудителем расхода применяют побудители расхода в соответствии с руководством по эксплуатации пробоотборника. Техническое обслуживание побудителей расхода проводят в соответствии с рекомендациями изготовителя. Отклонение объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения должно составлять не более ±2 %. Настраивают расход, измеряют его пузырьковым расходомером или газовым счетчиком и регистрируют. Применяют побудители расхода, соответствующие требованиям ГОСТ Р 70378.1, ГОСТ Р ИСО 13137 и другим более строгим требованиям, установленным в руководстве по эксплуатации пробоотборника (или побудителя расхода). Пробоотборники со встроенным побудителем расхода испытывают в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации пробоотборника.

Примечание — Для получения меньшего разброса значений проскока частиц в пробоотборнике при испытаниях пробоотборников торакальной и респирабельной фракций рекомендуется использовать более мощные побудители расхода, чем рекомендованы ГОСТ Р ИСО 13137, сужающие устройства или регуляторы массового расхода.

8 Вычисление систематического отклонения от норматива по отбору проб и расширенной неопределенности измерений

8.1 Общие положения

Пробоотборник оценивают на основе значений систематического отклонения результатов измерений содержания отобранных аэрозольных частиц от норматива по отбору проб и значения расширенной неопределенности. В приложении А приведены два метода вычисления этих величин на основе экспериментальных данных: метод кусочно-линейной аппроксимации и метод подбора кривой. Применительно к результатам параллельных испытаний нескольких пробоотборников с использованием монодисперсных контрольных аэрозолей предпочтительно использовать метод кусочно-линейной аппроксимации, последовательных испытаний с использованием полидисперсных контрольных аэрозолей — метод подбора кривой.

Экспериментальные данные представляют собой значения содержания аэрозольных частиц, полученных с использованием испытуемого пробоотборника и остроконечного зонда, как функции аэродинамического диаметра частиц. Могут быть получены подобные функциональные зависимости содержания от других влияющих величин, таких как скорость потока воздуха, масса загруженной пыли и т. д. В этом случае вычисления повторяют для каждой зависимости.

8.2 Определение эффективности отбора проб

Для всех размеров частиц, влияющих величин, испытуемых отдельных пробоотборников и повторных экспериментов эффективность отбора проб методом кусочно-линейной аппроксимации, $e_{ipr[КЛА]}$, и методом подбора кривой, $e_{ips[ПК]}$, вычисляют по формуле

$$\begin{cases} e_{ipr[КЛА]} = \dfrac{g_{ipr[КЛА]}}{h_{ipr[КЛА]}} & \text{— кусочно-линейная аппроксимация,} \\ e_{ips[ПК]} = \dfrac{g_{ips[ПК]}}{h_{ips[ПК]}} & \text{— подбор кривой,} \end{cases} \quad (1)$$

где g — содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, мг/м^3 или 1/м^3;

h — соответствующее содержание всех взвешенных в воздухе аэрозольных частиц, отобранных с применением остроконечного(ых) зонда(ов) для отбора проб, мг/м^3 или 1/м^3.

Содержание аэрозольных частиц, отобранных с применением остроконечного зонда h, может быть скорректировано либо перед вычислением значения эффективности отбора проб e по формуле (1), либо до того, как оно будет смоделировано методом подбора кривой.

На основе отдельных значений $e_{ipr[КЛА]}$ и $e_{ips[ПК]}$, применяя подходящий метод вычислений, определяют усредненную кривую зависимости эффективности отбора проб от размера аэрозольных частиц. Если применяют метод кусочно-линейной аппроксимации, то определяют одно среднее значение эффективности отбора проб для каждого размера исследуемых частиц и для каждого значения влияющей величины $\overline{E}_i(D_p)$. Если применяют метод подбора кривой, то подбирают по одной кривой эффективности отбора проб для комбинации значения влияющей величины и каждого отдельного испытуемого пробоотборника $E_{is}^{оц}(D)$. Если кривая согласуется с экспериментальными данными, то она должна иметь физический смысл, т. е. при малых значениях аэродинамического диаметра эффективность должна быть близкой к нулю, а при (очень) больших — к единице (100 %), если для рассматриваемого пробоотборника не выявлены особенности. Отклонение экспериментальных точек от сглаженной кривой должно быть минимальным или отсутствовать.

Примечание — Регрессионную кривую, не имеющую физического смысла, как правило, получают, если при сглаживании кривой проводят экстраполяцию за пределы диапазона размеров частиц, в котором осуществлялся подбор кривой. В этом случае криволинейную регрессию заменяют линейной экстраполяцией.

8.3 Вычисление систематического отклонения от норматива по отбору проб

8.3.1 Вычисление содержания аэрозоля

8.3.1.1 Общие положения

В настоящем разделе приведены два метода обработки результатов испытаний для вычисления содержания аэрозоля. Выбор метода зависит от объема проведенных испытаний, типа применяемого контрольного аэрозоля, информации о распределении частиц по размерам и целей применения пробоотборника. Метод подбора кривой предпочтительно использовать в том случае, если рассматривают ограниченную область распределения аэрозольных частиц по размерам.

В случае пробоотборников для вдыхаемой фракции в качестве верхней границы диапазона размеров частиц для вычислений в соответствии с 8.3.1.2, 8.3.1.3 и 8.3.2 принимают значение наибольшего размера частиц контрольного аэрозоля, находящееся в диапазоне от 90 до 100 мкм.

8.3.1.2 Кусочно-линейная аппроксимация

Среднее относительное содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, $\overline{C}_i$ находят для каждого распределения частиц аэрозоля по размерам A, проводя суммирование по формуле

$$\overline{C}_i = \overline{C}_i\left(D_A, \sigma_A\right) \approx \sum_{p=1}^{N_p} \overline{E}_i\left(D_p\right) \cdot W_p, \quad (2)$$

где $\overline{C}_i(D_A, \sigma_A)$ — среднее относительное содержание аэрозольных частиц как функция распределения аэрозольных частиц по размерам A;

D_A — аэродинамический диаметр, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A;

σ_A — СГО логарифмически нормального распределения аэрозольных частиц по размерам A;

$\overline{E}_i(D_p)$ — средняя эффективность отбора проб испытуемого пробоотборника при значении влияющей величины ξ_i;

W_p — средневзвешенное значение интеграла по кривой распределения частиц по размерам A;

N_p — число применяемых значений размера частиц контрольного аэрозоля.

Примечание — Подробная информация о вычислении W_p во всем диапазоне интегрирования приведена в приложении А.

8.3.1.3 Подбор кривой

Среднее содержание аэрозольных частиц $\overline{C}_i$ находят для каждого распределения частиц аэрозоля по размерам A путем интегрирования по формуле

$$\overline{C}_i = \overline{C}_i(D_A,\sigma_A) = \frac{1}{N_s}\sum_{s=1}^{N_s}\left[\int_{D_{мин}}^{D_{макс}} A(D_A,\sigma_A,D)E_{is}^{оц}(D)\,dD\right], \quad (3)$$

где $\overline{C}_i(D_A, \sigma_A)$ — среднее относительное содержание аэрозольных частиц как функция распределения аэрозольных частиц по размерам A;

D_A — аэродинамический диаметр, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A;

σ_A — СГО логарифмически нормального распределения частиц по размерам A;

N_s — число отдельных испытуемых пробоотборников;

$D_{макс}$ — диаметр частиц, соответствующий верхней границе диапазона интегрирования для рассматриваемого аэрозоля;

$D_{мин}$ — диаметр частиц, соответствующий нижней границе диапазона интегрирования для рассматриваемого аэрозоля;

$A(D_A, \sigma_A, D)$ — относительное логарифмически нормальное распределение аэрозольных частиц по размерам с аэродинамическим диаметром, соответствующим медиане массового распределения частиц по размерам D_A, и СГО, равным σ_A, 1/мкм;

$E_{is}^{оц}(D)$ — средняя эффективность отбора проб испытуемого пробоотборника для значения влияющей величины ξ_i.

Числовое значение интеграла оценивают, применяя математические методы, например метод интегрирования Ромберга, и считая удовлетворительными результаты вычислений с максимальным отклонением друг от друга $1 \cdot 10^{-4}$. Пределы интегрирования $D_{мин}$ и $D_{макс}$ достигаются при значении $A \cdot E_{is}^{оц}(D)$ не более $5 \cdot 10^{-3}$ или для вдыхаемой фракции при $D_{макс}$, равном максимальному значению аэродинамического диаметра, полученного при испытании (см. также приложение А).

8.3.2 Вычисление содержания аэрозоля, отобранного идеальным пробоотборником

Искомое относительное содержание аэрозольных частиц с распределением по размерам A, которые могли бы быть отобраны идеальным пробоотборником с эффективностью отбора проб, неотличимой от норматива по отбору проб $F(D)$, выраженное через долю содержания всех взвешенных в воздухе частиц, $C_{иск}$ вычисляют путем числового интегрирования по формулам (2) и (3), заменяя в них измеренную эффективность отбора проб на соответствующий для испытуемого пробоотборника норматив по отбору проб, $F(D)$, по формуле

$$C_{иск} = C_{иск}(D_A,\sigma_A)\begin{cases}\approx \sum_{p=1}^{N_p} F(D_p)W_p \\ = \int_{D_{мин}}^{D_{макс}} A(D_A,\sigma_A,D)F(D)\,dD\end{cases}, \quad (4)$$

где $C_{иск}(D_A, \sigma_A)$ — $C_{иск}$ как функция распределения аэрозольных частиц по размерам A;

D_A — аэродинамический диаметр, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A, мкм;

σ_A — СГО логарифмически нормального распределения частиц по размерам A;

N_p — число применяемых значений размера частиц контрольного аэрозоля;

$D_{макс}$ — диаметр частиц, соответствующий верхней границе диапазона интегрирования для рассматриваемого аэрозоля, мкм;

$D_{мин}$ — диаметр частиц, соответствующий нижней границе диапазона интегрирования для рассматриваемого аэрозоля, мкм;

$F(D)$ — норматив по отбору проб для испытуемого пробоотборника;

W_p — средневзвешенное значение интеграла по кривой распределения частиц по размерам A;

$A(D_A, \sigma_A, D)$ — относительное логарифмически нормальное распределение аэрозольных частиц по размерам с аэродинамическим диаметром, соответствующим медиане массового распределения частиц по размерам D_A, и СГО, равным σ_A, 1/мкм.

Вычисление значений функции, соответствующих предельным значениям диапазона интегрирования, при использовании метода кусочно-линейной аппроксимации приведено в приложении А. При использовании метода подбора кривой предельные значения диапазона интегрирования — в соответствии с формулой (3).

8.3.3 Вычисление систематического отклонения от норматива по отбору проб

Для любого распределения аэрозольных частиц по размерам A систематическое отклонение содержания аэрозольных частиц, отобранных с применением испытуемого пробоотборника, от норматива по отбору проб Δ_i вычисляют по формуле

$$\Delta_i = \Delta_i\left(D_A, \sigma_A\right) = \frac{c\,\overline{C}_i - C_{иск}}{C_{иск}}, \quad (5)$$

где D_A — аэродинамический диаметр, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A;

σ_A — СГО логарифмически нормального распределения аэрозольных частиц по размерам A;

c — поправочный коэффициент, регламентированный изготовителем пробоотборника или методикой измерений;

$\overline{C}_i$ — среднее относительное содержание аэрозольных частиц как функция распределения аэрозольных частиц по размерам A;

$C_{иск}$ — искомое относительное содержание аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженное через долю содержания всех взвешенных в воздухе частиц, которые могли бы быть отобраны идеальным пробоотборником с эффективностью отбора проб, неотличимой от норматива по отбору проб $F(D)$.

Для учета систематического отклонения эффективности испытуемого пробоотборника от норматива по отбору проб при вычислении содержания применяют безразмерный поправочный коэффициент c, значение которого регламентировано изготовителем пробоотборника, методикой измерений/отбора проб или принимается равным 1,00. Не допускается применять другие значения поправочного коэффициента. Выбранное значение поправочного коэффициента c приводят в протоколе испытаний.

Вычисляют значения систематического отклонения для распределений аэрозольных частиц по размерам (см. таблицу 2). Полученные значения в виде таблицы приводят в протоколе испытаний, а также строят двухмерную диаграмму в координатах σ_A и D_A, на которую наносят точки с одинаковыми значениями систематического отклонения, соединенные линиями для отображения контуров. Для каждого значения скорости потока воздуха или других влияющих величин строят свою диаграмму. При оценке характеристик пробоотборника (см. таблицу 2) на диаграммах указывают рассматриваемые распределения аэрозольных частиц по размерам.

Таблица 2 — Распределения аэрозольных частиц по размерам, необходимые для оценки характеристик аэрозольных пробоотборников

ММАД, мкм	СГО									
	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	—	—	—	—	—	—	—	—
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
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	—	—	—	—

Окончание таблицы 2

ММАД, мкм	СГО									
	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0
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	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания

1 R — респирабельные фракции, Т — торакальные фракции, I — вдыхаемые фракции.

Диапазоны значений ММАД и СГО, приведенные в данной таблице, включают распределения аэрозольных частиц по размерам, представляющие наибольший интерес при исследовании воздуха рабочей зоны. Конкретные распределения аэрозольных частиц по размерам для респирабельной, торакальной или вдыхаемой фракций выбраны следующим образом:

а) более 84 % массы аэрозольных частиц приходится на частицы аэродинамическим диаметром не более 100 мкм, т. е. произведение ММАД на СГО составляет не более 100 мкм;

б) масса респирабельной и торакальной фракций аэрозольных частиц должна составлять не менее 5 % общей массы аэрозольных частиц;

в) более 84 % массы аэрозольных частиц приходится на частицы аэродинамическим диаметром более 0,5 мкм, т. е. произведение ММАД на СГО составляет не менее 0,5 мкм.

2 В настоящей таблице представлены 354 распределения частиц по размеру для пробоотборников вдыхаемой фракции, 325 — для пробоотборников торакальной фракции и 216 — для пробоотборников респирабельной фракции.

8.4 Вычисление расширенной неопределенности

8.4.1 Основные положения

К составляющим неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, относятся:

- неопределенность, связанная с определением размера и числа частиц контрольного аэрозоля (см. 8.4.2);
- неопределенность, связанная с оценкой содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником (см. 8.4.3);
- неопределенность, связанная с несоответствием нормативу по отбору проб (см. 8.4.4);
- неопределенность, связанная с различием характеристик образцов пробоотборников одного типа (см. 8.4.5);

- неопределенность, связанная с отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения (см. 8.4.6).

Вклад составляющих неопределенности в свою очередь зависит от распределения аэрозольных частиц по размерам *A* и других влияющих величин, например от скорости потока воздуха в рабочей зоне или загрузки пробоотборника частицами. Для упрощения процедуры вычислений их выполняют в несколько этапов:

а) для каждого значения влияющей величины и каждой из пяти составляющих неопределенности, перечисленных выше, вычисляют СКЗ для всего диапазона размеров распределения аэрозольных частиц *A* по таблице 2 (или, при необходимости, для выбранного набора распределений аэрозольных частиц по размерам, для которого определяют эффективность отбора проб);

б) для каждого значения влияющей величины суммируют квадраты дисперсий пяти составляющих неопределенности и получают квадрат суммарной стандартной неопределенности;

в) если условия отбора/анализа проб могут быть соотнесены с конкретным значением влияющей величины, то каждому значению каждой влияющей величины соответствует своя суммарная стандартная неопределенность;

г) если условия отбора/анализа проб не могут быть соотнесены с конкретным значением влияющей величины (например, при непрерывном и быстром изменении влияющей величины невозможно установить взаимосвязь с конкретным значением), то определяют, для какого из значений влияющей величины квадрат суммарной стандартной неопределенности принимает наибольшее значение, которое и учитывают при дальнейших вычислениях;

д) суммарная стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, представляет собой квадратный корень из квадрата суммарной стандартной неопределенности.

В качестве справочных допускается использовать приведенные ниже расчетные данные, полученные в отлаженных экспериментах с применением пробоотборников, для которых установлено оптимальное соответствие заданному нормативу по отбору проб:

- составляющая неопределенности, связанная с определением размера и числа частиц контрольного аэрозоля, может составлять от 0,01 до 0,02;
- неопределенность, связанная с оценкой содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, — от 0,01 до 0,02;
- неопределенность, связанная с различиями характеристик образцов пробоотборников одного типа, — от 0,03 до 0,07;
- неопределенность, связанная с несоответствием нормативу по отбору проб, — от 0,05 до 0,10 в зависимости от степени соответствия заданному нормативу по отбору проб. При неудовлетворительном соответствии данная составляющая может быть от 0,20 до 0,25;
- для пробоотборников респирабельной и торакальной фракций частиц неопределенность, связанная с отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения, может составить от 0,02 до 0,05, если содержание аэрозольных частиц в воздухе вычисляют на основе номинального значения объемного расхода, и от 0,05 до 0,09 — при вычислении на основе фактического значения объемного расхода. Для пробоотборников вдыхаемой фракции соответствующая неопределенность может составить приблизительно 0,03.

Кроме отбора проб методика измерений содержания аэрозольных частиц включает процедуры:

- измерений объемного расхода воздуха;
- транспортирования проб в аналитическую лабораторию и их подготовки;
- количественного (химического) анализа.

Для полной оценки характеристик методики измерений необходима информация о потерях аэрозольных частиц и неопределенностях, связанных с систематическими эффектами при этих процедурах (а также возможных поправках). В ГОСТ Р 70378.1—2022 (приложение А) установлена методика вычисления расширенной неопределенности для методики измерений.

8.4.2 Неопределенность, связанная с определением размера и числа частиц контрольного аэрозоля

В отлаженном эксперименте составляющие неопределенности, связанные с определением размера и числа частиц, будут незначительны. Неопределенность результатов измерений массовой доли отобранных аэрозольных частиц может быть вычислена путем распространения неопределенности результатов измерений аэродинамического диаметра частиц контрольного аэрозоля времяпролетными анализаторами.

Неопределенность, связанная с определением размера и числа частиц контрольного аэрозоля, как составляющая неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, зависит от точности определения фактических абсолютных размеров частиц контрольного аэрозоля. Соответствующая неопределенность, обусловленная систематическими и случайными эффектами, будет связана:

- с характеристиками (монодисперсных) контрольных аэрозолей;
- характеристиками контрольного аэрозоля, используемого при калибровке счетчиков/времяпролетных анализаторов, применяемых для исследования (полидисперсных) аэрозолей;
- функцией преобразования размера частиц (например, используемой для пересчета эквивалентных диаметров по объему в аэродинамические диаметры).

Стандартную неопределенность результатов измерений среднего содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, полученную объединением систематической и случайной составляющих, связанных с калибровкой средства измерений размера частиц, выраженную в долях $C_{\text{иск}}$, $u^{\text{ИП}}_{\text{кал}_i}$, вычисляют для каждого значения влияющей величины как СКЗ по всем N_{PP} распределениям аэрозольных частиц по размерам A (см. приложение А).

8.4.3 Неопределенность, связанная с оценкой содержания отобранных аэрозольных частиц

Неопределенность, связанная с оценкой содержания в воздухе аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловлена отклонениями результатов экспериментального определения эффективности отбора проб от выбранной математической модели. В случае метода кусочно-линейной аппроксимации эти отклонения связаны с приблизительностью метода, а также с разбросом значений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником и остроконечным зондом соответственно. В случае метода подбора кривой эти отклонения связаны с несовершенством применяемой модели регрессии и поправок в эффективность отбора проб на изменчивость содержания аэрозольных частиц во времени и в пространстве. Для обоих методов получают неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником.

Стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, связанную с несовершенством подобранной математической модели, $u^{\text{ИП}}_{\text{мод}_i}$, в долях $C_{\text{иск}}$, вычисляют для каждого значения влияющей величины ξ_i как СКЗ для всех результатов измерений содержания аэрозольных частиц и всех N_{PP} распределений аэрозольных частиц по размерам A. В приложении А приведены формулы для вычисления эффективности отбора проб методами кусочно-линейной аппроксимации и подбора кривой соответственно.

8.4.4 Неопределенность, связанная с несоответствием нормативу по отбору проб

Изменчивость систематического отклонения содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, от значений, соответствующих нормативу по обору проб, связана с отклонением средней фактической кривой эффективности отбора проб испытуемого пробоотборника от норматива по отбору проб.

Стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, связанными с несоответствием результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, нормативу по отбору проб $u^{\text{ИП}}_{\text{норм}_i}$, в долях $C_{\text{иск}}$, вычисляют для каждого значения влияющей величины как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц по всем N_{PP} распределений аэрозольных частиц по размерам A по формуле

$$\begin{cases} \left(u^{\text{ИП}}_{\text{норм}_i}\right)^2 = \dfrac{1}{N_{\text{PP}}}\sum\limits_{a=1}^{N_{\text{PP}}}\left(\dfrac{c\,\bar{C}_i - C_{\text{иск}}}{C_{\text{иск}}}\right)^2 = \dfrac{1}{N_{\text{PP}}}\sum\limits_{a=1}^{N_{\text{PP}}}\left(\Delta_i\left(D_{A_a},\sigma_{A_a}\right)\right)^2 \\ \bar{C}_i = \bar{C}_i\left(D_{A_a},\sigma_{A_a},\xi_i\right) \\ C_{\text{иск}} = C_{\text{иск}}\left(D_{A_a},\sigma_{A_a}\right) \end{cases}, \quad (6)$$

где N_{PP} — число распределений аэрозольных частиц по размерам A в соответствии с таблицей 2;

c — поправочный коэффициент, применяемый для корректировки систематического отклонения эффективности пробоотборника от норматива по отбору проб;

$\overline{C}_i$ — среднее относительное содержание аэрозольных частиц, которые по расчетам могут быть отобраны испытуемым пробоотборником;

$C_{иск}$ — искомое относительное содержание аэрозольных частиц;

Δ_i — систематическое отклонение от норматива по отбору проб содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, с распределением по размерам A при значении влияющей величины ξ_i;

D_{A_a} — аэродинамический диаметр a, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A;

σ_{A_a} — СГО a-го логарифмически нормального распределения A аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, по размерам;

ξ_i — i-е значение другой влияющей величины.

Примечание — По формулам (2) и (3) вычисляют $\overline{C}_i$ методом кусочно-линейной аппроксимации и подбора кривой соответственно.

8.4.5 Неопределенность, связанная с различием характеристик образцов пробоотборников одного типа

Стандартную неопределенность, обусловленную случайными эффектами, связанную с различием характеристик образцов пробоотборников одного типа, вычисляют на основе измеренных/вычисленных стандартных отклонений содержания аэрозольных частиц, отобранных отдельными испытуемыми пробоотборниками. Вычисление возможно только при наличии полного набора данных по эффективности отбора проб по крайней мере для шести испытуемых пробоотборников. Для вычислений методом кусочно-линейной аппроксимации необходимы данные об изменчивости содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемыми пробоотборниками. Для вычислений методом подбора кривой необходимы данные о различиях кривых эффективности отбора проб отдельных испытуемых пробоотборников. В обоих случаях необходимо выяснить, каким образом различия кривых эффективности отбора проб отдельных пробоотборников влияют на неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц.

Примечание — Подобные различия характерны для пробоотборников респирабельной и торакальной фракций с внутренним проскоком, зависящим от структуры и гладкости поверхности, например циклонных пылеуловителей, горизонтальных элютриаторов и импакторов.

Стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную случайными эффектами, связанными с различием характеристик образцов пробоотборников $u^{ИП}_{РХ_i}$, выраженную в долях $C_{иск}$, вычисляют для каждого значения влияющей величины как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех $N_{РР}$ распределений аэрозольных частиц по размерам A.

В приложении А приведены формулы для вычислений методами кусочно-линейной аппроксимации и подбора кривой соответственно.

8.4.6 Неопределенность, связанная с отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения

8.4.6.1 Испытуемые пробоотборники, для которых установлено отсутствие взаимосвязи между объемным расходом воздуха при отборе проб и проскоком частиц, например пробоотборники вдыхаемой фракции частиц

Влияние отклонений объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения на вычисленное относительное содержание аэрозольных частиц эквивалентно способности насоса поддерживать постоянный расход в пределах $\pm\delta_{ПР}$ заданного (номинального) значения. Для побудителя расхода, соответствующего требованиям ГОСТ Р ИСО 13137, $\delta_{ПР} = \pm 0{,}05$.

Стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную случайными эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения $u^{ИП}_{расх_i}$, выраженную в долях $C_{иск}$, вычисляют для каждого значения влияющей величины как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех $N_{РР}$ распределений аэро-

зольных частиц по размерам A. Предполагая прямоугольное распределение соответствующих СКЗ для данной составляющей неопределенности, $u^{ИП}_{расх_i}$ вычисляют по формуле

$$\begin{cases} \left(u^{ИП}_{расх_i}\right)^2 = \dfrac{\delta^2_{ПР}}{3}\dfrac{1}{N_{РР}}\sum\limits_{a=1}^{N_{РР}}\left(\dfrac{\overline{C}_i}{C_{иск}}\right)^2 \\ \overline{C}_i = \overline{C}_i\left(D_{A_a}, \sigma_{A_a}, \xi_i\right) \\ C_{иск} = C_{иск}\left(D_{A_a}, \sigma_{A_a}\right) \end{cases}, \qquad (7)$$

где $\delta_{ПР}$ — максимальное значение относительного стандартного отклонения объемного расхода воздуха от номинального значения, связанного с нестабильностью работы побудителя расхода;

$N_{РР}$ — число распределений отобранных частиц по размерам A в соответствии с таблицей 2;

$\overline{C}_i$ — среднее относительное содержание аэрозольных частиц, которые по расчетам могут быть отобраны испытуемым пробоотборником;

$C_{иск}$ — искомое относительное содержание аэрозольных частиц;

D_{A_a} — аэродинамический диаметр a, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A;

σ_{A_a} — СГО a-го логарифмически нормального распределения A аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, по размерам;

ξ_i — i-е значение другой влияющей величины.

8.4.6.2 Испытуемые пробоотборники, для которых установлена взаимосвязь между расходом воздуха и проскоком частиц, например пробоотборники респирабельной и торакальной фракций частиц

Проскок в пробоотборниках респирабельной и торакальной фракций частиц значительно зависит от объемного расхода воздуха при отборе проб. Стандартную неопределенность, связанную с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения, оценивают посредством объединения неопределенностей, связанных с измерением расхода и изменчивостью массы отобранных аэрозольных частиц.

Отклонения от номинального объемного расхода в сторону его увеличения приводят к увеличению массового расхода аэрозоля, поступающего в пробоотборник, и изменению (как правило, увеличению) эффективности разделения частиц в пробоотборнике, что влияет на содержание отобранных частиц.

Примечание — При увеличении объемного расхода воздуха в циклонных пылеуловителях и импакторах, в которых разделение частиц на фракции происходит за счет инерции, проскок частиц уменьшается, в элютриаторах (горизонтальной или вертикальной конструкции) с разделением за счет осаждения — увеличивается.

При проведении измерений содержания с применением испытуемого пробоотборника отклонение объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения обусловлено влиянием неточности регулировки расхода, характеризуемой интервалом $\pm\delta^{рег}_{расх}$, и нестабильности работы побудителя расхода, характеризуемой интервалом $\pm\delta_{ПР}$. Для побудителей расхода, соответствующих требованиям ГОСТ Р ИСО 13137, выполняется условие $\delta_{ПР} = \pm 0{,}05$. Если методикой измерений или методикой отбора проб регламентированы более строгие требования к стабильности работы побудителя расхода, то $\delta_{ПР}$ вычисляют по формуле (8).

Стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения, $u^{ИП}_{расх_i}$, выраженную в долях $C_{иск}$, вычисляют для каждого значения влияющей величины как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех $N_{РР}$ распределений аэрозольных частиц по размерам A с использованием формул (8) — (12).

Влияние расхода на среднюю массу $m_i(D_A, \sigma_A, Q)$ аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженную через долю массы всех взвешенных в воздухе частиц, попавших в пробоотборник, которая по расчетам может быть отобрана испытуемым пробоотборником, оценивают по формуле

$$m_i\left(D_A,\sigma_A,Q\right)=m_i\left(D_A,\sigma_A,Q\right)\cdot\left(\frac{Q}{Q^0}\right)^{q_i\left(D_{A_a},\sigma_{A_a}\right)}, \tag{8}$$

где D_{A_a} — аэродинамический диаметр a, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A;

σ_{A_a} — СГО a-го логарифмически нормального распределения A аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, по размерам;

Q — значение объемного расхода воздуха (отличающееся от номинального значения), при котором определяют эффективность отбора проб;

Q^0 — номинальный объемный расход воздуха;

$q_i\left(D_{A_a},\sigma_{A_a}\right)$ — коэффициент, отражающий влияние объемного расхода воздуха на массу аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, вычисляемый по формуле

$$q_i\left(D_{A_a},\sigma_{A_a}\right)=\frac{\sum\limits_{a=1}^{N_{PP}}\ln\dfrac{m_i\left(D_A,\sigma_A,Q\right)}{m_i\left(D_A,\sigma_A,Q^0\right)}\ln\dfrac{Q}{Q^0}}{\sum\limits_{a=1}^{N_{PP}}\left[\ln\dfrac{Q}{Q^0}\right]}. \tag{9}$$

В зависимости от применяемого метода вычислений (кусочно-линейной аппроксимации или подбора кривой) среднюю массу $m_i\left(D_A,\ \sigma_A,\ Q\right)$ аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженную через долю массы всех взвешенных в воздухе частиц, попавших в пробоотборник, вычисляют по формуле

$$m_i\left(D_A,\sigma_A,Q\right)\begin{cases}\approx\sum\limits_{p=1}^{N_p}\bar{E}_i\left(Q,D_p\right)W_p\\ =\int\limits_{D_{мин}}^{D_{макс}}A\left(D_A,\sigma_A,D\right)E_{is}^{оц}(Q,D)\,\mathrm{d}D\end{cases}, \tag{10}$$

где D_A — аэродинамический диаметр a, соответствующий медиане логарифмически нормального массового распределения аэрозольных частиц по размерам A;

σ_A — СГО a-го логарифмически нормального распределения аэрозольных частиц по размерам A, отобранных испытуемым пробоотборником;

Q — значение расхода, при котором определяют эффективность отбора проб;

$\bar{E}_i(Q,\ D_p)$ — эффективность отбора проб для испытуемого пробоотборника при расходе Q (полученная методом кусочно-линейной аппроксимации);

$E_{is}^{оц}(Q,D)$ — эффективность отбора проб для испытуемого пробоотборника при расходе Q (полученная методом подбора кривой);

W_p — средневзвешенное значение интеграла по кривой распределения аэрозольных частиц по размерам A в диапазоне между двумя значениями размера частиц (см. приложение А);

$A(D_A,\ \sigma_A,\ D)$ — логарифмически нормальная функция распределения аэрозольных частиц по размерам A с аэродинамическим диаметром, соответствующим медиане массового распределения частиц по размерам D_A, и СГО, равным σ_A.

Для каждого распределения частиц аэрозоля по размерам a и каждого значения другой влияющей величины стандартное отклонение, характеризующее неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, связанную с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального и/или начального значения, $s_{расх_{ai}}^{ИП}$ вычисляют по формуле

$$s_{расх_{ai}}^{ИП}\approx\left|q_i\left(D_{A_a},\sigma_{A_a}\right)-q_0\right|\sqrt{\frac{\delta_{расх}^{рег\ 2}+\delta_{ПР}^2}{3}}\,\bar{C}_i\left(D_{A_a},\sigma_{A_a},\xi_i,Q^0\right), \tag{11}$$

где $q_i(D_{A_a}, \sigma_{A_a})$ — коэффициент регрессионной функции, отражающий влияние объемного расхода воздуха при отборе проб на массу отобранных частиц;

q_0 — параметр, принимаемый равным 0 или 1.

Если содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, вычисляют на основе номинального значения объемного расхода воздуха Q^0, то $q_0 = 1$, если на основе фактического значения объемного расхода воздуха Q, то $q_0 = 0$.

Соответствующее значение выбирают в соответствии с требованиями методики измерений, включающей отбор проб испытуемым пробоотборником;

$\delta_{\text{расх}}^{\text{рег}}$ — максимальное значение относительного стандартного отклонения объемного расхода воздуха от номинального значения, связанного с регулировкой расхода;

$\delta_{\text{ПР}}$ — максимальное значение относительного стандартного отклонения объемного расхода воздуха от номинального значения, связанного с нестабильностью работы побудителя расхода;

$\overline{C}_i(D_{A_a}, \sigma_{A_a}, \xi_i, Q^0)$ — среднее относительное содержание аэрозольных частиц, выраженное через долю содержания всех взвешенных в воздухе частиц, вычисленное методом кусочно-линейной аппроксимации по формуле (2) или методом подбора кривой по формуле (3) соответственно.

Примечание — Вычислять содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, на основе номинального значения объемного расхода воздуха целесообразно только для тех пробоотборников, в которых проскок частиц уменьшается при увеличении расхода.

Значение $u_{\text{расх}_i}^{\text{ИП}}$ вычисляют по формуле

$$\left(u_{\text{расх}_i}^{\text{ИП}}\right)^2 = \frac{1}{N_{\text{РР}}} \sum_{a=1}^{N_{\text{РР}}} \left(\frac{s_{\text{расх}_{ai}}^{\text{ИП}}}{C_{\text{иск}}} \right)^2, \qquad (12)$$

где $N_{\text{РР}}$ — число распределений аэрозольных частиц по размерам A в соответствии с таблицей 2;

$s_{\text{расх}_{ai}}^{\text{ИП}}$ — стандартное отклонение, характеризующее неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, связанную с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального и/или начального значения для a-го распределения частиц по размерам A при значении влияющей величины ξ_i;

$C_{\text{иск}}$ — искомое относительное содержание аэрозольных частиц.

8.4.7 Суммарная стандартная неопределенность

8.4.7.1 Общие положения

Суммарные стандартные неопределенности получают объединением стандартных неопределенностей, обусловленных систематическими эффектами $u_{\text{ИП}_i}^{\text{сист}}$, и стандартных неопределенностей, обусловленных случайными эффектами $u_{\text{ИП}_i}^{\text{случ}}$. Способ вычисления зависит от того, есть ли взаимосвязь между объемным расходом воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником и проскоком (например, как для пробоотборников респирабельной и торакальной фракций) или ее нет (например, как для пробоотборников вдыхаемой фракции).

8.4.7.2 Оценка неопределенности при отсутствии взаимосвязи между объемным расходом воздуха при отборе проб и проскоком частиц (например, для пробоотборников вдыхаемой фракции)

При отсутствии взаимосвязи между объемным расходом воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником и (внутренним) проскоком частиц суммарные неопределенности (обусловленные систематическими и случайными эффектами соответственно) $u_{\text{ИП}_i}^{\text{сист}}$ и $u_{\text{ИП}_i}^{\text{случ}}$ соответственно вычисляют по формуле

$$\begin{cases} \left(u_{\text{ИП}_i}^{\text{случ}}\right)^2 = \left(u_{\text{мод}_i}^{\text{ИП}}\right)^2 + \left(u_{\text{РХ}_i}^{\text{ИП}}\right)^2 + \left(u_{\text{расх}_i}^{\text{ИП}}\right)^2 \\ \left(u_{\text{ИП}_i}^{\text{сист}}\right)^2 = \left(u_{\text{кал}_i}^{\text{ИП}}\right)^2 + \left(u_{\text{норм}_i}^{\text{ИП}}\right)^2 \end{cases}, \qquad (13)$$

где $u^{ИП}_{мод_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с несовершенством подобранной математической модели, вычисляемая как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех N_{PP} при значении влияющей величины ξ (см. 8.4.3);

$u^{ИП}_{РХ_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с различием характеристик образцов пробоотборников, при значении влияющей величины ξ_i (см. 8.4.5);

$u^{ИП}_{расх_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными или систематическими эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения при значении влияющей величины ξ_i [см. формулу (7)];

$u^{ИП}_{кал_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими и случайными эффектами, связанными с экспериментальным определением размера и числа частиц контрольного аэрозоля, вычисленная как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех N_{PP}, при значении влияющей величины ξ_i (см. 8.4.2);

$u^{ИП}_{норм_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанными с несоответствием результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, нормативу по отбору проб при значении влияющей величины ξ_i [см. формулу (6)].

8.4.7.3 Оценка неопределенности при наличии взаимосвязи между объемным расходом воздуха при отборе проб и проскоком частиц

Для испытуемого пробоотборника с наличием взаимосвязи между объемным расходом воздуха при отборе проб и проскоком суммарные неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником (обусловленные систематическими и случайными эффектами), $u^{сист}_{ИП_i}$ и $u^{случ}_{ИП_i}$ при значении влияющей величины ξ_i вычисляют по формуле

$$\begin{cases} \left(u^{случ}_{ИП_i}\right)^2 = \left(u^{ИП}_{мод_i}\right)^2 + \left(u^{ИП}_{РХ_i}\right)^2 \\ \left(u^{сист}_{ИП_i}\right)^2 = \left(u^{ИП}_{кал_i}\right)^2 + \left(u^{ИП}_{норм_i}\right)^2 + \left(u^{ИП}_{расх_i}\right)^2 \end{cases}, \quad (14)$$

где $u^{ИП}_{мод_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с несовершенством подобранной математической модели, вычисляемая как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех N_{PP} при значении влияющей величины ξ (см. 8.4.3);

$u^{ИП}_{РХ_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с различием характеристик образцов пробоотборников, при значении влияющей величины ξ_i (см. 8.4.5);

$u^{ИП}_{кал_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими и случайными эффектами, связанными с экспериментальным определением размера и числа частиц контрольного аэрозоля, вычисленная как СКЗ результатов измерений содержания аэрозольных частиц для всех N_{PP}, при значении влияющей величины ξ_i (см. 8.4.2);

$u^{ИП}_{норм_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанными с несоответствием результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, нормативу по отбору проб при значении влияющей величины ξ_i [см. формулу (6)];

$u^{ИП}_{расх_i}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными или систематическими эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения при значении влияющей величины ξ_i [см. формулу (12)].

8.4.7.4 Оценка суммарной неопределенности для каждой влияющей величины

Для каждого значения влияющей величины ξ_i суммарную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, $u_{ИП_i}$ вычисляют по формуле

$$u_{ИП_i} = \sqrt{\left(u^{случ}_{ИП_i}\right)^2 + \left(u^{сист}_{ИП_i}\right)^2}, \quad (15)$$

где $u^{случ}_{ИП_i}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, обусловленных случайными эффектами, при значении влияющей величины ξ_i;

$u^{сист}_{ИП_i}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, обусловленных систематическими эффектами, при значении влияющей величины ξ_i.

8.4.7.5 Оценка неопределенности для различимых значений влияющих величин

Если условия отбора/анализа проб могут быть соотнесены с конкретным значением влияющей величины, то суммарная стандартная неопределенность будет зависеть от этого значения влияющей величины во время отбора проб, например скорости потока воздуха.

Примечание — Это значит, что полученная расширенная неопределенность будет функцией значений других влияющих величин ξ.

В этом случае суммарную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником (например, для значения влияющей величины I) $u_{ИП}$ вычисляют по формуле

$$\begin{cases} u_{ИП} = u_{ИП}\left(\xi_I\right) = u_{ИП_I} \\ 0 \le I \le N_{ВВ} \end{cases}, \quad (16)$$

где ξ — значение другой влияющей величины;

$u_{ИП_I}$ — суммарная стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, при значении влияющей величины ξ_I;

I — подстрочный индекс, обозначающий номер выбранного значения влияющей величины ξ;

$N_{ВВ}$ — число значений других влияющих величин, учитываемых при проведении испытаний.

Также определяют $u^{случ}_{ИП_I}$ и $u^{сист}_{ИП_I}$, суммарные стандартные неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, связанные со случайными и систематическими эффектами соответственно при значении влияющей величины ξ_I.

8.4.7.6 Оценка неопределенности при отсутствии различий между значениями влияющих величин

Если условия отбора/анализа проб не могут быть соотнесены с конкретным значением влияющей величины (например, при непрерывном и быстром ее изменении), то определяют, для какого из значений влияющей величины квадратичная суммарная стандартная неопределенность принимает наибольшее значение, которое и учитывают при дальнейших вычислениях.

Примечание — Это значит, что полученная расширенная неопределенность не будет зависеть от значений других влияющих величин ξ.

В этом случае суммарную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником (например, для значения влияющей величины I), $u_{ИП}$ вычисляют по формуле

$$u_{ИП} = \underset{i \le N_{ВВ}}{\text{макс}} \left\{ u_{ИП_i} \right\}, \quad (17)$$

где $N_{ВВ}$ — число значений других влияющих величин, учитываемых при проведении испытаний;

$u_{ИП_i}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, при значении влияющей величины ξ_i.

Если это максимальное значение наблюдается при значении влияющей величины $i = i0$, то $u_{ИП}$ вычисляют по формуле

$$u_{ИП} = u_{ИП_{i0}}, \quad (18)$$

где $u_{ИП_{i0}}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, обусловленных случайными и систематическими эффектами, при значении влияющей величины ξ_{i0};

$i0$ — выбранное значение из группы неразличимых значений влияющей величины, при котором получают наибольшее значение суммарной стандартной неопределенности для испытуемого пробоотборника.

8.4.8 Расширенная неопределенность

Расширенную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, $U_{ИП}$ вычисляют на основе суммарной стандартной неопределенности с использованием значения коэффициента охвата 2 по формуле

$$U_{ИП} = 2u_{ИП}, \quad (19)$$

где $u_{ИП}$ — суммарная стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником.

Примечание — Если условия отбора/анализа проб могут быть соотнесены с конкретным значением влияющей величины, то расширенная неопределенность будет зависеть от фактического значения влияющей величины во время отбора проб.

Методика оценки расширенной неопределенности методики измерений с учетом транспортирования, хранения, подготовки и количественного (химического) анализа проб приведена в ГОСТ Р 70378.1—2022 (приложение А).

9 Протокол испытаний

9.1 Общие положения

Протокол испытаний должен содержать всю информацию, относящуюся к испытанию типа А (см. ГОСТ Р 70378.1—2022, подраздел 7.1), и информацию, приведенную в 9.2—9.11.

9.2 Сведения об испытательной лаборатории и заказчике испытаний

Приводят следующую информацию об испытательной лаборатории и заказчике испытаний:

- наименование и адрес испытательной лаборатории, сведения о персонале, проводящем испытания, дату выполнения работ;
- наименование организации, являющейся заказчиком испытаний.

9.3 Сведения об испытуемом пробоотборнике

Приводят следующую информацию об испытуемом пробоотборнике:

- наименование прибора;
- обобщенный тип (циклонный пылеуловитель, осадитель и т. д.);

- норматив(ы) по отбору проб, в соответствии с которым(и) происходит отбор проб;
- информация об уловителе(ях), совместимых с отбираемыми аэрозольными частицами;
- область применения испытания, ограничения по использованию пробоотборника и особенности его применения на регулярной основе;
- заводской номер, срок годности и сведения об изготовителе испытуемого пробоотборника;
- значение номинального объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником со ссылкой на документ, из которого оно взято.

9.4 Критический анализ отбора проб

Примечание — См. ГОСТ Р 70378.1—2022, подраздел 6.2.

Приводят следующие результаты критического анализа отбора проб:
- описание процедуры отбора проб с применением испытуемого пробоотборника;
- перечень влияющих на отбор проб величин;
- обоснования причин включения или исключения необязательных влияющих величин, приведенных в таблице 1;
- заключение, в котором описывают область применения испытаний и любые ограничения по использованию пробоотборника.

9.5 Испытательное оборудование, методики и условия испытаний

В данном разделе протокола испытаний приводят подробное описание всех применяемых методик испытаний, дают ссылки на аттестованные методики измерений и стандарты. Как правило, в протоколе приводят:

а) эскиз и описание испытательного оборудования (аэродинамической трубы или аэрозольной камеры) с указанием размеров и точек размещения пробоотборников;

б) подробное описание профилей скорости, участков запирания потока и турбулентности для аэродинамических труб;

в) для индивидуальных пробоотборников: описание манекена или конструкции, имитирующей тело человека, или другой конструкции для проведения эксперимента; точек размещения и ориентации пробоотборников;

г) описание используемого(ых) контрольного(ых) аэрозоля(ей) и системы их генерирования;

д) описание методов определения стабильности и однородности содержания аэрозоля в пространстве и времени;

е) значения массовой и счетной (при необходимости) концентрации частиц контрольного аэрозоля, а также аэродинамического диаметра частиц и СГО распределения частиц по размерам;

ж) описание процедуры калибровки средств измерений, применяемых для определения аэродинамического диаметра частиц и их точности;

и) описание или ссылку на методику измерений для средств измерений с прямым отсчетом показаний, применяемых для определения размера и подсчета частиц;

к) методику отбора холостых проб;

л) подробное описание методики измерений объемного расхода воздуха через пробоотборник;

м) наименование, марку (модель), принцип действия и технические характеристики применяемых побудителей расхода (если в пробоотборнике отсутствует встроенный побудитель расхода);

н) значения температуры, атмосферного давления и относительной влажности во время испытаний;

п) описание применяемых методов количественного (химического) анализа и связанных с ними неопределенностей;

р) формулы, применяемые для вычисления содержания частиц контрольного аэрозоля и относительных стандартных отклонений содержания;

с) характеристики уловителей и описание процедур обработки уловителей и очистки пробоотборников.

9.6 Подробное описание плана эксперимента

В данном разделе протокола испытаний в виде таблицы приводят план и информацию об экспериментах: число испытуемых образцов, характеристики контрольного аэрозоля и системы его генерирования, значения учитываемых влияющих величин (например, скорости потока воздуха, и число

значений каждой величины), последовательность испытаний. В этом разделе протокола приводят подробное описание любых дополнительных испытаний, например испытаний по определению зависимости эффективности отбора проб от характеристик потока, а также подробную информацию по процедуре основного испытания.

9.7 Представление результатов измерений

В данном разделе протокола испытаний приводят таблицу, в которую заносят все значения эффективности пробоотборника, полученные при установленных значениях аэродинамических диаметров частиц для всех образцов пробоотборников. В таблице(ах) должен быть подробно идентифицирован образец испытуемого пробоотборника, положение манекена (если таковой применяется), скорость потока воздуха и другие влияющие величины. Результаты дополнительных испытаний приводят в отдельной таблице.

9.8 Методы вычислений и анализ результатов измерений

В данном разделе протокола испытаний приводят описание методов вычислений систематического отклонения эффективности пробоотборника от норматива по отбору проб и других характеристик пробоотборника, а результаты вычислений сводят в таблицу. Соответствующие диаграммы зависимости систематического отклонения и расширенной неопределенности для составляющих неопределенности от параметров распределения аэрозольных частиц по размерам приводят для каждого значения скорости потока воздуха, при котором проводились испытания, или другой влияющей величины.

9.9 Характеристики испытуемого пробоотборника

В данном разделе протокола испытаний приводят:

- распределение частиц аэрозоля по размерам и значения скорости потока воздуха, при которых систематическое отклонение эффективности испытуемого пробоотборника от норматива по отбору проб превышает ±0,1;

- значения всех стандартных неопределенностей результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником $\left(u^{\text{ИП}}_{\text{кал}_i}, u^{\text{ИП}}_{\text{мод}_i}, u^{\text{ИП}}_{\text{РХ}_i}, u^{\text{ИП}}_{\text{норм}_i}\right.$ и $\left.u^{\text{ИП}}_{\text{расх}_i}\right)$;

- значения суммарных неопределенностей для всех значений влияющих величин $u^{\text{случ}}_{\text{ИП}_i}$, $u^{\text{сист}}_{\text{ИП}_i}$ и $u_{\text{ИП}_i}$, если условия отбора/анализа проб могут быть соотнесены с конкретным значением влияющей величины;

- максимальные значения суммарных неопределенностей $u^{\text{случ}}_{\text{ИП}}$, $u^{\text{сист}}_{\text{ИП}}$ и $u_{\text{ИП}}$, если условия отбора/анализа проб не могут быть соотнесены с конкретным значением влияющей величины;

- значения расширенной неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, соответствующие всем значениям влияющих величин при отборе проб (например, скорости потока воздуха, массы отобранных частиц или других условий), а также заключение о соответствии этих значений требуемому значению расширенной неопределенности [см. ГОСТ Р 70378.1—2022, подраздел 5.2, перечисление а)];

- значение поправочного коэффициента *c*, применяемого для корректировки систематического отклонения эффективности пробоотборника от норматива по отбору проб, регламентированный изготовителем пробоотборника или методикой измерений;

- какую-либо информацию об ограничениях применимости пробоотборника, в том числе на регулярной основе, например условия испытаний, при которых он не соответствует требованиям настоящего стандарта.

9.10 Отчет о лабораторных сравнительных испытаниях

В данном разделе протокола испытаний приводят информацию о результатах лабораторных сравнительных испытаний по ГОСТ Р 70378.5—2023 (приложение А) или ссылку на протокол этих испытаний.

9.11 Краткое заключение для пользователя пробоотборника

В данном разделе протокола испытаний приводят обобщенные результаты испытаний и область их применения. Приводят характеристики пробоотборника, перечень ограничений его применимости и возможные особенности его применения в реальных условиях.

Приложение А
(обязательное)

Анализ результатов определения эффективности отбора проб

А.1 Общие положения

В настоящем приложении приведен пример анализа результатов определения эффективности отбора проб, полученных в ходе спланированного модельного эксперимента. Выбор математической модели, применяемой для анализа результатов измерений, зависит от того, применяется ли в лабораторном эксперименте монодисперсный или полидисперсный аэрозоль. В настоящем приложении описаны два метода вычислений: метод кусочно-линейной аппроксимации и метод подбора кривой. При проведении испытаний с монодисперсными аэрозолями применяют оба метода, с полидисперсными аэрозолями — предпочтительно метод подбора кривой. При применении монодисперсного аэрозоля, как правило, получают небольшое число результатов измерений, из-за чего метод подбора кривой может оказаться непригоден.

Приведенные методики обработки результатов испытаний позволяют оценить характеристики пробоотборника в заданных лабораторных условиях.

А.2 План эксперимента

В таблице А.1 приведен план эксперимента, в котором образцы пробоотборников N_s были испытаны при значениях размера (аэродинамического диаметра) частиц контрольного аэрозоля N_p в серии измерений r. Он может быть частью более масштабного исследования, в котором эксперимент по приведенному плану повторяют для различных значений влияющих величин, например скорости потока воздуха.

Таблица А.1 — План отлаженного эксперимента

Размер частиц	Серия 1		Серия 2		Серия 3	
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6
1	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×
5	×	×	×	×	×	×
6	×	×	×	×	×	×
7	×	×	×	×	×	×
8	×	×	×	×	×	×
9	×	×	×	×	×	×

Этот план может быть реализован несколькими способами. Например, при проведении испытаний с использованием полидисперсного контрольного аэрозоля в эксперименте одновременно будут участвовать частицы всех диаметров N_p, а образцы пробоотборников N_s будут испытаны последовательно, т. е. в этом случае $r = N_s$. При проведении испытаний с использованием монодисперсного контрольного аэрозоля в эксперименте будут участвовать частицы одного из диаметров N_p, а образцы пробоотборников N_s будут испытаны группами, как показано в таблице А.1, или последовательно один за другим. В одном предельном случае все образцы пробоотборников N_s могут быть испытаны одновременно (т. е. $r = 1$); в другом — один образец пробоотборника может быть испытан несколько раз (т. е. $N_s = 1$). Если есть основания полагать, что различия характеристик образцов пробоотборников значительны, то число образцов испытуемых пробоотборников N_s должно быть по возможности максимальным.

А.3 Обработка результатов определения эффективности отбора проб методом кусочно-линейной аппроксимации

А.3.1 Оценка среднего содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником

Необработанные результаты измерений (значения эффективности) — это значения e_{pj}, где индекс p обозначает диаметр частиц контрольного аэрозоля (в диапазоне от 1 до N_p), а индекс j — номер результата при заданном диаметре D_p (в диапазоне от 1 до N_j). Повторные эксперименты могут быть осуществлены за счет испытания нескольких образцов пробоотборников или за счет многократного испытания одного и того же образца (см. А.2), т. е.

они должны быть правильно идентифицированы. Среднюю эффективность отбора проб $\overline{E}_i(D_p)$ испытуемого пробоотборника для частиц контрольного аэрозоля диаметром D_p вычисляют по формуле

$$\overline{E}_i\left(D_p\right)=\frac{1}{N_j}\sum_{j=1}^{N_j}e_{pj}. \tag{A.1}$$

Это точечная оценка эффективности отбора проб $\overline{E}_i(D_p)$ при аэродинамическом диаметре частиц D_p. Методом кусочно-линейной аппроксимации среднее относительное содержание $\overline{C}$ аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженное через долю от содержания всех взвешенных в воздухе частиц, которые по расчетам могут быть отобраны испытуемым пробоотборником, может быть вычислена по формуле трапеций (или с использованием других способов интегрирования):

$$\overline{C}\approx\sum_{p=1}^{N_p}W_p\overline{E}_i, \tag{A.2}$$

где $W_p=\dfrac{A_p+A_{(p+1)}}{2},\ p\neq 1;$

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

$A_p=\int\limits_{D_{(p-1)}}^{D_p}A\left(D\right)\mathrm{d}D.$

Для вычисления первого и последнего средневзвешенного значения интеграла W_1 и W_{N_p} полученную кривую экстраполируют для получения значения эффективности $E_i(D_p)$ при D_p = 0 и значения D_p при $E_i(D_p)$ = 0. В приведенном примере вычислений принято, что $E_i(D_p)$ при D_p = 0 равно $E_i(D_p)$ при D_1, а значение D_p, при котором $E_i(D_p)$ = 0, найдено путем продолжения линии, проходящей через точки, соответствующие двум наибольшим значениям диаметра. Следует отметить, что экстраполяция в области больших диаметров не обязательна при обработке результатов измерений, полученных для пробоотборника вдыхаемой фракции.

А.3.2 Статистическая модель

Значения эффективности e_{pj} анализируют в соответствии с моделью

$$e_{pj}=\mu_p+\beta_p+\varepsilon_{pj}, \tag{A.3}$$

где μ_p — искомое среднее значение эффективности пробоотборника при диаметре частиц D_p;

β_p — систематическое отклонение от искомого среднего значения эффективности, связанное с неопределенностью результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником, при каждом значении диаметра;

ε_{pj} — случайная составляющая неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, при размере частиц p, связанная с различием характеристик образцов пробоотборников и отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения.

Методом кусочно-линейной аппроксимации среднее относительное содержание $\overline{C}$ аэрозольных частиц с распределением по размерам A, выраженное через долю от содержания всех взвешенных в воздухе частиц, которые по расчетам могут быть отобраны испытуемым пробоотборником, вычисляют по формуле

$$\overline{C}=\sum_{p=1}^{N_p}\sum_{j=1}^{N_j}\frac{W_p}{N_j}\left(\mu_p+\beta_p+\varepsilon_{pj}\right)=\sum_{p=1}^{N_p}W_p\mu_p+\sum_{p=1}^{N_p}W_p\beta_p+\sum_{p=1}^{N_p}\sum_{j=1}^{N_j}\frac{W_p}{N_j}\varepsilon_{pj}. \tag{A.4}$$

Дисперсию $\overline{C}$, учитывающую случайные составляющие неопределенности и неопределенность, связанную с определением содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником, при каждом значении D_p вычисляют по формуле

$$\mathrm{Var}\left(\overline{C}\right)\approx\left(\overline{\sigma}_{\varepsilon_{pj}}\right)^2\sum_{p=1}^{N_p}\frac{\left(W_p\right)^2}{N_j}+\frac{\left(s_C^{\text{ВП}}\right)^2}{r}\sum_{p=1}^{N_p}\left(W_p\right)^2\left(\overline{E}_i\right)^2, \tag{A.5}$$

где $(\overline{\sigma}_{\varepsilon_{pj}})^2$ — оцененная остаточная дисперсия значений эффективности;

$s_C^{\text{ВП}}$ — оцененное относительное стандартное отклонение значений содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником;

r — число серий экспериментов.

При обработке результатов таким способом полагают, что остаточная дисперсия и дисперсия содержания, полученного с использованием валидированного пробоотборника, не зависят от диаметра частиц. Если это не соблюдается, то применяют другие статистические методы обработки данных (см. [1]). Число степеней свободы при оценке дисперсии методом кусочно-линейной аппроксимации может быть принято равным $N_j - 1$.

А.4 Метод подбора кривой

Предполагают, что линейная комбинация небольшого числа N_k функций $E_k(D_p)$ может адекватно описать кривую эффективности отбора проб. Комбинации функций $E_k(D_p)$ могут быть получены методом наименьших квадратов для нелинейной регрессии. Для каждого образца пробоотборника s регрессионная функция, описывающая значения эффективности отбора проб e_{pj}, определяется оценками параметров $\bar{\theta}_{ks}$ по формуле

$$e_{pj} = \sum_{k=1}^{N_k} \bar{\theta}_{ks} E_k\left(D_p\right) + \varepsilon_{pj}. \tag{A.6}$$

Случайные составляющие неопределенности ε_{pj} 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 отбора проб для испытуемого пробоотборника s получают по формуле

$$\bar{E}_k\left(D_p\right) = \sum_{k=1}^{N_k} \bar{\theta}_{ks} E_k\left(D_p\right), \tag{A.7}$$

которую используют для оценки среднего значения содержания C_s аэрозольных частиц, отобранных образцом s, сделав замену в формуле (А.2). Оцененное среднее содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником конкретного типа, представляет собой значение, усредненное по нескольким образцам, взвешенное по числу значений эффективности для каждого образца, вычисляемое по формуле

$$\bar{C} = \sum_{s}^{N_s} \frac{N_s}{N} \bar{C}_s, \tag{A.8}$$

где N_s — общее число значений эффективности, полученных для испытуемого образца пробоотборника s;

$N = \Sigma N_s$.

Дисперсия оцененного среднего содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, может быть оценена напрямую с использованием значений, средневзвешенных по числу значений эффективности для каждого испытуемого образца пробоотборника, по формуле

$$\mathrm{Var}\left(\bar{C}\right) = \sum_{s}^{N_s} \frac{N_s}{N} (\bar{C}_s - \bar{C})^2. \tag{A.9}$$

Число степеней свободы дисперсии, оцененной методом подбора кривой, может быть принято равным $N - N_k$, где N_k — число параметров, используемых при подборе кривых эффективности.

Библиография

[1] Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. 3-е издание. М.: Диалектика, 2017, 912 с.

УДК 504.3:006.354 ОКС 13.040.30

Ключевые слова: воздух, рабочая зона, аэрозольные частицы, пробоотборник, эффективность, требования, методики испытаний, неопределенность

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 18.09.2023. Подписано в печать 22.09.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,76.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru