ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70378.5— 2023

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля

Часть 5

Методика испытаний пробоотборников аэрозольных на рабочих местах и сравнение их характеристик

(EN 13205-5:2014, 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 2 октября 2023 г. № 1031-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений европейского стандарта ЕН 13205-5-2014 «Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля. Часть 5. Методика испытаний пробоотборников аэрозольных на рабочих местах и сравнение их характеристик» (EN 13205-5:2014 «Workplace exposure — Assessment of sampler performance for measurement of airborne particle concentrations — Part 5: Aerosol sampler performance test and sampler comparison carried out at workplaces», NEQ)

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ЕН 13205—2010 в части приложения С

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 Обозначения и сокращения 2
5 Основные положения 5
6 Методика испытаний 6
6.1 Общие положения 6
6.2 Определение характеристик индивидуальных пробоотборников для вдыхаемой фракции 6
6.3 Определение характеристик стационарных пробоотборников 7
6.4 Определение характеристик индивидуальных пробоотборников респирабельной или торакальной фракции 7
6.5 Испытания, необходимые для определения характеристик пробоотборников 7
7 Вычисление отклонения от норматива по отбору проб и расширенной неопределенности 10
7.1 Общие требования 10
7.2 Поправочный коэффициент 10
7.3 Вычисление отношения содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, к содержанию аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником 10
7.4 Оценка составляющих неопределенности 10
7.5 Суммарная стандартная неопределенность 16
7.6 Расширенная неопределенность 18
8 Периодическая валидация 18
9 Представление результатов измерений 18
9.1 Общие положения 18
9.2 Обязательные элементы протокола испытаний 18
Приложение А (обязательное) Процедура проведения сравнения испытуемого и валидированного пробоотборников в рабочей зоне для получения поправочного коэффициента 21
Библиография 24

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 факторы, например скорость потока воздуха. Часто существует взаимосвязь между влияющими факторами и распределением частиц аэрозоля по размерам в воздухе рабочей зоны, в которой предполагается применять пробоотборник.

Настоящий стандарт устанавливает требования к оценке характеристик пробоотборников для вдыхаемой, торакальной и респирабельной фракций аэрозольных частиц на основе сравнения результатов определения содержания контрольного аэрозоля в воздухе конкретной рабочей зоны, полученных (в идентичных условиях) с применением испытуемого пробоотборника и (предварительно) валидированного пробоотборника. Также в стандарте приведена методика определения поправочного коэффициента для пересчета содержания аэрозольных частиц, отобранных одним пробоотборником, в содержание аэрозольных частиц, отобранных другим пробоотборником в заданной рабочей зоне.

Данная методика в большей степени предназначена для пользователей, но не изготовителей аэрозольных пробоотборников.

Совместно применяя настоящий стандарт и другие стандарты серии, изготовители и пользователи аэрозольных пробоотборников получают возможность разрабатывать 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 ГОСТ Р 70378.1, 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 не 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, вероятно, будут выдавать различные результаты.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения содержания частиц аэрозоля

Часть 5

Методика испытаний пробоотборников аэрозольных на рабочих местах и сравнение их характеристик

Workplace exposure. Assessment of sampler performance for measurement of airborne particle concentrations. Part 5. Aerosol sampler performance test and sampler comparison carried out at workplaces

Дата введения — 2024—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к определению характеристик пробоотборников для вдыхаемой, торакальной и респирабельной фракций аэрозольных частиц, основанному на сравнении результатов испытаний, полученных в конкретной рабочей зоне с применением испытуемого пробоотборника и (предварительно) валидированного пробоотборника, и методику оценки соответствия полученных характеристик требованиям ГОСТ Р 70378.1.

Настоящий стандарт также регламентирует простой метод пересчета содержания аэрозольных частиц, полученного на одном пробоотборнике, в содержание, которое может быть получено для конкретного аэрозоля в рабочей зоне с применением валидированного пробоотборника.

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.

Методики, установленные в настоящем стандарте, непригодны для проведения испытаний, в которых характеристики индивидуальных пробоотборников сравнивают с характеристиками стационарных устройств отбора проб.

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

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

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

Издание официальное

ГОСТ Р 70378.4—2023 Воздух рабочей зоны. Оценка характеристик пробоотборников, применяемых для определения концентрации частиц аэрозоля. Часть 4. Методика испытаний в лабораторных условиях на основе сравнения значений содержания

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

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

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 и ГОСТ Р 8.961, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1 **корректировочная функция** (correction function): Математическая функция, отражающая взаимосвязь между содержанием аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, и содержанием аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником в конкретной рабочей зоне.

4 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения

$C_{rtl}^{ВФ}$ — среднее содержание всех взвешенных в воздухе частиц (или вдыхаемая фракция) для периода отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t, мг/м^3;

$C_{ПДК}$ — актуальное значение предельно допустимого содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, в единицах величины, через которую выражают содержание (например, массовой концентрации, объемной доли и т. д.);

C_{rtl} — содержание аэрозольных частиц, отнесенное к периоду отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t, мг/м^3;

$C_{r_3}^{twa_{(l_1-l_2)}}$ — взвешенное по времени усредненное содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником в серии измерений r при продолжительности отбора проб t = 3, охватывающей периоды отбора проб от l_1 до l_2, мг/м^3;

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, безразмерный (далее — поправочный коэффициент);

$\overline{m}_{rtl}$ — среднее значение массы аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t, мг (где t = 1, 2 или 3 — продолжительность отбора проб в эксперименте, равная $t_{эксп}$, $t_{эксп}$ /3 и $t_{эксп}$ /9 соответственно), мг;

$\overline{m}_{rtl}^{пр}$ — среднее значение массы аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке в испытуемом пробоотборнике за период отбора проб l в серии r при продолжительности отбора проб t, мг/м^3 (где t = 1, 2 или 3 — продолжительность отбора проб в эксперименте, равная $t_{эксп}$, $t_{эксп}$ /3 и $t_{эксп}$ /9 соответственно), мг;

$m_{макс}^{отоб}$ — максимальная масса аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, соответствующая произведению максимального содержания аэрозольных частиц в воздухе на продолжительность отбора проб и на номинальное значение объемного расхода воздуха, мг;

$m_{макс}^{пр}$ — максимальная масса аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке, соответствующая разности между максимальным содержанием всех взвешенных в воздухе частиц (или содержанием частиц вдыхаемой фракции) и максимальным содержанием аэрозольных частиц, которые предположительно можно отобрать испытуемым пробоотборником, умноженной на предполагаемую продолжительность отбора проб и на номинальное значение объемного расхода воздуха, мг;

$m_0^{отоб}$ — близкое к нулевому значение массы аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, мг;

$m_0^{пр}$ — близкое к нулевому значение массы аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке в испытуемом пробоотборнике, мг;

$N_{п.з}$ — число экспериментов или число пар значений (среднего) содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками;

$N_r^{ИП}$ — число испытуемых пробоотборников, используемых в серии измерений r;

$N_{rtl}^{ИП}$ — число испытуемых пробоотборников, используемых в периоде отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t;

$N_r^{ВП}$ — число опорных (валидированных) пробоотборников, использованных в серии измерений r;

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

Q^+ — максимальное значение объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником, используемое при оценке отклонений объемного расхода воздуха от номинального значения, дм^3/мин;

Q^- — минимальное значение объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником, используемое при оценке отклонений объемного расхода воздуха от номинального значения, дм^3/мин;

$R_{с.г}$ — среднее геометрическое значений R_{rs}, безразмерное;

R_{rs} — отношение содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником s, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) в серии измерений r;

$\overline{R}_r$ — отношение среднего содержания, полученного с применением испытуемого пробоотборника, к (среднему) содержанию (контрольного) аэрозоля в рабочей зоне в серии измерений r, безразмерное;

r_{rtl} — относительное содержание (отношение содержания к средневзвешенному по времени значению содержания, полученному с применением испытуемого пробоотборника при самой малой продолжительности отбора проб) в серии измерений r при продолжительности отбора проб t для периода отбора проб l, безразмерное;

$s_{гсо}$ — геометрическое стандартное отклонение значений R_{rs};

$s_{rs}^{ОЗ}$ — относительная неопределенность опорного значения содержания (контрольного) аэрозоля в рабочей зоне, связанная с различным положением точек для отбора проб валидированным(и) пробоотборниками и испытуемым(и) пробоотборниками s в серии измерений r, безразмерная;

$t_{эксп}$ — экспериментальная продолжительность отбора проб для испытаний, описанных в 6.5.5, основанная на оцененном среднем содержании аэрозольных частиц в рабочей зоне $C_{rtl}^{ВФ}$, мин;

t_{rtl} — действительная продолжительность периода отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t, мин;

$U_{ИП}$ — 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;

$u^{ИП}_{норм}$ — 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, безразмерная;

$u^{ИП}_{m_{отоб}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанная с определением действительного значения массы отобранных испытуемым пробоотборником аэрозольных частиц, безразмерная;

$u^{ИП}_{расх}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными[1)] эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения, безразмерная;

$u^{ИП}_{m_{пр}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанная с определением массы аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке в испытуемом пробоотборнике, 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;

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

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

$u_{C_{ОЗ}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений опорного значения содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с различным местоположением точек отбора проб контрольного аэрозоля валидированным(и) и испытуемым(и) пробоотборниками в рабочей зоне, безразмерная;

$u^{сист}_{ВП}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанными с применением валидированного пробоотборника, безразмерная;

X_{rs} — содержание аэрозольных частиц [(контрольного) аэрозоля в рабочей зоне], отобранных испытуемым пробоотборником s в серии измерений r, мг/м^3;

$\overline{X}_r$ — среднее содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником в серии измерений [содержания (контрольного) аэрозоля в рабочей зоне] r, мг/м^3;

Y_{rs} — содержание аэрозольных частиц [(контрольного) аэрозоля в рабочей зоне], отобранных валидированным пробоотборником s в серии измерений r, мг/м^3;

[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/ISO/IEC Guide 98-3:2008, пункт 3.3.3, примечание).

Y^{*}_{rs} — скорректированное значение содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником s в серии измерений [содержания (контрольного) аэрозоля в рабочей зоне] r, мг/м^3;

$\overline{Y}_{rs}$ — среднее содержание аэрозольных частиц, отобранных валидированными пробоотборниками в серии измерений [содержания (контрольного) аэрозоля в рабочей зоне] r, мг/м^3;

$Y^{\text{отоб}}_{\text{РФ}}$ — регрессионная функция, отражающая взаимосвязь r_{rtl} с $m_{\text{отоб}} = \overline{m}^{\text{отоб}}_{rtl}$, безразмерная;

$\overline{Y}^{\text{пр}}_{\text{РФ}}$ — регрессионная функция, отражающая взаимосвязь r_{rtl} с $m_{\text{пр}} = \overline{m}^{\text{пр}}_{rtl}$, безразмерная;

$y = f(x)$ — корректировочная функция, отражающая взаимосвязь содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, со (средним) содержанием аэрозольных частиц, отобранных валидированным(и) пробоотборником(ами), ln(мг/м^3);

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

l — подстрочный индекс, обозначающий номер периода отбора проб;

l_1 — подстрочный индекс, обозначающий первый период отбора проб в последовательности;

l_2 — подстрочный индекс, обозначающий последний период отбора проб в последовательности;

r — подстрочный индекс, обозначающий номер серии измерений;

s — подстрочный индекс, обозначающий номер образца испытуемого пробоотборника;

t — подстрочный индекс, обозначающий продолжительность отбора проб (где t = 1, 2 или 3 — продолжительность отбора проб в эксперименте, равная $t_{\text{эксп}}$, $t_{\text{эксп}}$ /3 и $t_{\text{эксп}}$ /9 соответственно);

ПДК — предельно допустимая массовая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны[1)], мг/м^3.

5 Основные положения

Методика испытаний, приведенная в настоящем стандарте, основана на измерении содержания аэрозольных частиц в воздухе конкретной рабочей зоны, отобранных испытуемым пробоотборником, 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).

Оценка характеристик испытуемого пробоотборника в конкретной рабочей зоне дает возможность применять его при определении содержания аэрозольных частиц в этой рабочей зоне без проведения предварительных испытаний в лабораторных условиях. Валидированный и испытуемый пробоотборники должны быть оба либо индивидуальными, либо стационарными.

Систематическое отклонение результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, от содержания аэрозольных частиц, которые могли бы быть отобраны идеальным пробоотборником в соответствии с нормативом по отбору проб, вычисляют путем сравнения значений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками. Также определяют стандартные неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, обусловленные систематическими и случайными эффектами, связанными, например, с различием характеристик образцов пробоотборников одного типа, отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения, показателями точности методики измерений содержания аэрозольных частиц.

[1)] Здесь и далее к взвешенным частицам применен термин «Предельно допустимое содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны», так как термин «концентрация» однозначно определяет только молярную концентрацию.

Характеристики испытуемого пробоотборника, полученные по результатам испытаний в конкретной рабочей зоне, могут быть применены только для этой рабочей зоны и тех видов деятельности, которые были учтены при проведении испытаний.

Оценку характеристик пробоотборника, полученных в рабочей зоне, проводят так же, как для результатов испытаний в лабораторных условиях. Если полученные характеристики неудовлетворительные, то это, вероятно, связано с изменчивостью условий в рабочей зоне или с включением в оценку слишком большого числа видов деятельности на рабочем месте, но не с неудовлетворительными характеристиками самого пробоотборника. Изменчивость условий в рабочей зоне можно учесть посредством увеличения числа пробоотборников и усреднения результатов, что при применении индивидуальных пробоотборников может оказаться невыполнимым. Во втором случае оценку характеристик следует повторить для меньшей группы лиц или видов деятельности в рабочей зоне, пока не будет получена достаточная степень эквивалентности, но в некоторых рабочих зонах это невозможно ввиду особенностей производственного процесса.

Примечание — Высокая изменчивость содержания во времени или в пространстве в некоторых рабочих зонах может сделать невозможным определение характеристик (например, расширенной неопределенности) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59670. Определение суммарной стандартной неопределенности в соответствии с настоящим стандартом для усредненного содержания в рабочей зоне при его высокой изменчивости нецелесообразно, так как потребует увеличения числа экспериментов и применения дополнительного испытательного оборудования.

6 Методика испытаний

6.1 Общие положения

Результаты измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных валидированным(и) и испытуемым(и) пробоотборниками (предпочтительно, по несколько экземпляров пробоотборника каждого типа), объединяют в пары. Число пар результатов измерений (число экспериментов) должно быть не менее 10. Эксперименты планируют таким образом, чтобы при испытаниях была учтена изменчивость во времени и пространстве свойств аэрозоля, его содержания и условий окружающей среды в исследуемой рабочей зоне, что обеспечивается равномерным распределением точек отбора проб в рабочей зоне и охватом длительного периода времени (не менее пяти дней).

Валидированный и испытуемый пробоотборники эксплуатируют в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации и требованиями, регламентируемыми методикой измерений содержания аэрозольных частиц/вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Любые отклонения от стандартных процедур регистрируют в протоколе испытаний. При проведении дальнейших вычислений считают действительными и учитывают только те результаты измерений, которые были получены в соответствии с документированными процедурами.

Испытуемый пробоотборник может быть признан валидированным (пробоотборником типа С), если его характеристики соответствуют требованиям ГОСТ Р 70378.1—2022, подраздел 5.2, перечисление с).

6.2 Определение характеристик индивидуальных пробоотборников для вдыхаемой фракции

На каждом выбранном работнике (участвующем в проведении испытаний) валидированный и испытуемый пробоотборники размещают обычным образом (например, в области плеча/лацкана/воротничка). Пробоотборники размещают как можно ближе друг к другу, но таким образом, чтобы они не оказывали взаимного влияния и не отклонялись от положения, регламентированного методикой отбора проб/измерений. Распределяют экземпляры валидированных и испытуемых пробоотборников по точкам отбора проб случайным образом во избежание систематических отклонений результатов измерений, связанных с положением точек отбора проб.

Индивидуальные пробоотборники вдыхаемой фракции можно испытывать, разместив на ростовом манекене, расположенном рядом с работником, но не мешающем рабочему процессу. Использование манекена упрощает параллельное испытание нескольких валидированных и испытуемых пробоотборников, так как полученные результаты измерений содержания могут быть усреднены.

6.3 Определение характеристик стационарных пробоотборников

Входные воздуховоды валидированного пробоотборника и испытуемого пробоотборника должны быть расположены близко друг к другу, но не оказывать взаимного влияния. Входные воздуховоды пробоотборников, в которых происходит аспирация преимущественно в одном направлении, размещают таким образом, чтобы они были одинаково ориентированы по отношению к внешним потокам воздуха.

Опорные значения содержания аэрозоля на входе испытуемого пробоотборника могут быть получены путем усреднения результатов измерений, полученных с применением нескольких валидированных пробоотборников. Для этого испытуемый пробоотборник размещают в центре равностороннего треугольника, а три валидированных пробоотборника — в вершинах. Если испытания проводят с валидированным и испытуемым пробоотборниками, размещенными в разных точках отбора проб, но рассматриваемыми в паре, то во избежание систематических отклонений, связанных с положением точек отбора проб, испытание для пары пробоотборников повторяют, меняя их местами.

6.4 Определение характеристик индивидуальных пробоотборников респирабельной или торакальной фракции

Индивидуальные пробоотборники респирабельной или торакальной фракции могут быть испытаны аналогично стационарным пробоотборникам, поскольку распределение аэрозольных частиц этих двух фракций по размерам очень медленно изменяется при удалении от работника. Преимущество испытания стационарного пробоотборника заключается в том, что несколько испытуемых пробоотборников (в том числе валидированных) можно испытывать в среде с практически одинаковым содержанием аэрозольных частиц. Для этого исследуемый объем воздуха ограничивают вертикально установленным цилиндрическим экраном, предотвращающим влияние изменений содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне на их содержание в исследуемом объеме воздуха. Воздух должен поступать в цилиндр снизу вертикально (параллельно оси) через отверстие такого диаметра, чтобы обеспечивалось однородное содержание аэрозоля в плоскости поперечного сечения отверстия. Входные воздуховоды всех пробоотборников располагают в плоскости поперечного сечения цилиндра на заданной высоте (в соответствии с требованиями методики измерений/отбора проб), симметрично и на одинаковом расстоянии от оси цилиндра. Не требуется создавать дополнительное движение воздуха, кроме того, которое требуется для работы самих пробоотборников. Для применения экрана предварительно необходимо подтвердить, что потеря аэрозольных частиц при их аспирации/переносе из воздуха рабочей зоны через входное отверстие экрана к входным отверстиям испытуемых и валидированных пробоотборников не изменяет распределение частиц исследуемого аэрозоля по размерам таким образом, что в нем начинает преобладать только респирабельная или только торакальная фракция частиц. В этом случае применение экрана при испытании пробоотборников приведет к получению некорректных результатов определения проскока.

6.5 Испытания, необходимые для определения характеристик пробоотборников

6.5.1 Общие положения

Проводят критический анализ процесса отбора проб и выявляют потенциальные источники неопределенности, влияющие на результаты измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником (систематическое отклонение от норматива по отбору проб, различие характеристик образцов пробоотборников, отклонение объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения, влияние массы отобранных аэрозольных частиц/массы частиц, потерянных при внутреннем проскоке, на характеристики). Если при критическом анализе установлено, что ни один из перечисленных источников неопределенности не оказывает влияние на результаты измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, то соответствующие составляющие неопределенности могут быть определены без проведения испытаний.

Если при критическом анализе установлено, что источники неопределенности могут влиять на результаты измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, то проводят четыре серии экспериментов. Каждый эксперимент включает параллельный отбор проб (повторяемый пять или более раз):

- параллельный отбор проб валидированным и испытуемым пробоотборником [предпочтительно в каждой серии использовать несколько экземпляров пробоотборников (см. 6.5.2)];
- параллельный отбор проб с применением шести (или более) экземпляров испытуемых пробоотборников (см. 6.5.3);

- параллельный отбор проб для выявления влияния отклонений объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения на результаты определения содержания заданной фракции аэрозольных частиц (см. 6.5.4);

- параллельный отбор проб для определения влияния массы уловленных частиц или массы частиц, потерянных при внутреннем проскоке, на результаты определения содержания заданной фракции аэрозольных частиц (см. 6.5.5). Для проведения первой и третьей серии экспериментов необходим валидированный пробоотборник (тип А) по ГОСТ Р 70378.1.

6.5.2 Составляющая неопределенности, связанная с несоответствием нормативу по отбору проб

При оценке данной составляющей неопределенности из вычислений могут быть исключены промахи при условии, что в оценку включают не менее 10 пар результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником и испытуемым пробоотборником, полученных по крайней мере в пяти сериях измерений (см. 7.2).

Из-за многообразия рабочих мест невозможно установить однозначные общие правила исключения промахов (выбросов) или вероятность ложного отклонения, поэтому методику определения выбросов определяет пользователь пробоотборника с учетом специфики исследуемой рабочей зоны и применяемых средств измерений. Применяемую методику определения выбросов описывают в протоколе испытаний.

6.5.3 Различие характеристик образцов пробоотборников

Испытание для оценки неопределенности, связанной с различием характеристик образцов пробоотборников, не требуется для испытуемых индивидуальных пробоотборников вдыхаемой фракции и для крупногабаритных стационарных пробоотборников. Соответствующую составляющую неопределенности принимают равной нулю.

6.5.4 Составляющая неопределенности, связанная с отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения

Данное испытание не требуется для пробоотборников вдыхаемой фракции. Для пробоотборников торакальной и респирабельной фракций составляющую неопределенности, связанную с отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения, определяют в соответствии с 7.4.6.2.

Примечание — Зависимость эффективности аспирации пробоотборника от объемного расхода воздуха при отборе проб обычно очень мала при низких скоростях потока воздуха, характерных для рабочих мест в помещениях.

В каждой серии измерений используют одну треть от общего числа (но не менее двух) испытуемых пробоотборников для каждого из трех значений объемного расхода воздуха, определяемых по ГОСТ Р 70378.4—2023, пункт 6.3.8.

6.5.5 Составляющая неопределенности, связанная с массой аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, и массой аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке

Для оценки значений массы частиц (осевших в/на уловителе и потерянных при внутреннем проскоке) проводят два похожих испытания одновременно, при этом второе испытание не применимо для пробоотборников вдыхаемой фракции.

Сначала оценивают максимальное содержание аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны в соответствии с применяемым нормативом по отбору проб, а затем максимальное содержание всех взвешенных в воздухе частиц, которые могут быть уловлены пробоотборником с внутренним проскоком.

Примечание — За максимальное содержание может быть принято удвоенное значение ПДК. Однако соответствующее значение ПДК для пробоотборника респирабельной фракции, например применяемого для отбора проб аэрозольных частиц кварца (кристаллического оксида кремния), будет относиться к респирабельной минеральной пыли, но не частицам самого кварца (кристаллического оксида кремния).

Определяют максимальное значение массы аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником $m_{макс}^{отоб}$, как произведение максимального значения содержания аэрозольных частиц, номинального объема расхода воздуха при отборе проб и предполагаемой продолжительности отбора проб при использовании испытуемого пробоотборника на рабочем месте. Определяют максимальное значение массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке, $m_{макс}^{пр}$, как произведение разности между максимальным значением содержания всех взвешенных в воздухе частиц (или вдыха-

емой фракции) и максимальным значением содержания аэрозольных частиц, которые будут отобраны испытуемым пробоотборником, номинального объемного расхода воздуха при отборе проб и предполагаемой продолжительности отбора проб при использовании испытуемого пробоотборника на рабочем месте.

Очевидно, что при отборе проб в реальных условиях содержание аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны будет ниже, чем вычисленное максимальное содержание. На основе максимального значения массы уловленных аэрозольных частиц вычисляют продолжительность отбора проб для проведения эксперимента, $t_{эксп}$, ориентируясь на среднее содержание аэрозольных частиц для исследуемого рабочего места. Может быть получена продолжительность отбора проб для проведения эксперимента, не укладывающаяся в одну рабочую смену. Для проведения подобного эксперимента подбирают побудители расхода, способные бесперебойно работать продолжительное время, или период отбора проб разбивают на этапы, что позволяет сменить побудитель расхода.

Для этого эксперимента требуется три набора испытуемых пробоотборников:

- первый набор работает в течение всего периода отбора проб, $t_{эксп}$;
- пробоотборники из второго набора условно делят на три группы в зависимости от продолжительности их работы. Пробоотборники каждой из групп работают только в течение приблизительно одной трети общей продолжительности отбора проб, $t_{эксп}/3$ (при этом происходит отбор аэрозольных частиц, масса которых составляет приблизительно треть массы аэрозольных частиц, уловленных пробоотборниками из первого набора). Затем их заменяют пробоотборниками из второй группы (т. е. очищенными и высушенными пробоотборниками, с установленными чистыми уловителями), которые работают в течение следующей трети общей продолжительности отбора проб. Аналогично для третьей группы;
- пробоотборники из третьего набора также условно делят, только уже на девять групп в зависимости от продолжительности их работы.

Пробоотборники каждой из групп работают только в течение приблизительно одной девятой части общей продолжительности отбора проб, $t_{эксп}/9$ (при этом происходит улавливание аэрозольных частиц, масса которых составляет приблизительно одну девятую часть массы аэрозольных частиц, уловленных пробоотборниками из первого набора). Затем их заменяют пробоотборниками из второй группы (т. е. очищенными и высушенными пробоотборниками, с установленными чистыми уловителями), которые работают в течение следующей одной девятой части общей продолжительности отбора проб. Аналогично для остальных семи из девяти групп.

Вычисленная продолжительность отбора проб является приблизительной. При отборе проб аэрозольных частиц в рабочей зоне следует ожидать их различного содержания. Необходимо получить одинаковые значения массы отобранных аэрозольных частиц и массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке для каждого уловителя в одном и том же наборе пробоотборников в серии *r*. Поэтому фактическая продолжительность отбора проб может быть увеличена в те периоды, когда наблюдалось более низкое содержание аэрозоля, и сокращена в те периоды, когда наблюдалось более высокое содержание аэрозоля, для получения одинаковых значений массы. Фактическая экспериментальная продолжительность отбора проб для всех испытуемых пробоотборников должна быть зафиксирована для использования в дальнейших вычислениях.

Продолжительность экспериментального отбора проб не должна быть настолько малой, чтобы составляющие неопределенности, связанные с процедурой количественного (химического) анализа, могли существенно повлиять на массу аэрозольных частиц, отобранных с применением третьего набора испытуемых пробоотборников, т. е. тех, которые работают только в течение повторяющихся периодов $t_{эксп}/9$.

Для оценки массы частиц, потерянных при внутреннем проскоке, также применяют как минимум два пробоотборника для определения содержания всех взвешенных в воздухе частиц. За содержание всех взвешенных в воздухе частиц может быть принято содержание вдыхаемой фракции. Данные пробоотборники должны быть заменены одновременно с пробоотборниками из второй группы испытуемых пробоотборников, т. е. с пробоотборниками, работавшими только в течение повторяющихся периодов $t_{эксп}/3$.

7 Вычисление отклонения от норматива по отбору проб и расширенной неопределенности

7.1 Общие требования

Требования к расширенной стандартной неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником типа С, приведены в ГОСТ Р 70378.1—2022, подраздел 5.2, перечисление с).

7.2 Поправочный коэффициент

Для учета систематического отклонения эффективности 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.

7.3 Вычисление отношения содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, к содержанию аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником

Обозначают содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемыми пробоотборниками *s* в серии измерений *r* как X_{rs}. Обозначают содержание аэрозольных частиц, отобранных валидированными пробоотборниками *s* в серии измерений *r* как Y_{rs}. Вычисляют отношение R_{rs} содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) по формуле

$$R_{rs} = \frac{X_{rs}}{\overline{Y}_{rs}}, \quad (1)$$

где $\overline{Y}_{rs}$ — усредненное содержание аэрозольных частиц в рабочей зоне, отобранных валидированным(и) пробоотборником(ами) в серии измерений *r*, вычисляемое как $\overline{Y}_{rs} = \frac{\sum Y_{rs}}{N_r^{ВП}}$, где $N_r^{ВП}$ — число опорных (валидированных) пробоотборников, используемых в серии измерений *r*, мг/м^3.

При вычислениях не учитывают пары (усредненных) значений содержания, для которых отношение $R_{rs} > 10$ или $R_{rs} < 0{,}1$, если:

а) исключают не более одной пары значений из 10 пар значений;

б) для пяти серий измерений *r* после исключения остается не менее 10 значений отношения R_{rs}.

Вычисляют среднее значение отношения R_{rs} содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) $\overline{R}_r$ для каждой серии измерений *r* по формуле

$$\overline{R}_r = \frac{1}{N_r^{ИП}} \sum_{r=1}^{N_r^{ИП}} R_{rs}, \quad (2)$$

где $N_r^{ИП}$ — число испытуемых пробоотборников в серии измерений *r*.

7.4 Оценка составляющих неопределенности

7.4.1 Общие требования

Расширенную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, полученных при испытании пробоотборников на конкретном рабочем месте/в конкретной рабочей зоне, оценивают в соответствии с ГОСТ Р 70378.4.

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

- неопределенность, связанная с определением опорного значения содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным(и) пробоотборником(ами) (см. 7.4.2);

- неопределенность, связанная с характеристиками валидированного (опорного) пробоотборника (см. 7.4.3);

- неопределенность, связанная с несоответствием испытуемого пробоотборника нормативу по отбору проб (см. 7.4.4);

- неопределенность, связанная с различием характеристик образцов пробоотборников одного типа (см. 7.4.5);

- неопределенность, связанная с отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения (см. 7.4.6);

- неопределенность, связанная с массой частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, или массой частиц, потерянных при внутреннем проскоке (см. 7.4.7).

7.4.2 Неопределенность, связанная с содержанием аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных валидированным(и) пробоотборником(ами)

Любую возможную неоднородность содержания аэрозоля в воздухе рабочей зоны оценивают отдельно. Неоднородность может быть оценена методом однофакторного или многофакторного дисперсионного анализа. Выбор методики вычисления неопределенности, связанной с неоднородностью, зависит от способа оценки неоднородности.

Вычисляют случайную составляющую неопределенности результатов измерений опорного значения содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных валидированным(и) пробоотборником(ами), связанную с различным положением точек отбора проб для испытуемого(ых) и валидированного(ых) пробоотборников, $u_{C_{\text{О3}}}$, усредненную для всех серий измерений r по формуле

$$\left(u_{C_{\text{О3}}}\right)^2 = \frac{1}{N_{\text{п.з}}} \sum_{r=1}^{N_{\text{п.з}}} \frac{1}{N_r^{\text{ВП}}} \sum_{s=1}^{N_r^{\text{ВП}}} \left(s_{rs}^{\text{О3}}\right)^2, \qquad (3)$$

где $N_{\text{п.з}}$ — число экспериментов или число пар значений (среднего) содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками;

$N_r^{\text{ВП}}$ — число опорных (валидированных) пробоотборников, использованных в серии измерений r;

$s_{rs}^{\text{О3}}$ — относительная неопределенность опорного значения содержания (контрольного) аэрозоля в рабочей зоне, связанная с различным положением точек для отбора проб валидированным(и) и испытуемым(и) пробоотборниками s в серии измерений r.

Примечание — Если содержание аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны усреднено по числу валидированных пробоотборников $N_r^{\text{ВП}}$, то случайная составляющая неопределенности уменьшится в $1/\sqrt{N_r^{\text{ВП}}}$ раз.

7.4.3 Неопределенность, связанная с характеристиками валидированного пробоотборника

Случайные составляющие неопределенности, связанные с измерением содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных валидированным пробоотборником, будут включать случайные составляющие, связанные с характеристиками валидированного пробоотборника. Но при оценке учитывают только стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, связанными с применением валидированного пробоотборника $u_{\text{ВП}}^{\text{сист}}$. Эта неопределенность будет связана с неточностью определения размера и числа аэрозольных частиц, несоответствием нормативу по отбору проб и отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения. Характеристики валидированного пробоотборника определяют в соответствии с требованиями 8.4.2, 8.4.4 и 8.4.6 ГОСТ Р 70378.2—2023 соответственно.

Стандартную неопределенность, обусловленную случайными эффектами, связанную с отклонениями объемного расхода воздуха при отборе проб от номинального значения, для валидированного(ых) пробоотборника(ов) можно не учитывать, если при его(их) испытании(ях) осуществляют тонкую регулировку объемного расхода воздуха и обеспечивают высокую стабильность расхода. Стандартные неопределенности, обусловленные систематическими эффектами (определяемые в соответствии с требованиями 8.4.2 и 8.4.4 ГОСТ Р 70378.2—2023) могут быть взяты из протокола испытаний валидированного пробоотборника. Основной вклад в стандартную неопределенность результатов измерений аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, будет вносить неопределенность, связанную с несоответствием нормативу по отбору проб.

Примечание — Если основной вклад в стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником, обусловленную систематическими эф-

фектами, будет вносить несоответствие нормативу по отбору проб, то эту стандартную неопределенность можно значительно уменьшить, если определить распределение аэрозольных частиц контрольного аэрозоля по размерам. На основе распределения аэрозольных частиц по размерам и систематического отклонения валидированного пробоотборника от норматива по отбору проб как функции распределения частиц по размерам, оценивают опорное значение содержания аэрозольных частиц, которое будет соответствовать нормативу по отбору проб, что значительно уменьшит рассматриваемую стандартную неопределенность, связанную с систематическими эффектами.

7.4.4 Неопределенность, связанная с несоответствием нормативу 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 $u_{\text{норм}}^{\text{ИП}}$, вычисляют по формуле

$$\left(u_{\text{норм}}^{\text{ИП}}\right)^2 = \frac{1}{N_{\text{п.з}}} \frac{1}{N_{\text{п.з}} - 1} \sum_{r=1}^{N_{\text{п.з}}} \left(\frac{1}{N_r^{\text{ИП}}} \sum_{s=1}^{N_r^{\text{ИП}}} \left[cR_{rs} - 1 \right]^2 \right), \tag{4}$$

где c — поправочный коэффициент;

$N_{\text{п.з}}$ — число экспериментов или число пар значений (среднего) содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками;

$N_r^{\text{ИП}}$ — число испытуемых пробоотборников, используемых в серии измерений r;

R_{rs} — отношение содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником s, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) в серии измерений r.

7.4.5 Неопределенность, связанная с различием характеристик образцов пробоотборников

Для пробоотборников вдыхаемой фракции полагают, что стандартная неопределенность, обусловленная систематическими эффектами $u_{\text{РХ}}^{\text{ИП}}$, связанная с различием характеристик образцов пробоотборников, отсутствует, то есть выполняется тождество

$$u_{\text{РХ}}^{\text{ИП}} \equiv 0. \tag{5}$$

Для пробоотборников торакальной и респирабельной фракций стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную случайными эффектами, связанными с различием характеристик образцов пробоотборников $u_{\text{РХ}}^{\text{ИП}}$, вычисляют по формуле

$$\left(u_{\text{РХ}}^{\text{ИП}}\right)^2 = \frac{1}{N_{\text{п.з}}} \sum_{r=1}^{N_{\text{п.з}}} \left(\frac{1}{N_r^{\text{ИП}} - 1} \sum_{s=1}^{N_r^{\text{ИП}}} \left[cR_{rs} - \overline{R}_r \right]^2 \right), \tag{6}$$

где c — поправочный коэффициент;

$N_{\text{п.з}}$ — число экспериментов или число пар значений (среднего) содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками;

$N_r^{\text{ИП}}$ — число испытуемых пробоотборников, используемых в серии измерений r;

R_{rs} — отношение содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником s, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) в серии измерений r;

$\overline{R}_r$ — среднее значение отношения R_{rs} содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) в серии измерений r, безразмерное.

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

7.4.6.1 Испытуемые пробоотборники, для которых установлено отсутствие взаимосвязи между расходом воздуха и проскоком частиц, например пробоотборники вдыхаемой фракции частиц

Для пробоотборников вдыхаемой фракции полагают, что влияние объемного расхода воздуха при отборе проб на характеристику эффективности пробоотборника отсутствует, и стандартную неопреде-

ленность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, связанную с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения $u_{\text{расх}}^{\text{ИП}}$, вычисляют по формуле

$$u_{\text{расх}}^{\text{ИП}} = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\sqrt{3}}, \tag{7}$$

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

7.4.6.2 Испытуемые пробоотборники, для которых установлена взаимосвязь между объемным расходом воздуха при отборе проб и проскоком частиц, например пробоотборники респирабельной и торакальной фракций частиц

Для пробоотборников респирабельной и торакальной фракций 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 $u_{\text{расх}}^{\text{ИП}}$, вычисляют по формуле

$$\left(u_{\text{расх}}^{\text{ИП}}\right)^2 = \frac{1}{N_{\text{п.з}}} \sum_{r=1}^{N_{\text{п.з}}} \left(-\frac{Q^+ - Q^-}{2Q^0} \cdot \frac{\ln\left[\dfrac{\bar{X}_r\left(Q^+\right)}{\bar{X}_r\left(Q^-\right)}\right]}{\ln\left[\dfrac{Q^+}{Q^-}\right]} \cdot \frac{c\,\bar{X}_r\left(Q^0\right)}{\bar{Y}_r} \right)^2, \tag{8}$$

где c — поправочный коэффициент;

$N_{\text{п.з}}$ — число экспериментов или число пар значений (среднего) содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками;

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

Q^+ — максимальное значение объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником, используемое при оценке отклонений объемного расхода воздуха от номинального значения, дм^3/мин;

Q^- — минимальное значение объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником, используемое при оценке отклонений объемного расхода воздуха от номинального значения, дм^3/мин;

$\bar{X}_r(Q)$ — среднее содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, при объемном расходе Q в серии измерений r;

$\bar{Y}_r(Q)$ — среднее содержание аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником, при объемном расходе Q в серии измерений r.

Оценка основана на параллельном экспонировании испытуемых и валидированных пробоотборников и условии, что при каждом измерении треть общего числа испытуемых пробоотборников работает при максимальном значении объемного расхода воздуха, вторая треть — при минимальном, а оставшаяся треть — при номинальном (см. 6.5.4).

7.4.7 Неопределенность, связанная с массой отобранных частиц или массой частиц, потерянных при внутреннем проскоке

7.4.7.1 Общие положения

Для каждого из трех наборов испытуемых пробоотборников вычисляют $\bar{m}_{rt}$, среднее значение массы аэрозольных частиц, отобранных за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t по формуле

$$\bar{m}_{rtl} = \frac{1}{N_{rtl}^{\text{ИП}}} \sum_{s=1}^{N_{rtl}^{\text{ИП}}} m_{rtls}, \tag{9}$$

где m_{rtls} — среднее значение массы аэрозольных частиц, отобранных за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t, мг/м^3 (где t = 1, 2 или 3 — продолжительность отбора проб в эксперименте, равная $t_{\text{эксп}}$, $t_{\text{эксп}}$ /3 и $t_{\text{эксп}}$ /9 соответственно);

$N_{rtl}^{ИП}$ — число испытуемых пробоотборников, используемых в периоде отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t.

Для каждого периода отбора проб l в каждом из наборов значений продолжительности отбора проб t и серии измерений r вычисляют соответствующее содержание по формуле

$$C_{rtl} = \frac{\overline{m}_{rtl}}{Q^0 t_{rtl}}, \tag{10}$$

где $\overline{m}_{rt}$ — среднее значение массы аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t;

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

t_{rtl} — действительная продолжительность периода отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t.

Для каждой серии измерений r с третьим набором испытуемых пробоотборников (работающих при самой малой продолжительности отбора проб), вычисляют взвешенное по времени усредненное содержание $C_{r_3}^{twa_{(1-9)}}$, $C_{r_3}^{twa_{(1-3)}}$, $C_{r_3}^{twa_{(4-6)}}$ и $C_{r_3}^{twa_{(7-9)}}$, для продолжительности отбора проб t_3 (то есть $t_{эксп}$ /9), охватывающей периоды отбора проб с первого по девятый, с первого по третий, с четвертого по шестой и с седьмого по девятый соответственно по формуле

$$C_{r_3}^{twa_{(l_1-l_2)}} = \frac{\sum_{l=l_1}^{l_2} t_{r3l} C_{r3l}}{\sum_{l=l_1}^{l_2} t_{r3l}}, \tag{11}$$

где C_{r3l} — (среднее) содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t_3;

t_{r3l} — действительная продолжительность периода отбора проб l при продолжительности отбора проб t_3 в серии измерений r.

Затем вычисляют относительное содержание (отношение содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t, к средневзвешенному по времени значению содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником при самой малой продолжительности отбора проб) в серии измерений r, при продолжительности отбора проб t для периода отбора проб l. Для каждой серии r вычисляют следующие отношения r_{rtl}: для первого набора пробоотборников отношение $r_{r11} = C_{r11} / C_{r_3}^{twa_{(1-9)}}$, для второго набора пробоотборников три соотношения: $r_{r21} = C_{r21} / C_{r_3}^{twa_{(1-3)}}$, $r_{r22} = C_{r22} / C_{r_3}^{twa_{(4-6)}}$ и $r_{r23} = C_{r23} / C_{r_3}^{twa_{(7-9)}}$.

7.4.7.2 Масса аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником

Строят график зависимости каждого значения r_{rtl} (для продолжительности отбора проб t_1 и t_2) от массы аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, работающим в среде с высоким содержанием аэрозольных частиц (т. е. от соответствующих значений $\overline{m}_{rtl}$). Для определения влияния массы отобранных аэрозольных частиц на характеристику эффективности пробоотборника подбирают аппроксимирующую нелинейную функциональную зависимость и обрабатывают ее методом наименьших квадратов (см. [1]). Полученная функциональная зависимость должна быть монотонной во всем рассматриваемом диапазоне значений. Значения параметров функции и связанные с ними составляющие неопределенности приводят в протоколе испытаний.

Если регрессия значима, то вычисляют значение зависимой переменной, соответствующее максимальному значению массы отобранных аэрозольных частиц, $Y_{РФ}^{отоб}\left(m_{макс}^{отоб}\right)$, и значению массы отобранных аэрозольных частиц, близкому к нулю $Y_{РФ}^{отоб}\left(m_0^{отоб}\right)$. Если $Y_{оц}^{отоб}\left(m_0^{отоб}\right)$ с учетом неопределенности применяемой модели регрессии приблизительно не равна единице, то результаты непригодны, из-за того что минимальные значения массы аэрозольных частиц, отобранных при самой

малой продолжительности отбора проб, слишком высоки, или из-за слишком высокой неоднородности распределения содержания аэрозоля в точках отбора проб.

Стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, связанными с определением действительного значения массы отобранных испытуемым пробоотборником аэрозольных частиц $u^{ИП}_{m_{отоб}}$ для диапазона значений $\left[m_0^{отоб};\ m_{макс}^{отоб}\right]$, вычисляют по формуле

$$u^{ИП}_{m_{отоб}} = \frac{\left| Y_{РФ}^{отоб}\left(m_{макс}^{отоб}\right) - Y_{РФ}^{отоб}\left(m_0^{отоб}\right)\right|}{\sqrt{3}}, \quad (12)$$

где $m_{макс}^{отоб}$ — максимальное значение массы аэрозольных частиц, которые могут быть отобраны испытуемым пробоотборником, вычисляемая как произведение $C_{макс}$, $t_{эксп}$ и Q^0;

$m_0^{отоб}$ — близкое к нулевому значение массы отобранных частиц;

$Y_{РФ}^{отоб}(m^{отоб})$ — значение содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, учитывающее влияния массы отобранных аэрозольных частиц ($m^{отоб}$) на характеристику эффективности испытуемого пробоотборника, вычисленное по полученной методом регрессионного анализа функциональной зависимости.

Если регрессия незначительна, то для диапазона значений $\left[m_0^{отоб};\ m_{макс}^{отоб}\right]$ будет справедливо равенство

$$u^{ИП}_{m_{отоб}} = 0. \quad (13)$$

7.4.7.3 Масса частиц, потерянных при внутреннем проскоке

Среднее значение массы $\overline{m}_{rtl}^{пр}$ аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке, за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб $t_1 = t_{эксп}$, $t_2 = t_{эксп}/3$ и $t_3 = t_{эксп}/9$ соответственно, можно оценить по формуле

$$\overline{m}_{rtl}^{пр} = C_{rtl}^{ВФ} Q^0 t_{rtl} - \overline{m}_{rtl}, \quad (14)$$

где $C_{rtl}^{ВФ}$ — среднее содержание всех взвешенных в воздухе частиц (или содержание частиц вдыхаемой фракции) для периода отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t;

$\overline{m}_{rtl}$ — среднее значение массы аэрозольных частиц, отобранных за период отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t;

Q^0 — номинальный объемный расход воздуха при отборе проб;

t_{rtl} — действительная продолжительность периода отбора проб l в серии измерений r при продолжительности отбора проб t.

Строят график зависимости каждого значения r_{rtl} (для продолжительности отбора проб t_1 и t_2) от массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке в пробоотборнике, работающем в среде с высоким содержанием аэрозольных частиц, $\overline{m}_{rtl}^{пр}$. Для оценки влияния массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке в испытуемом пробоотборнике, на характеристику эффективности пробоотборника подбирают аппроксимирующую нелинейную функциональную зависимость и обрабатывают ее методом наименьших квадратов (см. [1]). Полученная функциональная зависимость должна быть монотонной во всем рассматриваемом диапазоне значений. Значения параметров функции и связанные с ними составляющие неопределенности приводят в протоколе испытаний.

Применяют модель нелинейной регрессии, которая дает наилучшую оценку параметров функциональной зависимости, и вычисляют значения зависимой переменной при максимальном значении массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке в пробоотборнике $Y_{РФ}^{пр}\left(m_{макс}^{пр}\right)$ и при значении массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке, близком к нулю $Y_{РФ}^{пр}\left(m_0^{пр}\right)$. Если $Y_{РФ}^{пр}\left(m_0^{пр}\right)$ с учетом неопределенности применяемой модели регрессии приблизительно не равна единице, то результаты не пригодны ввиду слишком высоких значений массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке при самой малой продолжительности отбора проб или ввиду слиш-

ком высокой неоднородности распределения содержания аэрозоля в точках отбора проб. Стандартную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленную систематическими эффектами, связанную с определением массы аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке в испытуемом пробоотборнике, $u^{ИП}_{m_{пр}}$ для диапазона значений $\left[m^{пр}_0;\ m^{пр}_{макс}\right]$ вычисляют по формуле

$$u^{ИП}_{m_{пр}} = \frac{\left|Y^{пр}_{РФ}\left(m^{пр}_{макс}\right) - Y^{пр}_{РФ}\left(m^{пр}_0\right)\right|}{\sqrt{3}}, \quad (15)$$

где $m^{пр}_{макс}$ — максимальная масса аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке;

$m^{пр}_0$ — близкое к нулевому значение массы аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке в испытуемом пробоотборнике, мг;

$Y^{пр}_{РФ}(m^{пр})$ — значение содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, учитывающее влияние массы аэрозольных частиц, потерянных при внутреннем проскоке в испытуемом пробоотборнике ($m^{пр}$), на характеристику его эффективности, вычисленное по полученной методом регрессионного анализа функциональной зависимости.

Если регрессия незначительна, то для диапазона значений $\left[m^{пр}_0;\ m^{пр}_{макс}\right]$ будет справедливо равенство

$$u^{ИП}_{m_{пр}} = 0. \quad (16)$$

7.5 Суммарная стандартная неопределенность

Суммарные стандартные неопределенности получают объединением стандартных неопределенностей, обусловленных систематическими эффектами, $u^{сист}_{ИП}$ и стандартных неопределенностей, обусловленных случайными эффектами, $u^{случ}_{ИП}$. Учитывают стандартные неопределенности, связанные с испытуемым и валидированным пробоотборниками, а 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).

При отсутствии взаимосвязи между объемным расходом воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником и (внутренним) проскоком частиц суммарные неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым (или валидированным) пробоотборником (обусловленные систематическими и случайными эффектами) $u^{сист}_{ИП}$ и $u^{случ}_{ИП}$ соответственно вычисляют по формуле

$$\begin{cases} \left(u^{случ}_{ИП}\right)^2 = \left(u^{ИП}_{РХ}\right)^2 + \left(u_{C_{О3}}\right)^2 + \left(u^{ИП}_{расх}\right)^2 \\ \left(u^{сист}_{ИП}\right)^2 = \left(u^{ИП}_{норм}\right)^2 + \left(u^{сист}_{ВП}\right)^2 + \left(u^{ИП}_{m_{отоб}}\right)^2 \end{cases}, \quad (17)$$

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

$u_{C_{О3}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений опорного значения содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с различным местоположением точек отбора проб контрольного аэрозоля валидированным(и) и испытуемым(и) пробоотборниками в рабочей зоне;

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

$u^{\text{ИП}}_{\text{норм}}$ — 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;

$u^{\text{сист}}_{\text{ВП}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанными с применением валидированного пробоотборника;

$u^{\text{ИП}}_{m_{\text{отоб}}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанная с определением действительного значения массы отобранных испытуемым пробоотборником аэрозольных частиц.

При наличии взаимосвязи между объемным расходом воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником и (внутренним) проскоком суммарные неопределенности результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником (обусловленные систематическими и случайными эффектами), $u^{\text{сист}}_{\text{ИП}}$ и $u^{\text{случ}}_{\text{ИП}}$ соответственно вычисляют по формуле

$$\begin{cases} \left(u^{\text{случ}}_{\text{ИП}}\right)^2 = \left(u^{\text{ИП}}_{\text{РХ}}\right)^2 + \left(u_{C_{\text{ОЗ}}}\right)^2 \\ \left(u^{\text{сист}}_{\text{ИП}}\right)^2 = \left(u^{\text{ИП}}_{\text{норм}}\right)^2 + \left(u^{\text{сист}}_{\text{ВП}}\right)^2 + \left(u^{\text{ИП}}_{\text{расх}}\right)^2 + \left(u^{\text{ИП}}_{m_{\text{отоб}}}\right)^2 + \left(u^{\text{ИП}}_{m_{\text{пр}}}\right)^2, \end{cases} \quad (18)$$

где $u^{\text{ИП}}_{\text{РХ}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с различием характеристик образцов пробоотборников, безразмерная;

$u_{C_{\text{ОЗ}}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений опорного значения содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с различным местоположением точек отбора проб контрольного аэрозоля валидированным(и) и испытуемым(и) пробоотборниками в рабочей зоне;

$u^{\text{ИП}}_{\text{расх}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная случайными эффектами, связанными с отклонением объемного расхода воздуха при отборе проб испытуемым пробоотборником от номинального значения;

$u^{\text{ИП}}_{\text{норм}}$ — 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;

$u^{\text{сист}}_{\text{ВП}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанными с применением валидированного пробоотборника;

$u^{\text{ИП}}_{m_{\text{отоб}}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанная с определением действительного значения массы отобранных испытуемым пробоотборником аэрозольных частиц;

$u^{\text{ИП}}_{m_{\text{пр}}}$ — стандартная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц в воздухе, отобранных испытуемым пробоотборником, обусловленная систематическими эффектами, связанная с определением массы аэрозольных частиц, потерянных при (внутреннем) проскоке в испытуемом пробоотборнике.

Суммарную неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, $u_{\text{ИП}}$ вычисляют по формуле

$$u_{\text{ИП}} = \sqrt{\left(u^{\text{сист}}_{\text{ИП}}\right)^2 + \left(u^{\text{случ}}_{\text{ИП}}\right)^2}, \quad (19)$$

где $u_{ИП}^{сист}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, обусловленных систематическими эффектами;

$u_{ИП}^{случ}$ — суммарная неопределенность результатов измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, полученная объединением стандартных неопределенностей, обусловленных случайными эффектами.

7.6 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

$$U_{ИП} = 2u_{ИП}, \quad (20)$$

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

Оцененная расширенная неопределенность применима только для тех видов деятельности в рабочей зоне, которые были учтены при оценке, и не может быть применена для других условий и видов деятельности.

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).

8 Периодическая валидация

Работоспособность испытуемого пробоотборника периодически поверяют путем проведения эксперимента с несколькими новыми образцами испытуемого и валидированного пробоотборников.

Если результаты подобного эксперимента показывают, что характеристики больше не соответствуют требованиям, или при изменении видов деятельности на рабочем месте, необходимо провести полную оценку характеристик.

Если полученные результаты адекватно согласуются с ранее полученными данными, то наборы данных объединяют.

9 Представление результатов измерений

9.1 Общие положения

Результаты испытаний следует оформлять в виде протокола в свободной форме, разрабатываемой пользователем настоящего стандарта с учетом специфики исследуемой рабочей зоны и типа испытуемых пробоотборников. Протокол испытаний должен включать всю информацию, относящуюся к испытанию типа С (см. ГОСТ Р 70378.1—2022, подраздел 7.1), и всю информацию в соответствии с требованиями 9.2.

9.2 Обязательные элементы протокола испытаний

9.2.1 Общие положения

Каждый протокол испытаний должен содержать информацию в соответствии с требованиями 9.2. Протоколы испытаний, не содержащие всю требуемую информацию, признают недействительными.

9.2.2 Общая информация об испытании

В разделе протокола испытаний с общей информацией об испытаниях должны быть приведены следующие данные:

а) об испытательной лаборатории:
   1) наименование испытательной лаборатории;
   2) адрес испытательной лаборатории и контакты;
   3) ФИО сотрудника(ов), проводившего(их) испытания;
   4) дата проведения работ;

б) о заказчике испытаний (по согласованию):
1) наименование организации-заказчика;
2) адрес организации-заказчика и контакты;
3) если заказчиком испытаний является физическое лицо, то ФИО и контакты физического лица;

в) об испытании:
1) ссылка на настоящий стандарт;
2) уникальный идентификационный номер протокола испытаний;
3) дата формирования протокола испытаний;
4) информация о том, где и как получены образцы испытуемых пробоотборников;

г) информация об испытуемых пробоотборниках:
1) наименование изготовителя (или наименование организации, реализующей изделие);
2) наименование типа изделия(ий), например циклон, элютриатор (в соответствии с паспортом, руководством по эксплуатации или другой сопроводительной документацией);
3) идентификационные номера испытуемых образцов пробоотборников;
4) информация о состоянии пробоотборников (например, новые или бывшие в употреблении с указанием срока службы);
5) информация об уловителе(ях), в том числе:
- о типе уловителя;
- наличии покрытия/смазки поверхностей уловителя;
- наличии электростатического заряда;
6) рекомендуется (но не требуется) привести фото испытуемых образцов пробоотборников, а также любую другую информацию описательного характера;

д) характеристика эффективности пробоотборника и соответствующий норматив по отбору проб;

е) информация о валидированном(ых) пробоотборнике(ах):
1) наименование изготовителя (или наименование организации, реализующей изделие);
2) наименование типа изделия(ий), например циклон, элютриатор (в соответствии с паспортом, руководством по эксплуатации или другой сопроводительной документацией);
3) значение составляющей неопределенности, связанной с применением валидированного пробоотборника со ссылкой на документ, из которого оно взято;

ж) номинальное значение объемного расхода воздуха при отборе проб для испытуемых и валидированных пробоотборников со ссылкой на источник;

и) результаты критического анализа процесса отбора проб по ГОСТ Р 70378.1:
1) описание процесса отбора проб для испытуемого пробоотборника;
2) перечень факторов, влияющих на процесс отбора проб;
3) перечень необходимых испытаний и информация об ограничениях их применимости;

к) информация об условиях испытаний в рабочей зоне/на рабочем месте:
1) описание рабочей зоны/рабочего места, где проводились испытания, и видов производственной деятельности;
2) характеристики аэрозоля, присутствующего в воздухе рабочей зоны/на рабочем месте:
- химические свойства (состоит из частиц органических или неорганических веществ или материалов);
- физические свойства (аэрозоль жидкости или твердых частиц);
- среднее содержание аэрозоля в воздухе (определенное по данным производственного контроля или скрининговых измерений);
- распределение частиц исследуемого аэрозоля по размерам;
- любая другая информация о свойствах частиц (форма, цвет, показатель преломления, электростатический заряд и т. д.);
3) значения параметров условий окружающей среды в рабочей зоне:
- скорости потока воздуха;
- температуры;
- атмосферного давления;
- относительной влажности;
4) подробное описание процедуры измерений объемного расхода воздуха при отборе проб;
5) характеристики применяемых побудителей расхода;
6) описание процедур очистки пробоотборников (уловителей);

л) подробное описание процедуры испытаний:

1) описание участка рабочей зоны, в котором проводились испытания;
2) эскиз участка рабочей зоны, в котором проводились испытания, с указанием местоположения точек отбора проб и всех пробоотборников (испытуемых и валидированных);
3) дата и время проведения отбора проб;
4) число полученных пар результатов измерений (серий измерений);
5) число валидированных и испытуемых пробоотборников в каждой серии измерений;
6) порядок испытаний;
7) ссылки на нормативные документы, в которых установлены применяемые методики измерений (количественного анализа) и методики отбора проб;
8) подробное описание каких-либо дополнительных испытаний.

9.2.3 Подробная информация по результатам испытаний

Раздел протокола испытаний с подробной информацией о результатах испытаний должен включать:

а) результаты измерений аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым(и) и валидированным(и) пробоотборниками, и их неопределенность;

б) функциональную зависимость, полученную методом нелинейной регрессии, и ее параметры;

в) значения суммарной неопределенности, полученной путем объединения стандартных неопределенностей, обусловленных систематическими и случайными эффектами, значение расширенной неопределенности;

г) значение поправочного коэффициента (c), применяемого для всех значений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, регламентируемое изготовителем, методикой измерений или принимаемое равным 1,00;

д) значение расширенной неопределенности и заключение о соответствии характеристики эффективности пробоотборника требованиям ГОСТ Р 70378.2;

е) диапазон значений содержания, для которого применяют испытуемый(е) пробоотборник(и);

ж) информацию о каких-либо специфических ограничениях применимости испытуемого пробоотборника, например условиях, при которых он не соответствует требованиям настоящего стандарта.

В конце протокола испытаний приводят заключение, в котором описывают область применения испытаний, а также ограничения и особенности применения испытуемого пробоотборника на регулярной основе.

Приложение А
(обязательное)

Процедура проведения сравнения испытуемого и валидированного пробоотборников в рабочей зоне для получения поправочного коэффициента

А.1 Общие положения

В настоящем приложении, предназначенном для пользователей, но не для изготовителей пробоотборников, приведен рекомендуемый метод установления эквивалентности испытуемого и валидированного пробоотборников на конкретном рабочем месте. Установление эквивалентности испытуемого и валидированного пробоотборников необходимо пользователю настоящего стандарта для проведения скрининговых измерений или периодических измерений содержания пыли в воздухе рабочей зоны, с применением пробоотборников, для которых не были проведены лабораторные испытания в соответствии с настоящим стандартом. Валидированный и испытуемый пробоотборники должны быть одного типа: индивидуальными или стационарными. Методы сравнения, установленные в настоящем приложении, не применяют для сравнения пробоотборников разного типа (индивидуальных со стационарными и наоборот).

Анализ данных проводится для получения корректировочной функции, которая связывает содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, с содержанием аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником. При последующем использовании в условиях, к которым применима корректировочная функция, результаты измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, масштабируются путем применения корректировочной функции. Вид корректировочной функциональной зависимости будет зависеть как от свойств исследуемого аэрозоля, его состава, содержания в воздухе, распределения аэрозольных частиц по размерам, их формы, заряда и т.д., так и от условий окружающей среды во время испытаний, т. е. скорости потока воздуха, температуры, атмосферного давления, относительной влажности и т. д. Корректирующая функция будет определяться спецификой производственных процессов на рабочем месте, учитываемых при проведении испытаний, и она не может быть применена для других условий и видов деятельности.

В настоящем приложении рекомендованы критерии, на основании которых преобразованные результаты, полученные с помощью испытуемого пробоотборника, признают эквивалентными результатам, полученным с помощью валидированного пробоотборника. Если степень эквивалентности неудовлетворительна, то это, скорее всего, связано с изменчивостью условий в рабочей зоне или с включением в оценку слишком большого числа видов деятельности на рабочем месте, но не с неудовлетворительными характеристиками самого пробоотборника. Изменчивость условий в рабочей зоне можно учесть посредством увеличения числа пробоотборников и усреднения результатов, что при применении индивидуальных пробоотборников может оказаться невыполнимым. Во втором случае оценку характеристик следует повторить для меньшей группы лиц или видов деятельности в рабочей зоне, пока не будет получена достаточная степень эквивалентности, но в некоторых рабочих зонах это невозможно ввиду особенностей производственного процесса, и в этом случае характеристику эффективности исследуемого пробоотборника оценивают в соответствии с ГОСТ Р 70378.2.

А.2 Методика сравнения испытуемого пробоотборника с валидированным пробоотборником в условиях применения

А.2.1 Общие положения

Результаты измерений содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным(и) и испытуемым(и) пробоотборниками (предпочтительно, по несколько экземпляров пробоотборника каждого типа) в среде одного и того же аэрозоля, объединяют в пары. Число пар результатов измерений (число экспериментов) должно быть не менее 10. Эксперименты планируют таким образом, чтобы при испытаниях была учтена изменчивость во времени и пространстве свойств аэрозоля, его содержания и условий окружающей среды в исследуемой рабочей зоне, что обеспечивается равномерным распределением точек отбора проб в рабочей зоне и охватом длительного периода времени (не менее двух дней).

Валидированный и испытуемый пробоотборники эксплуатируют в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации и требованиями, регламентируемыми методикой измерений содержания аэрозольных частиц/вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Любые отклонения от стандартных процедур регистрируют в протоколе испытаний. При проведении дальнейших вычислений считают действительными и учитывают только те результаты измерений, которые были получены в соответствии с документированными процедурами.

Сравнительное испытание, по результатам которого подтверждают эквивалентность (см. А.3.6) испытуемого и валидированного пробоотборников, не обеспечивает основу для подтверждения соответствия характеристики испытуемого пробоотборника требованиям ГОСТ Р 70378.1.

А.2.2 Сравнение индивидуальных пробоотборников двух типов для определения вдыхаемой фракции проводят в соответствии с требованиями 6.2.

А.2.3 Сравнение стационарных пробоотборников двух типов проводят в соответствии с требованиями 6.3.

А.2.4 Сравнение индивидуальных пробоотборников двух типов для вдыхаемой или торакальной фракций проводят в соответствии с требованиями 6.4.

А.3 Методы вычислений

А.3.1 Общие положения

Обозначают содержание аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником *s* в серии измерений *r*, как X_{rs}, а содержание аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником *s* в серии измерений *r*, как Y_{rs}.

А.3.2 Получение корректировочной функции

Вычисляют натуральный логарифм от значений содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, X_{rs}, мг/м^3, и от (средних значений) содержания аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником, $\overline{Y}_{rs}$, мг/м^3, для каждой серии измерений *r* и строят графическую зависимость $\ln(X_{rs})$ от $\ln(\overline{Y}_{rs})$. Функциональную зависимость $y = f(x)$, отражающую взаимосвязь содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, со (средним) содержанием аэрозольных частиц, отобранных валидированным(и) пробоотборником(ами), получают на основе логарифмированных значений с применением процедуры статистической обработки данных, например процедуры обработки нелинейной регрессии методом наименьших квадратов (см. [1]), описание которой приводят в протоколе испытаний. Полученная функциональная зависимость должна быть монотонной во всем рассматриваемом диапазоне значений. Графическое изображение корректировочной функции, а также значения параметров функции и связанные с ними составляющие неопределенности приводят в протоколе испытаний.

А.3.3 Вычисление отношения скорректированного содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне, полученному с применением валидированного пробоотборника

Для каждого опорного значения содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне вычисляют Y^*_{rs}, скорректированное значение содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником *s* в серии измерений *r*, мг/м^3, по формуле

$$Y^*_{rs} = \exp[f(\ln(X_{rs}))], \tag{А.1}$$

где X_{rs} — содержание аэрозольных частиц [(контрольного) аэрозоля в рабочей зоне], отобранных испытуемым пробоотборником *s* в серии измерений *r*, мг/м^3.

Для каждого содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных каждым испытуемым пробоотборником *s* в серии измерений *r*, вычисляют отношение R_{rs} скорректированного значения содержания аэрозольных частиц, отобранных испытуемым пробоотборником, Y^*_{rs} к среднему содержанию аэрозольных частиц, отобранных валидированным пробоотборником, $\overline{Y}_{rs}$ по формуле

$$R_{rs} = \frac{Y^*_{rs}}{\overline{Y}_{rs}}. \tag{А.2}$$

А.3.4 Исключение промахов

Из дальнейшего анализа исключают пары сопоставляемых результатов измерений, для которых R_{rs} составляет более 2,5 или менее 1/2,5, при условии, что:

а) на каждые 10 пар сопоставляемых результатов измерений приходится не более одной исключенной пары и

б) в результате остается не менее 10 неисключенных пар сопоставляемых результатов измерений.

А.3.5 Остаточная неопределенность после применения корректировочной функции

Вычисляют $R_{\text{сг}}$, среднее геометрическое отношений R_{rs} по формуле

$$\ln R_{\text{сг}} = \frac{1}{N_{\text{п.з}}} \sum_{r=1}^{N_{\text{п.з}}} \ln R_{rs}, \tag{А.3}$$

где $N_{\text{п.з}}$ — число экспериментов или число пар значений (среднего) содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками;

$R_{\text{сг}}$ — среднее геометрическое значений R_{rs};

R_{rs} — отношение содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником *s*, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) в серии измерений *r*.

Геометрическое стандартное отклонение $s_{\text{ГСО}}$ для значений R_{rs} вычисляют по формуле

$$\ln s_{\text{ГСО}} = \left(\frac{1}{N_{\text{п.з}} - 1} \sum_{r=1}^{N_{\text{п.з}}} \left(\ln R_{rs} - \ln R_{\text{сг}} \right)^2 \right)^{1/2}, \tag{А.4}$$

где $N_{\text{п.з}}$ — число экспериментов или число пар значений (среднего) содержания аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны, отобранных испытуемым и валидированным пробоотборниками;

$R_{сг}$ — среднее геометрическое значений R_{rs};

R_{rs} — отношение содержания аэрозольных частиц, отобранных каждым испытуемым пробоотборником s, к опорному значению содержания аэрозольных частиц в рабочей зоне (полученному с применением валидированного пробоотборника) в серии измерений r.

Если некоторые пары результатов измерений были исключены из анализа в соответствии с А.3.4, то значение $N_{п.з}$ корректируют.

А.3.6 Эквивалентность

Если расширенную стандартную неопределенность, связанную с применением испытуемого пробоотборника, не вычисляют в соответствии с ГОСТ Р 70378.1, то два метода считают эквивалентными, если:

- $s_{ГСО} \leq 1{,}3$ для последующих измерений при содержании аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны в диапазоне от $0{,}5 \cdot C_{ПДК}$ до $2 \cdot C_{ПДК}$;

- $s_{ГСО} \leq 1{,}5$ для последующих измерений при содержании аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны менее $0{,}5 \cdot C_{ПДК}$,

где $C_{ПДК}$ — актуальное значение предельно допустимого содержания определяемых веществ в воздухе рабочей зоны, выраженное через массовую концентрацию, мг/м^3.

Установленная эквивалентность испытуемого и валидированного пробоотборников в конкретной рабочей зоне не гарантирует, что эквивалентный пробоотборник будет соответствовать требованиям к валидированному пробоотборнику типа С в этой рабочей зоне. Для валидации пробоотборника и подтверждения соответствия его характеристик требованиям к валидированному пробоотборнику типа С необходимо провести его испытания в конкретной рабочей зоне в соответствии с настоящим стандартом.

А.4 Периодическая валидация

Эквивалентность периодически проверяют путем сравнения небольшого числа новых испытуемых и валидированного пробоотборников.

Если результаты подобного эксперимента показывают, что корректировочная функция больше не соответствуют требованиям, или при изменении видов деятельности на рабочем месте, необходимо провести полную оценку характеристик.

Если полученные результаты адекватно описываются имеющейся корректировочной функцией, то наборы данных объединяют.

А.5 Представление результатов определения эквивалентности

А.5.1 Общие положения

Результаты испытаний следует оформлять в виде протокола в свободной форме, разрабатываемой пользователем настоящего стандарта с учетом специфики исследуемой рабочей зоны и типа испытуемых пробоотборников. Протокол испытаний должен включать всю информацию в соответствии с требованиями А.5.2.

А.5.2 Обязательные элементы протокола испытаний по определению эквивалентности

А.5.2.1 Общая информация об испытаниях

В разделе протокола испытаний с общей информацией об испытаниях приводят информацию в соответствии с требованиями 9.2.2.

А.5.2.2 Подробная информация по результатам испытаний

Раздел протокола испытаний с подробной информацией о результатах испытаний должен включать информацию в соответствии с требованиями 9.2.3.

А.5.2.3 Подробная информация о результатах определения эквивалентности

Раздел протокола испытаний с подробной информацией о результатах определения эквивалентности должен включать следующую информацию:

а) значения параметров корректировочной функции и их неопределенности;

б) значения среднего геометрического $R_{с.г}$ и геометрического стандартного отклонения $s_{ГСО}$ для R_{rs};

в) диапазон значений содержания аэрозольных частиц, в котором испытуемый пробоотборник и валидированный пробоотборник могут считаться эквивалентными.

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, характеристики, требования, методики испытаний, неопределенность

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 03.10.2023. Подписано в печать 24.10.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,95.

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