МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ ISO 3741— 2024

Акустика

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ И ЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ПО ЗВУКОВОМУ ДАВЛЕНИЮ

Точные методы для реверберационных камер

(ISO 3741:2010, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 октября 2024 г. № 178-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2024 г. № 1882-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 3741—2024 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 декабря 2025 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 3741:2010 «Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер» («Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation test rooms», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации ТС 43 «Акустика» подкомитетом SC 1 «Шум» Международной организации по стандартизации (ISO).

Дополнительные сноски в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала.

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

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© ISO, 2010
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025



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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Нормальные атмосферные условия 5
5 Реверберационная камера 5
6 Средства измерений 9
7 Расположение, установка и работа испытуемого источника шума 9
8 Измерения 11
9 Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии 16
10 Неопределенность измерения 22
11 Регистрируемая информация 25
12 Протокол испытаний 26
Приложение А (рекомендуемое) Рекомендации по проектированию реверберационных камер 27
Приложение В (рекомендуемое) Рекомендации по конструкции вращающихся акустических рассеивателей 28
Приложение С (обязательное) Проверка пригодности реверберационных камер для измерений широкополосного шума 29
Приложение D (обязательное) Проверка пригодности реверберационных камер для измерений шума с дискретными частотными составляющими 30
Приложение Е (рекомендуемое) Расширение диапазона измерений в область частот ниже 100 Гц . . 34
Приложение F (обязательное) Расчет уровней звуковой мощности и звуковой энергии в октавных полосах частот и с коррекцией по частотной характеристике А на основе результатов измерений в третьоктавных полосах частот 36
Приложение G (рекомендуемое) Руководство по применению информации для расчета неопределенности измерения 38
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 48
Библиография 49

Введение

Настоящий стандарт входит в серию стандартов (см. [2]—[8]), устанавливающих методы определения уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума, таких как машины, оборудование и их узлы. Выбор конкретного метода зависит от целей испытаний по определению уровня звуковой мощности (звуковой энергии) и от имеющегося в распоряжении испытательного оборудования. Общее руководство по выбору метода испытаний установлено в [2]. Стандарты [2]—[8] дают только общие рекомендации в отношении установки машин и условий их работы при испытаниях. Подробные требования должны быть установлены в испытательных кодах по шуму для машин разных видов.

Методы настоящего стандарта требуют установки испытуемой машины в реверберационной камере с заданными акустическими характеристиками и исходят из допущения, что звуковая мощность (звуковая энергия) машины пропорциональна усредненному по времени и пространству квадрату звукового давления, при этом коэффициент пропорциональности зависит только от акустических и геометрических свойств помещения и значений физических констант воздуха.

Точно определить уровень звуковой мощности (звуковой энергии) шума, излучаемого источником, гораздо труднее, если этот шум сосредоточен в узкой полосе частот или на дискретных частотах, поскольку для такого шума:

a) пространственное усреднение посредством сканирования микрофоном по траектории ограниченной длины или посредством измерения в нескольких точках установки микрофонов не всегда обеспечивает точную оценку квадрата звукового давления, среднего по всей реверберационной камере;

b) звуковая мощность (звуковая энергия), излученная источником, в значительно большей степени зависит от акустических мод в данной камере и положения источника в камере.

Справиться с указанными трудностями для источника, излучающего шум в узкой полосе частот или на дискретных частотах, можно, улучшив характеристики камеры или увеличив число мест установки источника, число точек установки микрофонов или длину траектории сканирования микрофоном. Дополнительной мерой по улучшению точности измерений может быть использование низкочастотных поглотителей звука или вращающихся акустических рассеивателей.

Методы, установленные настоящим стандартом, предполагают определение уровней звуковой мощности (звуковой энергии) в третьоктавных полосах частот. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших расчетов в широких (например, октавных) полосах частот или с применением коррекций по частотным характеристикам (например, по частотной характеристике A).

Методы настоящего стандарта относятся к точным методам по классификации ISO 12001. Результаты измерений уровней звуковой мощности и звуковой энергии включают в себя поправки на отклонение от нормальных атмосферных условий. Другие, менее точные методы измерений в реверберационном поле установлены в [3], [4] и [8].

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Акустика

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ И ЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ПО ЗВУКОВОМУ ДАВЛЕНИЮ

Точные методы для реверберационных камер

Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Precision methods for reverberation test rooms

Дата введения — 2025—12—01

1 Область применения

1.1 Общие положения

Настоящий стандарт устанавливает два метода, прямой и сравнения, измерения уровней звуковой мощности источника шума или, если шум источника имеет импульсный характер или форму переходного процесса, уровней звуковой энергии в третьоктавных полосах частот по результатам измерений эквивалентных уровней звукового давления в реверберационной камере. Методы включают в себя внесение поправок на отклонение атмосферных условий во время испытаний от нормальных, соответствующих характеристическому акустическому импедансу воздушной среды.

Диапазон частот измерений указанными методами включает в себя третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами от 100 до 10 000 Гц. Диапазон частот измерений может быть расширен в область низких частот при соблюдении рекомендаций приложения Е. Настоящий стандарт не распространяется на измерения в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами свыше 10 000 Гц.

Примечание — Для измерений в области более высоких частот можно воспользоваться рекомендациями [14].

1.2 Вид шума и источники шума

Настоящий стандарт распространяется на все виды шума (постоянный, непостоянный, флуктуирующий, отдельные импульсы и др.) по ISO 12001.

Источники шума могут представлять собой устройства, машины и их узлы. Настоящий стандарт распространяется на источники шума, чей объем не превышает 2 % объема реверберационной камеры. В случае испытаний источников бóльших размеров точность полученных результатов может не соответствовать той, что установлена ISO 12001 для точного метода измерений.

Примечание — В испытательных кодах по шуму для машин отдельных видов может допускаться проведение измерений для источников шума объемом до 5 % объема реверберационной камеры. В этом случае в испытательном коде указывают, как увеличение размеров источника шума влияет на неопределенность измерения.

1.3 Реверберационная камера

Реверберационная камера должна удовлетворять требованиям раздела 5.

Издание официальное

1.4 Неопределенность измерения

В настоящем стандарте приведены сведения о неопределенности измерения уровней звуковой мощности (звуковой энергии) в третьоктавных полосах частот и в широкой полосе частот с коррекцией по частотной характеристике А (далее — корректированных по А). Неопределенность измерения соответствует ISO 12001 для точных методов измерений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 3382-2, Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms (Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 2. Время реверберации обычных помещений)

ISO 5725 (all parts), Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results [Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений]

ISO 6926, Acoustics — Requirements for the performance and calibration of reference sound sources used for the determination of sound power levels (Акустика. Требования к характеристикам и калибровке образцового источника шума, применяемого для определения уровней звуковой мощности)

ISO 12001[1)], Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Rules for the drafting and presentation of a noise test code (Акустика. Шум, излучаемый машинами и оборудованием. Правила составления испытательных кодов по шуму)

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

IEC 60942[2)], Electroacoustics — Sound calibrators (Электроакустика. Калибраторы акустические)

IEC 61183, Electroacoustics — Random-incidence and diffuse-field calibration of sound level meters (Электроакустика. Калибровка шумомеров в диффузном звуковом поле)

IEC 61260-1[3)], Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters (Электроакустика. Полосовые фильтры на октаву и долю октавы)

IEC 61672-1[4)], Electroacoustics — Sound level meters — Part 1: Specifications (Электроакустика. Шумомеры. Часть 1. Технические требования)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **звуковое давление *p*** (sound pressure, *p*): Разность между мгновенным и статическим давлениями воздушной среды.

Примечание 1 — Определение термина модифицировано по отношению к [21], 8-9.2.

Примечание 2 — Выражают в паскалях (Па).

[1)] *В оригинале вводимого международного стандарта приведена датированная ссылка (ISO 12001:1996), которая заменена недатированной ввиду отсутствия в тексте ссылок на структурные элементы указанного стандарта.*

[2)] *В оригинале вводимого международного стандарта приведена датированная ссылка (IEC 60942:2003), которая заменена недатированной ввиду отсутствия в тексте ссылок на структурные элементы указанного стандарта.*

[3)] *В оригинале вводимого международного стандарта приведена датированная ссылка (IEC 61260:1995), которая заменена недатированной ввиду отсутствия в тексте ссылок на структурные элементы указанного стандарта. IEC 61260 заменен документом, состоящим из трех частей. В целях настоящего стандарта следует использовать IEC 61260-1 «Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters — Part 1: Specifications» (Электроакустика. Полосовые фильтры на октаву и долю октавы. Часть 1. Технические требования).*

[4)] *В оригинале вводимого международного стандарта приведена датированная ссылка (IEC 61672-1:2002), которая заменена недатированной ввиду отсутствия в тексте ссылок на структурные элементы указанного стандарта.*

3.2 **уровень звукового давления**[1] L_p (sound pressure level, L_p): Десятикратный десятичный логарифм отношения квадрата звукового давления p к квадрату опорного звукового давления p_0 (p_0 = 20 мкПа), выраженный в децибелах (дБ),

$$L_p = 10\lg\left[\frac{p^2}{p_0^2}\right]. \quad (1)$$

[ISO/TR 25417:2007, 2.2]

Примечание 1 — Применение коррекций по частотным или временным характеристикам, а также ограничение полосы частот измерений отражают соответствующим подстрочным индексом. Например, L_{pA} — уровень звукового давления, корректированного по А.

Примечание 2 — Пояснение к термину приведено в [21], 8-22.

3.3 **эквивалентный уровень звукового давления** $L_{p,T}$ (time-averaged sound pressure level, $L_{p,T}$): Десятикратный десятичный логарифм отношения усредненного на заданном временном интервале T (с началом t_1 и окончанием t_2) квадрата звукового давления p к квадрату опорного звукового давления p_0 (p_0 = 20 мкПа), выраженный в децибелах (дБ),

$$L_{p,T} = 10\lg\left[\frac{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} p^2(t)\,dt}{p_0^2}\right]. \quad (2)$$

Примечание 1 — Обычно подстрочный индекс «T» опускают, поскольку из самого названия термина следует, что величину определяют на заданном временном интервале.

Примечание 2 — В большинстве применений интегрирование на временном интервале T сопровождается использованием коррекции по частотной характеристике А. Соответствующую величину обозначают $L_{pA,T}$ или сокращенно L_{pA}.

Примечание 3 — Определение термина модифицировано по отношению к [20], 2.3.

3.4 **уровень экспозиции отдельного шумового события** L_E (single event time-integrated sound pressure level, L_E): Десятикратный десятичный логарифм отношения интегрированного на заданном временном интервале T (с началом t_1 и окончанием t_2) квадрата звукового давления p отдельного шумового события (звукового импульса или переходного процесса) к опорному значению дозы шума E_0 [$E_0 = (20\ \text{мкПа})^2\ \text{с} = 4 \cdot 10^{-10}\ \text{Па}^2 \cdot \text{с}$], выраженный в децибелах (дБ),

$$L_E = 10\lg\left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} p^2(t)\,dt}{E_0}\right]. \quad (3)$$

Примечание 1 — Может быть выражена через эквивалентный уровень звукового давления по формуле $L_E = L_{p,T} + 10\lg\frac{T}{T_0}$, где T_0 = 1 с.

Примечание 2 — В случае описания звуковой имиссии данную величину обычно называют «уровень звукового воздействия» (см. [20]).

3.5 **продолжительность измерений** T (measurement time interval, T): Период, включающий в себя часть операционного цикла или несколько операционных циклов источника шума, в течение которого проводят измерения эквивалентного уровня звукового давления.

Примечание — Выражают в секундах (с).

3.6 **(реверберационная) камера** (reverberation test room): Испытательное помещение, удовлетворяющее требованиям настоящего стандарта.

---

[1] *Данный термин приведен в оригинале вводимого международного стандарта, однако в тексте стандарта не используется.*

3.7 **реверберационное (звуковое) поле** (reverberant sound field): Звуковое поле в той части испытательного помещения, в которой вклад в общее поле звуковой волны, пришедшей непосредственно от испытуемого источника, пренебрежимо мал.

3.8 **время реверберации T_n** (reverberation time, T_n): Время, необходимое для спада уровня звуковой энергии, усредненного по заданной области пространства, до $10^{-n/10}$ начального значения (т. е. на n дБ) после прекращения звукового излучения.

[ISO 80000-8:2007, 8-29]

Примечание 1 — Выражают в секундах (с).

Примечание 2 — Зависит от частоты.

Примечание 3 — В настоящем стандарте принято n = 60 и обозначение T_{60}.

3.9 **коэффициент звукопоглощения α** (sound absorption coefficient, α): Доля падающей на поверхность и не отраженной ею мощности звука на данной частоте в заданных акустических условиях.

Примечание — В настоящем стандарте коэффициент звукопоглощения рассчитывают по [1].

3.10 **эквивалентная площадь звукопоглощения *A*** (equivalent sound absorption area, A): Произведение площади поверхности на коэффициент звукопоглощения этой поверхности.

Примечание — Выражают в квадратных метрах ($м^2$).

3.11 **образцовый источник шума** (reference sound source): Источник звука, отвечающий установленным требованиям.

Примечание — Требования к образцовому источнику шума, применяемому в соответствии с настоящим стандартом, установлены в ISO 6926[1)].

3.12 **диапазон частот измерений** (frequency range of interest): Диапазон частот, включающий в себя третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами (номинальными) от 100 до 10 000 Гц.

Примечание — В отдельных случаях диапазон частот измерений может быть расширен или сокращен, если при этом условия испытаний и применяемые средства измерений будут удовлетворять требованиям настоящего стандарта. Любое расширение или сокращение диапазона частот измерений отражает в протоколе испытаний.

3.13 **фоновый шум** (background noise): Шум от всех источников, кроме испытуемого.

Примечание — Может включать в себя воздушный шум, шум излучения вибрирующих поверхностей, электрический шум средств измерений.

3.14 **коррекция на фоновый шум K_1** (background noise correction, K_1): Поправка к полученному значению эквивалентного уровня звукового давления в реверберационной камере, вносимая для учета влияния фонового шума.

Примечание 1 — Выражают в децибелах (дБ).

Примечание 2 — Зависит от частоты. При измерениях в полосе частот коррекцию на фоновый шум обозначают K_{1f}, где f — среднегеометрическая частота полосы.

3.15 **звуковая мощность (через поверхность) *P*** (sound power, P): Интеграл по поверхности от произведения звукового давления p и составляющей скорости колебаний точки поверхности, нормальной к этой поверхности, u_n.

[ISO 80000-8:2007, 8-16]

Примечание 1 — Выражают в ваттах (Вт).

Примечание 2 — Характеризует скорость излучения звуковой энергии источником в воздушную среду.

3.16 **уровень звуковой мощности L_W** (sound power level, L_W): Десятикратный десятичный логарифм отношения звуковой мощности P к опорной звуковой мощности P_0 (P_0 = 1 пВт), выраженный в децибелах,

---

[1)] *В оригинале вводимого международного стандарта приведена датированная ссылка (ISO 6926:1999, раздел 5), которая заменена недатированной для приведения в соответствие с разделом 2 и 6.1.*

$$L_W = 10\lg\frac{P}{P_0}. \quad (4)$$

Примечание 1 — При измерениях с применением коррекции по одной из частотных характеристик, установленных IEC 61672-1, или в заданной полосе частот в обозначение уровня звуковой мощности добавляют соответствующий подстрочный индекс. Например, L_{WA} обозначает уровень звуковой мощности, корректированный по А.

Примечание 2 — Определение содержательно совпадает с [21, терминологическая статья 8-23].

[ISO/TR 25417:2007, 2.9]

3.17 **звуковая энергия *J*** (sound energy, *J*): Интеграл от звуковой мощности *P* на заданном временном интервале *T* (с началом t_1 и окончанием t_2),

$$J = \int_{t_1}^{t_2} P(t)\,dt. \quad (5)$$

Примечание 1 — Выражают в джоулях (Дж).

Примечание 2 — Данную величину обычно используют для описания нестационарных процессов и перемежающихся звуковых событий.

[ISO/TR 25417:2007, 2.10]

3.18 **уровень звуковой энергии L_J** (sound energy level, L_J): Десятикратный десятичный логарифм отношения звуковой энергии *J* к опорной звуковой энергии J_0 (J_0 = 1 пДж), выраженный в децибелах,

$$L_J = 10\lg\frac{J}{J_0}. \quad (6)$$

Примечание — При измерениях с применением коррекции по одной из частотных характеристик, установленных IEC 61672-1, или в заданной полосе частот в обозначение уровня звуковой энергии добавляют соответствующий подстрочный индекс. Например, L_{JA} обозначает уровень звуковой энергии, корректированный по А.

[ISO/TR 25417:2007, 2.11]

4 Нормальные атмосферные условия

Нормальными атмосферными условиями для определения уровней звуковой мощности и звуковой энергии являются:

a) температура воздуха 23,0 °C;
b) статическое давление 101,325 кПа;
c) относительная влажность 50 %.

5 Реверберационная камера

5.1 Общие положения

Реверберационная камера должна иметь достаточно большие размеры и достаточно низкое общее звукопоглощение, позволяющие обеспечить условия реверберационного поля во всем диапазоне частот измерений. Рекомендации по конструкции реверберационной камеры для определения уровней звуковой мощности и звуковой энергии в соответствии с требованиями настоящего стандарта приведены в приложении А. Рекомендации по конструкции устанавливаемого в камере вращающегося акустического рассеивателя приведены в приложении В.

5.2 Объем и форма камеры

Рекомендации в отношении минимального объема камеры приведены в таблице 1. Пригодность реверберационной камеры для проведения измерений должна быть подтверждена в соответствии с приложением С. Если объем камеры менее указанного в таблице 1 для заданного диапазона частот

измерений или если он превышает 300 м^3, то в соответствии с приложением С проверяют пригодность камеры для измерений широкополосного шума. Пригодность камеры для проведения измерений на дискретных частотах для разных источников шума подтверждают в соответствии с приложением D. При отсутствии такого подтверждения пригодность камеры проверяют для испытуемого источника шума в соответствии с 8.4.2 или 8.5.2. В приложении Е приведены рекомендации в отношении измерений в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами ниже 100 Гц.

Таблица 1 — Минимальный объем камеры в зависимости от среднегеометрической частоты нижней третьоктавной полосы диапазона частот измерений

Среднегеометрическая частота нижней третьоктавной полосы диапазона частот измерений, Гц	Минимальный объем камеры, м^3
100	200
125	150
160	100
200 и более	70

5.3 Требования к звукопоглощению в камере

От звукопоглощения в реверберационной камере, в первую очередь, зависит минимальное расстояние, которое нужно выдерживать между испытуемым источником шума и точками установки микрофонов. Оно влияет также на излучение источника и частотные характеристики испытательного пространства. С учетом этих обстоятельств звукопоглощение в камере не должно быть ни чрезмерно большим, ни слишком малым (см. приложение А).

Все поверхности камеры, находящиеся на расстоянии от испытуемого источника в пределах одной длины волны диапазона частот измерений, должны иметь коэффициент звукопоглощения менее 0,06. Если согласно приложению С или D применяют низкочастотные панельные поглотители, то они могут быть расположены в пределах одной длины волны (соответствующей нижней границе диапазона частот измерений) от испытуемого источника шума, но не ближе чем в 1,5 м от него. Остальные поверхности камеры должны иметь такое звукопоглощение, чтобы время реверберации T_{60}, с (см. 8.7), в каждой третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой ниже 6,3 кГц при удаленном из камеры испытуемом источнике звука численно превышало отношение V к S, т. е. выполнялось условие

$$T_{60} > \frac{V}{S}, \tag{7}$$

где V — объем камеры, м^3;

S — общая площадь поверхности стен камеры, м^2.

Если время реверберации не удовлетворяет условию (6), то пригодность камеры для измерения широкополосного шума должна быть подтверждена согласно приложению С.

5.4 Требования к уровню фонового шума

5.4.1 Критерий по относительным значениям

5.4.1.1 Общие положения

Требования настоящего стандарта к фоновому шуму считают выполненными, если усредненные по точкам установки микрофонов или по траекториям сканирования (см. 9.1.3 или 9.2.3) эквивалентные уровни звукового давления фонового шума в каждой третьоктавной полосе диапазона частот измерений будут ниже соответствующего эквивалентного уровня звукового давления испытуемого источника шума на величину ΔL_p, равную:

a) 6 дБ и более в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами 200 Гц и ниже, а также 6300 Гц и выше;

b) 10 дБ и более в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами от 250 до 5000 Гц.

Примечание 1 — Тот же самый критерий применяют при сравнении с уровнем экспозиции отдельного шумового события, при этом продолжительность измерений для фонового шума должна совпадать с продолжительностью измерений для этого события.

Примечание 2 — Если для перемещения микрофона по заданной траектории используют специальный механизм, то шум данного механизма во время работы рассматривают как составляющую фонового шума, и измерения фонового шума для проверки соответствия критерию проводят при работающем механизме.

5.4.1.2 Критерий по относительным значениям для отдельных полос

Даже если фоновый шум в реверберационной камере весьма низок, требование, установленное в 5.4.1.1, может не соблюдаться для какой-то одной или нескольких полос диапазона частот измерений. Допускается из проверки по критерию фонового шума исключить полосы частот, для которых уровень звуковой мощности (звуковой энергии) с коррекцией по частотной характеристике A (см. приложение F) испытуемого источника шума после внесения поправки на фоновый шум будет не менее чем на 15 дБ ниже максимального значения этой величины по всем третьоктавным полосам диапазона частот измерений.

5.4.1.3 Критерий по относительным значениям для измерений с коррекцией по частотной характеристике A

Если проводят измерения корректированного по A уровня звуковой мощности (звуковой энергии), то для определения соответствия условий измерений критерию по фоновому шуму настоящего стандарта выполняют следующие действия:

a) вычисляют корректированный по A уровень звуковой мощности (звуковой энергии) по данным измерений в каждой полосе диапазона частот измерений;

b) повторяют вычисления, исключив полосы, для которых $\Delta L_p < 6$ дБ, если их среднегеометрические частоты 200 Гц и ниже или 6300 Гц и выше, и $\Delta L_p < 10$ дБ, если их среднегеометрические частоты лежат в диапазоне от 250 до 5000 Гц.

Если разность значений, полученных в результате выполнения этапов по перечислениям a) и b) составит менее 0,5 дБ, то измерения корректированного по A уровня звуковой мощности (звуковой энергии) с использованием данных по всем полосам диапазона частот измерений можно считать выполненными с соблюдением критерия по фоновому шуму.

5.4.2 Критерий по абсолютным значениям

Если можно показать, что уровни фонового шума в испытательном пространстве во время проведения измерений не превышают значений, приведенных в таблице 2, для всех полос диапазона частот измерений, то считают, что требования настоящего стандарта к фоновому шуму выполнены даже в том случае, когда соответствие критерию по относительным значениям, установленному в 5.4.1.1, соблюдается не для всех полос диапазона. В этом случае можно предположить, что в этих полосах излучение звука источником незначительно, и полученные для них результаты измерений уровня звуковой мощности (звуковой энергии) являются оценками сверху.

Если полученные значения эквивалентного уровня звукового давления (уровня экспозиции отдельного шумового события) испытуемого источника шума окажутся меньше значений, приведенных в таблице 2, то соответствующие третьоктавные полосы исключают из диапазона частот измерений. В этом случае в протоколе испытаний указывают, в каком диапазоне частот проведены измерения.

5.4.3 Несоответствие критериям по фоновому шуму

Если не соблюдены критерии ни по относительному (см. 5.4.1), ни по абсолютному (см. 5.4.2) значениям, то в протоколе испытаний должно быть указано, что требования настоящего стандарта к фоновому шуму не выполнены. Должны быть указаны полосы, в которых критерии не соблюдены. В этом случае в протоколе испытаний не допускается в явном или неявном виде указывать, что измерения проведены в полном соответствии с настоящим стандартом.

5.5 Требования к температуре, давлению и влажности воздуха

В точках установки микрофонов изменения температуры и относительной влажности воздуха должны быть в пределах, указанных в таблице 3.

Таблица 2 — Максимально допустимые уровни фонового шума в реверберационной камере

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы частот, Гц	Максимальный уровень эквивалентного звукового давления фонового шума, дБ
50	42
63	39
80	36

Окончание таблицы 2

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы частот, Гц	Максимальный уровень эквивалентного звукового давления фонового шума, дБ
100	33
125	30
160	27
200	24
250	21
315	18
400	15
500	12
630	11
800	11
1000	10
1250	10
1600	10
2000	10
2500	10
3150	10
4000	10
5000	10
6300	10
8000	10
10 000	10

Таблица 3 — Допустимые пределы изменения температуры и относительной влажности воздуха во время измерений в реверберационной камере

Диапазон температур θ, °C	Допустимые изменения температуры, °C, и относительной влажности воздуха, %, для разных диапазонов относительной влажности		
	Менее 30 %	От 30 % до 50 %	Более 50 %
$-5 \le \theta < 10$	±1 °C, ±3 %	±1 °C, ±5 %	±3 °C, ±10 %
$10 \le \theta < 20$	±1 °C, ±3 %	±3 °C, ±5 %	±3 °C, ±10 %
$20 \le \theta < 50$	±2 °C, ±3 %	5 °C, ±5 %	±5 °C, ±10 %

Колебания атмосферного давления должны быть в пределах ±1,5 кПа.

Знания значений температуры и влажности воздуха с точностью, показанной в таблице 3, обычно достаточно с точки зрения точности методов настоящего стандарта. Однако в испытательных кодах по шуму для машин разных видов могут быть установлены иные требования по температуре и влажности, особенно если работа машины или излучаемый ею звук сильно зависят от атмосферных условий. В этом случае следует руководствоваться положениями испытательного кода по шуму.

6 Средства измерений

6.1 Общие положения

Измерительная система, включая микрофоны и соединительные кабели, должна соответствовать требованиям к средствам измерений класса 1 по IEC 61672-1, а электронные фильтры — класса 1 по IEC 61260-1.

В случае применения метода сравнения (см. 8.1) образцовый источник шума должен соответствовать требованиям ISO 6926.

6.2 Калибровки

Микрофоны калибруют в диффузном звуковом поле по IEC 61183.

До и после каждой серии измерений проверяют калибровку каждой измерительной цепи на одной или нескольких частотах в пределах диапазона частот измерений с использованием акустического калибратора класса 1 по IEC 60942 без выполнения регулировок измерительной цепи. Разность показаний до и после проведения измерений не должна превышать 0,5 дБ. Если данное требование не соблюдено, то результаты измерений считают недостоверными.

Калибровку акустического калибратора, проверку соответствия измерительной системы требованиям к средствам измерений класса 1 по IEC 61672-1, электронных фильтров — классу 1 по IEC 61260-1 и, при необходимости, образцового источника шума — ISO 6926 выполняют периодически в специализированной лаборатории.

Рекомендуемый минимальный интервал между калибровками для акустических калибраторов составляет 1 год, для образцовых источников шума — 2 года, для средств измерений класса 1 по IEC 61672-1 — 2 года, для фильтров класса 1 по IEC 61260-1 — 2 года.

7 Расположение, установка и работа испытуемого источника шума

7.1 Общие положения

Прежде всего, необходимо определить, какие именно элементы (узлы, вспомогательные устройства, источники питания и т. п.) составляют неотъемлемую часть источника шума, уровень звуковой мощности (звуковой энергии) которого планируется измерить. Следует определить способ установки источника и режим его работы во время испытаний, поскольку эти факторы способны оказать существенное влияние на результаты измерений. Максимально точное определение указанных факторов является важным условием обеспечения воспроизводимости результатов измерений.

Настоящий стандарт устанавливает общие требования в отношении того, какие элементы (составные части) испытуемого источника должны приниматься во внимание с точки зрения производимого им шума, а также требования к установке и работе источника шума во время испытаний. Однако если соответствующие требования определены в испытательном коде по шуму для машин данного вида, то следует руководствоваться требованиями испытательного кода.

7.2 Вспомогательное оборудование

Следует убедиться, что вспомогательное оборудование (кабели, трубопроводы, воздуховоды и т. п.), соединенное с испытуемым источником шума, не излучает значительную звуковую энергию в испытательное пространство.

По возможности все вспомогательное оборудование, необходимое для работы источника шума во время испытаний, но не составляющее его неотъемлемую часть, следует разместить за пределами реверберационной камеры. Если это трудно выполнимо, то принимают меры, чтобы максимально снизить акустический шум, излучаемый в камеру этим оборудованием. При невозможности ни вынести из камеры вспомогательное оборудование, ни существенно снизить его излучение в испытательное пространство это вспомогательное оборудование рассматривают как составную часть испытуемого источника шума.

7.3 Расположение испытуемого источника шума

Испытуемый источник шума устанавливают в реверберационной камере в одном или нескольких положениях относительно стен камеры способом, характерным для использования этого источника в

условиях применения. Если конкретное расположение для данного источника шума не определено, то его устанавливают на полу не ближе 1,5 м от стен камеры. Если источник шума следует испытывать в двух и более положениях (см. 8.4.2 и приложение D), то расстояние между местами размещения источника должно быть не менее половины длины волны, соответствующей среднегеометрической частоте низшей полосы диапазона частот измерений. Если пол реверберационной камеры имеет прямоугольную форму, то источник шума устанавливают не по осям симметрии пола.

Испытуемый настольный станок или другое настольное оборудование также размещают на полу реверберационной камеры на расстоянии не менее 1,5 м от ее стен, если только стол или стенд не является необходимым элементом для нормальной работы машины. В последнем случае ее устанавливают в центре стола и стол рассматривают как единое целое с источником шума.

7.4 Условия установки

Во многих случаях условия установки источника шума на опорную поверхность существенно влияют на излучаемую звуковую мощность (звуковую энергию). Если существуют типовые способы монтажа испытуемого источника в условиях его применения, то их по возможности следует использовать при испытаниях.

При выборе способа установки испытуемого источника следует руководствоваться рекомендациями изготовителя, если иное не установлено в испытательном коде по шуму для машин данного вида. Если типовых способов установки не существует или они не могут быть использованы в испытаниях, а также при наличии нескольких допустимых способов следует убедиться, что выбранный способ установки не приводит к изменениям излучаемого шума, нетипичным для данного источника. Следует выбирать такие способы, при которых вклад излучения опорной конструкции источника шума в общий шум, излучаемый источником, минимален.

Часто источники шума малых размеров с незначительным излучением в низкочастотной области могут при неподходящем выборе способа крепления передавать значительную низкочастотную вибрацию в опорную конструкцию, обладающую высокой излучательной способностью в области низких частот. В этом случае рекомендуется использовать виброизолирующие прокладки между испытуемым источником шума и опорной конструкцией. При этом опорная конструкция должна быть жесткой (т. е. иметь значительный входной механический импеданс), чтобы предотвратить возбуждение в ней чрезмерных колебаний с последующим излучением звука. Виброизолирующие прокладки используют, только если это предусмотрено типичными условиями применения источника шума.

На шумовое излучение испытуемого источника могут также оказывать влияние условия сопряжения механизмов (например, привода и машины). Подходящим решением может быть применение гибкой муфты. Вопрос применимости гибкой муфты аналогичен рассмотренному выше в отношении виброизолирующих прокладок.

Если источник шума представляет собой машину, удерживаемую в условиях ее нормальной работы руками оператора, то при испытаниях ее также удерживает оператор или машину подвешивают таким образом, чтобы исключить передачу к ней вибрации через любые вспомогательные приспособления, не относящиеся к самому источнику. Если источник шума для своей работы требует опору, то такая опора должна быть малых размеров и рассматриваться как часть испытуемого источника шума. Вид опоры описывают в испытательном коде по шуму (при его наличии).

Если источник шума представляет собой машину, которую в условиях применения устанавливают на специальное основание вплотную к стене, то его устанавливают на акустически жесткую поверхность пола рядом с акустически жесткой стеной. Машины, крепящиеся на стену, монтируют для проведения испытаний на акустически жесткую стену.

7.5 Работа источника шума во время испытаний

На излучаемую источником звуковую мощность (звуковую энергию) могут влиять приложенная нагрузка, рабочая скорость и режим работы. По возможности источник испытывают в условиях, представительных с точки зрения максимального создаваемого шума при типичном применении и, с другой стороны, обеспечивающих воспроизводимость результатов измерений. При наличии испытательного кода по шуму руководствуются установленными в нем требованиями к условиям работы источника во время испытаний, а при его отсутствии испытания проводят в одном или нескольких из следующих режимов работы:

а) в заданном режиме работы при заданной нагрузке;

b) при максимальной нагрузке, если она отличается от указанной в перечислении a);
c) на холостом ходу;
d) на максимальной рабочей скорости в заданном режиме;
e) в типовом режиме работы, когда шум источника максимален;
f) в заданном режиме работы с моделируемой нагрузкой;
g) с воспроизведением типового рабочего цикла.

Перед тем как проводить измерения уровня звуковой мощности или звуковой энергии, работа источника шума должна быть стабилизирована в заданном режиме, включая температурную стабилизацию источника питания и системы привода. Нагрузку, скорость и другие эксплуатационные характеристики в процессе испытаний либо поддерживают постоянными, либо циклически изменяют установленным образом.

Если акустическое излучение источника зависит от других факторов, таких как обрабатываемый материал или применяемый вставной инструмент, то они должны соответствовать, насколько это возможно, использованию источника в типичных условиях применения и при этом обеспечивать наименьший разброс результатов измерений. Если испытания проводят с моделированием нагрузки, то условия нагружения выбирают таким образом, чтобы производимый источником шум был представителен для нормальных условий его применения.

Шум некоторых источников, таких как электронное оборудование с вентиляторами охлаждения с изменяющейся скоростью вращения или оборудование для кондиционирования воздуха с компрессорами, может сильно зависеть от температуры воздуха в реверберационной камере. Если не установлено иное, например испытательным кодом по шуму, то рекомендуется установить в камере температуру, типичную для нормального применения источника, и поддерживать ее постоянной в пределах ±2 °C. Выбранное значение температуры следует указать в протоколе испытаний.

8 Измерения

8.1 Общие положения

В настоящем стандарте рассматриваются два метода измерений уровней звуковой мощности (звуковой энергии):

a) с использованием эквивалентной площади звукопоглощения (прямой метод);
b) с использованием образцового источника шума с известным уровнем звуковой мощности (метод сравнения).

Оба метода применимы в диапазоне частот, включающем третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами от 100 до 10 000 Гц. В особых случаях допускается расширить диапазон частот измерений в область низких частот до третьоктавной полосы со среднегеометрической частотой 50 Гц (см. 3.12), руководствуясь при этом рекомендациями приложения E.

8.2 Установка испытуемого источника шума

При использовании прямого метода источник шума устанавливают в реверберационной камере в одном из положений, выбранном в соответствии с разделом 7.

8.3 Установка микрофонов

При использовании любого из методов (прямого или сравнения) определяют минимально допустимое расстояние d_{min}, м, между точкой установки микрофона и испытуемым источником шума для каждой полосы диапазона частот измерений.

Для прямого метода d_{min} численно рассчитывают по формуле

$$d_{min} = D_1\sqrt{\frac{V}{T_{60}}}, \quad (8)$$

где D_1 = 0,08;

V — объем реверберационной камеры, м^3;

T_{60} — время реверберации, с.

Для метода сравнения d_{min} выбирают как наименьшее из двух значений, полученных по формуле (8) и по формуле

$$d_{min} = D_2 \cdot 10^{0,05(L_{Wr} - L_{pr})}, \quad (9)$$

где D_2 = 0,4;

L_{Wr} — известный уровень звуковой мощности образцового источника шума, дБ;

L_{pr} — эквивалентный уровень звукового давления при работе образцового источника шума в реверберационной камере, дБ.

Чтобы уменьшить погрешность, связанную с измерениями в ближнем поле, и гарантировать, что точки измерений будут находиться в реверберационном поле камеры, рекомендуется для полос со среднегеометрическими частотами ниже 5000 Гц коэффициенты D_1 и D_2 увеличить соответственно до значений D_1 = 0,16 и D_1 = 0,8.

Если пригодность камеры была оценена в соответствии с приложением D, то при измерениях звукового давления используют то же число микрофонов и то же число точек измерения или траектории сканирования микрофоном, какие были использованы при оценке пригодности.

Если пригодность камеры не была подтверждена в соответствии с приложением D, то в ней выбирают шесть точек установки микрофонов, по измерениям в которых будет получена оценка среднеквадратичного отклонения эквивалентных уровней звукового давления (см. 8.4.2). Эти точки должны быть удалены более чем на 1,0 м от любой из стен камеры и более чем на d_{min} от испытуемого источника шума. Минимально допустимое расстояние между точками равно половине длины волны, соответствующей среднегеометрической частоте нижней полосы диапазона частот измерений. Для оценки стандартного отклонения эквивалентных уровней звукового давления вместо измерений в фиксированных точках может быть использовано сканирование микрофоном.

При сканировании траектория движения микрофона должна отвечать следующим требованиям:

a) ни одна точка траектории не должна быть ближе d_{min} от источника;

b) ни одна точка траектории не должна быть ближе 1,0 м от любой поверхности камеры;

c) ни одна точка траектории ни в какой момент времени не должна быть ближе 0,5 м от любой из поверхностей вращающегося акустического рассеивателя;

d) плоскость, в которой лежит траектория, должна составлять угол не менее 10° с любой из поверхностей камеры;

e) траектория может представлять собой отрезок прямой линии, дугу окружности или полную окружность. Длина траектории l должна быть не менее наименьшего из следующих двух значений: 10,3 м и 3 λ (λ — длина волны, соответствующая среднегеометрической частоте низшей полосы диапазона частот измерений).

Чтобы гарантировать, что измерения будут проведены в реверберационном поле камеры при соблюдении требования к минимальной длине траектории, рекомендуется разбить траекторию на две или более частей, расстояние между которыми должно быть более наименьшего из следующих двух значений: 1,0 м и λ.

В соответствии с 8.2.4.3 или приложением D требуемая длина траектории может быть больше минимальной, определенной в перечислении e).

8.4 Измерение эквивалентных уровней звукового давления

8.4.1 Общие положения

При использовании любого из методов (прямого или сравнения) для каждого выбранного режима работы испытуемого источника шума (см. 7.5) измеряют эквивалентный уровень звукового давления $L'_{pi(ST)}$ в третьоктавных полосах частот на заданном интервале времени в каждой точке измерения i или вдоль каждой траектории сканирования (i = 1, 2, … , n). Если пригодность камеры подтверждена в соответствии с приложением D, то в измерениях используют то же число микрофонов и то же число точек измерения или те же траектории сканирования микрофоном, какие были использованы при оценке пригодности. Если пригодность камеры не была оценена в соответствии с приложением D, то в ней согласно 8.3 выбирают шесть начальных точек установки микрофонов, по измерениям в которых будет получена оценка среднеквадратичного отклонения эквивалентных уровней звукового давления (см. 8.4.2).

Продолжительность измерений постоянного шума должна быть не менее 30 с для полос со среднегеометрическими частотами 160 Гц и менее. Для полос со среднегеометрическими частотами 200 Гц и более продолжительность измерений должна быть не менее 10 с. Если эквивалентный уровень звукового давления шума источника или фонового шума изменяется со временем, то продолжительность измерений в каждой точке может быть увеличена. Значение продолжительности измерений указывают в протоколе испытаний.

При сканировании микрофоном продолжительность измерений должна быть не менее времени двукратного прохождения микрофона по траектории.

При использовании вращающегося акустического рассеивателя продолжительность измерений должна удовлетворять указанным выше требованиям и быть кратной периоду вращения рассеивателя с кратностью не менее 10.

Непосредственно перед измерениями звукового давления испытуемого источника шума или сразу после них в тех же полосах частот в тех же точках или вдоль той же траектории движения микрофона измеряют эквивалентный уровень звукового давления фонового шума $L'_{pi(\mathrm{B})}$ при той же продолжительности измерений.

8.4.2 Дополнительные измерения в камере, не прошедшей процедуру оценки пригодности для измерений на дискретных частотах

8.4.2.1 Общие положения

Дополнительные измерения в соответствии с настоящим пунктом проводят, если реверберационная камера не проверялась на пригодность к проведению измерений на дискретных частотах.

8.4.2.2 Расчет стандартных отклонений по результатам предварительных измерений

Рассчитывают выборочное стандартное отклонение s_{M} по результатам измерений эквивалентного уровня звукового давления в шести начальных точках измерений согласно 8.4.1 для каждой третьоктавной полосы частот по формуле

$$s_{\mathrm{M}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{\mathrm{M(pre)}}} \frac{\left[L'_{pi(\mathrm{pre})} - L'_{\mathrm{pm(pre)}}\right]}{N_{\mathrm{M(pre)}} - 1}}, \tag{10}$$

где $L'_{pi(\mathrm{pre})}$ — эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот i-й точке измерения, дБ;

$L'_{\mathrm{pm(pre)}}$ — среднее арифметическое значение для $L'_{pi(\mathrm{pre})}$, дБ;

$N_{\mathrm{M(pre)}}$ — число начальных точек измерений ($N_{\mathrm{M(pre)}} = 6$).

8.4.2.3 Проверка необходимости дополнительных точек измерений

Если значение s_{M}, полученное по формуле (10), для одной или нескольких третьоктавных полос превышает 1,5 дБ, это свидетельствует о наличии в шуме испытуемого источника значительных дискретных частотных составляющих. В этом случае необходимо либо модернизировать камеру, чтобы ее пригодность могла быть подтверждена в соответствии с приложением D, либо для определения среднего эквивалентного уровня звукового давления в соответствии с 9.1.3 увеличить число точек измерений N_{M}, как указано в таблице 4, и число мест расположения источника шума в камере (см. 8.4.2.4).

Если число точек измерений окажется велико, то измерения целесообразно проводить сканированием микрофоном. При этом минимальная длина траектории l, м, должна удовлетворять условию

$$l \le \min\{\lambda N_{\mathrm{M}}/2;\ 10{,}3\}, \tag{11}$$

где λ — длина волны, соответствующая среднегеометрической частоте полосы измерений;

N_{M} — число точек измерений по таблице 4.

В случае камер малых размеров, чтобы гарантировать, что измерения будут проведены в реверберационном поле, рекомендуется разбить траекторию на две или более частей, расстояние между которыми превышает наименьшее из следующих двух значений: 1,0 м или половина длины волны, соответствующей среднегеометрической частоте третьоктавной полосы, в которой проводят измерения.

Таблица 4 — Минимальное число точек измерений эквивалентных уровней звукового давления

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц	Минимальное значение N_M для разных s_M		
	$s_M \le 1,5$	$1,5 < s_M \le 3$	$s_M > 3$
100, 125, 160	6	6	6
200, 250, 315	6	6	12
400, 500, 630	6	12	24
800 и более	6	15	30

8.4.2.4 Дополнительные места расположения источника шума

Минимальное число мест расположения источника шума в камере N_S при измерениях звукового давления в случае, когда значение s_M для одной или нескольких третьоктавных полос превышает 1,5 дБ, определяют по формуле

$$N_S \ge K_S \left[\left(\frac{T_{60}}{V} \right) \left(\frac{1000}{f} \right)^2 + \frac{1}{N_M} \right], \quad (12)$$

,

где K_S — числовой коэффициент, определяемый по таблице 5;

T_{60} — время реверберации для данной третьоктавной полосы частот, с;

V — объем камеры, м^3;

f — среднегеометрическая частота данной третьоктавной полосы, Гц;

N_M — число точек измерений по таблице 4.

Число дополнительных мест расположения испытуемого источника шума может быть уменьшено применением вращающегося акустического рассеивателя, а также уменьшением времени реверберации, приводящему к лучшему перекрытию акустических мод в камере. Для третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами ниже 1000 Гц рекомендуется, чтобы время реверберации T_{60}, с, удовлетворяло условию

$$T_{60} < V \left(\frac{f}{1000} \right)^2,$$

где V — объем камеры, м^3;

f — среднегеометрическая частота данной третьоктавной полосы, Гц.

Таблица 5 — Значения числового коэффициента K_S

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц	Значения K_S для разных s_M		
	$s_M \le 1,5$	$1,5 < s_M \le 3$	$s_M > 3$
100, 125, 160	—*	2,5	5
200, 250, 315	—*	5	10
400, 500, 630	—*	10	20
800 и более	—*	12,5	25
* Минимальное значение N_S равно единице.			

8.4.2.5 Дополнительные измерения эквивалентных уровней звукового давления

Если измерения проводят в фиксированных точках установки микрофона и оценки, полученные по 8.4.2.3 и 8.4.2.4, показывают отсутствие необходимости в дополнительных точках измерений и местах установки испытуемого источника шума, то результаты, полученные по 8.4.1 с использованием шести начальных точек измерений, считают окончательными. Если оценка по 8.4.2.3 показала необходимость использования дополнительных точек измерений или траекторий сканирования определенной длины,

то проводят дополнительные измерения в этих точках (по этим траекториям). Если оценка по 8.4.2.4 показала необходимость использования дополнительных мест расположения источника шума, то измерения повторяют для каждого такого расположения в точках или по траекториям, определенным в соответствии с 8.4.2.3 (т. е. дополнительную оценку по 8.4.2.3 проводить не нужно).

8.5 Измерение уровня экспозиции отдельного шумового события

8.5.1 Общие положения

При использовании любого из методов (прямого или сравнения) измеряют уровень экспозиции отдельного шумового события $L'_{Ei(\mathrm{ST})}$ в третьоктавных полосах диапазона частот измерений в каждой точке установки микрофона ($i = 1, 2, \ldots, N_{\mathrm{M}}$). Измерения проводят для каждого режима работы, выбранного в соответствии с 7.5, либо один раз на интервале времени, когда шумовое событие повторяется N_{e} раз, либо N_{e} раз для отдельных шумовых событий, $N_{\mathrm{e}} \geq 5$. Если пригодность реверберационной камеры была подтверждена в соответствии с приложением D, то в измерениях звукового давления используют то же число микрофонов и то же число точек измерений, какие были использованы при оценке пригодности. Если камера не была оценена на пригодность в соответствии с приложением D, то в ней выбирают шесть начальных точек установки микрофонов согласно 8.3, по измерениям в которых будет получена оценка среднеквадратичного отклонения уровня экспозиции отдельного шумового события (см. 8.5.2). Сканирование микрофоном при измерениях уровня экспозиции отдельного шумового события не применяют.

Продолжительность измерений шума источника должна быть достаточной, чтобы включить в себя все стадии шумового события (включая его затухание), вносящие существенный вклад в эквивалентный уровень звукового давления.

Непосредственно перед измерениями звукового давления испытуемого источника шума или сразу после этих измерений в тех же полосах частот в тех же точках установки микрофона измеряют эквивалентный уровень звукового давления фонового шума $L_{pi(\mathrm{B})}$ при той же продолжительности измерений.

8.5.2 Дополнительные измерения в камере, не прошедшей процедуру оценки пригодности для измерений на дискретных частотах

8.5.2.1 Общие положения

Необходимость дополнительных точек измерений и мест расположения испытуемого источника шума определяют аналогично 8.4.2, но при этом вместо эквивалентных уровней звукового давления измеряют уровни экспозиции отдельных шумовых событий.

8.5.2.2 Дополнительные измерения уровня экспозиции отдельного шумового события

Если оценки, полученные по 8.5.2.1, показывают отсутствие необходимости в дополнительных точках измерений и местах установки испытуемого источника шума, то результаты, полученные по 8.5.1 с использованием шести начальных точек измерений, считают окончательными. Если оценка по 8.5.2.1 показала необходимость использования дополнительных точек измерений, то проводят дополнительные измерения в этих точках. Если, кроме того, оценка по 8.5.2.1 показала необходимость использования дополнительных мест расположения испытуемого источника шума, то измерения повторяют для каждого такого расположения в точках, определенных в соответствии с 8.5.2.1.

8.6 Измерения эквивалентного уровня звукового давления методом сравнения с использованием образцового источника шума

8.6.1 Установка образцового источника шума

Во время измерений с образцовым источником шума последний устанавливают на полу на расстоянии более 1,5 м от стен реверберационной камеры предпочтительно в том же месте, что занимал испытуемый источник шума (или в одном из этих мест, если испытуемый источник шума устанавливают в нескольких положениях). Если из практических или иных соображений испытуемый источник шума не может быть удален из камеры на время проведения измерений с образцовым источником шума, то последний устанавливают рядом с испытуемым источником, но не ближе 1,5 м от него.

8.6.2 Измерение эквивалентных уровней звукового давления при работе образцового источника шума

При работе образцового источника шума измеряют эквивалентные уровни звукового давления в каждой третьоктавной полосе диапазона частот измерений в тех же точках установки или для тех же траекторий движения микрофона, что и в 8.4.1 или 8.5.1. Измерения проводят при тех же значениях

температуры, атмосферного давления и относительной влажности воздуха, что и при измерениях с испытуемым источником шума с соблюдением требований 5.5.

Примечание — Требования к образцовому источнику шума установлены в 6.2, и для него необходимость в проведении оценок по 8.4.2 отсутствует.

8.7 Измерения времени реверберации

Время реверберации в камере T_{60} измеряют по ISO 3382-2, но при этом измеряют только времена спада на первые 10 или 15 дБ, которые обозначают соответственно T_{10f} и T_{15f} (см. [21]). Если предполагается, что испытуемый источник шума, находясь в камере, окажет значительное влияние на результат измерений времени реверберации, то эти измерения проводят при установленном в камере источнике шума.

Для третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами от 6300 до 10 000 Гц число измерений должно быть тем же, что и для третьоктавной полосы со среднегеометрической частотой 5000 Гц.

8.8 Измерения атмосферных параметров

Во время испытаний измеряют атмосферные параметры (температуру, давление и относительную влажность воздуха) в камере. Точность применяемых средств измерений должна быть достаточной для обеспечения проверки соответствия атмосферных условий требованиям по 5.5.

9 Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии

9.1 Определение уровней звуковой мощности

9.1.1 Усреднение по местам расположения источника шума

Если в процессе испытаний источник шума устанавливают более чем в одном положении (см. 8.4.2.4), то рассчитывают средний по местам расположения источника эквивалентный уровень звукового давления $L'_{pi(\mathrm{ST})}$, дБ, в каждой третьоктавной полосе диапазона частот измерений для каждой i-й точки установки микрофона или траектории сканирования для заданного режима работы источника по формуле

$$L'_{pi(\mathrm{ST})} = 10\lg\left\{\frac{1}{N_\mathrm{S}}\sum_{j=1}^{N_\mathrm{S}} 10^{0{,}1\left[L'_{pi(\mathrm{ST})}\right]_j}\right\}, \tag{13}$$

где $\left[L'_{pi(\mathrm{ST})}\right]_j$ — полученное значение эквивалентного уровня звукового давления в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона или для i-й траектории сканирования при работающем испытуемом источнике шума, расположенном в j-м месте, дБ;

N_S — число мест расположения испытуемого источника.

9.1.2 Внесение поправки на фоновый шум

Коррекцию на фоновый шум K_{1i}, дБ, рассчитывают для каждой третьоктавной полосы частот и каждой i-й точки установки микрофона или i-й траектории сканирования по формуле

$$K_{1i} = -10\lg\left(1-10^{-0{,}1\Delta L_{pi}}\right), \tag{14}$$

где $\Delta L_{pi} = L'_{pi(\mathrm{ST})} - L_{pi(\mathrm{B})}$;

$L'_{pi(\mathrm{ST})}$ — полученное в результате измерений значение эквивалентного уровня звукового давления в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона или для i-й траектории сканирования при работающем испытуемом источнике шума, дБ;

$L_{pi(\mathrm{B})}$ — эквивалентный уровень звукового давления фонового шума в данной полосе частот в i-й точке установки микрофона или для i-й траектории сканирования, дБ.

Если $\Delta L_{pi} \geq 15$ дБ, то K_{1i} полагают равным нулю и поправку на фоновый шум не вносят.

Коррекцию K_{1i}, рассчитанную по формуле (14), используют, если 6 дБ $\leq \Delta L_{pi} <$ 15 дБ для третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами 200 Гц и ниже и 6300 Гц и выше и если 10 дБ $\leq \Delta L_{pi} <$ 15 дБ для третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами от 250 до 5000 Гц.

Если ΔL_{pi} < 6 дБ для третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами 20 Гц и ниже и 6300 Гц и выше, то коррекцию K_{1i} принимают равной 1,26 дБ (соответствует ΔL_{pi} = 6 дБ). Если ΔL_{pi} < 10 дБ для третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами от 250 до 5000 Гц, то коррекцию K_{1i} принимают равной 0,46 дБ (соответствует ΔL_{pi} = 10 дБ). В этих случаях в протоколе испытаний при табличном или графическом представлении результатов измерений указывают, что приведенные данные для третьоктавных полос представляют собой оценку уровня звуковой мощности источника шума сверху.

Если для оценки составляющей неопределенности измерений, связанной с фоновым шумом, используют подход, описанный в приложении G, то при расчете стандартной неопределенности используют значение K_{1i}, полученное по формуле (14), независимо от того, чему равно ΔL_{pi}.

Коррекцию K_{1i}, дБ, применяют для получения корректированного на фоновый шум значения эквивалентного уровня звукового давления в третьоктавной полосе частот в *i*-й точке установки микрофона или для *i*-й траектории сканирования $L_{pi(\mathrm{ST})}$, дБ, по формуле

$$L_{pi(\mathrm{ST})} = L'_{pi(\mathrm{ST})} - K_{1i}, \tag{15}$$

где $L'_{pi(\mathrm{ST})}$ — полученное в результате измерений значение эквивалентного уровня звукового давления в третьоктавной полосе частот в *i*-й точке установки микрофона или для *i*-й траектории сканирования при работающем испытуемом источнике шума, дБ.

9.1.3 Расчет среднего по реверберационной камере эквивалентного уровня звукового давления

Средний по реверберационной камере корректированный на фоновый шум эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот для испытуемого источника шума $\overline{L_{p(\mathrm{ST})}}$, дБ, рассчитывают по формуле

$$\overline{L_{p(\mathrm{ST})}} = 10\lg\left[\frac{1}{N_\mathrm{M}}\sum_{i=1}^{N_\mathrm{M}} 10^{0{,}1L_{pi(\mathrm{ST})}}\right], \tag{16}$$

где $L_{pi(\mathrm{ST})}$ — корректированный на фоновый шум эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот в *i*-й точке установки микрофона или для *i*-й траектории сканирования при работающем испытуемом источнике шума, дБ;

N_M — число точек установки микрофонов или траекторий сканирования.

Средний по реверберационной камере корректированный на фоновый шум эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот для образцового источника шума $\overline{L_{p(\mathrm{RSS})}}$, дБ, рассчитывают по формуле

$$\overline{L_{p(\mathrm{RSS})}} = 10\lg\left[\frac{1}{N_\mathrm{M}}\sum_{i=1}^{N_\mathrm{M}} 10^{0{,}1L_{pi(\mathrm{RSS})}}\right], \tag{17}$$

где $L_{pi(\mathrm{RSS})} = L'_{pi(\mathrm{RSS})} - K_{1i(\mathrm{RSS})}$;

$L'_{pi(\mathrm{RSS})}$ — полученное в результате измерений значение эквивалентного уровня звукового давления образцового источника шума в третьоктавной полосе частот в *i*-й точке установки микрофона или для *i*-й траектории сканирования, дБ;

$K_{1i(\mathrm{RSS})}$ — коррекция на фоновый шум для образцового источника звука в *i*-й точке установки микрофона или для *i*-й траектории сканирования, дБ, полученная по формуле (14) с заменой $L'_{pi(\mathrm{ST})}$ на $L'_{pi(\mathrm{RSS})}$;

N_M — число точек установки микрофонов или траекторий сканирования.

Для проверки, удовлетворяет ли фоновый шум критериям, установленным в 5.4, выполняют следующие вычисления.

Рассчитывают средний по реверберационной камере некорректированный на фоновый шум эквивалентный уровень звукового давления испытуемого источника шума $\overline{L'_{p(\mathrm{ST})}}$, дБ, по формуле

$$\overline{L'_{p(\mathrm{ST})}} = 10\lg\left[\frac{1}{N_\mathrm{M}}\sum_{i=1}^{N_\mathrm{M}} 10^{0{,}1L'_{pi(\mathrm{ST})}}\right], \tag{18}$$

где $L_{pi(\mathrm{ST})}$ — некорректированный на фоновый шум эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона или для i-й траектории сканирования при работающем испытуемом источнике шума, дБ;

N_M — число точек установки микрофонов или траекторий сканирования.

Рассчитывают средний по реверберационной камере эквивалентный уровень звукового давления фонового шума $\overline{L'_{p(\mathrm{B})}}$, дБ, по формуле

$$\overline{L_{p(\mathrm{B})}} = 10\lg\left[\frac{1}{N_\mathrm{M}}\sum_{i=1}^{N_\mathrm{M}} 10^{0{,}1L_{pi(\mathrm{B})}}\right], \tag{19}$$

где $L_{pi(\mathrm{B})}$ — эквивалентный уровень звукового давления фонового шума в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона или для i-й траектории сканирования, дБ;

N_M — число точек установки микрофонов или траекторий сканирования.

9.1.4 Расчет уровня звуковой мощности с использованием эквивалентной площади звукопоглощения (прямой метод)

Уровень звуковой мощности L_W, дБ, испытуемого источника шума в третьоктавной полосе частот, приведенный к нормальным атмосферным условиям, рассчитывают по формуле

$$L_W = \overline{L_{p(\mathrm{ST})}} + \left\{10\lg\frac{A}{A_0} + 4{,}34\frac{A}{S} + 10\lg\left(1+\frac{Sc}{8Vf}\right) + C_1 + C_2 - 6\right\}, \tag{20}$$

где $\overline{L_{p(\mathrm{ST})}}$ — средний по реверберационной камере корректированный на фоновый шум эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот при работе испытуемого источника шума, дБ;

A — эквивалентная площадь звукопоглощения в камере, м^2, $A = \dfrac{55{,}26}{c}\left(\dfrac{V}{T_{60}}\right)$;

A_0 = 1 м^2;

S — общая площадь поверхности камеры, м^2;

c — скорость звука, м/с, при температуре воздуха в реверберационной камере во время испытаний θ, °С, определяемая по формуле $c = 20{,}05\sqrt{273+\theta}$;

V — объем камеры, м^3;

f — среднегеометрическая частота полосы измерений, Гц;

C_1 — поправка, учитывающая разность опорных значений для определения эквивалентного уровня звукового давления и уровня звуковой мощности и зависящая от характеристического импеданса воздушной среды в камере во время испытаний, дБ,

$$C_1 = -10\lg\frac{p_s}{p_{s,0}} + 5\lg\left(\frac{273{,}15+\theta}{\theta_0}\right);$$

C_2 — поправка на импеданс излучения для приведения к нормальным атмосферным условиям, дБ. Она должна быть определена в соответствующем испытательном коде по шуму. При его отсутствии используют следующую формулу, полученную для источника шума в виде монополя и рассматриваемую как среднее для источников другого вида (см. [23], [31]): $C_2 = -10\lg\dfrac{p_s}{p_{s,0}} + 15\lg\left(\dfrac{273{,}15+\theta}{\theta_1}\right)$;

p_s — статическое давление в реверберационной камере во время испытаний, кПа;

$p_{s,0}$ — нормальное атмосферное давление, $p_{s,0}$ = 101,325 кПа;

θ — температура воздуха в реверберационной камере во время испытаний, °С;

θ_0 = 314 К;

θ_1 = 296 К.

Примечание — Температура θ_0 соответствует характеристическому импедансу воздуха 400 Н · с/м^2 при нормальном атмосферном давлении 101,325 кПа (см. [22], [23]). Эта величина не связана с какими-либо реальными атмосферными условиями, а является следствием принятых опорных значений для звукового давления и звуковой мощности:

$$\theta_0 = 273{,}15\ \text{K} \cdot \left[\frac{331{,}45\ \text{м/с} \cdot 1{,}2929\ \text{кг/м}^3 \cdot 1\ \text{пкВт}}{(20\ \text{мкПа})^2 \cdot 1\ \text{м}^2} \right]^2 = 313{,}51\ \text{K} \approx 314\ \text{K}.$$

9.1.5 Расчет уровня звуковой мощности с использованием образцового источника шума (метод сравнения)

Уровень звуковой мощности L_W, дБ, испытуемого источника шума в третьоктавной полосе частот, приведенный к нормальным атмосферным условиям, рассчитывают по формуле

$$L_W = L_{W(\text{RSS})} + \left(\overline{L_{p(\text{ST})}} - \overline{L_{p(\text{RSS})}} \right) + C_2, \tag{21}$$

где $L_{W(\text{RSS})}$ — уровень звуковой мощности в третьоктавной полосе частот образцового источника шума, определенный в соответствии с ISO 6926 с поправкой на атмосферные условия во время испытаний, дБ;

$\overline{L_{p(\text{ST})}}$ — средний по реверберационной камере эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот испытуемого источника шума, дБ;

$\overline{L_{p(\text{RSS})}}$ — средний по реверберационной камере эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот образцового источника шума, дБ;

$$C_2 = -10 \lg \frac{p_s}{p_{s,0}} + 15 \lg \left(\frac{273{,}15 + \theta}{\theta_1} \right) \ \text{(дБ)}.$$

9.2 Определение уровней звуковой энергии

9.2.1 Усреднение по точкам установки микрофонов и по местам расположения источника шума

Если уровень экспозиции отдельного шумового события измеряют N_e раз для каждого события в i-й точке установки микрофона и для j-го расположения испытуемого источника шума, то средний по этим измерениям уровень экспозиции отдельного шумового события $\left[L'_{Ei(\text{ST})} \right]_j$, дБ, рассчитывают по формуле

$$\left[L'_{Ei(\text{ST})} \right]_j = 10 \lg \left\{ \frac{1}{N_e} \sum_{q=1}^{N_e} 10^{0{,}1 \left[L'_{Ei,q(\text{ST})} \right]_j} \right\}, \tag{22}$$

где $\left[L'_{Ei,q(\text{ST})} \right]_j$ — полученное в q-м измерении (q = 1, 2, … , N_e) значение уровня экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона при работающем испытуемом источнике шума, расположенном в j-м месте, дБ;

N_e — число измерений отдельного шумового события.

Если уровень экспозиции отдельного шумового события измерен в i-й точке установки микрофона и для j-го расположения испытуемого источника шума один раз для последовательности, включающей N_e событий, то значение $\left[L'_{Ei(\text{ST})} \right]_j$, дБ, рассчитывают по формуле

$$\left[L'_{Ei(\text{ST})} \right]_j = \left[L'_{Ei,N_e(\text{ST})} \right]_j - 10 \lg N_e, \tag{23}$$

где $\left[L'_{Ei,N_e(\text{ST})} \right]_j$ — полученное значение уровня экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона при работающем испытуемом источнике шума, расположенном в j-м месте по измерениям последовательности, включающей N_e шумовых событий, дБ;

N_e — число отдельных шумовых событий в измеряемой последовательности.

Если в процессе испытаний источник шума устанавливают более чем в одном положении (см. 8.4.2.4), то рассчитывают средний по местам расположения источника уровень экспозиции отдельного шумового события $L'_{Ei(ST)}$, дБ, в каждой третьоктавной полосе диапазона частот измерений для каждой i-й точки установки микрофона для заданного режима работы источника по формуле

$$L'_{Ei(ST)} = 10\lg\left\{\frac{1}{N_S}\sum_{j=1}^{N_S} 10^{0,1\left[L'_{Ei(ST)}\right]_j}\right\}, \quad (24)$$

где $\left[L'_{Ei(ST)}\right]_j$ — полученное в результате измерений среднее значение уровня экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона при работающем испытуемом источнике шума, расположенном в j-м месте, дБ;

N_S — число мест расположения испытуемого источника.

9.2.2 Коррекция на фоновый шум

Коррекцию на фоновый шум K_{1j}, дБ, рассчитывают для каждой третьоктавной полосы частот и каждой i-й точки установки микрофона аналогично 9.1.2 (но с использованием разности между средним уровнем экспозиции отдельного шумового события и эквивалентным уровнем звукового давления фонового шума) по формуле

$$K_{1i} = -10\lg\left(1 - 10^{-0,1\Delta L_{Ei}}\right), \quad (25)$$

где $\Delta L_{Ei} = \overline{L'_{Ei(ST)}} - \overline{L_{pi(B)}}$;

$L'_{Ei(ST)}$ — полученное в результате измерений среднее значение уровня экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона при работающем испытуемом источнике шума, дБ;

$L_{pi(B)}$ — эквивалентный уровень звукового давления фонового шума в данной полосе частот в i-й точке установки микрофона, дБ.

Продолжительность измерений $T = t_2 - t_1$ и другие параметры измерений при определении $L_{pi(B)}$ должны быть теми же, что и при определении $L'_{Ei(ST)}$.

Коррекцию K_{1i}, дБ, применяют для получения корректированного на фоновый шум уровня экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона, $L_{Ei(ST)}$, дБ, по формуле

$$L_{Ei(ST)} = L'_{Ei(ST)} - K_{1j}, \quad (26)$$

где $L'_{Ei(ST)}$ — полученное в результате измерений среднее значение уровня экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона при работающем испытуемом источнике шума, дБ.

9.2.3 Расчет среднего по реверберационной камере уровня экспозиции отдельного шумового события

Средний по реверберационной камере корректированный на фоновый шум уровень экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот для испытуемого источника шума $\overline{L_{E(ST)}}$, дБ, рассчитывают по формуле

$$\overline{L_{E(ST)}} = 10\lg\left[\frac{1}{N_M}\sum_{i=1}^{N_M} 10^{0,1L_{Ei(ST)}}\right], \quad (27)$$

где $L_{Ei(ST)}$ — корректированный на фоновый шум уровень экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона при работающем испытуемом источнике шума, дБ;

N_M — число точек установки микрофонов.

Для проверки, удовлетворяет ли фоновый шум критериям, установленным в 5.4, выполняют следующие вычисления.

Рассчитывают средний по реверберационной камере некорректированный на фоновый шум уровень экспозиции отдельного шумового события $\overline{L'_{E(\mathrm{ST})}}$, дБ, по формуле

$$\overline{L'_{E(\mathrm{ST})}} = 10\lg\left[\frac{1}{N_\mathrm{M}}\sum_{1}^{N_\mathrm{M}} 10^{0{,}1L'_{Ei(\mathrm{ST})}}\right], \tag{28}$$

где $L'_{Ei(\mathrm{ST})}$ — некорректированный на фоновый шум уровень экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона, дБ;

N_M — число точек установки микрофонов.

Рассчитывают средний по реверберационной камере эквивалентный уровень звукового давления фонового шума $\overline{L_{p(\mathrm{B})}}$ в третьоктавной полосе частот по формуле

$$\overline{L_{p(\mathrm{B})}} = 10\lg\left[\frac{1}{N_\mathrm{M}}\sum_{1}^{N_\mathrm{M}} 10^{0{,}1L_{pi(\mathrm{B})}}\right], \tag{29}$$

где $L_{pi(\mathrm{B})}$ — эквивалентный уровень звукового давления фонового шума в третьоктавной полосе частот в i-й точке установки микрофона, дБ;

N_M — число точек установки микрофонов.

9.2.4 Расчет уровня звуковой энергии с использованием эквивалентной площади звукопоглощения (прямой метод)

Уровень звуковой энергии L_J, дБ, испытуемого источника шума в третьоктавной полосе частот, приведенный к нормальным атмосферным условиям, рассчитывают (см. [25], [26]) по формуле (см. 9.1.4)

$$L_J = \overline{L_{E(\mathrm{ST})}} + \left\{10\lg\frac{A}{A_0} + 4{,}34\frac{A}{S} + 10\lg\left(1+\frac{Sc}{8Vf}\right) + C_1 + C_2 - 6\right\}, \tag{30}$$

где $\overline{L_{E(\mathrm{ST})}}$ — средний по реверберационной камере корректированный на фоновый шум уровень экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот при работе испытуемого источника шума, дБ.

Остальные величины указаны в экспликации к формуле (20).

9.2.5 Расчет уровня звуковой энергии с использованием образцового источника шума (метод сравнения)

Уровень звуковой энергии L_J, дБ, испытуемого источника шума в третьоктавной полосе частот, приведенный к нормальным атмосферным условиям, рассчитывают по формуле

$$L_J = L_{W(\mathrm{RSS})} + \left(\overline{L_{E(\mathrm{ST})}} - \overline{L_{p(\mathrm{RSS})}}\right) + C_2, \tag{31}$$

где $L_{W(\mathrm{RSS})}$ — уровень звуковой мощности в третьоктавной полосе частот образцового источника шума, определенный в соответствии с ISO 6926 с поправкой на атмосферные условия во время испытаний, дБ;

$\overline{L_{E(\mathrm{ST})}}$ — средний по реверберационной камере корректированный на фоновый шум уровень экспозиции отдельного шумового события в третьоктавной полосе частот для испытуемого источника шума;

$\overline{L_{p(\mathrm{RSS})}}$ — средний по реверберационной камере эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот образцового источника шума, дБ;

C_2 — поправка на импеданс излучения для приведения к нормальным атмосферным условиям, дБ. Она должна быть определена в соответствующем испытательном коде по шуму. При его отсутствии используют следующую формулу, полученную для источника шума в виде монополя и рассматриваемую как среднее для источников другого вида (см. [23], [31]):

$$C_2 = -10\lg\frac{p_s}{p_{s,0}} + 15\lg\left(\frac{273{,}15+\theta}{\theta_1}\right) \text{ дБ}.$$

9.3 Определение корректированных по А уровней звуковой мощности и звуковой энергии

При необходимости рассчитывают корректированные по А уровни звуковой мощности и звуковой энергии испытуемого источника методом, описанным в приложении F.

10 Неопределенность измерения

10.1 Методология

Стандартные неопределенности для уровня звуковой мощности $u(L_W)$, дБ, и уровня звуковой энергии $u(L_J)$, дБ, определяют в соответствии с настоящим стандартом как стандартное отклонение

$$u(L_W) = u(L_J) = \sigma_{tot}. \quad (32)$$

Стандартное отклонение σ_{tot} рассчитывают на основании модели измерений в соответствии с ISO/IEC Guide 98-3. При отсутствии необходимых сведений, позволяющих сформулировать такую модель, прибегают к результатам измерений, выполненных в условиях воспроизводимости.

Тогда стандартное отклонение σ_{tot} определяют через стандартное отклонение воспроизводимости σ_{R0} и стандартное отклонение σ_{omc}, характеризующее нестабильность условий работы и установки испытуемого источника шума, по формуле

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{omc}^2}. \quad (33)$$

Из формулы (33) видно, что, прежде чем выбрать метод измерений заданного класса точности (характеризуемого σ_{R0}) для данного семейства машин, необходимо учесть возможный разброс результатов, обусловленный изменениями условий работы и установки этих машин (см. 10.5 и G.3).

Примечание — Результаты измерений, выполненные разными методами, установленными стандартами серии ISO 3740, могут быть смещены друг относительно друга.

Расширенную неопределенность U определяют через стандартное отклонение σ_{tot} по формуле

$$U = k\sigma_{tot}, \quad (34)$$

где k — коэффициент охвата. В предположении, что результат измерений может быть описан нормально распределенной случайной величиной, коэффициент охвата k принимают равным двум, что приблизительно соответствует вероятности охвата 95 %. Это означает, что интервалу охвата от $[L_W - U]$ до $[L_W + U]$ для уровня звуковой мощности или от $[L_J - U]$ до $[L_J + U]$ для уровня звуковой энергии будет соответствовать 95 % площади под кривой плотности распределения случайной величины.

Если полученное в результате измерений значение уровня звуковой мощности (звуковой энергии) предполагается сопоставить с неким предельным значением, то иногда более уместным может быть рассмотрение одностороннего интервала охвата для указанной случайной величины. Тогда при том же уровне доверия 95 % значение коэффициента охвата будет равно $k = 1{,}6$.

10.2 Определение σ_{omc}

Стандартное отклонение σ_{omc} [см. формулу (G.1)], характеризующее неопределенность, связанную с нестабильностью воспроизведения условий работы и установки источника шума, может давать существенный вклад в неопределенность измерения уровня звуковой мощности (звуковой энергии). Для получения оценки σ_{omc} можно провести отдельную серию повторных измерений для одного и того же источника шума в одном и том же месте установки одним и тем же испытателем, используя при этом одну и ту же измерительную систему и одну и ту же точку (или точки) измерений. Повторные измерения проводят в отношении $L'_{pi(ST)}$ в точке измерений, где значение этой величины максимально, или в отношении $\overline{L'_{p(ST)}}$. К полученным результатам применяют коррекцию на фоновый шум. Перед каждым повторным измерением испытуемый источник шума устанавливают заново и заново устанавливают необходимый режим работы. Если испытания проводят для единственного экземпляра источника шума, то полученное по повторным измерениям выборочное стандартное отклонение обозначают σ'_{omc}. В соответствующем испытательном коде по шуму может быть приведена оценка σ_{omc} для соответствующего семейства машин. Можно ожидать, что такая оценка была получена с учетом всех возможных

источников вариативности в установке и условиях работы, на которые распространяется данный испытательный код.

Примечание — Если звуковая мощность мало изменяется в процессе повторных измерений, а сами измерения проведены правильно, то величине σ_{omc} можно приписать значение 0,5 дБ. В других случаях, например, когда на звук, производимый испытуемым источником шума, существенное влияние оказывает потребляемый или производимый материал, а также при непредсказуемых изменениях в потреблении или производстве этого материала, подходящей оценкой σ_{omc} можно считать 2 дБ. Но в особых случаях очень сильной зависимости шума от свойств обрабатываемого материала (когда испытуемым источником шума являются такие машины, как камнедробилки, металлорежущие станки или прессы, работающие под нагрузкой) эта величина может достигать 4 дБ.

10.3 Определение σ_{R0}

10.3.1 Общие положения

Стандартное отклонение σ_{R0} характеризует все источники неопределенности, которые могут оказать влияние на результат измерений, проводимых в соответствии с настоящим стандартом (различия в характеристиках излучения источников шума, в применяемых средствах измерений, в применении метода измерений), за исключением нестабильности звуковой мощности источника шума (последний фактор характеризуется значением σ_{omc}).

Обобщение накопленного к данному времени опыта испытаний позволило установить оценки σ_{R0}, которые приведены в таблице 6. Эти оценки можно рассматривать как оценки сверху для большинства машин и оборудования, на которое распространяется настоящий стандарт. Для машин конкретного вида могут быть получены свои оценки путем проведения межлабораторного эксперимента (см. 10.3.2) или с использованием математического моделирования (см. 10.3.3). Такие оценки приводят в испытательных кодах по шуму для машин конкретных видов (см. 10.2 и приложение G).

10.3.2 Межлабораторный эксперимент

Межлабораторный эксперимент для определения σ_{R0} проводят в соответствии с ISO 5725, когда уровни звуковой мощности источника шума определяют в условиях воспроизводимости, т. е. с участием разных специалистов, проводящих измерения в разных положениях источника шума разными средствами измерений. Такой эксперимент позволяет получить оценку σ'_{tot} стандартного отклонения для источника шума, рассылаемого лабораториям — участникам эксперимента. Предполагается, что в таком эксперименте будет обеспечена вариативность всех существенных факторов, которые могут оказать влияние на результат измерений звуковой мощности данного источника шума.

Полученная в результате межлабораторного эксперимента оценка σ'_{tot}, дБ, включает в себя оценку σ'_{omc}, дБ, что позволяет получить оценку σ'_{R0} по формуле

$$\sigma'_{R0} = \sqrt{\sigma'^{2}_{tot} - \sigma'^{2}_{omc}}. \quad (35)$$

Если оценки σ'_{R0}, полученные в результате измерений для разных экземпляров источника шума данного вида, незначительно отличаются между собой, то их среднее можно рассматривать как оценку σ_{R0} для всех источников шума данного вида в измерениях, проводимых в соответствии с настоящим стандартом. Такую оценку (вместе с оценкой σ_{omc}) следует по возможности указывать в испытательном коде по шуму и использовать в процедуре декларирования шумовой характеристики машин.

Если межлабораторный эксперимент проведен не был, то для реалистической оценки σ_{R0} используют накопленные знания об измерениях шума машин данного вида.

Иногда затраты на проведение межлабораторного эксперимента можно сократить, убрав требование проведения измерений в разных положениях источника шума. Это можно сделать, например, если источник шума обычно устанавливают в условиях, когда коррекция на фоновый шум K_1 невелика, или если целью испытаний является подтверждение шумовой характеристики машины при ее работе в заданном положении. Оценку, полученную в таких условиях ограниченной вариативности, обозначают $\sigma_{R0,DL}$, и она может быть использована также в испытаниях крупногабаритных, стационарно устанавливаемых машин. Следует ожидать, что полученные значения $\sigma_{R0,DL}$ будут ниже приведенных в таблице 6.

Оценки σ_{R0}, полученные по формуле (35), будут обладать низкой достоверностью, если σ_{tot} лишь незначительно превышает σ_{omc}. Оценки σ_{R0} будут достаточно надежными только в том случае, если σ_{omc} не превышает $\sigma_{tot}/\sqrt{2}$.

10.3.3 Расчет σ_{R0} на основе математической модели

Обычно σ_{R0} зависит от нескольких факторов, дающих вклады $c_i u_i$ (i = 1, 2, … , n) в общую неопределенность измерения уровня звуковой мощности (звуковой энергии). Такими факторами, в частности, являются применяемые средства измерений, коррекция на условия окружающей среды и местоположения микрофонов. Если предположить, что данные факторы влияют на общую неопределенность независимо друг от друга, то оценку σ_{R0} можно представить в виде (см. ISO/IEC Guide 98-3)

$$\sigma_{R0} \approx \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + \ldots + (c_n u_n)^2}. \quad (36)$$

В формулу (36) не входят неопределенности, связанные с нестабильностью излучения источника (поскольку они учтены в σ_{omc}). Источники неопределенности, дающие вклад в общую неопределенность измерения уровня звуковой мощности (звуковой энергии), рассматриваются в приложении G.

Примечание — Если источники неопределенности, входящие в модель измерений, коррелированы, то формулу (36) применять нельзя. Кроме того, расчет на основе математической модели требует дополнительной информации, чтобы определить вклады $c_i u_i$ всех составляющих в формуле (36).

В противоположность этому оценки σ_{R0}, получаемые в результате межлабораторных экспериментов, не требуют каких-либо дополнительных предположений о возможной корреляции источников неопределенности, входящих в формулу (36). Оценки межлабораторных экспериментов в общем случае являются более устойчивыми, чем полученные на основе математических моделей. Однако проведение межлабораторных экспериментов не всегда осуществимо с практической точки зрения, и зачастую их приходится заменять обобщением опыта прошлых измерений.

10.4 Типичные оценки σ_{R0}

В таблице 6 приведены типичные оценки сверху стандартного отклонения σ_{R0} для точных методов измерения шума, которые могут применяться для большинства измерений, проводимых в соответствии с настоящим стандартом (см. [27], [28]). В особых случаях, а также когда требования настоящего стандарта не могут быть в полном объеме соблюдены для машин определенного вида или когда ожидается, что для машин данного вида σ_{R0} должно быть меньше значений, приведенных в таблице 6, для уточнения оценки σ_{R0} рекомендуется проведение межлабораторного эксперимента.

Таблица 6 — Типичные оценки сверху σ_{R0} для измерений уровней звуковой мощности (звуковой энергии), проводимых в соответствии с настоящим стандартом

Полоса частот измерений	Среднегеометрическая частота, Гц	Стандартное отклонение воспроизводимости σ_{R0}, дБ
Третьоктавная полоса частот	От 100[a] до 160	3,0
	От 200 до 315	2,0
	От 400 до 5000	1,5
	От 6300 до 10 000	3,0
Широкая полоса частот с коррекцией по частотной характеристике A (см. приложение F)		0,5[b]

[a] В отношении полос со среднегеометрическими частотами ниже 100 Гц — см. приложение E.

[b] Применительно к источникам, излучающим шум со сравнительно плоским спектром в диапазоне частот от 100 до 10 000 Гц.

10.5 Стандартное отклонение σ_{tot} и расширенная неопределенность U

Стандартное отклонение σ_{tot} и расширенную неопределенность U рассчитывают по формулам (33) и (34) соответственно.

Пример — В результате измерений точным методом (класс точности 1) получено L_{WA} = 82 дБ при σ_{omc} = 2,0 дБ. Межлабораторный эксперимент с целью определения σ_{R0} для машин данного вида не проводился, поэтому использовано значение σ_{R0} из таблицы 6 (σ_{R0} = 0,5 дБ). По формулам (33) и (34) с использованием k = 2 получаем $U = 2\sqrt{0,5^2 + 2^2} = 4,1$ (дБ).

Дополнительные примеры расчета σ_{tot} приведены в G.3.

Примечание — Расширенная неопределенность, определяемая по формуле (34), не включает в себя стандартное отклонение производства, использованное в [9] в целях определения и декларирования шумовой характеристики для партии машин.

11 Регистрируемая информация

11.1 Общие положения

Для всех измерений, выполненных в соответствии с настоящим стандартом, должна быть получена и зарегистрирована информация, указанная 11.2—11.5.

11.2 Испытуемый источник шума

Приводят следующие данные об испытуемом источнике шума:

a) общие данные об испытуемом источнике шума (изготовитель, наименование и вид, тип, технические данные, габаритные размеры, порядковый номер по системе нумерации изготовителя, год выпуска);

b) вспомогательное оборудование и способ его использования при испытаниях;

c) режимы работы при испытаниях и продолжительность измерений в каждом режиме;

d) условия установки испытуемого источника шума в реверберационной камере и способ крепления;

e) расположение(ия) испытуемого источника шума в реверберационной камере во время измерений;

f) расположение(ия) в реверберационной камере образцового источника шума.

11.3 Реверберационная камера

Приводят следующие данные:

a) описание реверберационной камеры, включая ее габаритные размеры (в метрах), материал стен, пола и потолка и способ его обработки с приложением схемы, на которой отмечены места установки испытуемого источника шума и расположения оборудования реверберационной камеры;

b) атмосферные условия, включая температуру воздуха в градусах Цельсия, относительную влажность воздуха в процентах и статическое атмосферное в килопаскалях, в реверберационной камере во время испытаний.

11.4 Средства измерений

Приводят следующие данные о средствах измерений:

a) данные об измерительной аппаратуре (изготовитель, наименование, тип, порядковый номер по системе нумерации изготовителя);

b) дату и место калибровки (поверки), методы калибровки акустического калибратора и образцового источника шума, результаты проверки калибровки до и после проведения измерений в соответствии с 6.2.

11.5 Метод и результаты измерений

Приводят следующие данные:

a) метод (прямой или сравнения), использованный для определения уровней звуковой мощности (звукового давления);

b) расположение точек измерений или траекторий сканирования микрофоном (с приложением, при необходимости, схем) и описание способа перемещения микрофона по траектории.

Указывают следующие сведения для каждого режима работы испытуемого источника шума в условиях измерений:

c) все результаты измерений эквивалентных уровней звукового давления (уровней экспозиции отдельного шумового события) для испытуемого источника шума и для фонового шума;

d) средние по реверберационной камере эквивалентные уровни звукового давления (уровни экспозиции отдельного шумового события) для испытуемого источника шума и для фонового шума;

e) коррекции, в децибелах, на фоновый шум в каждой третьоктавной полосе и в каждой точке установки микрофона или по каждой траектории сканирования;

f) уровни звуковой мощности (звуковой энергии), в децибелах, в третьоктавных полосах частот и (при условии измерения) корректированные по А, округленные с точностью до 0,1 дБ. Дополнительно возможно представление данных характеристик в графическом виде.

Примечание — Согласно [15] заявляемые значения корректированного по А уровня звуковой мощности L_{WAd} компьютеров и офисной техники выражают в белах (1 Б = 10 дБ);

g) расширенную неопределенность, использованное значение коэффициента охвата и соответствующую вероятность охвата;

h) дату и время проведения измерений.

12 Протокол испытаний

Указывают зарегистрированную в соответствии с разделом 11 информацию, необходимость приведения которой в протоколе испытаний вытекает из целей измерений. В протокол включают также все положения, необходимость которых указана в разделах настоящего стандарта. Если значения уровней звуковой мощности или звуковой энергии были получены в полном соответствии с требованиями настоящего стандарта, то соответствующая запись должна быть сделана в протоколе испытаний. Если при проверке соблюдения условий настоящего стандарта одна или несколько проверяемых акустических характеристик выходит за установленные предельные значения, то в протокол вносят запись о том, что измерения были проведены в соответствии с требованиями настоящего стандарта за рядом исключений, и указывают эти исключения.

Например, если при проверке требования к объему испытуемого источника (см. 1.2) установлено, что он превышает 2 % объема реверберационной камеры, то в протоколе должно быть указано, что не соблюдено требование к размерам источника шума. При этом в протоколе не допускается прямо или неявно указывать на то, что испытания проведены в полном соответствии с настоящим стандартом.

Приложение А
(рекомендуемое)

Рекомендации по проектированию реверберационных камер

А.1 Общие положения

Для обеспечения требуемой точности определения уровня звуковой мощности или звуковой энергии испытуемого источника шума в отношении реверберационной камеры должны быть соблюдены требования:

a) к ее объему;
b) форме и/или акустическим рассеивающим устройствам;
c) звукопоглощению в диапазоне частот измерений (оно должно быть достаточно малым);
d) уровню фонового шума (он должен быть достаточно низким).

А.2 Объем камеры

Требования к объему реверберационной камеры указаны в 5.2.

Как следует из таблицы 1, для измерений в диапазоне частот с нижней октавной полосой со среднегеометрической частотой 125 Гц (или, что то же самое, с нижней третьоктавной полосой со среднегеометрической частотой 100 Гц) требуется камера объемом 200 м^3 .

Примечание — В больших камерах (например, объемом более 200 м^3) поглощение звука воздушной средой может вызывать нежелательную неоднородность реверберационного звукового поля на частотах выше 3000 Гц. Уменьшить звукопоглощение можно, если поддерживать относительную влажность воздуха в камере выше 50 %.

А.3 Форма камеры

Если камера не представляет собой правильный прямоугольный параллелепипед, то ни одна из ее поверхностей не должна быть параллельной другой. Если камера представляет собой правильный прямоугольный параллелепипед, то длины его ребер должны быть таковы, чтобы их отношение не было точно или приближенно равным целому числу. Обычно соблюдают соотношения между длинами ребер параллелепипеда $1:2^{1/3}:4^{1/3}$. Другие возможные соотношения для камер объемом приблизительно 200 м^3 приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 — Возможные соотношения размеров реверберационных камер в форме правильного прямоугольного параллелепипеда

l_y/l_x	l_z/l_x
0,83	0,47
0,83	0,65
0,79	0,63
0,68	0,42
0,70	0,59
Примечание — l_y, l_x, l_z — размеры камеры (длины ребер параллелепипеда).	

А.4 Звукопоглощение в камере

Для образования в камере реверберационного поля коэффициент звукопоглощения ее поверхностей должен быть достаточно малым.

В то же время коэффициент звукопоглощения должен быть достаточно большим, чтобы минимизировать влияние акустических мод в камере на звуковую мощность, производимую источником шума на частотах ниже частоты f, Гц, определяемой по формуле

$$f = \frac{2000}{V^{1/3}},$$

где V — объем камеры, м^3.

Рекомендуется, чтобы на частотах ниже f средний коэффициент звукопоглощения $\overline{\alpha}$ каждой внутренней поверхности реверберационной камеры не превышал 0,16, а на частоте f и выше — не превышал 0,08.

Приложение В
(рекомендуемое)

Рекомендации по конструкции вращающихся акустических рассеивателей

Вращающиеся акустические рассеиватели (диффузоры) применяют для того, чтобы:

a) уменьшить пространственные вариации среднеквадратичного звукового давления в реверберационной камере, что повысит точность оценки среднего по камере эквивалентного уровня звукового давления;

b) перераспределить поток звуковой мощности по камере, что сделает измеряемую звуковую мощность менее зависимой от размеров камеры и места расположения в ней источника шума.

Эффективность вращающегося рассеивателя зависит, в первую очередь, от его размеров. Рассеиватель должен быть настолько большим, насколько позволяют размеры камеры. Вращающиеся панели рассеивателя не должны быть легкими. Рекомендуется, чтобы поверхностная плотность панелей была не менее 5 кг/м^2.

Скорость вращения панелей акустического рассеивателя должна быть достаточно высокой, чтобы звуковые давления по камере могли быть выровнены по крайней мере за десять оборотов рассеивателя (см. 8.4.1).

Конструирование рассеивателя с вращающимися на большой скорости тяжелыми панелями может быть сопряжено с техническими проблемами. Проще всего их преодолеть, если использовать рассеиватель с панелями в виде диска, конуса или цилиндра, уравновешенного относительно оси вращения. В литературе описан рассеиватель в виде двух конусных панелей с диаметром основания 5 м и скоростью вращения 2,6 рад/с.

Для лучшего выравнивания звукового поля в объеме камеры поверхности панелей рассеивателя не должны быть параллельны ни одной внутренней поверхности камеры.

Приложение С
(обязательное)

Проверка пригодности реверберационных камер для измерений широкополосного шума

С.1 Общие положения

Если объем реверберационной камеры менее требуемого по 5.2 или если звукопоглощение в ней более допустимого по 5.3, то она подлежит проверке в соответствии с настоящим приложением для подтверждения возможности проведения в ней измерений для широкополосных источников шума с точностью, указанной в таблице 6. Установленный метод проверки позволяет оценить изменчивость акустической связи между источником шума и реверберационным звуковым полем, а также изменчивость результатов пространственного и временного усреднения. Мерой оценки этой изменчивости при измерениях широкополосного шума в третьоктавных полосах частот служит стандартное отклонение воспроизводимости.

С.2 Средства измерений и испытательное оборудование

Средства измерений, а также точки установки микрофонов или траектории сканирования микрофоном должны быть теми же, что и при измерении шума испытуемого источника. Метод, установленный настоящим приложением, требует применения образцового источника шума с характеристиками по ISO 6926.

Средства измерений должны соответствовать требованиям раздела 6.

Траектория сканирования или точки установки микрофона должны соответствовать требованиям 8.3.

С.3 Измерения

В реверберационной камере определяют шесть или более мест, в которые будет установлен образцовый источник шума. Для каждого из мест расположения образцового источника шума проводят измерения эквивалентного уровня звукового давления в третьоктавных полосах частот. При этом руководствуются следующими правилами:

a) образцовый источник шума должен быть расположен на полу камеры на расстоянии не ближе 1,5 от стены и на расстоянии от точек установки микрофонов не менее указанного в 8.3. Расстояние между каждыми двумя местами установки образцового источника шума должно быть не менее $\lambda/4$, где λ — длина волны, соответствующая среднегеометрической частоте низшей полосы диапазона частот измерений. При этом не допускается устанавливать образцовый источник шума на осях симметрии пола камеры. Места установки образцового источника шума должны приблизительно совпадать с местами установки источника шума в камере при его испытаниях;

b) результаты измерений должны быть зарегистрированы с точностью не менее 0,1 дБ;

c) точки установки микрофонов или траектории сканирования, акустический рассеиватель (если он применяется), средства измерений и продолжительность измерений должны быть теми же, что и при испытаниях источника шума.

С.4 Вычисления

Для каждой полосы частот рассчитывают стандартное отклонение s_S, дБ, по формуле

$$s_S = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_S} \frac{\left(L_{pi} - L_{pm}\right)}{N_S - 1}}, \qquad (C.1)$$

где L_{pi} — средний по камере эквивалентный уровень звукового давления в полосе частот (см. 9.1), дБ;

L_{pm} — среднее арифметическое L_{pi} (i = 1, 2, … , N_S), дБ;

N_S — число мест установки образцового источника шума.

С.5 Проверка соответствия

Камеру признают пригодной для измерения широкополосного шума, если рассчитанное по формуле (С.1) стандартное отклонение s_S не превышает значений, приведенных в таблице С.1, для всех указанных в ней третьоктавных полос.

Таблица С.1 — Максимально допустимые значения стандартного отклонения s_S

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц	Максимально допустимое значение s_S, дБ
От 100 до 160	1,5
От 200 до 630	1,0
От 800 до 2500	0,5
От 3150 до 10000	1,0

Приложение D
(обязательное)

Проверка пригодности реверберационных камер для измерений шума с дискретными частотными составляющими

D.1 Вводная часть

Если испытуемый источник излучает шум на отдельных дискретных частотах, то в этом случае создаваемое в реверберационной камере звуковое поле будет менее однородно, чем если бы шум был широкополосным. Такой источник в большей степени способен возбуждать акустические моды в камере, что создает трудности при измерениях уровней звуковой мощности источника. Способы преодоления этих трудностей указаны в 8.4.2. Другим возможным решением является оптимизация конструкции реверберационной камеры, обеспечивающая достаточную точность измерений в соответствии с разделом 10 для испытуемых источников с любым видом спектра шума.

Точный расчет влияния отдельных конструктивных элементов камеры на характеристики акустического поля в ней представляет собой весьма сложную задачу. Поэтому в настоящем приложении рассматривается экспериментальный метод оценки пригодности камеры, учитывающий все реализованные решения по совершенствованию ее конструкции в совокупности.

В области низких частот основной проблемой является малое число акустических мод, которые могут быть возбуждены на каждой частоте. Острота данной проблемы может быть уменьшена за счет увеличения объема камеры, оптимизации ее пропорций (см. А.3) или увеличения акустического демпфирования в камере, приводящего к уширению частотных характеристик мод (см. А.4). Однако возможно, что для полного решения проблемы и обеспечения соответствия критериям пригодности камеры (см. таблицу D.1) потребуется использование большого акустического рассеивателя, описанного в приложении В.

На высоких частотах ограничительным фактором является число точек установки микрофонов. Допускается проводить измерения с фиксировано установленными микрофонами при условии применения эффективного вращающегося акустического рассеивателя, но зачастую более эффективным решением будет непрерывное усреднение по пространству камеры с использованием длинной траектории сканирования микрофоном. Сканирование по окружностям обеспечивает большую длину траектории в заданной области пространства, чем по линейным траекториям, и, кроме того, его легче автоматизировать.

Таблица D.1 — Максимально допустимые значения стандартного отклонения s_f

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц	Максимально допустимое значение s_f, дБ
От 100 до 160	3,0
От 200 до 315	2,0
От 400 до 630	1,5
От 800 до 2500	1,0

D.2 Общие положения

Описываемый в настоящем приложении метод позволяет получить оценку сверху неопределенности измерения в данной реверберационной камере шума, содержащего дискретные частотные составляющие, при заданном месте или местах установки испытуемого источника и для заданных точек установки микрофона или траекторий сканирования. Если рассчитанные стандартные отклонения не превышают значений, приведенных в таблице D.1, во всем диапазоне частот измерений, то условия испытаний [под которыми понимают реверберационную камеру, место или места установки источника шума, используемые средства измерений, точки установки микрофонов или траектории сканирования и вращающийся акустический рассеиватель (при его наличии)] удовлетворяют требованиям для измерений шума с дискретными частотными составляющими любого источника. При этом никаких дополнительных проверок (например, по 8.4.2) для конкретного источника шума проводить не требуется.

Приведенный в настоящем приложении метод проверки пригодности с использованием сигнала чистого тона является наихудшим случаем с точки зрения достижимой точности измерений. Поэтому стандартные отклонения воспроизводимости, полученные в результате такой проверки, будут не меньше тех, что были бы получены для любого реального источника шума.

D.3 Средства измерений

В дополнение к средствам измерений, которые должны удовлетворять требованиям раздела 6, используется следующее оборудование:

a) громкоговоритель диаметром 200 мм или менее в герметичном корпусе;

b) генератор сигналов или синтезатор частот; частотомер или анализатор спектра для выделения частотной составляющей; усилитель мощности и вольтметр.

Применяемый громкоговоритель должен иметь достаточно гладкую частотную характеристику, удовлетворяющую требованиям по D.4.

Генератор сигналов (синтезатор частот) должен обеспечивать воспроизведение одного или нескольких гармонических сигналов в пределах допусков, определенных в таблице D.2, стабильность частоты в пределах ±0,1 Гц в диапазоне частот измерений с коэффициентом гармоник менее 0,1 %.

Частотомер (анализатор спектра) должен обеспечивать определение частоты сигнала с точностью ±0,05 Гц в диапазоне частот измерений.

Усилитель мощности, используемый для подачи сигнала на громкоговоритель, должен иметь выходной импеданс, согласованный с электрическим импедансом громкоговорителя, и обладать достаточным запасом по мощности (см. D.4).

Используемый вольтметр должен обеспечивать измерение напряжения на входе громкоговорителя в пределах допуска ±1,0 % на всех тестовых частотах, указанных в таблице D.2.

D.4 Проверка громкоговорителя

Громкоговоритель устанавливают на звукоотражающий пол в заглушенной камере или на звукоотражающую плоскость в условиях, позволяющих проводить измерения согласно [5], выходным отверстием вверх.

Устанавливают микрофон той же модели и того же изготовителя, что и применяемый при измерении шума в реверберационной камере. Микрофон ориентируют на громкоговоритель так, чтобы рабочая ось микрофона совпадала с рабочей осью громкоговорителя, а диафрагма микрофона находилась на расстоянии от 10 до 20 мм от плоскости выходного отверстия громкоговорителя. С помощью тех же средств измерений, что применяют для определения звуковой мощности (см. 6.1), измеряют и регистрируют с округлением до 0,5 дБ эквивалентные уровни звукового давления на тестовых частотах, приведенных в таблице D.2.

То, что в данном испытании измерения для получения частотной характеристики громкоговорителя проводят в его ближнем звуковом поле, обусловлено слабой зависимостью от частоты соотношения между уровнем звукового давления и уровнем звуковой мощности в ближнем поле малого монопольного источника звука. Последнее связано со слабой зависимостью от частоты действительной части проводимости между источником звука и воздушной средой.

По результатам проверки громкоговоритель признают пригодным, если эквивалентные уровни звукового давления на соседних частотах отличаются не более чем на 1 дБ.

D.5 Измерения для проверки камеры

Устанавливают громкоговоритель в месте(ах) и на высоте(ах) расположения испытуемого источника шума в камере излучающей стороной в сторону от ближайшей поверхности (включая пол).

Для проведения измерений выбирают не менее шести точек установки микрофонов в соответствии с требованиями 8.3 или траекторию сканирования длиной l не менее 3λ ($l \geq 3\lambda$), где λ — длина волны, соответствующая среднегеометрической частоте низшей полосы диапазона частот измерений.

Таблица D.2 — Тестовые частоты, используемые при проверке реверберационной камеры для измерений шума с дискретными частотными составляющими

Параметры	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц														
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Тестовые частоты, Гц	—	—	147	—	—	—	361	—	—	—	—	—	1470	—	—
	—	113	148	—	226	—	364	—	—	—	—	1130	1480	—	2260
	—	114	149	—	228	—	367	445	564	712	—	1140	1490	—	2280
	90	115	150	180	230	285	370	450	570	720	900	1150	1500	1800	2300
	91	116	151	182	232	288	373	455	576	728	910	1160	1510	1820	2320
	92	117	152	184	234	291	376	460	582	736	920	1170	1520	1840	2340
	93	118	153	186	236	294	379	465	588	744	930	1180	1530	1860	2360
	94	119	154	188	238	297	382	470	594	752	940	1190	1540	1880	2380
	95	120	155	190	240	300	385	475	600	760	950	1200	1550	1900	2400
	96	121	156	192	242	303	388	480	606	768	960	1210	1560	1920	2420
	97	122	157	194	244	306	391	485	612	776	970	1220	1570	1940	2440

Окончание таблицы D.2

Параметры	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц														
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Тестовые частоты, Гц	98	123	158	196	246	309	394	490	618	784	980	1230	1580	1960	2460
	99	124	159	198	248	312	397	495	624	792	990	1240	1590	1980	2480
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
	101	126	161	202	252	318	403	505	636	808	1010	1260	1610	2020	2520
	102	127	162	204	254	321	406	510	642	816	1020	1270	1620	2040	2540
	103	128	163	206	256	324	409	515	648	824	1030	1280	1630	2060	2560
	104	129	164	208	258	327	412	520	654	832	1040	1290	1640	2080	2580
	105	130	165	210	260	330	415	525	660	840	1050	1300	1650	2100	2600
	106	131	166	212	262	333	418	530	666	848	1060	1310	1660	2120	2620
	107	132	167	214	264	336	421	535	672	856	1070	1320	1670	214	2640
	108	133	168	216	266	339	424	540	678	864	1080	1330	1680	2160	2660
	109	134	169	218	268	342	427	545	684	872	1090	1340	1690	2180	2680
	110	135	170	220	270	345	430	550	690	880	1100	1350	1700	2200	2700
	111	136	171	222	272	348	433	555	696	888	1110	1360	1710	2220	2720
	—	137	172	—	274	—	436	—	702	—	—	1370	1720	—	2740
	—	138	173	—	276	—	439	—	—	—	—	1380	1730	—	2760
Приращение, Гц	1	1	1	2	2	3	3	4	5	8	10	10	10	20	20
Отклонение приращения, Гц	±0,3	±0,3	±0,3	±0,5	±0,5	±1	±1	±1,5	±2	±3	±3	±5	±5	±5	±5
Число тестовых частот N_f	22	26	27	22	26	22	27	23	24	23	22	26	27	22	26

Включают акустический рассеиватель, если используется.

Определяют средние по камере эквивалентные уровни звукового давления на тестовых частотах таблицы D.2. При этом входное напряжение громкоговорителя должно быть таким же, как при его испытании по D.4.

Примечание — Если измерения проводят в фиксированных точках, то по этим точкам может быть выполнено сканирование микрофоном, и в этом случае средний эквивалентный уровень звукового давления будет получен автоматически (см. 8.3), или эквивалентный уровень звукового давления получают для каждой точки по отдельности, после чего рассчитывают среднее результатов измерений.

Отклонение тестовой частоты от заданного (номинального) значения не должно превышать ±0,1 Гц в течение всей серии измерений.

D.6 Расчет

Для исключения влияния ближнего звукового поля громкоговорителя вычитают из эквивалентного уровня звукового давления, измеренного по D.5, эквивалентный уровень звукового давления, измеренный по D.4, получая на каждой испытательной частоте корректированный эквивалентный уровень звукового давления L_{pk}.

Для каждой третьоктавной полосы вычисляют среднее арифметическое L_{pm}, а затем стандартное отклонение s_f корректированных эквивалентных уровней звукового давления по N_f измерениям по формуле

$$s_f = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_f} \frac{\left(L_{pk} - L_{pm}\right)}{N_f - 1}}, \qquad \text{(D.1)}$$

где L_{pk} — средний по всем точкам измерения и, если необходимо, по всем положениям громкоговорителя, корректированный по характеристике громкоговорителя эквивалентный уровень звукового давления в камере на k-й тестовой частоте, дБ;

L_{pm} — среднее арифметическое значений L_{pk} по всем N_f тестовым частотам в данной третьоктавной полосе, дБ;

N_f — число тестовых частот в данной третьоктавной полосе.

D.7 Оценка пригодности

Считают, что в данной третьоктавной полосе условия испытаний [реверберационная камера, место или места установки источника шума, используемые средства измерений, точки установки микрофонов или траектории сканирования и вращающийся акустический рассеиватель (при его наличии)] пригодны для определения уровня звуковой мощности источника, излучающего шум с существенными дискретными частотными составляющими, если стандартное отклонение s_f, рассчитанное по формуле (D.1), не превышает значений, указанных в таблице D.1.

Испытания для третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами выше 2500 Гц проводить необязательно.

Если при испытании микрофон движется по траектории сканирования длины l, м, то измерения следует проводить в диапазоне частот, ограниченном сверху наибольшим из двух следующих значений: $6000/l$ или $5000/V^{1/3}$ (V — объем камеры, м^3).

D.8 Расположение испытуемого источника шума в нескольких местах

Если в проверяемой камере не задано какое-то определенное место установки испытуемого источника шума или если при испытаниях предполагается использовать несколько мест его установки, то процедура оценки пригодности, описанная в D.7, может быть повторена с использованием дополнительного(ых) места (мест) установки громкоговорителя. В этом случае полученные эквивалентные уровни звукового давления усредняют сначала по местам установки источника [по аналогии с формулой (13)], а затем по точкам установки микрофонов или по траекториям сканирования [по аналогии с формулой (16)]. Полученный в результате усреднений эквивалентный уровень звукового давления в каждой полосе частот подставляют в формулу (D.1) как L_{pk}.

Если при проверке пригодности камеры использовали несколько мест установки громкоговорителя, то при испытаниях источника шума его следует устанавливать в те же места. При испытаниях проводят усреднение эквивалентных уровней звукового давления по нескольким местам установки источника шума и по точкам установки микрофонов (траекториям сканирования).

Приложение Е
(рекомендуемое)

Расширение диапазона измерений в область частот ниже 100 Гц

Е.1 Общие положения

Диапазон частот измерений, выполняемых в соответствии с настоящим стандартом, может быть расширен, чтобы включить в себя дополнительные третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами 50, 63 и 80 Гц. При этом могут быть использованы оба метода измерений, установленных настоящим стандартом, — прямой (см. 9.1.4 и 9.2.4) и сравнения (см. 9.1.5 и 9.2.5), при условии соблюдения дополнительных требований и правил, определенных настоящим приложением. В случае применения метода сравнения следует использовать образцовый источник шума, для которого в соответствии с ISO 6926 определены эквивалентные уровни звукового давления в дополнительных третьоктавных полосах частот.

Е.2 Дополнение к таблице 6 (стандартное отклонение воспроизводимости)

В случае расширения диапазона измерений в область низких частот таблицу 6 дополняют значениями стандартных отклонений воспроизводимости для измерений в дополнительных третьоктавных полосах, как показано в таблице Е.1.

Таблица Е.1 — Типичные оценки сверху σ_{R0} для измерений уровней звуковой мощности (звуковой энергии) в третьоктавных полосах частот ниже 100 Гц

Полоса частот измерений	Среднегеометрическая частота, Гц	Стандартное отклонение воспроизводимости σ_{R0}, дБ
Третьоктавная полоса частот	От 50 до 80	3,9

Для камер объемом менее 200 м^3 значение σ_{R0} может быть выше.

Е.3 Дополнение к таблице 1 (минимальный объем камеры)

В общем случае, чем больше объем реверберационной камеры, тем лучше условия воспроизводимости измерений уровней звуковой мощности и звуковой энергии на низких частотах. Для таких измерений рекомендуется использовать камеры объемом 200 м^3 и более.

Е.4 Дополнение к таблицам 4 (минимальное число точек установки микрофонов) и 5 (минимальное число мест установки источника шума)

В третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами ниже 100 Гц используют те же значения, что и для полосы со среднегеометрической частотой 125 Гц.

Е.5 Дополнение к таблице С.1

Пригодность реверберационной камеры к измерениям широкополосного шума может быть подтверждена методом, установленным в приложении С, с учетом данных таблицы Е.2.

Таблица Е.2 — Максимально допустимые значения стандартного отклонения s_S

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц	Максимально допустимое значение s_S, дБ
От 50 до 80	2,0

Е.6 Дополнение к таблицам D.1 и D.2

Пригодность реверберационной камеры к измерениям шума с дискретными частотными составляющими может быть подтверждена методом, установленным в приложении D, с учетом данных таблиц Е.3 и Е.4.

Таблица Е.3 — Максимально допустимые значения стандартного отклонения s_f

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц	Максимально допустимое значение s_f, дБ
От 50 до 80	3,0

Таблица Е.4 — Тестовые частоты, используемые при проверке реверберационной камеры для измерений шума с дискретными частотными составляющими

Параметры	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц		
	50	63	80
Тестовые частоты, Гц	—	—	—
	—	—	—
	—	56,4	71,2
	45,0	57,0	72,0
	45,5	57,6	72,8
	46,0	58,2	73,6
	46,5	58,8	74,4
	47,0	59,4	75,2
	47,5	60,0	76,0
	48,0	60,6	76,8
	48,5	61,2	77,6
	49,0	61,8	78,4
	49,5	62,4	79,2
	50	63	80
	50,5	63,6	80,8
	51,0	64,2	81,6
	51,5	64,8	82,4
	52,0	65,4	83,2
	52,5	66,0	84,0
	53,0	66,6	84,8
	53,5	67,2	85,6
	54,0	67,8	86,4
	54,5	68,4	87,2
	55,0	69,0	88,0
	55,5	69,6	88,8
	56,0	70,2	—
	—	—	—
Приращение, Гц	0,5	0,6	0,8
Отклонение приращения, Гц	±0,2	±0,2	±0,3
Число тестовых частот N_f	23	24	23

Приложение F
(обязательное)

Расчет уровней звуковой мощности и звуковой энергии в октавных полосах частот и с коррекцией по частотной характеристике А на основе результатов измерений в третьоктавных полосах частот

F.1 Уровни звуковой мощности

F.1.1 Октавные полосы частот

Уровень звуковой мощности L_{Wi}, дБ, в i-й октавной полосе частот, среднегеометрические частоты которых изменяются в диапазоне от 63 до 8000 Гц ($1 \le i \le 8$), вычисляют по формуле

$$L_{Wi} = 10\lg \sum_{k=3i-2}^{3i} 10^{0,1L_{Wk}}, \tag{F.1}$$

где L_{Wk} — уровень звуковой мощности в k-й третьоктавной полосе частот, дБ;

k — целое число, указывающее номер третьоктавной полосы частот в пределах i-й октавной полосы (см. таблицу F.1).

F.1.2 Коррекция по частотной характеристике А

Корректированный по А уровень звуковой мощности L_{WA}, дБ, вычисляют по формуле

$$L_{WA} = 10\lg \sum_{k=k_{min}}^{k_{max}} 10^{0,1(L_{Wk}+C_k)}, \tag{F.2}$$

где L_{Wk} — уровень звуковой мощности в k-й третьоктавной полосе частот, дБ;

k — номер третьоктавной полосы частот (см. таблицу F.1);

C_k — поправка для k-й полосы по таблице F.1;

k_{min}, k_{max} — значения k для низшей и высшей третьоктавных полос диапазона частот измерений соответственно.

F.1.3 Широкая полоса частот

Уровень звуковой мощности во всем диапазоне частот измерений L_W, дБ, вычисляют по формуле

$$L_W = 10\lg \sum_{k=k_{min}}^{k_{max}} 10^{0,1L_{Wk}}, \tag{F.3}$$

где L_{Wk} — уровень звуковой мощности в k-й третьоктавной полосе частот, дБ;

k_{min}, k_{max} — значения k для низшей и высшей третьоктавных полос диапазона частот измерений соответственно.

F.2 Уровни звуковой энергии

F.2.1 Октавные полосы частот

Уровень звуковой энергии L_{Ji}, дБ, в i-й октавной полосе частот, среднегеометрические частоты которых изменяются в диапазоне от 63 до 8000 Гц ($1 \le i \le 8$), вычисляют по формуле

$$L_{Ji} = 10\lg \sum_{k=3i-2}^{3i} 10^{0,1L_{Jk}}, \tag{F.4}$$

где L_{Jk} — уровень звуковой энергии в k-й третьоктавной полосе частот, дБ;

k — целое число, указывающее номер третьоктавной полосы частот в пределах i-й октавной полосы (см. таблицу F.1).

F.2.2 Коррекция по частотной характеристике А

Корректированный по А уровень звуковой энергии L_{JA}, дБ, вычисляют по формуле

$$L_{JA} = 10\lg \sum_{k=k_{min}}^{k_{max}} 10^{0,1(L_{Jk}+C_k)}, \tag{F.5}$$

где L_{Jk} — уровень звуковой энергии в k-й третьоктавной полосе частот, дБ;
k — номер третьоктавной полосы частот (см. таблицу F.1);
C_k — поправка для k-й полосы по таблице F.1;
k_{min}, k_{max} — значения k для низшей и высшей третьоктавных полос диапазона частот измерений соответственно.

F.2.3 Широкая полоса частот

Уровень звуковой энергии во всем диапазоне частот измерений L_J, дБ, вычисляют по формуле

$$L_J = 10 \lg \sum_{k=k_{min}}^{k_{max}} 10^{0,1 L_{Jk}}, \quad \text{(F.6)}$$

где L_{Jk} — уровень звуковой энергии в k-й третьоктавной полосе частот, дБ;
k_{min}, k_{max} — значения k для низшей и высшей третьоктавных полос диапазона частот измерений соответственно.

F.3 Значения k и C_k

Для расчетов с использованием результатов измерений в третьоктавных полосах частот используют значения k и C_k, приведенные в таблице F.1.

Таблица F.1 — Значения k и C_k, соответствующие среднегеометрическим частотам третьоктавных полос

k	Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц	C_k
1	50[a]	−30,2
2	63[a]	−26,2
3	80[a]	−22,5
4	100	−19,1
5	125	−16,1
6	160	−13,4
7	200	−10,9
8	250	−8,6
9	315	−6,6
10	400	−4,8
11	500	−3,2
12	630	−1,9
13	800	−0,8
14	1000	0,0
15	1250	0,6
16	1600	1,0
17	2000	1,2
18	2500	1,3
19	3150	1,2
20	4000	1,0
21	5000	0,5
22	6300	−0,1
23	8000	−1,1
24	10 000	−2,5

[a] Значения поправок C_k для данной частоты приведены только для расчета по формулам настоящего приложения.

Приложение G
(рекомендуемое)

Руководство по применению информации для расчета неопределенности измерения

G.1 Общие положения

Общий формат представления неопределенности измерения установлен ISO/IEC Guide 98-3. Он предполагает составление бюджета неопределенности, в котором идентифицированы основные источники неопределенности и их вклад в суммарную стандартную неопределенность.

В отношении шума, излучаемого машинами и оборудованием, целесообразно разделить все источники неопределенности на две группы:

a) присущие самому методу измерений;

b) обусловленные нестабильностью излучаемого шума.

В настоящем приложении приведены основанные на современном уровне знаний рекомендации по применению подхода ISO/IEC Guide 98-3 к измерениям, проводимым в соответствии с настоящим стандартом.

G.2 Стандартное отклонение σ_{tot}

Характеристикой неопределенности измерения, проводимого в соответствии с настоящим стандартом, является расширенная неопределенность U, непосредственно получаемая из стандартного отклонения σ_{tot} [см. формулу (34)], которое рассматривается как аппроксимация стандартной неопределенности $u(L_W)$.

В свою очередь, σ_{tot} определяется двумя составляющими σ_{R0} и σ_{omc} [см. формулу (33)], разными по своей природе.

Оценки σ_{R0} и σ_{omc} предполагаются статистически независимыми и определяемыми по отдельности.

Стандартное отклонение σ_{omc}, характеризующее шумоизлучение конкретной машины, не может быть рассчитано теоретически и поэтому определяется экспериментально (см. раздел G.3). Другая составляющая, σ_{R0}, рассматривается в разделе G.4.

Основные источники вариативности результатов измерений (не относящиеся к рабочим характеристикам источника шума), возможные отклонения от теоретической модели (прямой метод) и погрешности калибровки образцового источника шума (метод сравнения) для методов, установленных настоящим стандартом, связаны с выборкой в звуковом поле и с изменчивостью акустической связи между источником шума и создаваемым им звуковым полем (для разных реверберационных камер и для разных положений источника в этих камерах). Соответствующие составляющие неопределенности можно уменьшить следующими способами:

a) использованием нескольких мест установки источника шума внутри камеры;

b) улучшением свойств пространственной выборки звукового поля за счет увеличения числа точек установки микрофонов или удлинения траекторий сканирования;

c) установкой низкочастотных поглотителей звука, уменьшающих влияние отдельных акустических мод на неоднородность звукового поля;

d) использованием акустических рассеивателей.

Уменьшить пространственную неоднородность звукового поля в области низких частот можно за счет увеличения объема реверберационной камеры, но следует иметь в виду, что при этом ухудшится точность определения уровней звуковой мощности на высоких частотах. И, наоборот, для маленьких камер улучшается характеристика поля на высоких частотах, но при этом существенно ухудшается на низких. Таким образом, если необходимо повысить точность измерений и если в распоряжении испытателя имеются две реверберационные камеры, можно рассмотреть возможность определения уровней звуковой мощности и звуковой энергии в области низких частот в камере большего размера, а в области высоких частот — в камере меньшего размера.

G.3 Стандартное отклонение σ_{omc}

Стандартное отклонение σ_{omc}, дБ (см. 10.2), рассчитывают по формуле

$$\sigma_{omc} = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{j=1}^{N}\left(L_{p,j} - L_{pav}\right)^2}, \qquad (G.1)$$

где $L_{p,j}$ — значение корректированного на фоновый шум эквивалентного уровня звукового давления, полученное в результате j-го повторного измерения в заданной точке при заданных условиях установки и работы источника шума, дБ;

L_{pav} — среднее арифметическое $L_{p,j}$ по всем повторным измерениям.

Измерения для определения σ_{omc} проводят в точке установки микрофона, где эквивалентный уровень звукового давления максимален. Если используют усреднение по всем точкам измерения, то в формуле (G.1) $L_{p,j}$ и L_{pav} заменяют на $\overline{L_{p,j}}$ и $\overline{L_{pav}}$ соответственно.

В общем случае условия установки и работы машины при измерениях ее шумовой характеристики определяются испытательным кодом по шуму. При его отсутствии эти условия должны быть точно заданы до проведения испытаний и зафиксированы в протоколе испытаний. Ниже приводятся некоторые рекомендации в отношении определения таких условий и их возможного влияния на σ_{omc}.

Условия работы при испытаниях должны соответствовать нормальному применению машины согласно рекомендациям изготовителя и практике пользователя. Однако даже при заданных нормальных условиях работы машины возможны некоторые вариации в режимах работы, обрабатываемом, потребляемом или производимом материале, между различными циклами работы машины и пр. Стандартное отклонение σ_{omc} характеризует неопределенность, связанную как с изменчивостью долговременных условий работы (например, день ото дня), так и с изменением излучаемого шума после повторной установки и пуска машины.

Если машину в любых условиях ее применения устанавливают либо на податливых пружинах, либо на тяжелый бетонный пол, то условия установки будут слабо влиять на результаты измерений. Однако если при испытаниях машину устанавливают на твердый массивный пол, а в условиях применения используют другую опору, то шум, создаваемый машиной, может различаться весьма сильно. Составляющая неопределенности, обусловленная установкой машины, будет наибольшей, если машина соединена со вспомогательным оборудованием. Также эта неопределенность будет велика в случае ручных машин. Необходимо исследовать, как перемещения машины или ее крепления влияют на создаваемый машиной шум. Если необходимо заявить шумовую характеристику машины для разных способов ее установки и крепления, то σ_{omc} оценивают по результатам измерений при всех возможных способах установки. Если влияние условий установки машины на создаваемый ею шум известно, то в испытательном коде по шуму или в методике, применяемой пользователем, должен быть определен рекомендуемый способ установки машины для измерений.

С точки зрения важности вклада тех или иных источников неопределенности в σ_{tot} исследования для определения σ_{omc} имеют больший приоритет, чем связанные с определением σ_{R0} [см. формулу (33)]. Это связано с тем, что σ_{omc} может принимать существенно бóльшие значения, чем стандартное отклонение σ_{R0}, которое для точного метода измерений, как это следует из таблицы 6, не превышает 0,5 дБ.

Если $\sigma_{omc} > \sigma_{R0}$, то проведение измерений с высокой точностью (т. е. с малым σ_{R0}) теряет практический смысл, поскольку это не способно привести к существенному снижению σ_{tot}. Примеры возможных соотношений между σ_{omc} и σ_{R0} приведены в таблице G.1.

Из этих примеров видно, что при нестабильных условиях установки и работы испытуемой машины излишне прилагать усилия в попытках обеспечить условия точного метода измерений.

Кроме того, в ситуации, когда $\sigma_{omc} > \sigma_{R0}$, у пользователя стандарта возможно формирование неправильного представления об общей неопределенности измерения, если он ориентируется на класс точности измерений, который в настоящем стандарте определяется только значением σ_{R0}.

Таблица G.1 — Примеры расчета σ_{tot} для разных соотношений между σ_{omc} и σ_{R0}

Стандартное отклонение воспроизводимости метода σ_{R0}, дБ	Стандартное отклонение σ_{tot}, дБ, для разных условий установки и работы машины, характеризующихся разными значениями σ_{omc}, дБ		
	Стабильные	Нестабильные	Очень нестабильные
	σ_{omc}, дБ		
	0,5	2	4
0,5 (точный метод)	0,7	2,1	4,0
1,5 (технический метод)	1,6	2,5	4,3
3 (ориентировочный метод)	3,0	3,6	5,0

G.4 Стандартное отклонение σ_{R0}

G.4.1 Общие положения

Оценки σ_{R0} сверху приведены в таблице 6. Кроме того, в 10.3 приведены рекомендации по проведению исследований для получения более реалистичных оценок σ_{R0} для отдельных машин или семейств машин. Такие исследования включают в себя либо проведение измерений в условиях воспроизводимости согласно ISO 5725, либо расчеты на основании математической модели измерения [см. формулу (36)], требующие привлечения дополнительной информации.

Если некоторые источники неопределенности несущественны для конкретных измерительных задач или трудны для исследования, то в испытательном коде по шуму приводят значение σ_{R0}, полученное либо в резуль-

тате межлабораторного эксперимента, либо рассчитанное аналитически на основе модели, которое не учитывает вариативность этих источников.

Расчет на основе бюджета неопределенности предполагает статистическую независимость отдельных источников неопределенности и, главное, наличие уравнений, используя которые можно было бы оценить вклад этих источников по результатам соответствующих измерений или на основе накопленного практического опыта. В настоящее время, однако, объема накопленной экспериментальной информации, которая могла бы быть использована в целях настоящего стандарта, недостаточно. Тем не менее ниже приводятся данные, которые не следует рассматривать как окончательные, но которые могут быть использованы для ориентировочной оценки вкладов отдельных составляющих неопределенности.

G.4.2 Вклад разных источников в σ_{R0}

Предварительные исследования показали, что измеряемый уровень звуковой мощности L_W, дБ, в который внесена поправка на атмосферные условия, может быть представлен следующей зависимостью от влияющих факторов (входных величин), полученной на основе формулы (20):

$$L_W = \delta_{\text{method}} + \delta_{\text{omc}} + \overline{L'_{p(\text{ST})}} + 10\lg\frac{A}{A_0} + 4{,}34\frac{A}{S} + 10\lg\left(1+\frac{Sc}{8Vf}\right) - K_1 + C_1 + C_2 - 6 + \delta_{\text{slm}} + \delta_H, \qquad \text{(G.2)}$$

где δ_{method} — входная величина, описывающая влияние применяемого метода измерений, дБ;

δ_{omc} — входная величина, описывающая влияние условий установки и работы машины, дБ (эта величина не включена в расчеты σ_{R0});

$\overline{L'_{p(\text{ST})}}$ — средний по реверберационной камере эквивалентный уровень звукового давления в третьоктавной полосе частот при работе испытуемого источника шума (см. 9.1.3), дБ;

A — эквивалентная площадь звукопоглощения в камере (см. 3.10), м^2,

$$A = \frac{55{,}26}{c}\left(\frac{V}{T_{60}}\right);$$

T_{60} — время реверберации камеры для среднегеометрической частоты полосы измерений (см. 3.8), с;

A_0 = 1 м^2;

S — общая площадь поверхности камеры, м^2;

c — скорость звука, м/с, при температуре воздуха в реверберационной камере во время испытаний θ °С, определяемая по формуле

$$c = 20{,}05\sqrt{273+\theta};$$

V — объем камеры, м^3;

f — среднегеометрическая частота полосы измерений, Гц;

K_1 — коррекция на фоновый шум (см. 9.1.2), дБ;

C_1 — поправка, учитывающая разность опорных значений для определения эквивалентного уровня звукового давления и уровня звуковой мощности и зависящая от характеристического импеданса воздушной среды в камере во время испытаний, дБ,

$$C_1 = -10\lg\frac{p_s}{p_{s,0}} + 5\lg\left(\frac{273{,}15+\theta}{\theta_0}\right);$$

C_2 — поправка на импеданс излучения, используемая для приведения к нормальным атмосферным условиям, дБ. Эта величина должна быть определена в соответствующем испытательном коде по шуму. Если такой документ отсутствует, то используют формулу, полученную для источника шума в виде монополя и рассматриваемую как результат усреднения для источников другого вида (см. [23], [31]),

$$C_2 = -10\lg\frac{p_s}{p_{s,0}} + 15\lg\left(\frac{273{,}15+\theta}{\theta_1}\right);$$

p_s — статическое давление в реверберационной камере во время испытаний, кПа;

$p_{s,0}$ — нормальное атмосферное давление, $p_{s,0}$ = 101,325 кПа;

θ — температура воздуха в реверберационной камере во время испытаний, °С;

θ_0 = 314 К;

θ_1 = 296 К;

δ_{sLm} — входная величина, описывающая влияние применяемых средств измерений, дБ;

δ_H — входная величина, описывающая флуктуации относительной влажности воздуха в реверберационной камере, дБ.

Примечание 1 — Если измеряемой величиной является уровень звуковой энергии, то для нее модель измерения будет иметь вид, аналогичный формуле (G.2).

Примечание 2 — Модель, описываемую формулой (G.2), применяют при измерениях как в полосе частот, так и с коррекцией по частотной характеристике А.

Примечание 3 — Входные величины, включенные в формулу (G.2), отражают современное представление о факторах, способных оказать влияние на результат измерения уровня звуковой мощности при испытаниях по настоящему стандарту. Дальнейшие исследования могут показать необходимость модификации этой модели.

Каждой входной величине должно быть приписано соответствующее распределение вероятностей (нормальное, прямоугольное, Стьюдента и т. п.). Лучшей оценкой входной величины будет ее математическое ожидание. Стандартное отклонение распределения входной величины характеризует разброс ее возможных значений и принимается за ее стандартную неопределенность.

Составляющая неопределенности, связанная с условиями установки и работы источника шума, уже учтена в σ_{omc}. Остальные входные величины в совокупности характеризуются стандартным отклонением σ_{R0}.

Информация об ожидаемых значениях стандартных неопределенностей входных величин u_i и соответствующих им коэффициентах чувствительности c_i, необходимых для расчета σ_{R0}, дБ, $\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2}$, приведена в таблице G.2.

Таблица G.2 — Бюджет неопределенности для расчета σ_{R0} (для примера измерения прямым методом корректированного по А уровня звуковой мощности источника шума с относительно плоским спектром)

Входная величина (см. G.4.2)	Оценка входной величины, дБ	Стандартное отклонение[a] u_i, дБ	Вид распределения	Коэффициент чувствительности[a] c_i
δ_{method}	0	0,3	Нормальное	1
$\overline{L'_{p(ST)}}$	$\overline{L'_{p(ST)}}$	$\frac{u_{L'_{pi(ST)j}}}{\sqrt{N_M N_S}}$	Нормальное	$1+\frac{1}{10^{0,1\Delta L_p}-1}$
K_1	K_1	$s_{Lp(B)}$	Нормальное	$\frac{1}{10^{0,1\Delta L_p}-1}$
V/S	0	$u(V/S)$	Нормальное	$\frac{240}{T_{60}\,c}-\frac{4,3\,c}{(V/S)(8fV/S+c)}$
V	0	$u(V)$	Нормальное	$4,3/V$
T_{60}	0	$\sqrt{\frac{2,42\,T}{f}+\frac{s_T^2}{N_{decay}}}$	Нормальное	$-\frac{4,3}{T_{60}}-\frac{240V}{T_{60}^2 S\,c}$
θ	0	$\Delta\theta/\sqrt{3}$	Прямоугольное	$\frac{8,7}{273+\theta}+\frac{-0,57+0,25\lg(2,6f)}{1+0,0011H+0,007\theta}$
p_s	0	$\Delta p_s/\sqrt{3}$	Прямоугольное	$-8,7/p_s$
δ_{slm}	0	0,5	Нормальное	0,5
δ_H	0	$\Delta H/\sqrt{3}$	Прямоугольное	$\frac{-2,6+1,6\lg(0,7f)}{1+0,5H}$
[a] См. G.4.3.2 — G.4.3.11.				

Расчет σ_{R0} выполнен в предположении, что все входные величины некоррелированы.

Для некоторых входных величин соответствующие стандартные неопределенности должны быть получены в результате дополнительных исследований.

Пример информации, необходимой для расчета суммарной стандартной неопределенности при прямом методе измерений, приведен в таблице G.2 и G.4.3, при измерении методом сравнения — в G.4.4.

G.4.3 Расчет σ_{R0} для прямого метода измерений

G.4.3.1 Общие положения

В таблице G.2 приведен пример бюджета неопределенности для расчета стандартного отклонения σ_{R0} для прямого метода измерений корректированных по А уровней звуковой мощности.

Входные величины уравнения измерений (G.2) [за исключением δ_{omc} (см. G.3)] с обоснованием выбора для них соответствующих распределений вероятности рассматриваются в G.4.3.2—G.4.3.12. Формулы расчета вкладов неопределенностей входных величин в суммарную стандартную неопределенность сопровождаются их примерными оценками.

G.4.3.2 Метод измерений (δ_{method})

Неопределенность, связанная с самим применяемым методом измерений, характеризуется смещением результата измерений, обусловленным применяемым методом, и стандартной неопределенностью оценки этого смещения u_{method}. В предположении, что все необходимые поправки к полученному значению уровня звуковой мощности внесены должным образом, оставшееся смещение можно оценить только исходя из практического опыта измерений или по результатам межлабораторного эксперимента. В случае детально проработанной модели измерения, в которой учтены все основные влияющие величины и для них получены количественные оценки этого влияния, неопределенность, связанная с методом измерения, будет мала. Если знаний о возможных влияющих величинах недостаточно, имеются трудности в оценке пределов этого влияния или проводить такую оценку нецелесообразно из практических соображений, то данная составляющая неопределенности может стать доминирующей в оценке σ_{R0}. Примером может служить применение метода измерений недостаточно квалифицированным или неопытным пользователем.

Исследования показывают, что на частотах выше 100 Гц u_{method} можно аппроксимировать значением 0,3 дБ. На более низких частотах начинает сказываться малое число возбуждаемых акустических мод в камере и недостаточное число точек измерения. Поэтому в области частот ниже 100 Гц в качестве ориентировочной оценки можно принять u_{method} = 3 дБ.

Смещение, обусловленное методом измерения, непосредственно входит в качестве слагаемого в оценку измеряемой величины, поэтому коэффициент чувствительности c_{method} = 1.

В рассматриваемом примере измерений на частотах выше 100 Гц вклад $c_{method}u_{method}$ данного источника в суммарную стандартную неопределенность будет составлять 0,3 дБ.

G.4.3.3 Неоднородность звукового поля во время испытаний $\left(\overline{L'_{p(ST)}}\right)$

Неопределенность, связанная с неоднородностью звукового поля, создаваемого испытуемым источником шума, характеризуется разбросом результатов последовательных измерений. Соответственно, стандартная неопределенность $u\left(\overline{L'_{p(ST)}}\right)$, дБ, может быть выражена через выборочное стандартное отклонение результатов этих измерений и рассчитана по формуле

$$u_{L'_{p(ST)}} = \frac{u_{L'_{pi(ST)j}}}{\sqrt{N_M N_S}} = \frac{1}{\sqrt{N_M N_S}} \sqrt{\sum_{j=1}^{N_S} \sum_{i=1}^{N_M} \frac{\left\{\left[L'_{pi(ST)}\right]_j - L'_{pm(ST)}\right\}^2}{N_M N_S - 1}},$$

где $L'_{pm(ST)}$ — арифметическое среднее некорректированных на фоновый шум результатов измерений эквивалентных уровней звукового давления при работе испытуемого источника шума, дБ.

Коэффициент чувствительности $c_{L'_{p(ST)}}$ представляет собой производную функции измерения L_W по $\overline{L'_{p(ST)}}$ и зависит от уровня фонового шума. Вычисление производной дает

$$c_{L'_{p(ST)}} = 1 + \frac{1}{10^{0,1\Delta L_p} - 1}.$$

Это выражение может быть упрощено до $c_{L'_{p(ST)}} = 1 + c_{K_1}$.

Для наихудшего случая, когда уровень шума совпадает с предельно допустимым значением (см. G.4.3.4), значение коэффициента чувствительности $c_{L'_{p(ST)}} = 1{,}1$. Если выполнено требование 8.4.2 к числу точек установки микрофонов и мест установки источника внутри камеры, то в наихудшем случае вклад $c_{L'_{p(ST)}}u_{L'_{p(ST)}}$ в суммарную стандартную неопределенность при измерениях в третьоктавной полосе частот не будет превышать 1 дБ. Если измерения проводят в широкой полосе частот с использованием коррекции по частотной характеристике А, то вследствие суммирования по полосам частот этот вклад уменьшиться и обычно не будет превышать 0,2 дБ.

Влияние данного источника неопределенности может быть уменьшено за счет увеличения времени реверберации в камере, уменьшения изменчивости уровня звуковой мощности по камере путем применения акустического рассеивателя или за счет увеличения числа точек установки микрофонов и мест расположения испытуемого источника шума. На значение $u_{L'_{p(ST)}}$ сильно влияет также выбор временного интервала усреднения T (см. 3.3). Если

этот интервал не охватывает достаточное число циклов работы машины, то суммарная стандартная неопределенность может стать недопустимо большой для точного метода измерений.

В рассматриваемом примере вклад $c_{L'_{p(\mathrm{ST})}} u_{L'_{p(\mathrm{ST})}}$ в суммарную стандартную неопределенность предполагается равным 0,2 дБ.

G.4.3.4 Коррекция на фоновый шум (K_1)

Стандартная неопределенность u_{K_1}, дБ, связанная с коррекцией на фоновый шум K_1, может быть выражена через выборочное стандартное отклонение $s_{L_{p(\mathrm{B})}}$ по серии повторных измерений фонового шума в одной точке измерений (установки микрофона).

Коэффициент чувствительности c_{K_1} получают, беря производную функции измерения L_W по $\overline{L_{p(\mathrm{B})}}$. Согласно формулам (14) и (15) корректированный на фоновый шум эквивалентный уровень звукового давления $\overline{L_{p(\mathrm{ST})}}$, дБ, может быть выражен в виде $\overline{L_{p(\mathrm{ST})}} = \overline{L'_{p(\mathrm{ST})}} + 10\lg\left(1-10^{-0{,}1\Delta L_p}\right)$, где $\Delta L_p = \overline{L'_{p(\mathrm{ST})}} - \overline{L_{p(\mathrm{B})}}$. Знак коэффициента чувствительности значения не имеет, поэтому его можно представить в виде

$$\left|c_{K_1}\right| = \frac{1}{10^{0{,}1\Delta L_p} - 1}.$$

При $\Delta L_p \le 10$ дБ выражение для c_{K_1} может быть упрощено: $c_{K_1} \approx 3{,}6/\Delta L_p - 0{,}24$. В случае малошумного источника выборочное стандартное отклонение $s_{Lp(\mathrm{B})}$ может достигать 3 дБ. В наихудшем случае разность $\overline{L'_{p\mathrm{A}(\mathrm{ST})}} - \overline{L_{p\mathrm{A}(\mathrm{B})}}$ будет равна 10 дБ (минимально допустимое значение на средних частотах по 9.1.2), что даст значение коэффициента чувствительности c_{K_1} = 0,11 и вклад $c_{K_1} u_{K_1}$ в суммарную стандартную неопределенность, равный 0,3 дБ. В обычных условиях применения прямого метода измерений за счет поддержания низкого уровня фонового шума данный вклад может быть уменьшен до 0,03 дБ. Уменьшение флуктуаций фонового шума снижает вклад данной составляющей неопределенности. Существенного уменьшения коэффициента чувствительности можно добиться за счет уменьшения фонового шума посредством выявления его источников с последующим принятием мер по их звукоизоляции или звукопоглощению. Такие меры могут включать в себя устройство правильного заземления, изоляцию проводов, виброизоляцию, использование дополнительных масс и дополнительных поглощающих материалов и т. д. Кроме того, можно ожидать, что u_{K_1} снизится примерно вдвое, если вчетверо увеличить временной интервал усреднения T.

G.4.3.5 Отношение объема камеры к ее поверхности (V/S)

При расчете стандартной неопределенности $u_{V/S}$ необходимо учитывать, что данная входная величина представляет собой отношение двух величин, V и S, и поставленные им в соответствие случайные величины коррелированы между собой, поскольку зависят от одних и тех же параметров — геометрических размеров камеры l_x, l_y и l_z. Для камеры в форме прямоугольного параллелепипеда предельные отклонения Δl каждого из геометрических размеров от их номинальных значений обычно не превосходят 1 %. Тогда $u_{V/S}$, дБ, можно аппроксимировать формулой $u_{V/S} = 2\Delta l\left(V/S\right)^2\sqrt{\left(l_x^{-4} + l_y^{-4} + l_{xz}^{-4}\right)/3}$, которая позволяет получить приближенную оценку $u_{V/S}$ как 0,4 % значения V/S.

Коэффициент чувствительности $c_{V/S}$, получаемый взятием производной функции L_W [формула (G.2)] по V/S, имеет вид

$$c_{V/S} = \frac{240}{T_{60}c} - \frac{4{,}3c}{\left(V/S\right)\left(8fV/S + c\right)}.$$

Коэффициент чувствительности максимален по модулю в нижней области диапазона частот измерений. Для малой камеры с числовым соотношением $V/S \approx 0{,}66$ и T_{60} = 1 с коэффициент чувствительности на частоте 200 Гц будет равен минус 0,9. Если принять, что $u_{V/S}$, дБ, численно равна 0,4 % V/S, то вклад данного источника в суммарную стандартную неопределенность в данной третьоктавной полосе частот составит минус 0,003 дБ. На частоте 8 кГц коэффициент чувствительности возрастает до 0,7. Случайные величины, ассоциированные с V/S в третьоктавных полосах частот, коррелированы между собой, поэтому результат расчета неопределенности для широкой полосы частот с использованием коррекции по частотной характеристике А будет зависеть от спектральной формы излучаемого шума. Обычно вклад данного источника неопределенности в результат измерений с использованием коррекции по частотной характеристике А можно оценить в 0,002 дБ.

G.4.3.6 Объем реверберационной камеры (V)

Для камеры в форме прямоугольного параллелепипеда предельные отклонения Δl каждого из геометрических размеров камеры l_x, l_y, l_z от их номинальных значений обычно не превосходят 1 %. Величине отклонения можно приписать прямоугольное распределение со стандартным отклонением $\Delta l/\sqrt{3}$. Тогда стандартная неопределенность объема камеры u_V, дБ, описывается формулой $u_V = \Delta l V\sqrt{\left(l_x^{-2} + l_y^{-2} + l_{xz}^{-2}\right)/3}$ и равна приблизительно 1 % объема камеры.

Коэффициент чувствительности c_V получают дифференцированием L_W [формула (G.2)] по V. При этом игнорируют слагаемое, соответствующее входной величине V/S, поскольку неопределенность для этой входной величины была учтена отдельно в G.4.3.5. В результате получают $c_V = 4{,}3/V$.

В предположении, что $u(V)$, дБ, численно равна 1 % объема камеры V, вклад данного источника в суммарную стандартную неопределенность в данной третьоктавной полосе частот составит 0,04 дБ. Следует с особым вниманием относиться к точности измерений размеров камеры, когда ее форма отличается от правильного прямоугольного параллелепипеда, с тем, чтобы вклад данной составляющей неопределенности в общую неопределенность измерения оставался небольшим.

G.4.3.7 Время реверберации (T_{60})

Стандартную неопределенность u_T, связанную с временем реверберации в камере, получают из выборочного стандартного отклонения s_T по результатам N_{decays} измерений времени реверберации T_{60}, с, для среднегеометрической частоты f, Гц, третьоктавной полосы по формуле (модифицированной формуле (10) из [1])

$$u_T = \sqrt{\frac{2{,}42T_{60}}{f} + \frac{s_T^2}{N_{\text{decays}}}}.$$

Обычно при повторных измерениях выбирают $N_{\text{decays}} = 120$.

Коэффициент чувствительности c_T получают дифференцированием неявной зависимости L_W от T_{60} [в формуле (G.2) от T_{60} зависит эквивалентная площадь звукопоглощения A] по T_{60}, что дает

$$c_T = -\frac{4{,}3}{T_{60}} - \frac{240V}{T_{60}^2 Sc}.$$

Пусть источник производит шум с доминирующей частотой около 500 Гц и пусть на этой частоте время реверберации T_{60} = 1 с. Предполагая s_T = 0,2 с, получим значение коэффициента чувствительности c_T = –5 дБ/с. Тогда вклад $c_T u_T$ данного источника неопределенности в суммарную стандартную неопределенность будет равен (по модулю) 1 дБ. Учитывая, что время реверберации обычно превышает 1 с, а также суммирование по третьоктавным полосам частот, типичным вкладом неопределенности определения времени реверберации в стандартную неопределенность результата измерений L_{WA} можно считать 0,05 дБ. Этот вклад можно уменьшить за счет увеличения времени реверберации T_{60}, улучшения условий повторяемости при определении s_T, а также увеличения числа повторений N_{decays}.

G.4.3.8 Температура воздуха (θ)

В рассматриваемом примере предполагается, что изменения температуры θ °С, попадают в диапазон $\pm\,\Delta\theta$ и характеризуются прямоугольным распределением в пределах этого диапазона. Тогда стандартная неопределенность u_θ будет равна стандартному отклонению данного распределения,

$$u_\theta = \Delta\theta/\sqrt{3}.$$

В формуле (G.2) зависимость от температуры входит в параметры C_1, C_2 и A. Для определения коэффициента чувствительности $c(\theta)$ осуществляют дифференцирование L_W по этим параметрам и этих параметров по θ. При дифференцировании параметра A принимают $A = \alpha S$, а оценку производной $\partial\alpha/\partial\theta$ получают из [16]. Коэффициент звукопоглощения α определяют по коэффициенту звукопоглощения в камере α_{room}, по звукопоглощению в воздухе на единицу пути α_{dBm}, по оценке Сэбина среднего пути между двумя последовательными отражениями в камере $4V/S$ (что для камер объемом от 70 до 200 м^3 в среднем составляет приблизительно 3,3 м). С учетом этого формула для коэффициента чувствительности c_θ принимает вид

$$c(\theta) = \frac{8{,}7}{273+\theta} + 17{,}4\frac{V}{S}\left[1 + \frac{1}{\alpha_{\text{room}} + 4(V/S)\alpha_{\text{dBm}}}\right]\frac{\partial\alpha_{\text{dBm}}}{\partial\theta} = \frac{8{,}7}{273+\theta} + \frac{-0{,}57 + 0{,}25\lg(2{,}6f)}{1 + 0{,}0011H + 0{,}007\theta},$$

где H — относительная влажность воздуха в камере, %;

f — максимальная среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, эквивалентный уровень звукового давления в которой оказывает существенное влияние на результат измерения корректированного по А уровня звуковой мощности.

Требования, определенные таблицей 3, ограничивают вклад $c(\theta)u(\theta)$ данного источника неопределенности значением 1,0 на частоте 10 кГц. В предположении, что большая часть звуковой мощности источника шума сосредоточена в области ниже 1 кГц, и с учетом требований к относительной влажности воздуха по таблице 3 получаем снижение данного ограничения до 0,5 Б. Это близко к значению, получаемому с использованием вышеприведенной формулы. Обычно для источника, работа которого не влияет на температуру в помещении, $c_\theta u_\theta$ не превысит 0,05 дБ.

Принятие специальных мер по обеспечению стабильной температуры в реверберационной камере и сохранению условий температурного равновесия или сокращение общего времени измерений позволит уменьшить

составляющую неопределенности, связанную с температурой воздуха. Коэффициент чувствительности уменьшается при повышении температуры и влажности.

G.4.3.9 Статическое давление (p_s)

В рассматриваемом примере предполагается, что результат измерений статического давления p_s попадает в диапазон Δp_s = ±4 кПа и характеризуется прямоугольным распределением в пределах этого диапазона. Тогда стандартная неопределенность p_s будет равна стандартному отклонению данного распределения,

$$u_{p_s} = \Delta p_s / \sqrt{3}.$$

Коэффициент чувствительности c_{p_s} получают дифференцированием неявной зависимости L_W от p_s [в формуле (G.2) от p_s зависят поправки C_1 и C_2] по p_s, что дает

$$c_{p_s} = \frac{-8,7}{p_s}.$$

Вклад $c_{p_s} u_{p_s}$ в суммарное стандартное отклонение данного источника неопределенности обычно мал и не превышает 0,05 дБ. Однако изменение статического давления может влиять на воспроизводимость условий работы источника шума, увеличивая u_{omc}.

G.4.3.10 Инструментальная неопределенность (δ_{slm})

При измерениях звуковой мощности с использованием шумомеров класса 1 стандартную неопределенность u_{slm}, обусловленную применяемым средством измерений, можно принять равной приблизительно 0,3 дБ (см. [29]). Это значение близко к результатам сравнительных испытаний, в которых участвовали национальные лаборатории разных стран.

Инструментальная неопределенность дает непосредственный вклад в неопределенность измеряемой величины, поэтому соответствующий коэффициент чувствительности равен единице, а вклад данного источника неопределенности в суммарную стандартную неопределенность составляет 0,3 дБ. Факторы, влияющие на инструментальную неопределенность при применении шумомеров, подробно рассматриваются в IEC 61672-1. При использовании метода сравнения коэффициент чувствительности c_{slm} будет ниже, но при этом необходимо учитывать дополнительную неопределенность, связанную с применяемым образцовым источником шума.

G.4.3.11 Относительная влажность (δ_H)

В рассматриваемом примере предполагается, что изменения относительной влажности H попадают в диапазон $\pm\Delta H$, %, и характеризуются прямоугольным распределением в пределах этого диапазона. Тогда стандартная неопределенность u_H будет равна стандартному отклонению данного распределения,

$$u_H = \Delta H / \sqrt{3}.$$

Коэффициент чувствительности c_H получают из формулы (G.2) аналогично G.4.3.8. При H > 10 % имеет место формула

$$c_H = \frac{-2,6 + 1,6 \lg(0,7f)}{1 + 0,5H},$$

где f — максимальная среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, эквивалентный уровень звукового давления в которой оказывает существенное влияние на результат измерения корректированного по А уровня звуковой мощности.

Требования, определенные таблицей 3, ограничивают вклад $c_H u_H$ значением 1,0 дБ на частоте 10 кГц. В предположении, что большая часть звуковой мощности источника шума сосредоточена в области ниже 1 кГц, получаем снижение данного ограничения до 0,5 дБ (см. таблицу 3). Это близко к значению, получаемому с использованием вышеприведенной формулы. Обычно вклад данного источника неопределенности не превышает 0,05 дБ. Принятие специальных мер по обеспечению стабильности влажности воздуха и сохранению условий ее равновесия в реверберационной камере или сокращение общего времени измерений позволит уменьшить u_H. Коэффициент чувствительности уменьшается при повышении влажности.

G.4.3.12 Типичное значение σ_{R0}

С учетом изложенного в G.4.3.2—G.4.3.11 и формулы (G.2) можно получить оценку типичного значения σ_{R0}, дБ:

$$\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,2^2 + 0,03^2 + 0,002^2 + 0,04^2 + 0,05^2 + 0,05^2 + 0,05^2 + 0,3^2 + 0,05^2} = 0,5.$$

G.4.4 Расчет σ_{R0} для метода сравнения

Бюджет неопределенности для метода сравнения может быть получен на основе бюджета неопределенности для прямого метода, применяемого в отношении как испытуемого [для получения $\sigma_{R0(ST)}$], так и образцового [для получения $u(L_{W(RSS)}$] источника шума. Тогда стандартное отклонение σ_{R0} может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_{R0} = \sqrt{u\left(L_{W(RSS)}\right)^2 + \left(\sigma_{R0(ST)}\right)^2}.$$

Источники неопределенности при измерениях шума испытуемого источника и образцового источника шума в основном одни и те же, что приводит к увеличению вклада каждого такого источника в общую неопределенность измерения приблизительно на 40 % по сравнению с прямым методом. Вместе с тем, в методе сравнения не используются значения времени реверберации T_{60}, объема V и площади поверхности S камеры и, соответственно, отсутствуют неопределенности, связанные с этими значениями, как для испытуемого, так и для образцового источника шума. Кроме того, при использовании метода сравнения частично взаимно исключаются погрешности, связанные с выборкой $\left(\overline{L'_{p(ST)}}\right)$, методом ($\delta_{method}$) и применяемым шумомером (δ_{slm}), если испытуемый источник и образцовый источник шума устанавливают в камере в одних и тех же местах, а измерения шума проводят в одних и тех же точках установки микрофонов. Учесть уменьшение вклада неопределенности, связанной с выборкой, можно уменьшением коэффициента чувствительности $c_{L'_{p(ST)}}$, в измерениях для испытуемого источника и образцового источника шума до 0,5. Как и в примере для прямого метода измерений (см. G.4.3.3), при соблюдении требования 8.4.2 к точкам установки микрофонов можно ожидать, что в наихудшем случае (когда в спектре шума преобладает узкополосная составляющая) стандартная неопределенность $u_{L'_{p(ST)}}$ не превысит 1 дБ. С учетом $c_{L'_{p(ST)}} = 0{,}5$ вклад данного источника неопределенности не превысит 0,5 дБ, а более типичным значением будет 0,1 дБ.

Если измерения шума проводят на коротком временном интервале, то систематические эффекты, связанные с калибровкой шумомера, диаграммой направленности, коррекцией по частотной характеристике, температурой, давлением и влажностью воздуха, за счет сравнения результатов измерений для испытуемого источника и образцового источника шума компенсируются. Однако, поскольку оценку неопределенности измерений для испытуемого источника и образцового источника шума выполняют по отдельности, а затем полученные оценки суммируют, для учета этой компенсации следует уменьшить значение коэффициента чувствительности c_{slm}. Если принять $c_{slm} = 0{,}5$, то вклад инструментальной неопределенности в суммарное стандартное отклонение составит 0,15 дБ. Используя те же соображения для неопределенности, обусловленной методом измерения, можно принять $c_{method} = 0{,}5$ и $c_{method}u_{method} = 0{,}15$ дБ.

Используя ту же формулу для расчета $\sigma_{R0(ST)}$, дБ, что и для расчета σ_{R0} в прямом методе измерения, но с учетом указанного выше обнуления отдельных составляющих и уменьшения вклада других, получим

$$\sigma_{R0(ST)} = \sqrt{\sum_i \left(c_i u_i\right)^2} == \sqrt{0{,}15^2 + 0{,}1^2 + 0{,}03^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0{,}05^2 + 0{,}05^2 + 0{,}15^2 + 0{,}05^2} = 0{,}25.$$

При расчете $u(L_{W(RSS)}$ подход будет аналогичным, за исключением того, что во внимание необходимо принять дополнительный источник неопределенности, связанный с калибровкой, условиями установки и работы образцового источника шума и характеризуемый стандартным отклонением $\sigma_{omc(RSS)}$. Обычно после применения всех поправок, указанных изготовителем, можно принять $\sigma_{omc(RSS)} = 0{,}5$ дБ. Вклад неопределенности, связанной с неоднородностью создаваемого образцовым источником шума звукового поля, $c\left(\overline{L'_{p(RSS)}}\right)u\left(\overline{L'_{p(RSS)}}\right)$, можно принять равным 0,03 дБ. Даже в самых неблагоприятных обстоятельствах звуковая мощность образцового источника шума будет значительно превышать фоновый шум, поэтому можно принять $c(K_1)u(K_1) = 0{,}0$ дБ. С учетом сказанного получим для $u(L_{W(RSS)})$, дБ:

$$u\left[L_{W(RSS)}\right] = \sqrt{\sum_i \left(c_i u_i\right)^2 + \left[\sigma_{omc(RSS)}\right]^2} =$$

$$= \sqrt{\left(0{,}15^2 + 0{,}03^2 + 0{,}0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0{,}05^2 + 0{,}05^2 + 0{,}15^2 + 0{,}05^2\right) + 0{,}5^2} = 0{,}55.$$

Как видно из рассмотренного примера, вклад некоторых источников неопределенности незначителен по сравнению с другими, и такие источники могут не учитываться при составлении бюджета неопределенности для конкретной измерительной задачи. Усилия по ограничению суммарной стандартной неопределенности должны быть сосредоточены на ограничении влияния доминирующих источников неопределенности.

G.5 Суммарная стандартная неопределенность

В случае незначительной корреляции между входными величинами суммарную стандартную неопределенность $u(L_W)$, дБ, для уровня звуковой мощности L_W, дБ, рассчитывают по формуле

$$u\left(L_W\right) \approx \sigma_{\text{tot}} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{\text{omc}}^2} = \sqrt{\sum_i \left(c_i u_i\right)^2 + \sigma_{\text{omc}}^2}\,. \tag{G.3}$$

G.6 Использование результатов измерений в условиях воспроизводимости

При отсутствии информации о составляющих неопределенности и возможных корреляциях между входными величинами в качестве суммарной стандартной неопределенности $u(L_W)$ может быть использовано стандартное отклонение воспроизводимости (см. раздел 10). Затем для получения расширенной неопределенности U выбирают значение коэффициента охвата k. По умолчанию интервал охвата определяют для вероятности охвата 95 %. Тогда в предположении нормального распределения случайной величины, ассоциированной с измеряемой величиной L_W, значение коэффициента охвата будет $k = 2$. Чтобы избежать неправильного толкования, вместе с расширенной неопределенностью в протоколе испытаний следует указывать примененное значение вероятности охвата.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 3382-2	—	*
ISO 5725 (все части)[1)]	IDT	ГОСТ ИСО 5725-1—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения» ГОСТ ИСО 5725-2—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений» ГОСТ ИСО 5725-3—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений» ГОСТ ИСО 5725-4—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений» ГОСТ ИСО 5725-5—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений» ГОСТ ИСО 5725-6—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике»
ISO 6926	MOD	ГОСТ 35045—2023 (ISO 6926:2016) «Акустика. Образцовый источник шума для определения уровней звуковой мощности машин. Требования к характеристикам и калибровке»
ISO 12001:1996	—	*
ISO/IEC Guide 98-3	IDT	ГОСТ 34100.3—2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения»
IEC 60942	—	*
IEC 61183	—	*
IEC 61260-1	—	*
IEC 61672-1	—	*

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

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

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированный стандарт.

[1)] В Российской Федерации действуют ГОСТ Р ИСО 5725-1—2002 — ГОСТ Р ИСО 5725-6—2002 с общим заголовком «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений».

Библиография

[1] ISO 354, Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room (Акустика. Измерение звукопоглощения в реверберационной камере)

[2] ISO 3740, Acoustic — Determination of sound power levels of noise sources — Guidelines for the use of basic standards (Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума. Руководство по применению базовых стандартов)

[3] ISO 3743-1, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields — Part 1: Comparison method for a hard-wall test room (Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технические методы для малых переносных источников шума в реверберационных полях. Часть 1. Метод сравнения для испытательного помещения с жесткими стенами)

[4] ISO 3743-2, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields — Part 2: Methods for special reverberation test rooms (Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технические методы для малых переносных источников шума в реверберационных полях. Часть 2. Методы для реверберационных камер)

[5] ISO 3744, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane (Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технические методы в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью)

[6] ISO 3745, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for anechoic test rooms and hemi-anechoic test rooms (Акустика. Определение уровней звуковой мощности и уровней звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных и полузаглушенных камер)

[7] ISO 3746, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane (Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью)

[8] ISO 3747, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment (Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический/ориентировочный методы в реверберационном звуковом поле на месте установки)

[9] ISO 4871, Acoustics — Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment (Акустика. Заявление и подтверждение характеристик излучения шума машинами и оборудованием)

[10] ISO 7574-1, Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 1: General considerations and definitions (Акустика. Статистические методы определения и подтверждения заявленных шумовых характеристик машин и оборудования. Часть 1. Общие положения и определения)

[11] ISO 7574-2, Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 2: Methods for stated values for individual machines (Акустика. Статистические методы определения и подтверждения заявленных шумовых характеристик машин и оборудования. Часть 2. Методы для заявленных характеристик отдельных машин)

[12] ISO 7574-3, Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 3: Simple (transition) method for stated values for batches of machines [Акустика. Статистические методы определения и подтверждения заявленных шумовых характеристик машин и оборудования. Часть 3. Простой метод для заявленных характеристик партий машин (на переходный период)]

[13] ISO 7574-4, Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 4: Methods for stated values for batches of machines (Акустика. Статистические методы определения и подтверждения заявленных шумовых характеристик машин и оборудования. Часть 4. Методы для заявленных характеристик партий машин)

[14] ISO 9295, Acoustics — Measurement of high-frequency noise emitted by computer and business equipment (Акустика. Измерение высокочастотного шума, излучаемого компьютерами и офисным оборудованием)

[15] ISO 9296, Acoustics — Declared noise emission values of information technology and telecommunications equipment (Акустика. Заявленные значения шума, излучаемого оборудованием для информационных технологий и телекоммуникаций)

[16] ISO 9613-1, Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere (Акустика. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой)

[17] ISO 9614-1, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity — Part 1: Measurement at discrete points (Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума по интенсивности звука. Измерения в дискретных точках)

[18] ISO 9614-2, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity — Part 2: Measurement by scanning (Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума по интенсивности звука. Часть 2. Измерения сканированием)

[19] ISO 9614-3, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity — Part 3: Precision method for measurement by scanning (Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума по интенсивности звука. Часть 3. Точный метод для измерения сканированием)

[20] ISO/TR 25417:2007, Acoustics — Definitions of basic quantities and terms (Акустика. Определения основных величин и терминов)

[21] ISO 80000-8:2007, Quantities and units — Part 8: Acoustics (Величины и единицы измерений. Часть 8. Акустика)

[22] Vorländer, M. Revised relation between the sound power and the average sound pressure level in rooms and the consequences for acoustic measurements. Acustica 1995, 81, pp. 332—343

[23] Davies, R.S. Equation for the determination of the density of moist air. Metrologia 1992, 29, pp. 67—70

[24] Cramer, O. The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, humidity and CO_2 concentration. J. Acoust. Soc. Am. 1993, 93, pp. 2510—2516

[25] Wong, G.S.K. Comments on “The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO_2 concentration”, J. Acoust. Soc. Am. 93, 2510-2516 (1993). J. Acoust. Soc. Am. 1995, 97, pp. 3177—3179

[26] Jonasson, H.G. Measurement of sound energy levels and peak sound pressure levels of impulse noise. Proceedings Inter-Noise 1998, Christchurch, New Zealand

[27] Tachibana, H., Yano, H., Yoshishisa, K. Definition and measurement of sound energy level of a transient sound source. J. Acoust. Soc. Jpn 1987, 8, pp. 235—240

[28] Hellweg, R.D. International round robin test of ISO/DIS 7779. In: Proceedings Inter-Noise 1988, Avignon, 1988, pp. 1105—1108

[29] Vorländer, M., Raabe, G. Intercomparison on sound power measurements by use of reference sound sources. BCR-project 3347/1/0/168/89/11 — BCR — D30, 1993

[30] Payne, R. Uncertainties associated with the use of a sound level meter, NPL Report DQL-AC 002, 2004

[31] Hübner, G. Accuracy consideration on the meteorological correction for a normalized sound power level. In: Proceedings Inter-Noise 2000, Nice, 2000

УДК 534.322.3.08:006.354 МКС 17.140.01 IDT

Ключевые слова: шум машин, уровень звуковой мощности, уровень звуковой энергии, эквивалентный уровень звукового давления, реверберационное поле, реверберационная камера, прямой метод, метод сравнения, образцовый источник шума, точный метод измерений

Редактор *И.Р. Шайняк*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 13.12.2024. Подписано в печать 10.01.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 5,86.

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