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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

**ГОСТ ISO 3743-2— 2024**

# Акустика

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

## Технические методы для малых переносных источников шума в реверберационных полях

## Часть 2

## Методы определения уровней звуковой мощности для реверберационных камер

**(ISO 3743-2:2018, 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, 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. № 1884-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 3743-2—2024 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 декабря 2025 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 3743-2:2018 «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» («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», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

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

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, 2018
© 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 . . . . . 1
3 Термины и определения . . . . . 2
4 Принцип измерений . . . . . 2
5 Испытуемый источник шума . . . . . 2
6 Требования к реверберационной камере . . . . . 3
7 Средства измерений . . . . . 5
8 Установка источника и его работа во время испытаний . . . . . 6
9 Измерения в реверберационной камере . . . . . 7
10 Расчет уровней звуковой мощности . . . . . 10
11 Неопределенность измерения . . . . . 12
12 Регистрируемая информация . . . . . 15
13 Протокол испытаний . . . . . 16
Приложение А (обязательное) Характеристики образцового источника шума и его калибровка . . . . 17
Приложение В (рекомендуемое) Рекомендации по проектированию реверберационных камер . . . . 18
Приложение С (справочное) Измерительные системы . . . . . 22
Приложение D (рекомендуемое) Руководство по применению информации для расчета неопределенности измерения . . . . . 23
Приложение Е (обязательное) Приведение уровня звуковой мощности к нормальным атмосферным условиям . . . . . 31
Приложение F (обязательное) Расчет корректированного по А уровня звуковой мощности по результатам измерений уровней звуковой мощности в октавных полосах частот . . 32
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам . . . . . 33
Библиография . . . . . 35

## Введение

Настоящий стандарт входит в серию базовых стандартов, включающих ISO 3741, ISO 3743-1, ISO 3745, а также [4] — [6] и устанавливающих методы определения уровней звуковой мощности источников шума, таких как машины, оборудование и их узлы. Выбор конкретного метода зависит от целей испытаний по определению уровня звуковой мощности и от имеющегося в распоряжении испытательного оборудования. Общее руководство по выбору метода испытаний установлено в [3]. Базовые стандарты, включая настоящий стандарт, 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.

Метод, установленный настоящим стандартом, основан на измерениях эквивалентных уровней звукового давления с коррекцией по частотной характеристике А в фиксированных точках установки микрофонов или вдоль заданной траектории. Он позволяет определять корректированные по частотной характеристике А или по другой частотной характеристике уровни звуковой мощности, а также уровни звуковой мощности в октавных полосах частот. С его помощью нельзя оценить характеристики направленности излучения источника, а также описать изменение создаваемого звукового поля при излучении нестационарного шума.

Настоящий стандарт вместе с ISO 3743-1 устанавливает технические методы измерений уровней звуковой мощности в октавных полосах частот и корректированных по частотной характеристике А для малых переносных источников шума (машин, устройств, узлов), которые могут быть проведены в реверберационной камере или в испытательном помещении с жесткими стенами, удовлетворяющем заданным требованиям к акустическим характеристикам. Их применяют в основном для малогабаритных изделий, а не более крупных стационарно устанавливаемых машин, поскольку те обычно или не допускают установку в испытательную камеру (помещение), или не могут работать в ней в режиме, обычном на месте применения.

ISO 3743-1 устанавливает метод сравнения для определения эквивалентных уровней звукового давления в октавных полосах частот, при котором пространственно усредненные эквивалентные уровни звукового давления, создаваемого испытуемым источником, сопоставляют с аналогичными характеристиками образцового источника шума, работающего в тех же условиях испытаний. Полученные результаты измерений в октавных полосах частот могут быть использованы для получения уровней звуковой мощности с коррекцией по частотной характеристике А.

Настоящий стандарт устанавливает значительно более жесткие требования к испытательному пространству по сравнению с ISO 3743-1.

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

## Технические методы для малых переносных источников шума в реверберационных полях

## Часть 2

## Методы определения уровней звуковой мощности для реверберационных камер

Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Engineering methods for small movable sources in reverberant fields. Part 2. Methods to determine sound power levels for special reverberation test rooms

**Дата введения —2025—12—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает технический метод определения уровней звуковой мощности малых переносных источников шума. Метод распространяется на все виды шума в заданном диапазоне частот, за исключением импульсного шума в форме изолированных выбросов звуковой энергии (для такого шума измерения могут быть выполнены по ISO 3745 или [4])

Примечание — Классификация видов шума — в соответствии с [14].

## 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 3741, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation test rooms (Акустика. Определение уровней звуковой мощности и уровней звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер)

ISO 3743-1, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy 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)

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

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

**Издание официальное**

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/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, Electroacoustics — Sound calibrators (Электроакустика. Калибраторы акустические)

IEC 61260 (all parts), Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters (Электроакустика. Полосовые фильтры на октаву и долю октавы)

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

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 3743-1, а также следующий термин с соответствующим определением.

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна на gost.e-ecolog.ru
- Электропедия МЭК: доступна на gost.e-ecolog.ru

3.1 **(реверберационная) камера** (special reverberation test room): Испытательное помещение, удовлетворяющее требованиям раздела 6 настоящего стандарта.

Примечание — Требования к испытательному помещению по настоящему стандарту значительно более жесткие по сравнению с требованиями по ISO 3743-1.

## 4 Принцип измерений

Измерения проводят для источника шума, установленного в специально спроектированном помещении с заданным временем реверберации во всем диапазоне частот измерений. В настоящем стандарте уровень звуковой мощности с коррекцией по частотной характеристике А (далее — корректированный по А) определяют на основе измерений эквивалентных уровней звука в точках установки микрофонов, а не взвешенным суммированием уровней в октавных полосах частот. Данный прямой метод измерений исключает необходимость в использовании образцового источника шума, но требует специального испытательного помещения — реверберационной камеры. Метод измерений исходит из предпосылки, что эквивалентный уровень звукового давления, усредненный по пространству реверберационной камеры и времени, может быть использован для определения уровня звуковой мощности, излученной источником. Стандарт устанавливает требования к числу точек измерений (позиций микрофонов) и расположению испытуемого источника в камере. Характеристики реверберационной камеры выбраны таким образом, чтобы ее влияние на излучение испытуемым источником звуковой энергии было мало. Руководство по проектированию реверберационных камер приведено в приложении В.

Помимо прямого метода измерений в настоящем стандарте описан также метод сравнения (см. 10.3). По сравнению с настоящим стандартом ISO 3743-1 предъявляет значительно меньшие требования к испытательному помещению, поэтому рекомендуется применять его в тех случаях, когда реверберационная камера недоступна или не может быть использована.

Примечание — Точные методы определения уровней звуковой мощности малых источников шума установлены ISO 3741 и ISO 3745.

## 5 Испытуемый источник шума

Источником шума может быть устройство, машина или узел машины.

Максимальный размер источника и нижняя граница диапазона частот измерений зависят от размеров реверберационной камеры. Объем источника шума не должен превышать 1 % объема камеры. Таким образом, при минимальном объеме камеры 70 м$^3$ объем источника не должен превышать 0,7 м$^3$. В камерах такого малого объема обычно трудно обеспечить необходимую точность измерений шума с дискретными составляющими ниже 200 Гц.

## 6 Требования к реверберационной камере

### 6.1 Общие положения

Руководство по проектированию реверберационной камеры для конкретной задачи измерений и пример определения номинального времени реверберации в камере приведены в приложении В. Методы измерения времени реверберации — по ISO 354.

### 6.2 Объем камеры

Минимальный объем камеры — 70 м$^3$. Рекомендуется выбирать камеру большего объема при необходимости проведения измерений в октавной полосе 125 Гц. Если диапазон частот измерений включает в себя октавные полосы со среднегеометрическими частотами 4 и 8 кГц, то объем камеры не должен превышать 300 м$^3$.

Примечание — При использовании метода сравнения допускается использовать испытательные помещения бóльших размеров.

### 6.3 Время реверберации

Расчет уровней звуковой мощности по результатам измерений эквивалентных уровней звукового давления требует компенсировать концентрацию звуковой энергии вблизи стен камеры. Это легче сделать, если на низких частотах время реверберации будет несколько больше. Время реверберации $T$ для всех частот измерений должно находиться в диапазоне от $0{,}9\,RT_{nom}$ до $1{,}1\,RT_{nom}$, где реверберационный параметр $R$ рассчитывают по формуле

$$R = 1 + \frac{257}{fV^{1/3}}, \tag{1}$$

где $f$ — частота, Гц;

$V$ — объем камеры, м$^3$.

Примечание — Более точная формула для расчета $R$, к тому же применимая не только к камерам, чья форма близка к кубической, имеет вид

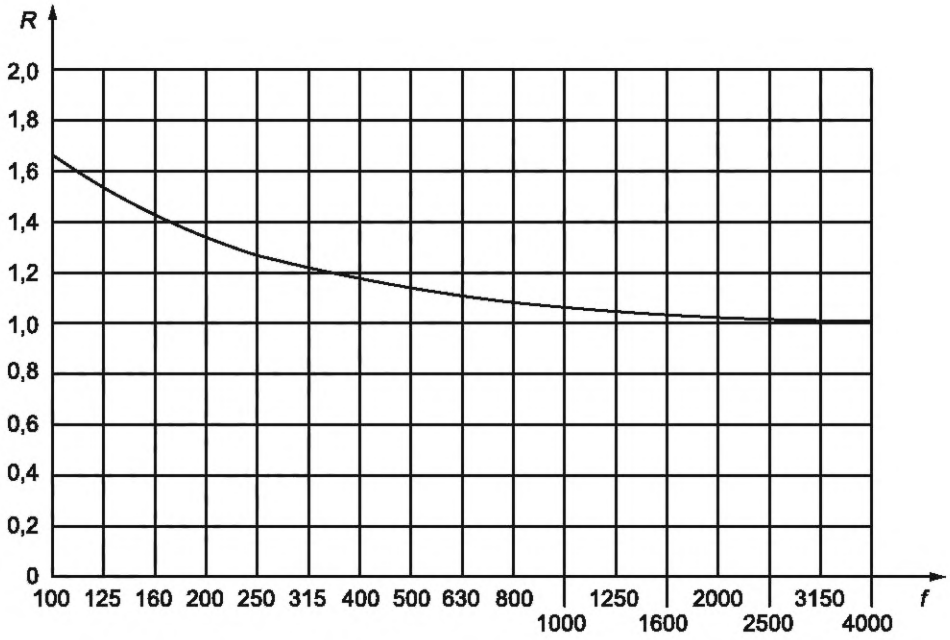
$$R = 1 + \frac{c \cdot S}{f \cdot 8V},$$

где $c$ — скорость звука, м/с$^2$;

$S$ — площадь поверхности камеры, м$^2$.

Для частот свыше 6,3 кГц константы 0, 9 и 1,1 следует заменить на 0,8 и 1,2 соответственно. Номинальное время реверберации $T_{nom}$ определяют центрированием в пределах указанного диапазона кривой зависимости результатов измерений времени реверберации на разных частотах, нормированных на время реверберации на частоте 1000 Гц. Оно должно находиться в пределах от 0,5 до 1,0 с. Пример определения $T_{nom}$ приведен в приложении В. На рисунке 1 приведен график зависимости реверберационного параметра $R$ от частоты для камеры объемом 70 м$^3$.

Если в процессе акустических измерений источник расположен на звукопоглощающей поверхности или если он сам имеет звукопоглощающую поверхность, время реверберации $T$ должно быть измерено в присутствии этих поверхностей.




*f* — среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц; *R* — реверберационный параметр

Рисунок 1 — График зависимости реверберационного параметра *R* от частоты для камеры объемом 70 м$^3$

### 6.4 Свойства поверхностей

Пол камеры должен быть звукоотражающим с коэффициентом поглощения менее 0,06. За исключением пола, все остальные поверхности камеры по своим звукопоглощающим свойствам должны быть приблизительно одинаковы. В каждой октавной полосе из диапазона частот измерений средний коэффициент звукопоглощения для каждой стены и потолка должен быть в переделах от 0,5 до 1,0 среднего коэффициента звукопоглощения по потолку и стенам.

### 6.5 Критерий для фонового шума

В каждой точке размещения микрофона эквивалентный уровень звукового давления фонового шума должен быть по крайней мере на 4 дБ (предпочтительно более чем на 10 дБ) ниже эквивалентного уровня звукового давления, корректированного по А или в полосах частот, создаваемых испытуемым источником.

### 6.6 Критерии для температуры и влажности воздуха

Поглощение звука в воздухе реверберационной камеры зависит от его температуры $\theta$, °С, и относительной влажности *H*, %, особенно на частотах свыше 1000 Гц, поэтому в процессе измерений эти характеристики подлежат контролю. Во время акустических измерений значение показателя

$$H(\theta + 5) \qquad (2)$$

не должно отличаться от его значения в процессе измерений времени реверберации камеры более чем на ±10 %.

Примечание — Чтобы удержать время реверберации в заданных границах на высоких частотах, иногда может потребоваться уменьшить звукопоглощение в воздухе камеры. Этому может способствовать повышение относительной влажности воздуха (например, посредством применения увлажнителей воздуха небольших размеров).

### 6.7 Проверка пригодности

Перед использованием камеры для определения уровня звуковой мощности она должна пройти проверку на пригодность, включающую в себя следующие шаги:

а) Шаг 1

Подготовить малогабаритный образцовый источник шума, калиброванный в широкой полосе частот (в отношении калибровки образцового источника шума — см. ISO 6926 и ISO 3745).

b) Шаг 2

Установить образцовый источник шума в камере и определить создаваемые им уровни звуковой мощности в октавных полосах частот при неизменных условиях измерений в соответствии с настоящим стандартом.

c) Шаг 3

Для каждой октавной полосы из диапазона частот измерений рассчитать разность между полученным уровнем звуковой мощности и его номинальным значением, определенным при калибровке образцового источника шума.

d) Шаг 4

Сопоставить полученные разности со значениями из таблицы 1.

Если эти разности не превышают значений, указанных в таблице 1, то реверберационную камеру считают пригодной для определения уровней звуковой мощности источников широкополосного шума в соответствии с настоящим стандартом.

Таблица 1 — Максимально допустимая разность уровней звуковой мощности в октавных полосах частот

| Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | Допуск на разность уровней звуковой мощности, дБ |
|---|---|
| 125 | ±5 |
| От 250 до 4000 | ±3 |
| 8000 | ±4 |

## 7 Средства измерений

### 7.1 Общие положения

Измерительная система включает в себя микрофон, усилитель с фильтром, реализующим частотную коррекцию А, схемы возведения в квадрат и усреднения сигнала, набор октавных фильтров и показывающее устройство. Указанные элементы измерительной системы могут быть выполнены в виде отдельных устройств или объединены в единое средство измерений, например шумомер (см. IEC 61672-1).

Микрофон следует по возможности физически отделить от остальной части измерительной системы, с которой его соединяют посредством кабеля. Примеры измерительных систем, соответствующих целям настоящего стандарта, приведены в приложении С.

### 7.2 Микрофон с соединительным кабелем

Микрофон, калиброванный в реверберационном поле, должен иметь плоскую частотную характеристику в соответствии с 7.6.

Примечание 1 — Микрофоны. входящие в комплект шумомера, обычно не удовлетворяют данному требованию, поскольку их калибруют в свободном звуковом поле.

Примечание 2 — Если для измерений используют несколько микрофонов, то следует следить за тем, чтобы их рабочие оси были разнонаправлены.

На частотную характеристику микрофона и стабильность его работы не должен оказывать влияния применяемый соединительный кабель. Если в процессе измерений микрофон перемещают по траектории, необходимо убедиться, что связанные с этим акустические и электрические шумы не ухудшают качество измерений.

### 7.3 Усилитель и схема частотной коррекции

Усилитель и частотная коррекция А должны соответствовать требованиям IEC 61672-1.

### 7.4 Октавные фильтры

Октавные фильтры должны соответствовать требованиям IEC 61260.

### 7.5 Схемы усреднения, возведения в квадрат и показывающее устройство

Алгоритмы возведения в квадрат и усреднения сигнала напряжения с микрофона могут быть реализованы в аналоговом или цифровом виде, как описано в приложении С. В случае аналоговой схемы обработки сигнала обычно используют интегрирующую RC-цепь [экспоненциальное интегрирование (усреднение)] с постоянной времени $\tau_A$ не менее 0,5 с, обеспечивающую сглаживание флуктуаций до уровня ±5 дБ.

При цифровой обработке данных и в некоторых аналоговых схемах реализуют линейное усреднение на заданном интервале времени (интервале интегрирования) $\tau_D$, который должен составлять не менее 1 с. Показания показывающего устройства после операций возведения в квадрат и усреднения должны отличаться от заданного (действительного) значения не более чем на 3 %.

### 7.6 Частотная характеристика измерительной системы

Частотная характеристика измерительной системы, калиброванной в условиях реверберационного поля, должна быть определена в соответствии с IEC 61672 с пределами допуска, указанными в таблице 2.

Таблица 2 — Пределы допуска частотной характеристики измерительной системы

| Частота, Гц | Пределы допуска, дБ |
|---|---|
| От 100 до 4000 | ±1 |
| 5000 | ±1,5 |
| 6300 | $^{+1,5}_{-2}$ |
| 8000 | $^{+1,5}_{-3}$ |
| 10 000 | $^{+2}_{-4}$ |
| Примечание — Адаптировано из IEC 61672. | |

### 7.7 Калибровки

До и после каждой серии измерений проверяют калибровку измерительной цепи, соединяя микрофон с акустическим калибратором, обеспечивающим точность измерения ±0,3 дБ (класс 1 по IEC 60942), на одной или нескольких частотах в диапазоне частот измерений.

Для подтверждения неизменности характеристик калибратор поверяют не реже чем раз в год. Калибровку всей измерительной цепи по электрическому входу во всем диапазоне частот измерений выполняют не реже чем раз в два года.

## 8 Установка источника и его работа во время испытаний

### 8.1 Общие положения

Акустические свойства пространства реверберационной камеры и характер работы источника во время испытаний могут оказать существенное влияние на излучаемую им звуковую энергию.

### 8.2 Расположение источника

Источник в реверберационной камере устанавливают в одном или нескольких местах так же, как его устанавливают при нормальном применении. При отсутствии указаний по размещению источника его устанавливают на полу камеры на расстоянии не менее 1 м от стен.

Место размещения источника указывают в протоколе испытаний.

Примечание — Положение источника в камере влияет на акустические свойства камеры и звуковую энергию, излучаемую источником. Это влияние уменьшается при соблюдении требований раздела 6. Однако в ряде случаев необходимо или желательно определить эквивалентные уровни звукового давления для разных положений источника (см. 9.4).

### 8.3 Условия установки источника

Зачастую излучаемая источником звуковая энергия зависит от применяемой опоры или крепления. Если существуют типовой способ монтажа испытуемого источника в условиях его применения, то его по возможности следует использовать (или моделировать) при испытаниях.

Если такого способа установки нет или в процессе испытаний он не может быть реализован, то следует убедиться, что используемая система крепления не изменяет излучаемый источником шум. Следует принять меры по уменьшению излучения звука конструкцией, на которую установлен источник.

Если источник при его применении устанавливают в окне, на стене или потолке, то при испытаниях такие источники закрепляют на потолке или стене камеры.

Условия установки источника и сопутствующего оборудования указывают в протоколе испытаний.

Примечание — Допускается применение в качестве опоры испытуемого источника упругих креплений или вибродемпфирующего материла с большой площадью покрытия.

### 8.4 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, размещают за пределами камеры, а саму камеру освобождают от всех предметов, которые могут повлиять на результаты измерений.

### 8.5 Работа источника во время измерений

При наличии испытательного кода по шуму для семейства машин, к которым относится испытуемый источник, условия работы источника во время измерений должны соответствовать требованиям испытательного кода. При отсутствии испытательного кода источник должен работать таким же образом, как при его нормальном применении. В таком случае рассматривают один или несколько из следующих возможных режимов работы источника:

a) в заданном режиме работы при заданной нагрузке;

b) при максимальной нагрузке, если она отличается от указанной в перечислении a);

c) на холостом ходу;

d) в типовом режиме работы, когда шум источника максимален.

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 рабочие характеристики источника в процессе испытаний поддерживают постоянными вплоть до завершения измерений.

Режим работы источника, используемый в процессе акустических измерений, указывают в протоколе испытаний.

## 9 Измерения в реверберационной камере

### 9.1 Общие положения

Уровень звуковой мощности источника шума рассчитывают по средним квадратам звукового давления, усредненным на заданном интервале времени, и по заданным точкам измерений в камере.

Допускается использование одного микрофона, переносимого от точки к точке, нескольких микрофонов с фиксированным местоположением или микрофона, непрерывно перемещаемого по заданной траектории внутри камеры.

### 9.2 Продолжительность измерений

Продолжительность каждого измерения (время усреднения) должна не менее чем в 10 раз превышать значение постоянной времени $\tau_A$.

Для средств измерений с интегрирующей RC-цепью каждое последующее измерение после переключения фильтра или внесения возмущения в звуковое поле (включая перемещение микрофона к другой точке измерений) не начинают до истечения «времени установления», не менее чем в пять раз превышающего постоянную времени средства измерений.

При интегрировании на заданном интервале времени $\tau_D$ продолжительность измерения в каждой точке установки микрофона должна составлять не менее 5 с (например, при $\tau_D$ = 1 с за время интегрирования будут взяты пять отсчетов эквивалентного уровня звукового давления, а при $\tau_D$ = 5 с — один отсчет в конце интервала интегрирования). Если микрофон перемещают по заданной траектории, то общее время измерений должно быть не менее 30 с для полос со среднегеометрическими частотами 160 Гц и ниже (а также для широкой полосы частот с применением частотной коррекции А) и не менее 10 с для полос со среднегеометрическими частотами 200 Гц и выше.

### 9.3 Расположение микрофонов

Расстояние от точек измерений до поверхностей реверберационной камеры должно составлять не менее $\lambda/4$, где $\lambda$ — длина звуковой волны, соответствующая среднегеометрической частоте низшей октавной полосы диапазона частот измерений. Минимальное расстояние $d_{min}$, м, между точкой измерений и поверхностью источника определяют по формуле

$$d_{min} = 0{,}3V^{1/3}, \tag{3}$$

где $V$ — объем реверберационной камеры, м$^3$.

Расстояние между двумя микрофонами должно быть не менее $\lambda/4$, где $\lambda$ — длина звуковой волны, соответствующая среднегеометрической частоте низшей октавной полосы диапазона частот измерений.

Для измерений с применением частотной коррекции А берут $\lambda$ = 3,5 м.

### 9.4 Число микрофонов и положений источника шума

Число точек измерений и положений источника шума для обеспечения требуемой точности измерений зависит от свойств источника и реверберационной камеры. Для каждого источника минимальное число положений микрофона, обеспечивающее стандартные отклонения воспроизводимости не более указанных в таблице 5, определяют по отдельности для каждой октавной полосы из диапазона частот измерений и для измерения с частотной коррекцией А следующим образом.

a) Шаг 1

При заданном положении источника шума измеряют эквивалентные уровни звукового давления в шести положениях микрофона.

b) Шаг 2

На основе полученных результатов измерений рассчитывают оценку стандартного отклонения $s_M$, дБ, по формуле

$$s_M = (n-1)^{-1/2}\left[\sum_{i=1}^{n}\left(L_{pi} - \overline{L_p}\right)^2\right]^{1/2}, \tag{4}$$

где $L_{pi}$ — эквивалентный уровень звукового давления (относительно опорного значения 20 мкПа) в $i$-й точке измерений, дБ;

$\overline{L_p}$ — среднее арифметическое результатов шести измерений: $L_{p1}$, $L_{p2}$,..., $L_{p6}$, дБ;

$n$ — число точек измерений (положений микрофона), $n$ = 6.

Если разброс значений $L_{p1}$, $L_{p2}$,..., $L_{p6}$ не превышает 5 дБ, то полученное среднее арифметическое можно принять в качестве оценки $\overline{L_p}$. В противном случае $\overline{L_p}$, дБ, получают энергетическим усреднением по формуле

$$\overline{L_p} = 10\lg\left[1/6\left(10^{0{,}1L_{p1}} + 10^{0{,}1L_{p2}} + ... + 10^{0{,}1L_{p6}}\right)\right]. \tag{5}$$

Примечание — Значение $s_M$ будет зависеть от свойств звукового поля в реверберационной камере, которое, в свою очередь, определяется характеристиками камеры и размещенного в ней источника (направленности излучения, спектрального состава шума и др.).

c) Шаг 3

На основе полученной при выполнении шага 2 оценки $s_M$ по таблице 3 находят соответствующие значения минимально необходимого числа точек измерений $N_M$ и положения источника $N_S$ для каждой

октавной полосы и для широкой полосы частот с коррекцией по характеристике А, которые обеспечивают точность измерений в соответствии с таблицей 5.

Поскольку $s_M$ определено по шести измерениям, минимальное значение $N_M$ будет равно шести. Если испытания проводят друг за другом сразу для нескольких образцов источника шума, то допускается для всех образцов, кроме первого, использовать меньшее значение $N_M$. Но это возможно только в том случае, если испытуемые образцы идентичны не только по геометрии, но и по спектру излучаемого шума.

Таблица 3 — Минимальное число точек измерений и положений источника

| $s_M$, дБ | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц, или коррекция по А | Число точек измерений $N_M$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 3 | 6 | 12 |
| | | Минимальное число положений источника $N_S$ | | |
| $s_M < 2,3$ | От 125 до 8000, коррекция по А | 1 | 1 | 1 |
| $2,3 \le s_M \le 4$ | 125 | 1 | 1 | 1 |
| | 250, 500 и коррекция по А | 2 | 2 | 1 |
| | От 1000 до 8000 | 2 | 1 | 1 |
| $s_M > 4$ | 125 | 3 | 2 | 2 |
| | 250 и коррекция по А | 4 | 3 | 2 |
| | 500 | 4 | 2 | 2 |
| | От 1000 до 8000 | 3 | 2 | 1 |
| Примечание — Для каждого положения источника измеряют средний квадрат звукового давления. | | | | |

### 9.5 Критерии неоднородности спектрального состава шума

Неоднородность состава шума может быть оценена по значению $s_M$, дБ. В предлагаемом критерии рассматриваются три диапазона значений $s_M$, которые могут свидетельствовать о наличии в спектре шума узкополосных и дискретных составляющих:

a) если $s_M > 4$, то в рассматриваемой октавной полосе весьма вероятно наличие дискретных тонов;

b) выполнение неравенств $2,3 \le s_M \le 4$ дБ может свидетельствовать о наличии в рассматриваемой октавной полосе узкополосных шумов;

c) при $s_M < 2,3$ спектр шума в рассматриваемой полосе будет иметь преимущественно равномерное распределение.

Ожидаемое наличие в излучаемом шуме узкополосных и дискретных составляющих должно быть отражено в протоколе испытаний.

### 9.6 Метод усреднения сканированием микрофона

#### 9.6.1 Общие положения

Зачастую сканирование одним микрофоном по траектории заданной формы (прямой, дуге окружности и т. п.) с постоянной скоростью проще в реализации, чем измерение несколькими микрофонами в фиксированных позициях.

#### 9.6.2 Длина траектории для непрерывного усреднения

Минимальную длину траектории, представляющей собой прямую линию или отрезок дуги, вдоль которой выполняют непрерывное усреднение эквивалентного уровня звукового давления, определяют по формуле

$$l = \frac{\lambda}{2} N_M. \quad (6)$$

Если усреднение осуществляют вдоль окружности или по сторонам прямоугольника, то минимальную площадь $A$, которую должна охватить траектория движения микрофона, вычисляют по формуле

$$A = \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 N_M. \quad (7)$$

В формулах (6) и (7) $\lambda$ — длина звуковой волны, соответствующая среднегеометрической частоте октавной полосы, в которой проводят измерения.

Значение $s_M$ (см. таблицу 3) может быть определено по измерениям среднего квадрата звукового давления в шести точках, расположенных на траектории и отстоящих друг от друга не менее чем на $\lambda/2$.

Для измерений с применением частотной коррекции А берут $\lambda$ = 3,5 м.

**9.6.3 Расположение траектории в пределах реверберационной камеры**

Все точки траектории должны удовлетворять требованиям 9.3.

Если траектория или ее часть лежат в одной плоскости, то угол между этой плоскостью и любой из внутренних поверхностей камеры должен быть не менее 10°.

**9.6.4 Скорость сканирования**

Микрофон должен двигаться вдоль траектории с постоянной скоростью. Частота повторения сканирования микрофоном (или фиксированной решеткой микрофонов) должна быть связана с временем интегрирования или постоянной времени измерительной системы. В случае применения экспоненциального усреднения период сканирования не должен превышать постоянную времени более чем вдвое. При использовании интегрирующего устройства один период сканирования должен быть равен времени интегрирования. Общая продолжительность измерений — в соответствии с 9.2.

### 9.7 Применение микрофонной решетки

Если измерения проводят с применением микрофонов, установленных в фиксированных точках, то сами микрофоны и их соединительные кабели должны удовлетворять требованиям 7.2.

Необходимое число микрофонов определяют согласно 9.4, а точки их расположения — по 9.3.

Если микрофонная решетка или ее часть лежат в одной плоскости, то угол между этой плоскостью и любой из внутренних поверхностей камеры должен быть не менее 10°.

При получении сигнала с микрофонов и формировании выборки следует руководствоваться требованиями 9.2.

### 9.8 Коррекция на фоновый шум

Влияние фонового шума на результаты измерений эквивалентных уровней звукового давления в октавных полосах частот следует исключить внесением коррекций согласно таблице 4. Если разность между измеряемым эквивалентным уровнем звукового давления и эквивалентным уровнем звукового давления фонового шума менее 4 дБ, то требуемая в соответствии с настоящим стандартом точность измерений достигнута быть не может. В этом случае результаты измерений регистрируют с пометкой, что требования настоящего стандарта к уровню фонового шума не соблюдены.

Таблица 4 — Коррекция на фоновый шум

| Разность между эквивалентными уровнями звукового давления при работающем и неработающем источнике шума, дБ | Применяемая коррекция (вычитаемая поправка) на фоновый шум, дБ |
|---|---|
| 4 | 2 |
| 5 | 2 |
| 6 | 1 |
| 7 | 1 |
| 8 | 1 |
| 9 | 0,5 |
| 10 | 0,5 |
| Более 10 | 0 |

## 10 Расчет уровней звуковой мощности

### 10.1 Расчет среднего эквивалентного уровня звукового давления

По результатам измерений эквивалентных уровней звукового давления в каждой октавной полосе частот или в широкой полосе частот с применением коррекции по А рассчитывают средний эквивалентный уровень звукового давления $\overline{L_p}$, дБ, по формуле

$$\overline{L_p} = 10\lg\left[\frac{1}{n}\left(10^{0,1L_{p1}} + 10^{0,1L_{p2}} + ... + 10^{0,1L_{pn}}\right)\right], \quad (8)$$

где $L_{p1}$ — эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе частот или с коррекцией по А для 1-го измерения, дБ;

$L_{pn}$ — эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе частот или с коррекцией по А для $n$-го измерения, дБ;

$n$ — общее число повторных измерений в полосе частот или с коррекцией по А.

### 10.2 Прямой метод расчета уровней звуковой мощности

Уровень звуковой мощности $L_W$ (относительно опорного значения 1 пВт), дБ, в октавной полосе или с коррекцией по характеристике А рассчитывают по формуле

$$L_W = \overline{L_p} - 10\lg\frac{T_{nom}}{T_0} + 10\lg\frac{V}{V_0} - 13, \quad (9)$$

где $\overline{L_p}$ — средний эквивалентный уровень звукового давления в октавной полосе или в широкой полосе частот с применением коррекции А, дБ;

$T_{nom}$ — номинальное время реверберации камеры (см. 6.3), с;

$T_0 = 1$ с;

$V$ — объем реверберационной камеры, м$^3$;

$V_0 = 1$ м$^3$.

Примечание — Вычитаемая поправка 13 дБ (вместо 14 дБ, встречающихся в других стандартах) и время реверберации внесены в формулу (9) для учета повышения плотности звуковой энергии вблизи внутренних поверхностей реверберационной камеры и у поверхности источника.

Понижение атмосферного давления приводит к смещению уровня звуковой мощности. Если измерения выполняют на высоте свыше 500 м, то их результаты должны быть приведены к уровню звуковой мощности $L_{W\,ref,atm}$, соответствующему статическому давлению 101, 325 кПа и температуре атмосферного воздуха 23,0 °С в соответствии с приложением Е.

### 10.3 Определение уровней звуковой мощности методом сравнения

При выполнении измерений методом сравнения образцовый источник шума, удовлетворяющий требованиям приложения А, размещают на полу реверберационной камеры на расстоянии не менее 1,5 м от ее стен. Минимальное расстояние между источником и измерительными микрофонами — в соответствии с 9.3.

Согласно процедуре, описанной в 10.1, определяют создаваемый образцовым источником шума средний эквивалентный уровень звукового давления в каждой октавной полосе частот $L_{pr}$ с использованием не менее шести точек измерений с учетом коррекции на фоновый шум по 9.8 (при необходимости).

После этого рассчитывают уровень звуковой мощности испытуемого источника $L_{We}$ (относительно опорного значения 1 пВт), дБ, в каждой октавной полосе диапазона частот измерений, выполняя следующие действия:

a) вычитают полученное значение $L_{pr}$ из известного номинального значения уровня звуковой мощности образцового источника шума, определенного при его калибровке;

b) добавляют полученную разность к результату измерения эквивалентного уровня звукового давления испытуемого источника шума после его коррекции на фоновый шум $L_{pe}$, т. е.

$$L_{We} = L_{pe} + (L_{Wr} - L_{pr}), \quad (10)$$

где $L_{pe}$ — средний эквивалентный уровень звукового давления испытуемого источника шума в октавной полосе частот (относительно опорного значения 20 мкПа), дБ;

$L_{Wr}$ — номинальный уровень звуковой мощности образцового источника шума в октавной полосе частот (относительно опорного значения 1 пВт), дБ;

$L_{pr}$ — средний эквивалентный уровень звукового давления образцового источника шума в октавной полосе частот (относительно опорного значения 20 мкПа), дБ.

Понижение атмосферного давления приводит к смещению уровня звуковой мощности. Если измерения выполняют на высоте свыше 500 м, то их результаты должны быть приведены к уровню звуковой мощности $L_{W\,\mathrm{ref,atm}}$, соответствующему барометрическому давлению 101, 325 кПа и температуре атмосферного воздуха 23,0 °С, в соответствии с приложением Е.

### 10.4 Определение корректированного по А уровня звуковой мощности методом сравнения

Расчет корректированного по А уровня звуковой мощности испытуемого источника шума по результатам измерений, выполненных в соответствии с 10.3, выполняют в соответствии с приложением F.

## 11 Неопределенность измерения

### 11.1 Методология

В настоящем стандарте стандартная неопределенность для уровня звуковой мощности $u(L_W)$ определяется через оценку стандартного отклонения $\sigma_{tot}$ распределения измеряемой величины, т. е.

$$u(L_W) \approx \sigma_{tot}. \tag{11}$$

Стандартное отклонение $\sigma_{tot}$ получают на основе закона распространения неопределенности по ISO/IEC Guide 98-3 с использованием упрощенной модели измерения, входные величины которой оцениваются на основе измерений, включая межлабораторный эксперимент.

С учетом данной модели стандартное отклонение $\sigma_{tot}$ может быть выражено через стандартное отклонение воспроизводимости метода $\sigma_{R0}$ и стандартное отклонение $\sigma_{omc}$, характеризующее нестабильность условий работы и установки испытуемого источника шума, по формуле

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{omc}^2}\,. \tag{12}$$

Из формулы (12) видно, что прежде, чем выбрать метод измерений заданного класса точности (характеризуемого значением $\sigma_{R0}$) для данного семейства машин, необходимо учесть возможный разброс результатов, обусловленный изменениями условий работы и установки этих машин (см. 11.3 и D.3).

Примечание — Результаты измерений, выполненных разными методами, установленными базовыми стандартами ISO 3741, ISO 3743-1, ISO 3745, а также [4] — [6], могут быть смещены друг относительно друга.

Расширенную неопределенность $U$ определяют через общее стандартное отклонение $\sigma_{tot}$ по формуле

$$U = k\sigma_{tot}, \tag{13}$$

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 $[L_W + U]$ будет соответствовать 95 % площади под кривой плотности распределения случайной величины.

Если полученное в результате измерений значение уровня звуковой мощности 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 %, следует использовать коэффициент охвата $k$ = 1,6.

### 11.2 Определение $\sigma_{omc}$

Стандартное отклонение $\sigma_{omc}$ [см. формулу (D.1)], характеризующее неопределенность, связанную с нестабильностью воспроизведения условий работы и установки источника шума, может давать существенный вклад в неопределенность измерения уровня звуковой мощности. Для получения оценки $\sigma_{omc}$ 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. Точкой измерений может быть выбрана та, где эквивалентный уровень звукового давления максимален. Другим вариантом будет усреднение в

каждом повторном измерении по всем точкам измерений. 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 $\sigma'_{omc}$. В соответствующем испытательном коде по шуму может быть приведена оценка $\sigma_{omc}$ для соответствующего семейства машин. Можно ожидать, что такая оценка 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 $\sigma_{omc}$ 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 $\sigma_{omc}$ 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.

### 11.3 Определение $\sigma_{R0}$

#### 11.3.1 Общие положения

Стандартное отклонение $\sigma_{R0}$ 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 $\sigma_{omc}$).

Обобщение накопленного к данному времени опыта испытаний позволило установить оценки $\sigma_{R0}$, которые приведены в таблице 5. 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. 11.3.2) или путем использования математического моделирования (см. 11.3.3). Такие оценки приводят в испытательных кодах по шуму для машин конкретных видов (см. 11.2 и приложение D).

#### 11.3.2 Межлабораторный эксперимент

Межлабораторный эксперимент для определения $\sigma_{R0}$ 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 $\sigma'_{tot}$ 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 $\sigma'_{tot}$, дБ, включает в себя оценку $\sigma'_{omc}$, дБ, что позволяет получить оценку $\sigma'_{R0}$ по формуле

$$\sigma'_{R0} = \sqrt{\sigma'^2_{tot} - \sigma'^2_{omc}}\,. \tag{14}$$

Если оценки $\sigma'_{R0}$, полученные в результате измерений для разных экземпляров источника шума данного вида, незначительно отличаются между собой, то их среднее можно рассматривать как оценку $\sigma_{R0}$ для всех источников шума данного вида в измерениях, проводимых в соответствии с настоящим стандартом. Такую оценку (вместе с оценкой $\sigma_{omc}$) 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 $\sigma_{R0}$ 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 5.

Оценки $\sigma_{R0}$, полученные по формуле (14), будут обладать низкой достоверностью, если $\sigma_{tot}$ лишь незначительно превышает $\sigma_{omc}$. Оценки $\sigma_{R0}$ будут достаточно надежными только в том случае, если $\sigma_{omc}$ не превышает $\sigma_{tot}/\sqrt{2}$.

**11.3.3 Расчет $\sigma_{R0}$ на основе математической модели**

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

$$\sigma_{R0} \approx \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + \ldots + (c_n u_n)^2}. \quad (15)$$

В формулу (15) не входят неопределенности, связанные с нестабильностью излучения источника (поскольку они учтены в $\sigma_{omc}$). Источники неопределенности, дающие вклад в общую неопределенность измерения уровня звуковой мощности, рассматриваются в приложении D.

Примечание — Если источники неопределенности, входящие в модель измерений, коррелированы, то формулу (15) применять нельзя. Кроме того, расчет на основе математической модели требует дополнительной информации, чтобы определить вклады $c_i u_i$ всех составляющих в формуле (15).

В противоположность этому оценки $\sigma_{R0}$, получаемые в результате межлабораторных экспериментов, не требуют каких-либо дополнительных предположений о возможной корреляции источников неопределенности, входящих в формулу (15). 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.

### 11.4 Типичные оценки $\sigma_{R0}$

В таблице 5 приведены типичные оценки сверху стандартного отклонения $\sigma_{R0}$ для технических методов измерения шума, которые могут применяться для большинства измерений, проводимых в соответствии с настоящим стандартом (см. [15], [16]). 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 $\sigma_{R0}$ должно быть меньше значений, приведенных в таблице 5, для уточнения оценки $\sigma_{R0}$ рекомендуется проведение межлабораторного эксперимента.

Таблица 5 — Типичные оценки сверху стандартного отклонения $\sigma_{R0}$ для октавных полос и измерений с коррекцией по А в соответствии с настоящим стандартом

| Полоса частот измерений | Среднегеометрическая частота, Гц | Стандартное отклонение воспроизводимости, $\sigma_{R0}$, дБ |
|---|---|---|
| Октава | 125 | 5,0 |
| | 250 | 3,0 |
| | От 500 до 4000 | 2,0 |
| | 8000 | 3,0 |
| Широкая полоса частот с коррекцией по А | | 2,0[a] |
| [a] Применительно к источникам, излучающим шум со сравнительно плоским спектром в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами от 125 до 8000 Гц. | | |

### 11.5 Стандартное отклонение $\sigma_{tot}$ и расширенная неопределенность $U$

Стандартное отклонение $\sigma_{tot}$ и расширенную неопределенность $U$ рассчитывают по формулам (12) и (13) соответственно.

***Пример — В результате измерений техническим методом (класс точности 2) получено $L_{WA}$ = 82 дБ при $\sigma_{omc}$ = 2,0 дБ. Межлабораторный эксперимент с целью определения $\sigma_{R0}$ для машин данного вида не***

***проводился, поэтому использовано значение $\sigma_{R0}$ из таблицы 5 ($\sigma_{R0}$ = 2,0 дБ). По формулам (12) и (13) с использованием k = 2 получаем:***

$$U = 2\sqrt{2^2 + 2^2} = 5{,}7\ (\text{дБ}). \qquad (16)$$

Дополнительные примеры расчета $\sigma_{tot}$ приведены в D.3.

Примечание — Расширенная неопределенность, определяемая по формуле (13), не включает в себя стандартное отклонение производства, использованное в [7] в целях определения и декларирования шумовой характеристики для партии машин.

## 12 Регистрируемая информация

### 12.1 Общие положения

Для всех измерений, выполненных в соответствии с настоящим стандартом, должна быть получена и зарегистрирована информация, указанная в 12.2—12.5.

### 12.2 Испытуемый источник шума

Приводят следующие данные об испытуемом источнике шума:

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

b) условия работы во время измерений;

c) условия установки в реверберационной камере и способ крепления;

d) расположение(я) в реверберационной камере во время испытаний;

e) условия работы разных шумоизлучающих элементов во время измерений, если испытуемый объект включает в себя несколько источников шума.

### 12.3 Реверберационная камера

Приводят следующие данные:

a) описание реверберационной камеры, включая ее габаритные размеры, характеристики покрытия внутренних поверхностей камеры (пола, стен, потолка);

b) схему реверберационной камеры с указанием места установки испытуемого источника шума и расположения оборудования реверберационной камеры;

c) результаты проверки пригодности камеры для проведения испытаний в соответствии с настоящим стандартом (см. 6.7);

d) температуру воздуха, °С, относительную влажность воздуха, %, статическое атмосферное давление, кПа, в реверберационной камере во время измерений.

### 12.4 Средства измерений

Приводят следующие данные о средствах измерений:

a) используемое оборудование с указанием изготовителя, наименования, типа, порядковый номер по системе нумерации изготовителя;

b) полосу измерений частотного анализатора;

c) частотную характеристику измерительной системы;

d) дату и место калибровки микрофона(ов), метод проверки калибровки;

e) сведения о калибровке образцового источника шума (см. 6.7).

### 12.5 Метод и результаты измерений

Приводят следующие данные:

a) расположение точек измерений или траекторий сканирования микрофоном (с приложением, при необходимости, схем);

b) применяемые коррекции в каждой полосе частот (на частотную характеристику микрофона, частотную характеристику фильтра, фоновый шум), в дБ;

c) уровни звуковой мощности (относительно опорного значения 1пВт) в каждой октавной полосе частот и корректированный по А (относительно опорного значения 1 пВт), в дБ;

d) корректированные уровни звуковой мощности с округлением до половины децибела;

e) дату и время проведения измерений;

f) результаты субъективного восприятия характера излучаемого шума (наличие слышимых тонов, импульсность, спектральный состав, изменчивость и т. п.).

## 13 Протокол испытаний

Указывают зарегистрированную в соответствии с разделом 12 информацию, необходимость приведения которой в протоколе испытаний вытекает из целей измерений. Указывают, получены ли результаты определения уровней звуковой мощности в полном соответствии с требованиями настоящего стандарта. Указывают единицу измерения уровня звуковой мощности (децибел относительно опорного значения 1 пВт).

**Приложение А**
**(обязательное)**

## Характеристики образцового источника шума и его калибровка

### А.1 Характеристики образцового источника шума

А.1.1 Характеристики образцового источника шума должны удовлетворять требованиям по А.1.2 — А.1.6.

А.1.2 Шум, излучаемый образцовым источником шума, должен быть широкополосным по своей природе без дискретных частотных составляющих (тонов), т. е. эквивалентный уровень звукового давления в каждой полосе шириной 1/10 октавы должен быть не менее чем на 5 дБ ниже эквивалентного уровня звукового давления соответствующей октавы.

А.1.3 Установка образцового источника шума должна исключать передачу вибрации на опорную конструкцию.

А.1.4 Показатель направленности образцового источника шума в каждой 1/3-октавной полосе частот не должен превышать 6 дБ в диапазоне частот от 100 до 10 000 Гц.

А.1.5 Габаритные размеры образцового источника шума должны быть малы (желательно не более 0,5 м).

А.1.6 Уровень звуковой мощности в каждой полосе частот должен оставаться неизменным во времени в пределах допусков по таблице А.1 на весь срок службы.

### А.2 Калибровка образцового источника шума

Уровень звуковой мощности образцового источника шума должен быть определен в октавных и 1/3-октавных полосах частот с точностью, указанной в таблице А.1. При калибровке установленный на полу образцовый источник шума должен работать так же, как при обычном применении.

Таблица А.1 — Допуски при калибровке образцового источника шума

| Среднегеометрические частоты 1/3-октавных полос, Гц | Допуск, дБ |
|---|---|
| От 100 до 160 | ±1 |
| От 200 до 4000 | ±0,5 |
| От 5000 до 10 000 | ±1 |
| Примечание — Указанные допуски обеспечивают при калибровке образцового источника шума по ISO 3745 или ISO 6926. | |

## Приложение В
## (рекомендуемое)

## Рекомендации по проектированию реверберационных камер

### В.1 Общие положения

Для проведения измерений в соответствии с требованиями настоящего стандарта испытуемый источник шума (машина, устройство или узел) должен быть установлен в реверберационной камере, отвечающей требованиям раздела 6. Эти требования могут быть реализованы разными способами, некоторые из которых рассмотрены в настоящем приложении.

### В.2 Размеры и форма камеры

Минимальный объем реверберационной камеры должен составлять 70 м$^3$. Камера должна обеспечивать создание условий реверберационного звукового поля для всех частотных полос в диапазоне частот измерений. Это означает, что нормальные моды звуковых колебаний в помещении должны быть равномерно распределены по диапазону частот измерений, что может быть достигнуто при выборе отношения размеров камеры в форме прямоугольного параллелепипеда в соответствии с рекомендациями таблицы В.1. Указанные в таблице В.1 отношения не являются обязательными, но в любом случае они не должны быть равны или близки к целым числам или к рациональным числам в виде правильной дроби с малыми значениями в числителе и знаменателе.

Таблица В.1 — Рекомендуемые отношения размеров камеры в форме прямоугольного параллелепипеда

| $l_y/l_x$ | $l_z/l_x$ |
|---|---|
| 0,83 | 0,47 |
| 0,83 | 0,65 |
| 0,79 | 0,63 |
| Примечание — $l_x$, $l_y$, $l_z$ — размеры камеры. | |

При соблюдении отношений размеров, указанных в таблице В.1, обычно удается добиться высокой точности измерений в камерах объемом более 70 м$^3$.

### В.3 Звукопоглощение в камере

Обычно под реверберационную камеру используют помещение с жесткими (например, бетонными) стенами, у которых время реверберации на низких и средних частотах слишком высоко. Чтобы его уменьшить до рекомендуемых значений, стены и потолок облицовывают звукопоглощающими материалами.

Для получения испытательного помещения с требуемыми свойствами в области средних и высоких частот, как правило, применяют перфорированные панели с вставками из минеральной ваты. Информацию о звукопоглощающих свойствах таких материалов обычно можно получить у изготовителей или в испытательных лабораториях.

Подходящим звукопоглотителем на низких частотах может быть конструкция мембранного типа, состоящая, например, из деревянного каркаса, обшитого панелями из ДВП высокой плотности (ХДФ) и заполненного внутри минеральной ватой. Для поглотителей такого типа приближенное значение частоты $f$, Гц, на которой достигается максимум звукопоглощения, можно определить по формуле

$$f \approx 60(l \cdot \rho_A)^{-1/2}, \quad (B.1)$$

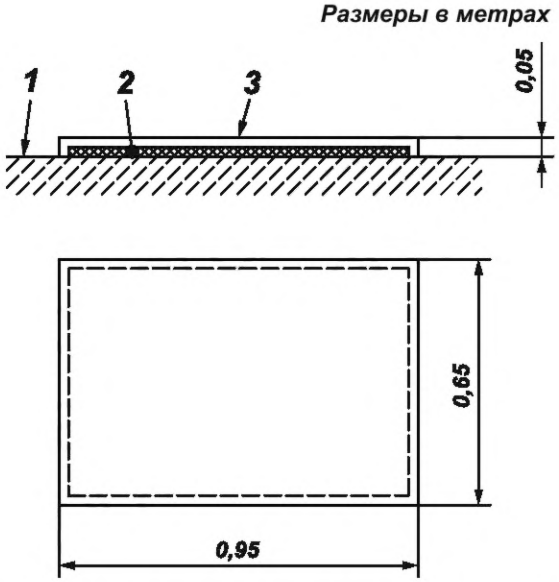
где $l$ — расстояние от панели ХДФ до стен, м;

$\rho_A$ — плотность материала ХДФ, кг/м$^2$.

***Пример — Характеристика звукопоглощения элемента, изображенного на рисунке В.1 и состоящего из деревянного каркаса 0,95 × 0,65 × 0,05 м, обшитого 4-миллиметровой панелью ХДФ с номинальной поверхностной плотностью 3,5 кг/м$^2$, показана на рисунке В.2***

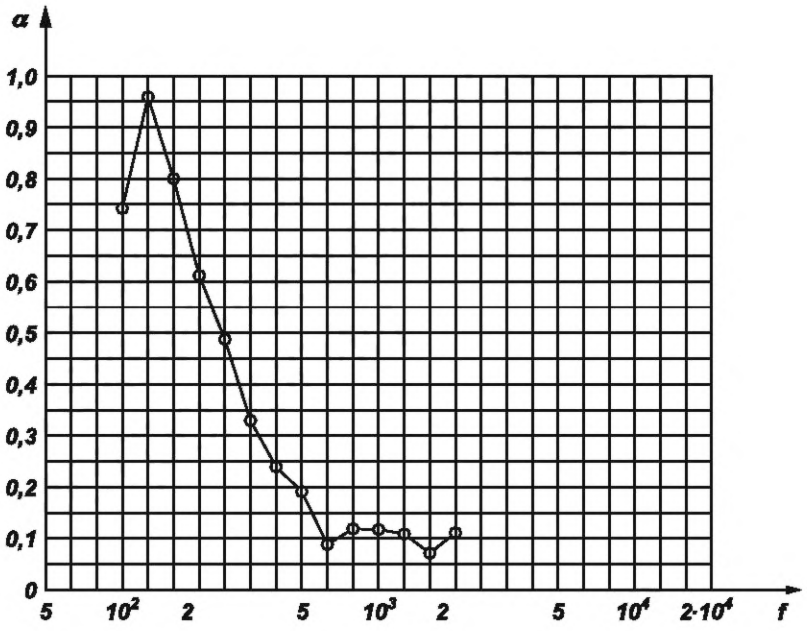
***Звукопоглощающие элементы случайным образом распределены по поверхностям стен и потолка реверберационной камеры. Площадь каждого такого элемента не превышает 1,5 м$^2$, при этом соблюдены требования 6.4. Получить желаемую кривую звукопоглощения можно на основе измерений времени реверберации.***

***Пол реверберационной камеры отражает звук во всем диапазоне частот измерений. Обычно пол из залитого бетона считают удовлетворяющим требованиям 6.4.***




*1 — стена; 2 — слой минеральной ваты; 3 — панель ХДФ*

***Рисунок В.1 — Мембранный звукопоглотитель из ХДФ***




*f — частота, Гц; α — коэффициент звукопоглощения*

***Рисунок В.2 — Коэффициент звукопоглощения для мембранного звукопоглотителя в реверберационном помещении объемом 200 м$^3$***

**В.4 Звукоизоляция**

Камера должна быть изолирована от внешнего шума и вибрации таким образом, чтобы были выполнены требования 6.5 для испытуемого источника шума. Для оборудования реверберационной камеры обычно не используют помещения с окнами, поскольку прохождение звука и вибрации через окно, как правило, сопровождается малыми потерями.

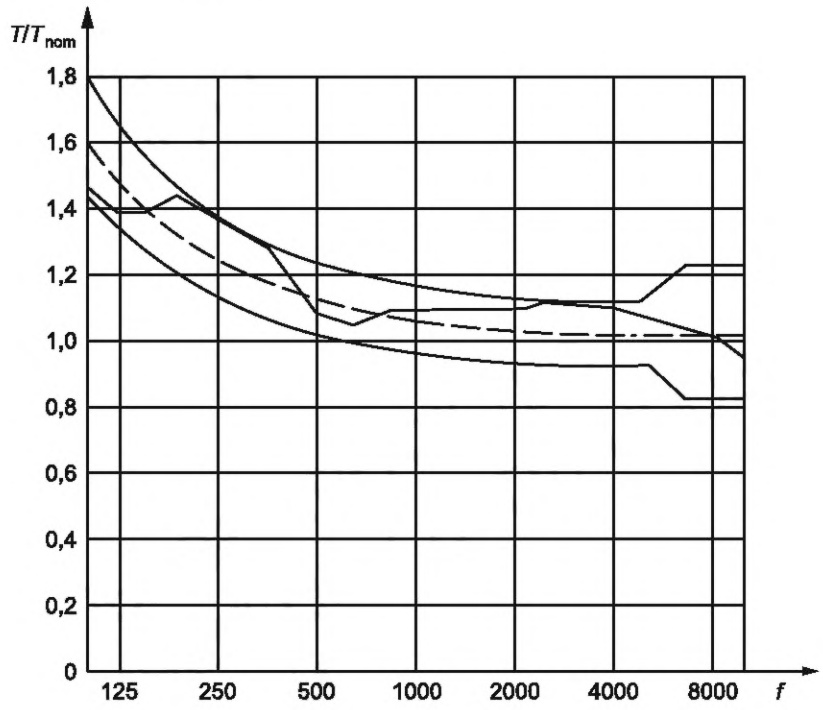
Если испытанию подлежат источники шума с малым уровнем звуковой мощности (например, домашний холодильник), то для них могут потребоваться специальные конструктивные решения, например в виде двойных стен и потолка. При этом особое внимание должно быть уделено наличию вблизи проектируемой реверберационной камеры внешних источников шума и вибрации.

### В.5 Пример определения номинального времени реверберации помещения

Понятие номинального времени реверберации $T_{nom}$ и предельные значения для отношения времени реверберации $T$ к номинальному времени реверберации определены в 6.3. Отношение $T/T_{nom}$ и его предельные значения зависят от частоты [см. формулу (1)]. На рисунке В.3 кривые этих зависимостей показаны для объема реверберационной камеры 70 м$^3$. Из теоретической зависимости, описанной формулой (1), следует, что

$$T_{nom} = \frac{T_{1000}}{1,06}, \qquad (B.2)$$

где $T_{1000}$ — время реверберации на частоте 1000 Гц, а коэффициент 1,06 представляет собой значение параметра реверберации $R$ на частоте 1000 Гц.




$f$ — частота, Гц; $T/T_{nom}$ — время реверберации, нормированное на $T_{nom}$

Примечание — Штриховой кривой показана теоретическая зависимость времени реверберации по формуле (1). На графике представлена также кривая экспериментальных данных из рисунка В.4, центрированная в «коридоре» кривых предельных значений.

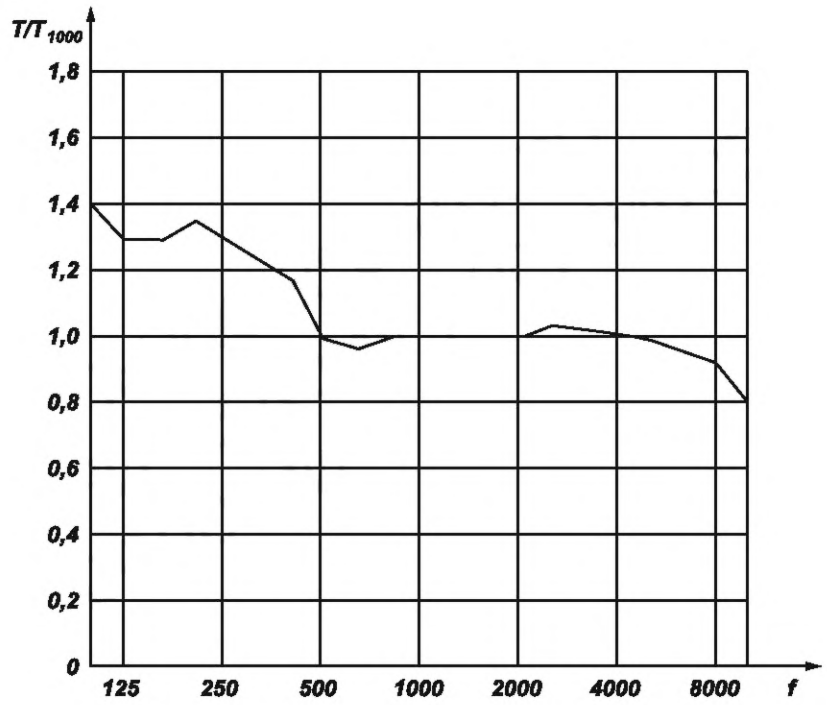
Рисунок В.3 — Кривые предельных значений $T/T_{nom}$ для реверберационной камеры объемом 70 м$^3$

На практике в результате измерений времени реверберации в разных октавных полосах получают экспериментальную кривую зависимости этой величины (нормированной на $T_{1000}$) от частоты, после чего данную кривую сдвигают по оси ординат (центрируют) таким образом, чтобы она размещалась посередине «коридора», образованного кривыми для двух предельных значений.

***Пример — Измеренное на частоте 1000 Гц время реверберации $T_{1000}$ = 0,8 с. График экспериментальной зависимости $T/T_{1000}$, построенной по результатам измерений времени реверберации на среднегеометрических частотах других третьоктавных полос, показан на рисунке В.4. Центрирование графика привело к тому, что при сохранении нормирования на частоте 1000 Гц, $T/T_{1000}$ = 1, смещенному графику будет соответствовать отношение $T/T_{nom}$ = 1,09.***

***В результате цепочки преобразований получаем следующее:***

$$\frac{T/T_{1000}}{T/T_{nom}} = \frac{1}{1,09} \quad или \quad \frac{T}{T_{nom}} = 1,09\frac{T}{T_{1000}}, \quad или \quad T_{nom} = \frac{T_{1000}}{1,09} = \frac{0,8}{1,09} = 0,73 \text{ (с)}.$$




*f — частота, Гц; $T/T_{1000}$ — время реверберации, нормированное на $T_{1000}$*

***Рисунок В.4 — Экспериментальная кривая времени реверберации, нормированного на $T_{1000}$***

Если график экспериментальной зависимости не удается центрировать в «коридоре» предельных значений, то в конструкцию реверберационной камеры следует внести изменения, чтобы соответствующим образом изменить время реверберации.

## Приложение С
## (справочное)

## Измерительные системы

### С.1 Общие положения

В общем случае измерительная система включает в себя микрофон, усилитель с фильтрами, схемы возведения в квадрат и усреднения сигнала, а также показывающее устройство. Существуют разные аналоговые и цифровые способы обработки, позволяющие на выходе получить средний квадрат входного сигнала, включая применение квадратичных детекторов и интегрирующих RC-цепей. Эти способы рассмотрены в С.2 — С.5.

### С.2 Шумомер с экспоненциальным усреднением

Многие аналоговые устройства, включая шумомеры, удовлетворяющие требованиям IEC 61672-1, используют интегрирующие RC-цепи.

При использовании временной коррекции S шумомера постоянная времени с учетом RC-цепи составит 1 с. Если флуктуации сигнала не превышают 5 дБ, то показывающее аналоговое устройство отобразит приближенное значение среднего квадрата уровня звукового давления.

Для применения измерительной системы в соответствии с настоящим стандартом микрофон, входящий в комплект поставки шумомера, следует заменить микрофоном с плоской частотной характеристикой, калиброванным в диффузном звуковом поле. Подходящим выбором будет микрофон конденсаторного типа диаметром 13 мм. Микрофон и его предусилитель (при наличии) устанавливают в реверберационной камере и соединяют с шумомером посредством сигнального кабеля, удовлетворяющего требованиям 7.2. Калибровка должна быть выполнена для всей цепи: микрофон — предусилитель — сигнальный кабель — шумомер.

Шумомер, так же как и лицо, проводящее измерения, должен находиться в помещении, соседнем с реверберационной камерой. Для проведения измерений устанавливают временную коррекцию S.

Если флуктуации превышают 5 дБ, то рекомендуется использовать другие аналоговые измерительные системы с бóльшим временем интегрирования.

### С.3 Аналоговое устройство с линейным усреднением

Существуют аналоговые устройства, позволяющие реализовать линейное усреднение в соответствии с формулой

$$e_{\mathrm{rms}} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T e_0^2(t)\,\mathrm{d}t \right]^{1/2}, \qquad \text{(С.1)}$$

где $e_0(t)$ — сигнал на выходе фильтра.

Операции возведения в квадрат и извлечения квадратного корня обычно требуют применения нелинейных аналоговых устройств. Интегрирование может быть реализовано либо преобразованием $e_0^2(t)$ в ток с последующим накоплением заряда на конденсаторе, либо подсчетом числа циклов сигнала, чья частота пропорциональна $e_0^2(t)$.

### С.4 Цифровые системы

Среднеквадратичное значение аналогового сигнала с микрофона может быть получено после его оцифровки и цифрового преобразования выборки. Частота выборки может быть

a) высокой по сравнению с максимальной частотой сигнала на выходе микрофона (с фильтром);

b) относительно низкой по сравнению с максимальной частотой сигнала микрофона для обеспечения статистической независимости данных в выборке.

В любом случае выходной сигнал детектора после заданного времени интегрирования должен быть в пределах 3 % истинного среднеквадратичного значения для всех частот в пределах диапазона частот измерений.

### С.5 Самописцы уровня

Самописцы уровня могут быть использованы либо как устройства, выполняющие функции возведения в квадрат, усреднения и отображения, либо как показывающие устройства.

В первом случае постоянная времени измерительной системы определяется скоростью записи самописца. Поскольку такой самописец представляет собой сложную электромеханическую систему, для него не может быть установлено общее правило определения постоянной времени. Данную характеристику можно узнать у изготовителя прибора.

Если самописец используется только в качестве показывающего устройства, то он будет отображать постоянный сигнал, полученный в результате обработки входного сигнала (возведения в квадрат, усреднения) предшествующими устройствами. В этом случае постоянная времени измерительной системы будет определяться постоянными времени этих устройств.

В любом случае построенная самописцем кривая может рассматриваться в качестве приближенной оценки среднеквадратичного значения сигнала, только если ее флуктуации не превышают 5 дБ. Повышенные флуктуации могут быть легко обнаружены, если измерять узкополосный шум сканирующим микрофоном.

## Приложение D
## (рекомендуемое)

## Руководство по применению информации для расчета неопределенности измерения

### D.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:

- присущие самому методу измерений;
- 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.

Руководство настоящего приложения дополняет положения раздела 11.

### D.2 Стандартное отклонение $\alpha_{tot}$

Характеристикой неопределенности измерения, проводимого в соответствии с настоящим стандартом, является расширенная неопределенность $U$, непосредственно получаемая из стандартного отклонения $\sigma_{tot}$ [см. формулу (13)], которое рассматривается как аппроксимация стандартной неопределенности $u(L_W)$.

В свою очередь, $\sigma_{tot}$ определяется двумя составляющими, $\sigma_{R0}$ и $\sigma_{omc}$ [см. формулу (12)], разными по своей природе.

Оценки $\sigma_{R0}$ и $\sigma_{omc}$ предполагаются статистически независимыми и определяемыми по отдельности.

Стандартное отклонение $\sigma_{omc}$, характеризующее шумоизлучение конкретной машины, не может быть рассчитано теоретически и поэтому определяется экспериментально (см. D.3 и таблицу D.1). Другая составляющая, $\sigma_{R0}$, рассматривается в D.4.

Примечание — Расширенная неопределенность, рассматриваемая в настоящем стандарте, не включает в себя стандартное отклонение производства, использованное в [7] в целях определения и декларирования шумовой характеристики для партии машин.

### D.3 Стандартное отклонение $\sigma_{omc}$

Стандартное отклонение $\sigma_{omc}$, дБ (см. 11.2), рассчитывают по формуле

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

,

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 $\sigma_{omc}$ проводят в точке установки микрофона, где эквивалентный уровень звукового давления максимален. Если используют усреднение по всем точкам измерения, то в формуле (D.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 измерений и зафиксированы в протоколе испытаний.

Ниже приводятся некоторые рекомендации в отношении определения таких условий и их возможного влияния на $\sigma_{omc}$.

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 $\sigma_{omc}$ 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, обусловлен-

ная 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 $\sigma_{omc}$ оценивают по результатам измерений при всех возможных способах установки. При известном влиянии условий установки машины на создаваемый ею шум 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 $\sigma_{tot}$ исследования для определения $\sigma_{omc}$ имеют больший приоритет, чем связанные с определением $\sigma_{R0}$ [см. формулу (12)]. Это связано с тем, что $\sigma_{omc}$ может принимать существенно бóльшие значения, чем стандартное отклонение $\sigma_{R0}$, которое для технического метода измерений, как это следует из таблицы 5, не превышает 1,5 дБ.

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

Таблица D.1 — Примеры расчета $\sigma_{tot}$ для разных соотношений между $\sigma_{omc}$ и $\sigma_{R0}$

| Стандартное отклонение воспроизводимости метода $\sigma_{R0}$, дБ | Стандартное отклонение $\sigma_{tot}$, дБ, для разных условий установки и работы машины, характеризующихся разными значениями $\sigma_{omc}$, дБ | | |
|---|---|---|---|
| | Стабильные | Нестабильные | Очень нестабильные |
| | $\sigma_{omc}$, дБ | | |
| | 0,5 | 2,0 | 4,0 |
| 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 |

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 определяется только значением $\sigma_{R0}$.

### D.4 Стандартное отклонение $\sigma_{R0}$

#### D.4.1 Общие положения

Оценки $\sigma_{R0}$ сверху приведены в таблице 5. Кроме того, в 11.3 приведены рекомендации по проведению исследований для получения более реалистичных оценок $\sigma_{R0}$ 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 (15)], 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 $\sigma_{R0}$, полученное либо в результате межлабораторного эксперимента, либо рассчитанное аналитически на основе модели в условиях ограниченной вариативности (см. 11.3.2).

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 нельзя рассматривать как окончательные, но которые могут быть использованы для ориентировочной оценки вкладов отдельных составляющих неопределенности.

#### D.4.2 Вклад разных источников в $\sigma_{R0}$

D.4.2.1 Общие положения

Предварительные исследования показывают, что измеряемый уровень звуковой мощности $L_{W\,ref,atm}$, дБ, в который внесена поправка на атмосферные условия, может быть представлен следующей зависимостью от влияющих факторов (входных величин):

$$L_{W\,\mathrm{ref,atm}} = \delta_{\mathrm{method}} + \delta_{\mathrm{omc}} + \overline{L_p} - 10\lg\left(\frac{T_{\mathrm{nom}}}{T_0}\right) + 10\lg\left(\frac{V}{V_0}\right) + C_2 + \delta_{\mathrm{slm}} + \delta_{\mathrm{mic}} + \delta_\theta + \delta_H - 13, \qquad (D.2)$$

где $\delta_{\mathrm{method}}$ — входная величина, описывающая влияние применяемого метода измерений, дБ;

$\delta_{\mathrm{omc}}$ — входная величина, описывающая влияние условий установки и работы машины, дБ. Эта величина не включена в расчеты $\sigma_{R0}$ [см. 11.1, формула (12)];

$\overline{L_p}$ — усредненный по времени эквивалентный уровень звукового давления источника шума с внесенной коррекцией на фоновый шум, т. е. $\overline{L_p} = \overline{L'_p} - K_1$, дБ;

$\overline{L'_p}$ — усредненный по времени эквивалентный уровень звукового давления источника шума, полученный в результате измерений, до внесения коррекции на фоновый шум, дБ;

$K_1$ — коррекция на фоновый шум, дБ;

$T_{\mathrm{nom}}$ — номинальное время реверберации в камере, с;

$T_0$ = 1 с;

$V$ — объем реверберационной камеры, м$^3$;

$V_0$ = 1 м$^3$;

$C_2$ — поправка на атмосферные условия, определяемые атмосферным давлением и температурой воздуха, дБ;

$\delta_{\mathrm{slm}}$ — входная величина, описывающая влияние применяемых средств измерений, дБ;

$\delta_{\mathrm{mic}}$ — входная величина, описывающая влияние конечного числа точек измерений и местоположений источника, дБ;

$\delta_\theta$ — входная величина, описывающая флуктуации температуры воздуха в камере, дБ;

$\delta_H$ — входная величина, описывающая флуктуации относительной влажности воздуха в реверберационной камере, дБ.

Примечание 1 — Модель, описываемую формулой (D.2), применяют при измерениях как в полосе частот, так и с коррекцией по частотной характеристике A.

Примечание 2 — Входные величины, включенные в формулу (D.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.

Для установленного настоящим стандартом метода сравнения оценка вклада входных величин в суммарную неопределенность измерения — по ISO 3743-1:2010 (приложение C).

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 $\sigma_{\mathrm{omc}}$. Остальные входные величины в совокупности характеризуются стандартным отклонением $\sigma_{R0}$.

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

Таблица D.2 — Бюджет неопределенности для расчета $\sigma_{R0}$ (для примера измерения прямым методом корректированного по A уровня звуковой мощности источника шума с относительно плоским спектром)

| Входная величина | Оценка входной величины, дБ | Стандартное отклонение $u_i$, дБ | Вид распределения | Коэффициент чувствительности $c_i$ |
|---|---|---|---|---|
| $\delta_{\mathrm{method}}$ | 0 | 0,3 | Нормальное | 1 |
| $\overline{L'_p}$ | $\overline{L'_p}$ | $\frac{u_{L'_{pi,j}}}{\sqrt{N_{\mathrm{M}} N_{\mathrm{S}}}}$ | Нормальное | $1 + \frac{1}{10^{0,1\Delta L_p} - 1}$ |
| $K_1$ | $K_1$ | $s_{L_{p(\mathrm{B})}}$ | Нормальное | $\frac{1}{10^{0,1\Delta L_p} - 1}$ |

*Окончание таблицы D.2*

| Входная величина | Оценка входной величины, дБ | Стандартное отклонение $u_i$, дБ | Вид распределения | Коэффициент чувствительности $c_i$ |
|---|---|---|---|---|
| $C_2$ | $C_2$ | 0,2 | Треугольное | 1 |
| $\delta_{slm}$ | 0 | 0,5 | Нормальное | 1,0 |
| $\delta_{mic}$ | 0 | $\frac{s_M}{\sqrt{N_M N_S}}$ | Нормальное | 1,0 |
| $\delta_\theta$ | 0 | $\Delta\theta/\sqrt{3}$ | Прямоугольное | $\frac{6,5}{273+\theta}+\frac{-0,57+0,25\lg(2,6f)}{1+0,0011H+0,007\theta}$ |
| $\delta_H$ | 0 | $\Delta H/\sqrt{3}$ | Прямоугольное | $\frac{-2,6+1,6\lg(0,7f)}{1+0,5H}$ |
| $V$ | 0 | $u_V$ | Нормальное | $4,3/V$ |
| $T_{nom}$ | 0 | $\sqrt{\frac{2,42\,T}{f}+\frac{s_T^2}{N_{decay}}}$ | Нормальное | $\frac{-4,3}{T_{nom}}-\frac{240\cdot V}{T_{nom}^2\cdot S\cdot c}$ |

Расчет $\sigma_{R0}$ выполнен в предположении, что все входные величины не коррелированы.

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

Пояснения данных таблицы D.2 вместе с численными примерами приведены в D.4.2.2 — D.4.2.11. Формулы для расчета стандартных неопределенностей даны с примерами, позволяющими оценить приблизительный диапазон возможных значений этих величин.

D.4.2.2 Метод измерений ($\delta_{method}$)

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 же 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 $\sigma_{R0}$. Примером может служить применение метода измерений недостаточно квалифицированным или неопытным пользователем.

В предположении, что анализ модели измерения был выполнен правильно и в полном объеме, для частот выше 100 Гц в качестве ориентировочной оценки можно принять $u_{method}$ = 0,3 дБ. На частотах ниже 100 Гц точность метода снижается из-за уменьшения возможностей эффективного размещения микрофонов и уменьшения числа мод акустических колебаний, что затрудняет создание условий реверберационного поля. На таких частотах $u_{method}$ возрастает до 3 дБ.

Смещение, обусловленное методом измерения, непосредственно входит в качестве слагаемого в оценку измеряемой величины, поэтому коэффициент чувствительности $c_{method}$ = 1. В данном примере измерения корректированного по А уровня звуковой мощности типичной оценкой вклада $c_{method}u_{method}$ данного источника в суммарную стандартную неопределенность будет 0,3 дБ.

D.4.2.3 Изменчивость результатов измерений $\left(\overline{L'_p}\right)$

Неопределенность, связанная с изменчивостью результатов измерений для звукового поля, создаваемого испытуемым источником шума при работе в стабильном режиме в постоянных условиях, характеризуется разбросом результатов последовательных измерений. Соответственно, стандартная неопределенность $u_{L'_p}$, дБ, может быть выражена через выборочное стандартное отклонение $s_{L'_p}$ результатов повторных измерений, число которых в данном примере принято равным шести, в одном положении микрофона.

Повторные измерения выполнены в условиях повторяемости, т. е. за короткий промежуток времени в одном месте с использованием одного и того же метода измерений, включая средства измерений, одним и тем же испытателем. При каждом повторном испытании включение и настройку средств измерений выполняют заново.

Коэффициент чувствительности $c_{L'_p}$ представляет собой производную измеряемой величины $L_{W\,\mathrm{ref,atm}}$ по $\overline{L'_p}$ и зависит от уровня фонового шума. Вычисление производной дает $c_{L'_p} = 1 + \dfrac{1}{10^{0{,}1\Delta L_p} - 1}$.

Это выражение может быть упрощено (см. D.4.2.4) до $c_{L'_p} = 1 + c_{K_1}$.

Повторяемость результатов измерений сильно зависит от выбранного времени интегрирования (усреднения). Для наихудшего случая, когда уровень шума совпадает с предельно допустимым значением (см. D.4.2.4), значение коэффициента чувствительности $c_{L'_p} = 1{,}3$. Если время усреднения не позволяет охватить достаточное число циклов работы машины, то суммарная стандартная неопределенность может стать недопустимо большой для технического метода измерений. Увеличение времени усреднения и включение в него целого числа циклов способно привести к значительному уменьшению вклада данного источника неопределенности. Снижение фонового шума позволяет уменьшить значение коэффициента чувствительности и вклада данного источника неопределенности вдвое. Неопределенность, связанная с повторяемостью результатов измерений, обычно мала, и в рассматриваемом примере она полагается равной 0,4 дБ.

D.4.2.4 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 $L_{p(\mathrm{B})}$ в одной точке измерений.

Коэффициент чувствительности $c_{K_1}$ получают, беря производную функции измерения $L_{W\,\mathrm{ref,atm}}$ по $\overline{L_{p(\mathrm{B})}}$. Зависимость $L_{W\,\mathrm{ref,atm}}$ от входных величин, определяемых источником шума, можно записать в виде $\overline{L'_p} + 10\lg\left(1 - 10^{-0{,}1\Delta L_p}\right)$, где $\Delta L_p = \overline{L'_p} - \overline{L_{p(\mathrm{B})}}$. Знак коэффициента чувствительности значения не имеет, поэтому данную величину можно представить в виде

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

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 рассматриваемом примере $u_{K_1}$ предполагается равным 3 дБ. В наихудшем случае максимально допустимого фонового шума разность $\overline{L'_p} - \overline{L_{p(\mathrm{B})}}$ будет равна 4 дБ, что даст значение коэффициента чувствительности $c_{K_1} = 0{,}7$ и вклад $c_{K_1}u_{K_1}$ в суммарную стандартную неопределенность, равный 2,0 дБ. В большинстве случаев за счет поддержания низкого уровня фонового шума данный вклад может быть уменьшен до 1,0 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 время усреднения. В больших помещениях уровень реверберационного поля выше вблизи источника шума, поэтому уменьшить влияние фонового шума можно, располагая микрофон ближе к испытуемому источнику шума.

D.4.2.5 Поправка на атмосферные условия ($C_2$)

Если для расчета уровня звуковой мощности используется поправка $C_2$ (см. приложение Е), то связанную с ней неопределенность можно характеризовать значением $u_{C_2} = 0{,}1$ дБ.

Если измерения проводят на высоте менее 500 м над уровнем моря, то поправку на атмосферные условия не учитывают. При этом на высоте 120 м при температуре воздуха 23 °С значение этой поправки равно нулю, а на высоте 500 м при той же температуре — 0,4 дБ. Приписывая случайной величине, связанной с неучетом поправки, треугольное распределение, получим для нее стандартное отклонение $s_{C_2} = 0{,}4/\sqrt{6} = 0{,}2$ дБ. Данное значение принято за $u_{C_2}$.

Коэффициент чувствительности для данного фактора $c_{C_2}$ равен единице.

Предполагая, что измерения проводятся на высоте менее 500 м над уровнем моря, и не внося поправку на атмосферные условия, получим, что вклад данной составляющей неопределенности равен 0,2 дБ. Этот вклад можно уменьшить, изменив место проведения измерений или учтя поправку на атмосферные условия.

D.4.2.6 Инструментальная неопределенность ($\delta_{\mathrm{slm}}$)

При измерениях звуковой мощности с использованием шумомеров класса 1 стандартную неопределенность $u_{\mathrm{slm}}$, обусловленную применяемым средством измерений, можно принять равной приблизительно 0,5 дБ.

Коэффициент чувствительности для данного фактора $c_{slm}$ равен единице, что дает вклад в суммарную стандартную неопределенность 0,5 дБ. Дополнительная информация о факторах, влияющих на инструментальную неопределенность при использовании шумомера, содержится в IEC 61672-1.

D.4.2.7 Неравномерность распределения эквивалентного уровня звукового давления по испытательному пространству ($\delta_{mic}$)

Стандартную неопределенность $u_{mic}$, связанную с конечным числом точек измерений и мест установки испытуемого источника шума, можно оценить, используя формулу

$$u_{mic} = \frac{s_M}{\sqrt{N_M N_S}}.$$

Коэффициент чувствительности для данного фактора $c_{mic}$ равен единице.

В данном примере предполагается, что измерения проводят с использованием трех микрофонов, а испытуемый источник шума устанавливают в одном-единственном положении. Согласно таблице 3 это допустимо, если стандартное отклонение $s_M$ не превышает 2,3 дБ. Приняв это предельное значение в качестве оценки $s_M$, получим $u_{mic}$ = 1,3 дБ, и вклад данной составляющей неопределенности $c_{mic}u_{mic}$ = 1,3 дБ, однако более типичной оценкой этой величины можно считать 0,8 дБ. Вклад данной составляющей неопределенности можно уменьшить, увеличивая время реверберации помещения, устанавливая в нем акустические рассеиватели звука, увеличивая число точек измерений и мест установки испытуемого источника шума. Дополнительная информация в отношении неопределенности данного вида содержится в ISO 3741.

D.4.2.8 Температура воздуха ($\delta_\theta$)

В рассматриваемом примере предполагается, что изменения температуры $\theta$, °C, попадают в диапазон $\pm\Delta\theta$ и характеризуются прямоугольным распределением в пределах этого диапазона. Тогда стандартная неопределенность $u_\theta$ будет равна стандартному отклонению данного распределения, $u_\theta = \Delta\theta/\sqrt{3}$.

Коэффициент чувствительности $c_\theta$ получают дифференцированием $L_W$ по $\theta$. Формула для $L_W$ взята из ISO 3741 с исключением слагаемого $C_1$. Оценки звукопоглощения в помещении взяты из [12]. Уменьшение давления в звуковой волне при каждом отражении от стены камеры определяют через коэффициент звукопоглощения в помещении $\alpha_{room}$, звукопоглощение в воздухе на единицу пути $\alpha_{dBm}$ и оценку Сэбина среднего пути между двумя последовательными отражениями в помещении $4V/S$, что для помещения объемом от 70 до 200 м$^3$ в среднем составляет приблизительно 3,3 м. В результате формула для оценки $c_\theta$ принимает вид

$$c_\theta = \frac{6,5}{273+\theta} + 17,4\frac{V}{S}\left(1+\frac{1}{\alpha_{room}+4\frac{V}{S}\alpha_{dBm}}\right)\frac{\partial\alpha_{dBm}}{\partial\theta} \approx \frac{6,5}{273+\theta} + \frac{-0,57+0,25\lg(2,6f)}{1+0,0011H+0,007\theta},$$

где $H$ — относительная влажность воздуха в камере, %;

$f$ — максимальная частота, эквивалентный уровень звукового давления для которой оказывает существенное влияние на результат измерения корректированного по А уровня звуковой мощности.

Для испытуемого источника шума коэффициент чувствительности принимает максимальное значение при $f$ = 10 кГц, если испытания проводят в сухом помещении при низкой температуре. Типичным неблагоприятным сценарием можно считать, когда испытуемый источник шума изменяет температуру воздуха в помещении, например, на 10 °C, что дает $u_\theta$ = 2,9 °C. Предполагая, что основная часть излучаемой звуковой энергии сосредоточена в диапазоне до 1000 Гц, при температуре окружающего воздуха 20 °C и относительной влажности 10 %, получаем, что коэффициент чувствительности $c_\theta$ будет равен приблизительно 0,3 дБ/°C, и вклад данного источника неопределенности, $c_\theta u_\theta$ составит 1 дБ. Принятие специальных мер по обеспечению стабильной температуры в испытательном помещении и сохранению условий температурного равновесия или сокращение общего времени измерений позволяет уменьшить эту составляющую неопределенности измерений. При повышении температуры и влажности воздуха коэффициент чувствительности $c_\theta$ начинает слабее зависеть от изменений температуры. В ISO 3741 рекомендуемыми диапазонами изменений являются ±1 °C для температуры и ±3 % для влажности воздуха при температурах ниже 20 °C и при относительной влажности менее 30 %. Для температуры выше 20 °C при относительной влажности выше 50 % такими диапазонами будут ±5 °C и ±10 %. Предполагая, что испытания проводят по достижении в испытательном помещении равновесной температуры, можно принять вклад данной составляющей неопределенности близким к 0,2 дБ.

D.4.2.9 Относительная влажность ($\delta_H$)

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 дифференцированием $L_W$ аналогично D.4.2.8:

$$c_H = \frac{-2,6+1,6\lg(0,7f)}{1+0,5H} \text{ при } H > 10\ \%,$$

где $f$ — максимальная частота, эквивалентный уровень звукового давления для которой оказывает существенное влияние на результат измерения уровня звуковой мощности с коррекцией по частотной характеристике А.

Для испытуемого источника коэффициент чувствительности $c_H$ принимает максимальные значения при $f$, равном 10 кГц, если испытания проводят в сухом помещении. В данном примере предполагается, что основная часть излучаемой звуковой энергии сосредоточена в диапазоне до 1000 Гц. Тогда при относительной влажности 10 % коэффициент чувствительности будет равен приблизительно 0,3. Если при этом относительная влажность изменяется в пределах ±5 %, то вклад данного источника неопределенности, $c_H u_H$, составит 1,0 дБ. Принятие специальных мер по обеспечению стабильности влажности воздуха и сохранению условий ее равновесия в камере или сокращение общего времени измерений позволит уменьшить составляющую неопределенности, связанную с изменением относительной влажности воздуха. При повышении влажности воздуха коэффициент чувствительности $c_H$ начинает слабее зависеть от изменений температуры. В ISO 3741 рекомендуемыми диапазонами изменений относительной влажности воздуха являются от ±3 % при $H$ < 30 % до ±10 % при $H$ > 50 %. Предполагая, что при испытаниях поддерживается стабильная относительная влажность воздуха, можно принять $c_H u_H$ = 0,2 дБ.

D.4.2.10 Объем реверберационной камеры ($V$)

Для камеры в форме прямоугольного параллелепипеда предельные отклонения $\Delta l$ 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.

Согласно ISO 3741 коэффициент чувствительности $c_V$ = 4,3/$V$.

В предположении, что $u_V$, дБ, численно равна 1 % объема камеры, вклад данного источника в суммарную стандартную неопределенность 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.

D.4.2.11 Время реверберации ($T_{\text{nom}}$)

Стандартную неопределенность $u_T$, связанную с временем реверберации в камере, получают из выборочного стандартного отклонения $s_T$ по результатам $N_{\text{decays}}$ измерений времени реверберации $T_{\text{nom}}$, с, по формуле (модифицированной из [1]):

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

где $N_{\text{decays}}$ — общее число измерений времени реверберации (обычно $N_{\text{decays}}$ = 120);

$f$ — среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, Гц.

Коэффициент чувствительности $c_T$ получают дифференцированием $L_W$ по времени реверберации [см. формулу (9)].

Пусть источник производит шум с доминирующей частотой около 500 Гц. Предполагая время реверберации равным минимальному значению 0,5 с по 6.3 и выборочное стандартное отклонение $s_T$ на частоте 500 Гц равным 0,3 с, получим оценку коэффициента чувствительности $c_T$, равную минус 5 дБ/с, и вклад данной составляющей неопределенности $c_T u_T$ = 1,0 дБ. Последнее значение получено для наихудших условий с точки зрения неопределенности измерения. Более типичной оценкой, учитывающей большее время реверберации $T_{\text{nom}}$, а также усреднение по полосам частот при осуществлении коррекции по А, будет 0,1 дБ. Этот вклад можно уменьшить за счет увеличения времени реверберации $T_{\text{nom}}$, большей стабильности затухания звуковой энергии при измерении $s_T$, а также увеличения числа повторений $N_{\text{decays}}$.

D.4.2.12 Типичное значение $\sigma_{R0}$

С учетом полученных оценок входных величин согласно D.4.2.2 — D.4.2.9 и формулы (D.2) можно рассчитать типичное значение $\sigma_{R0}$, дБ, для составляющих, связанных только с испытуемым источником шума:

$$\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i \left(u_i c_i\right)^2} = \sqrt{0{,}3^2 + 0{,}4^2 + 0{,}4^2 + 0{,}2^2 + 0{,}5^2 + 0{,}8^2 + 0{,}2^2 + 0{,}2^2 + 0{,}04^2 + 0{,}1^2} = 1{,}2 \text{ (дБ)}.$$

### D.5 Суммарная стандартная неопределенность

В случае незначительной корреляции между входными величинами суммарную стандартную неопределенность для уровня звуковой мощности $u(L_{W\,\text{ref,atm}})$, дБ, рассчитывают по формуле

$$u\left(L_{W\,\text{ref,atm}}\right) \approx \sigma_{\text{tot}} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{\text{omc}}^2} = \sqrt{\sum_i \left(u_i c_i\right)^2 + \sigma_{\text{omc}}^2}. \qquad \text{(D.3)}$$

### D.6 Использование результатов измерений в условиях воспроизводимости

При отсутствии информации о составляющих неопределенности и возможных корреляциях между входными величинами в качестве суммарной стандартной неопределенности $u(L_{W\,\mathrm{ref,atm}})$ может быть использовано стандартное отклонение воспроизводимости (см. раздел 11). 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 $L_{W\,\mathrm{ref,atm}}$, значение коэффициента охвата будет $k = 2$. Чтобы избежать неправильного толкования, вместе с расширенной неопределенностью в протоколе испытаний следует указывать примененное значение вероятности охвата.

## Приложение Е
## (обязательное)

## Приведение уровня звуковой мощности к нормальным атмосферным условиям

Уровень звуковой мощности, приведенный к нормальным атмосферным условиям статического давления 101,325 кПа и температуры воздуха 23,0 °С, $L_{W\,\mathrm{ref,atm}}$, дБ, рассчитывают по формуле

$$L_{W\,\mathrm{ref,atm}} = L_W + C_2, \tag{E.1}$$

где $L_W$ — уровень звуковой мощности, полученный в условиях испытаний [см. формулу (9) или формулу (10)], дБ;

$C_2$ — поправка на импеданс излучения, использования для приведения к нормальным атмосферным условиям, дБ. Эта величина должна быть определена в соответствующем испытательном коде по шуму. Если такой документ отсутствует, то используют следующую формулу, полученную для источника шума в виде монополя и рассматриваемую как результат усреднения для источников другого вида (см. [17] и [18]):

$$C_2 = -10\lg\frac{p_\mathrm{s}}{p_{\mathrm{s},0}} + 15\lg\left(\frac{273{,}15+\theta}{\theta_1}\right), \tag{E.2}$$

где $p_\mathrm{s}$ — статическое давление в испытательном пространстве во время испытаний, кПа;

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

$\theta$ — температура воздуха в испытательном пространстве во время испытаний, °С;

$\theta_1$ = 296 К.

Если испытания проводят на высоте $H_\mathrm{a}$, м, над уровнем моря, то связанное с этим изменение в статическом давлении $p_\mathrm{s}$, кПа, можно учесть, используя формулу

$$p_\mathrm{s} = p_{\mathrm{s},0}(1 - aH_\mathrm{a})^b, \tag{E.3}$$

где $a = 2{,}2560 \cdot 10^{-5}$ м$^{-1}$;

$b$ = 5,2553.

Если значение уровня звуковой мощности приведено к нормальным атмосферным условиям, то это должно быть отражено в протоколе испытаний.

## Приложение F
## (обязательное)

## Расчет корректированного по А уровня звуковой мощности по результатам измерений уровней звуковой мощности в октавных полосах частот

### F.1 Уровни звуковой мощности с коррекцией по частотной характеристике А

Корректированный по А уровень звуковой мощности $L_{WA}$, дБ, вычисляют на основе уровней звуковой мощности в октавных полосах частот по формуле

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

где $L_{Wk}$ — уровень звуковой мощности в $k$-й октавной полосе частот, определенной в соответствии с 10.2, дБ;

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

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

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

### F.2 Значения $k$ и $C_k$

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

Таблица F.1 — Значения $k$ и $C_k$ для среднегеометрических частот октавных полос

| $k$ | Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | $C_k$, дБ |
|---|---|---|
| 1 | 63 | –26,2 [a] |
| 2 | 125 | –16,1 |
| 3 | 250 | –8,6 |
| 4 | 500 | –3,2 |
| 5 | 1000 | 0,0 |
| 6 | 2000 | 1,2 |
| 7 | 4000 | 1,0 |
| 8 | 8000 | –1,1 |

[a] Это значение $C_k$ используют только для реверберационных камер и оборудования, позволяющих проводить измерения на данной частоте.

## 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 3741 | IDT | ГОСТ ISO 3741—2024 «Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер» |
| ISO 3743-1 | IDT | ГОСТ ISO 3743-1—2024 «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» |
| ISO 3745 | IDT | ГОСТ ISO 3745—2014 «Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных и полузаглушенных камер» |
| 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»<br>ГОСТ ИСО 5725-2—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений»<br>ГОСТ ИСО 5725-3—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений»<br>ГОСТ ИСО 5725-4—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений»<br>ГОСТ ИСО 5725-5—2003 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений»<br>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/IEC Guide 98-3 | IDT | ГОСТ 34100.3—2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» |

[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».

*Окончание таблицы ДА.1*

| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта |
|---|---|---|
| IEC 60942 | — | * |
| IEC 61260 (все части) | — | * |
| 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.

## Библиография


[1] ISO 354:2003, Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room (Акустика. Измерение звукопоглощения в реверберационном помещении)

[2] ISO 1996-1, Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures (Акустика. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки)

[3] ISO 3740, Acoustics — 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)

[4] 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)

[5] 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)

[6] 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)

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

[8] 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)

[9] 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)

[10] 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)

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

[12] 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)

[13] ISO 11201, Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions in an essentially free field over a reflecting plane with negligible environmental corrections (Акустика. Шум машин и оборудования. Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью в условиях пренебрежимости коррекцией на свойства испытательного пространства)

[14] ISO 12001, Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Rules for the drafting and presentation of a noise test code (Акустика. Шум машин и оборудования. Правила построения и изложения испытательных кодов по шуму)

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

[16] 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

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

[18] 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, переносные источники шума, уровень звуковой мощности, эквивалентный уровень звукового давления, реверберационное поле, реверберационная камера, технический метод измерений

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
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. 4,65. Уч.-изд. л. 4,19.

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