ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 3382-2— 2013

Акустика

ИЗМЕРЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЙ

Часть 2

Время реверберации обычных помещений

ISO 3382-2:2008
Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 358 «Акустика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 декабря 2013 г. № 2172-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 3382-2:2008 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 2. Время реверберации обычных помещений» (ISO 3382-2:2008 «Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms»).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2014

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 . . . 1
4 Условия измерений . . . 2
5 Методика измерений . . . 4
6 Оценивание времени реверберации по кривым спада . . . 6
7 Неопределенность измерений . . . 6
8 Пространственное усреднение . . . 7
9 Представление результатов . . . 7
Приложение А (справочное) Неопределенность измерения . . . 9
Приложение В (справочное) Критерии нелинейности кривых спада . . . 11
Приложение С (справочное) Линейная аппроксимация кривой спада методом наименьших квадратов . . . 12
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации . . . 13
Библиография . . . 14

Введение

Настоящий стандарт устанавливает три уровня точности измерений: ориентировочный, технический и точный, которые отличаются, главным образом, числом точек измерения и, следовательно, необходимой продолжительностью измерений. В приложении А приведены дополнительные сведения о неопределенности измерения времени реверберации. Использование дополнительных возможностей ориентировочного метода измерений должно содействовать более частому измерению времени реверберации помещений, где уместно. Очевидно, что лучше применять упрощенный метод измерения, чем не измерять совсем.

Есть несколько причин для измерения времени реверберации. Во-первых, уровень звукового давления источников шума, разборчивость речи и условия конфиденциальности в помещении сильно зависят от времени реверберации. Под помещениями можно рассматривать жилые комнаты, лестничные площадки и пролеты, мастерские, производственные цехи, классные комнаты, офисы, рестораны, выставочные центры, спортивные залы, железнодорожные вокзалы и аэропорты. Во вторых, время реверберации измеряют с целью определения в помещении поправки звукопоглощения, необходимой при различных видах акустических измерений, таких как измерение звукоизоляции по ИСО 140 (все части) и звуковой мощности источников шума по ИСО 3740.

Строительные нормы и правила некоторых стран устанавливают требования ко времени реверберации учебных и других категорий помещений. Однако для большинства типов помещений установление времени реверберации, соответствующего назначению помещения, и выбор адекватных проектных решений остаются за проектировщиками. Настоящий стандарт предназначен внести вклад в общее понимание принятия времени реверберации в качестве одной из составляющих качества и комфортности помещения.

В настоящем стандарте определяют два интервала оценки по кривой спада: 20 и 30 дБ. Однако предпочтение отдано интервалу 20 дБ в силу следующих причин:

a) субъективная оценка времени реверберации связана с начальным участком кривой спада;

b) для оценки стационарного уровня звукового давления в помещении по времени реверберации наиболее пригоден начальный участок кривой спада;

c) обеспечение необходимого отношения «сигнал/шум» часто является одной из проблем натурных измерений, так как трудно добиться интервала значений на кривой спада для оценки времени реверберации, превышающего 20 дБ.

Традиционные методы измерений подразумевают визуальный контроль каждой отдельной кривой спада. При использовании современных средств измерений кривые спада обычно не отображаются и это может привести к риску расчета времени реверберации по аномальным кривым спада. По этой причине в приложении В введены два новых показателя, которые численно характеризуют степень нелинейности и степень кривизны кривой спада. Данные показатели могут быть использованы для предупреждения о нелинейности кривой спада и о ненадежности получаемых при этом результатов, свидетельствующих о неоднозначности времени реверберации.

С целью измерения времени реверберации в аудиториях и зрительных залах применяют ИСО 3382-1, а для измерения коэффициента звукопоглощения в реверберационной камере — [4]. Ни один из этих стандартов не применим для измерений в упомянутых выше помещениях. Таким образом, настоящий стандарт заполняет указанный разрыв между стандартами по методам измерений акустических характеристик зданий.

Настоящий стандарт не повторяет технических деталей ИСО 3382-1, но относится к измерениям лишь времени реверберации помещений любого типа.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Акустика

ИЗМЕРЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЙ

Часть 2

Время реверберации обычных помещений

Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 2. Reverberation time in ordinary rooms

Дата введения — 2014—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы измерений времени реверберации помещений. Рассматриваются методика и средства измерений, необходимое число точек измерения и методы оценки величин и представления результатов испытаний.

Результаты измерений могут быть использованы для коррекции результатов других акустических измерений, например уровня звукового давления источников шума или звукоизоляции, а также для сопоставления с нормативными значениями времени реверберации в помещениях.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты. Недатированную ссылку относят к последней редакции ссылочного стандарта, включая его изменения.

ИСО 3382-1 Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы (ISO 3382-1, Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 1: Performance rooms)

ИСО 18233 Акустика. Применение новых методов измерений в строительной акустике (ISO 18233, Acoustics — Application of new measurement methods in building and room acoustics)

МЭК 61260 Электроакустика. Фильтры полосовые октавные и на доли октавы (IEC 61260, Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **кривая спада** (decay curve): Графическое изображение зависимости уровня звукового давления в помещении от времени после прекращения работы источника звука.

[[4], 3.1]

Примечание 1 — Можно измерить время спада после прекращения работы источника звука в помещении или рассчитать его на основе возведенной в квадрат обращенной во времени импульсной переходной характеристики помещения (см. раздел 5).

3.2 **метод прерываемого шума** (interrupted noise method): Метод определения кривых спада уровня звукового давления (далее — кривые спада) непосредственной записью уровня звукового давления после возбуждения помещения широкополосным или полосовым шумом.

[[4], 3.3]

Издание официальное

3.3 **метод интегрированной импульсной переходной характеристики** (integrated impulse response method): Метод определения кривых спада путем интегрирования обращенной во времени возведенной в квадрат импульсной переходной характеристики.

[[4], 3.4]

3.4 **импульсная переходная характеристика** (impulse response): Изменение во времени звукового давления в точке помещения в результате излучения импульса Дирака в другой точке помещения.

[[4], 3.5]

Примечание — На практике невозможно создать и излучить настоящую дельта-функцию Дирака, однако в целях измерений кратковременные нестационарные звуки (например звуки выстрелов) могут оказаться ее приемлемой аппроксимацией. Альтернативным методом измерения является применение сигнала типа периодической псевдослучайной последовательности максимальной длины (ПСПМД) или другого детерминированного сигнала с плоским спектром, как у синусоидального сигнала с линейно изменяющейся частотой и обратным преобразованием измеренного отклика в импульсную переходную характеристику.

3.5 **время реверберации** (reverberation time) ***T*, с:** Время, необходимое для спада средней по пространству плотности звуковой энергии в ограниченном объеме на 60 дБ от первоначального уровня после выключения источника излучения.

Примечание — Время реверберации можно оценить на меньшем, чем 60 дБ, интервале с последующей экстраполяцией на весь интервал изменения кривой спада. При этом используют специальные обозначения. Так, при определении времени реверберации по кривой спада на интервале от 5 до 25 дБ его обозначают T_{20}. Если для определения времени реверберации используют интервал значений кривой спада от 5 до 35 дБ, то его обозначают T_{30}.

1.6 **большое помещение** (large room volume): Некоторое ограниченное пространство, объем которого превышает 300 м².

4 Условия измерений

4.1 Общие положения

Для многих помещений число присутствующих в них людей может сильно влиять на время реверберации. Измерения времени реверберации следует выполнять в помещении без людей. Однако помещение не более чем с двумя людьми можно считать незаполненным, если не указано иное. Если результат измерения времени реверберации используют для коррекции измерений уровня звукового давления, то число находящихся в помещении людей должно соответствовать методу измерений уровня звукового давления.

В больших помещениях затухание звука в воздухе может оказать существенное значение на поглощение звука на высоких частотах. При точных акустических измерениях обычно измеряют температуру и относительную влажность воздуха.

Звукопоглощением в воздухе можно пренебречь, если время реверберации на частоте 3 кГц меньше 1,5 с и меньше 0,8 с на частоте 4 кГц. В данном случае нет необходимости измерять температуру и относительную влажность.

4.2 Средства измерений и испытательное оборудование

4.2.1 Источник звука

Источник звука должен быть максимально ненаправленным. При точных акустических измерениях он должен отвечать требованиям ИСО 3382-1 (А.3.1, приложение А). При ориентировочном и инженерном методах измерений требований к направленности источника не устанавливают. Он должен создавать уровень звукового давления, обеспечивающий получение кривой спада с минимально необходимым для исключения влияния фонового шума динамическим диапазоном.

4.2.2 Микрофоны, оборудования для регистрации и анализа

Для измерения звукового давления следует применять ненаправленный микрофон с одним из следующих возможным подключением:

- непосредственно к усилителю, набору фильтров и системе отображения кривых спада или к оборудованию для определения импульсной переходной характеристики;
- к устройству непрерывной регистрации сигнала для последующего анализа.

4.2.2.1 Микрофон и фильтры

Микрофон должен иметь минимально возможные размеры и мембрану предпочтительно диаметром не более 14 мм. Допускаются микрофоны с диаметром до 27 мм, если они являются микрофонами

давления или микрофонами свободного поля, снабженными корректорами диффузного поля. Октавные или 1/3-октавные фильтры должны удовлетворять требованиям МЭК 61260.

4.2.2.2 Регистрирующие устройства

В устройствах записи (и отображения и/или оценки) кривых спада должны использоваться:

a) экспоненциальное усреднение с формированием на выходе непрерывной кривой;

b) экспоненциальное усреднение с формированием на выходе последовательности выборочных точек непрерывной кривой;

c) линейное усреднение с формированием на выходе последовательности линейно усредненных значений.

Время усреднения, т. е. постоянная времени экспоненциального усредняющего устройства (или эквивалентная ей величина) должна быть равна $T/30$ или максимально близка к данному значению. Аналогично время усреднения линейного усреднителя должно быть меньше $T/12$, где T — подлежащее измерению время реверберации.

В устройствах, где запись спада формируется последовательностью точек, интервал времени между точками записи должен быть не менее чем в 1,5 раза меньше постоянной времени устройства.

При визуальной оценке кривой спада выбирают такой масштаб времени при отображении кривой, чтобы ее наклон был близок к 45°.

Примечание 1 — Время усреднения экспоненциально усредняющего устройства равно 4,34 дБ [= 10lg(e)], разделенному на скорость спада отклика устройства в дБ/с.

Примечание 2 — Стандартные регистраторы уровня, в которых уровень звукового давления записывается в виде графической зависимости от времени, практически эквивалентны экспоненциально усредняющему устройству.

Примечание 3 — При использовании экспоненциально усредняющего устройства имеется некоторое преимущество, заключающееся в возможности установки времени усреднения много больше, чем $T/30$. При использовании линейно усредняющего устройства невозможно установить интервал между точками кривой спада значительно больше $T/12$. В некоторых методах последовательных измерений целесообразно выбирать соответствующее время усреднения для каждой частотной полосы. В других методах это нецелесообразно и время усреднения или интервал времени для всех частотных полос выбирают превышающим наименьшее время реверберации в некоторой полосе.

4.2.2.3 Перегрузка

В любом режиме работы не следует допускать перегрузки средств измерений. При использовании импульсного источника звука для контроля перегрузки следует применять индикатор пикового уровня.

4.3 Точки измерения

4.3.1 Общие положения

Минимально необходимое число точек измерения в помещении приведено в таблице 1. В помещениях с более сложной геометрией должно использоваться большее число точек измерения. Точки измерения следует выбирать в местах, где отсутствуют доминирующие воздействия, вызванные, например, отличиями времени реверберации в разных частях помещения.

Таблица 1 — Минимальное число позиций источника и точек измерений

Параметр	Метод измерений		
	Ориентировочный	Технический*	Точный
Число комбинаций источник-микрофон	2	6	12
Число позиций источника**	≥ 1	≥ 2	≥ 3
Число точек измерений***	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Число измерений спада в каждой конфигурации (метод прерываемого шума)	1	2	3

* При использовании результатов измерений для коррекции результатов других измерений уровня звукового давления техническим методом требуется только одна позиция источника и три точки измерения.

** В методе прерываемого шума одновременно могут применяться некоррелированные источники.

*** В методе прерываемого шума при использовании результатов измерений лишь в качестве поправки вместо микрофонов, располагаемых в нескольких позициях, может быть применен один микрофон с поворотным устройством.

В методе прерываемого шума общее число кривых спада обычно равно числу повторных измерений спада в каждой позиции. Тем не менее, допускается выбирать новую позицию для измерения каждого спада при условии, что общее число спадов равно требуемому количеству.

Позиции источника звука должны выбираться там же, где обычно размещаются естественные источники в данном помещении. В малых, например бытовых помещениях, или там, где обычно источники звука отсутствуют, должна использоваться одна позиция источника в углу помещения. Точки измерения должны отстоять друг от друга на расстояние не менее половины длины волны, т. е. на расстояние около 2 м для обычного диапазона частот. Расстояние от точки измерения до ограждающих поверхностей, включая пол, должно быть не менее четверти длины волны (обычно 1 м). Следует избегать симметричных относительно поверхностей помещения позиций. В случае применения сканирующего микрофона радиус сканирования должен быть не менее 0,7 м. Плоскость сканирования должна составлять угол не менее 10° с любой ограждающей плоскостью помещения (стена, пол, потолок). Период сканирования должен быть не менее 15 с.

Точки измерения не должны располагаться близко друг к другу. В противном случае число независимых конфигураций будет меньше общего числа точек измерения. Минимальные значения, приведенные в таблице 1, соответствуют числу независимых конфигураций.

С целью ослабления влияния прямого излучения не следует располагать микрофон вблизи любого источника звука. Минимальное расстояние до источника звука можно рассчитать по формуле

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{c\hat{T}}}, \quad (1)$$

где V — объем помещения, м^3;

c — скорость звука, м/с;

$\hat{T}$ — оценка ожидаемого времени реверберации, с.

4.3.2 Ориентировочный метод

Ориентировочный метод измерений пригоден для оценки величины звукопоглощения помещения в целях защиты от шума и при ориентировочных измерениях звукоизоляции воздушного и ударного шума. Данный метод следует использовать при измерениях в соответствии с [6]. Ориентировочные измерения выполняют только в октавных полосах. При этом полагают, что стандартная неопределенность измерений (см. приложение А) в октавных полосах не хуже 10 %.

Измерение времени реверберации выполняют по меньшей мере при одном положении источника. Находят среднее значение от результатов измерений по меньшей мере при двух комбинациях положений источник — микрофон (см. таблицу 1).

4.3.3 Технический метод

Технический метод измерений пригоден для проверки характеристик помещений при сравнении с нормативными значениями времени реверберации или звукопоглощения помещения. Данный метод следует применять при измерениях в соответствии с [3] для измерений времени реверберации. Полагают, что стандартная неопределенность измерений в октавных полосах не хуже 5 % и не хуже 10 % — в 1/3-октавных полосах частот.

Измерение времени реверберации выполняют по меньшей мере при двух позициях источника. При этом следует использовать не менее шести независимых комбинаций положений источник — микрофон (см. таблицу 1).

4.3.4 Точный метод

Когда требуется высокая точность измерений, пригоден точный метод. Полагают, что стандартная неопределенность измерений в октавных полосах не хуже 2,5 % и не хуже 5 % — в 1/3-октавных полосах частот.

Измерение времени реверберации выполняют по меньшей мере при двух позициях источника. При этом следует использовать не менее 12 независимых комбинаций положений источник — микрофон (см. таблицу 1).

5 Методика измерений

5.1 Общие положения

Настоящий стандарт устанавливает два метода измерения времени реверберации: метод прерываемого шума и метод интегрированной импульсной переходной характеристики. Оба метода обеспечивают получение одинаковых результатов. Частотный диапазон зависит от цели измерений. Если не указаны конкретные частотные полосы, то для ориентировочного метода диапазон измерений должен

быть не уже диапазона от 250 до 2000 Гц. Для технического и точного методов диапазон измерений должен быть не уже диапазона от 125 до 4000 Гц для октавных полос или не уже диапазона от 100 до 5000 Гц для 1/3-октавных полос.

5.2 Метод прерываемого шума

5.2.1 Возбуждение помещения

Источником звука должен быть громкоговоритель, на который следует подавать широкополосный или псевдослучайный сигнал. При использовании псевдослучайного шума он должен прерываться в случайные моменты времени, но последовательности значений шумового сигнала не должны повторяться. Источник должен создавать в соответствующем диапазоне частот уровень звукового давления, достаточный для превышения начального уровня кривой спада над фоновым шумом на 35 дБ. Если измеряют T_{30}, то указанное превышение должно быть не менее 45 дБ.

При измерениях в октавных полосах ширина спектра сигнала должна быть не менее одной октавы. Аналогично при измерениях в 1/3-октавных полосах ширина спектра сигнала должна быть не менее 1/3 части октавы. Спектр должен быть достаточно плоским в пределах каждой октавной полосы. Альтернативно может быть сформирован широкополосный шумовой сигнал для создания спектра розового стационарного шума в диапазоне от 88 до 5657 Гц, соответствующего реверберационному звуковому полю в помещении. Такой спектр перекрывает частотный диапазон, определяемый совокупностью 1/3-октавных полос со среднегеометрическими частотами от 100 до 5000 Гц или октавных полос от 125 до 4000 Гц.

Для технического и точного методов продолжительность возбуждения помещения должна быть достаточной для установления в нем стационарного звукового поля перед выключением источника. Следовательно, шум должен излучаться как минимум в течение половины времени реверберации.

При ориентировочном методе в качестве альтернативы прерываемому шуму может применяться кратковременное возбуждение или импульсный сигнал. Однако в данном случае неопределенность измерений будет меньше указанной в 4.3.

5.2.2 Усреднение результатов измерений

Используемое при измерениях число точек измерения должно определяться необходимой точностью. Однако из-за случайности, присущей сигналу источника, чтобы достичь приемлемой точности измерений, необходимо усреднить ряд результатов измерений в каждой конфигурации «источник — приемник» (см. 7.1). Усреднение в каждой конфигурации может быть выполнено двумя различными способами:

- определением времени реверберации для каждой из всех кривых спада и расчетом их среднего значения;

- усреднением совокупности возведенных в квадрат спадов звукового давления с последующим определением времени реверберации результирующей кривой спада. Кривые спада накладывают, совмещая их начальные значения. На каждом отсчете времени суммируют значения квадрата звукового давления кривых спада и последовательность полученных сумм используют в качестве общей кривой спада, по которой определяют время реверберации T. Данный метод усреднения является рекомендуемым.

5.3 Метод интегрированной импульсной переходной характеристики

5.3.1 Общие положения

Импульсная переходная характеристика между позициями источника звука и микрофона в помещении является четко определенной величиной и может быть измерена различными способами (например, с использованием в качестве сигнала возбуждения выстрела из пистолета, импульсов искрового разряда, кратковременных импульсов с шумовым заполнением, сигналов с линейной частотной модуляцией или псевдослучайных последовательностей максимальной длины). Настоящий стандарт не исключает других возможных методов измерения импульсной переходной характеристики.

5.3.2 Возбуждение помещения

Импульсная переходная характеристика может быть непосредственно измерена с помощью импульсного источника, такого как выстрел из пистолета, или другого не реверберирующего с самим собой источника (т. е. при отсутствии одновременного приема прямого и отраженного звука в точке измерения) при условии, что ширина его спектра достаточна для выполнения требований 5.2.1. Импульсный источник должен создавать пиковый уровень звукового давления, при котором начальный уровень кривой спада будет не менее чем на 35 дБ превышать уровень фонового шума в соответствующей полосе частот. При измерении T_{30} данное превышение должно быть не менее 45 дБ.

С целью повышения отношения «сигнал/шум» могут быть применены специальные сигналы, позволяющие получить импульсную переходную характеристику путем специальной обработки зарегистрированного сигнала микрофона (см. ИСО 18233). При этом могут использоваться линейно модулиро-

ванный синусоидальный сигнал или псевдослучайный шум (например, ПСПМД), если спектральные характеристики и характеристики направленности источника удовлетворяют необходимым требованиям. Вследствие повышенного отношения «сигнал/шум», требования к динамическим характеристикам источника могут быть снижены по сравнению с аналогичными требованиями к источникам, рассмотренным в 5.2. При использовании усреднения по времени следует убедиться, что процесс усреднения не изменяет измеряемой импульсной переходной характеристики. Применение данного метода измерений обычно связано с использованием частотной фильтрации при анализе сигнала. При этом важно, чтобы спектр сигнала возбуждения перекрывал диапазон частот измерений.

5.3.3 Интегрирование импульсной переходной характеристики

В каждой октавной полосе кривую спада получают путем интегрирования квадрата обращенной во времени импульсной переходной характеристики, обработанной полосовыми фильтрами. Подробное изложение данного метода приведено в ИСО 3382-1.

6 Оценивание времени реверберации по кривым спада

При определении времени реверберации T_{20} интервал оценки заключен между значениями 5 и 25 дБ от начального уровня кривых спада. Для метода интегрированной импульсной переходной характеристики начальный уровень равен уровню интегрированной импульсной переходной характеристики, который рассчитывают как десятикратный логарифм отношения интеграла по времени в пределах от нуля до бесконечности от квадрата импульсной переходной характеристики к квадрату опорного звукового давления. На интервале оценки следует рассчитать линию наименьшего квадратичного отклонения от кривой спада или, в случае оценки по графику кривой спада, следует вручную провести прямую линию, наиболее близкую к кривой спада. В приложении С приведены формулы для линейной аппроксимации кривой спада методом наименьших квадратов. Могут быть применены другие способы оценки, обеспечивающие получение подобных результатов. Наклон прямой линии есть скорость спада d, дБ/с, по которой время реверберации рассчитывают по формуле $T_{20} = 60/d$. Время реверберации T_{30} оценивают на интервале оценки, заключенном между значениями 5 и 35 дБ кривой спада.

Если для определения времени реверберации используют кривые спада, полученные на самописце уровня, то построенная визуально наилучшая аппроксимирующая прямая линия может быть использована для расчета линии регрессии, но такой способ не так надежен, как регрессионный анализ.

Чтобы оценить время реверберации, кривые спада должны быть близки к прямой линии. Если кривые волнистые или изогнутые, то это указывает на наложение мод, имеющих разное время реверберации. В этом случае оценка времени реверберации не может быть получена. В приложении В предложены два показателя нелинейности кривых спада.

Определение времени реверберации непосредственно по кривым спада при возбуждении звука в помещении импульсным источником шума (например, путем записи звука выстрела самописцем уровня) не рекомендуется и может быть использовано лишь для ориентировочной оценки.

7 Неопределенность измерений

7.1 Метод прерываемого шума

Из-за случайного характера сигнала возбуждения неопределенность измерения метода прерываемого шума сильно зависит от числа выполняемых усреднений. Средние по ансамблю или по отдельным временам реверберации значения одинаково зависят от числа усреднений. Соответствующие стандартные отклонения $\sigma(T_{20})$ или $\sigma(T_{30})$ могут быть рассчитаны по формулам:

$$\sigma(T_{20}) = 0{,}88T_{20}\sqrt{\frac{1+1{,}90/n}{NBT_{20}}}, \quad (2)$$

$$\sigma(T_{30}) = 0{,}55T_{30}\sqrt{\frac{1+1{,}52/n}{NBT_{30}}}, \quad (3)$$

где B — ширина полосы фильтра, Гц;

n — число кривых спада, измеренных в каждой измерительной конфигурации (сочетание положения источника звука и микрофона);

N — число независимых конфигураций;

T_{20} — время реверберации на интервале оценки 20 дБ, с;

T_{30} — время реверберации на интервале оценки 30 дБ, с.

Формулы (2) и (3) получены в [1] и [2] при определенных предположениях о характеристиках усредняющего устройства. Более подробные сведения приведены в приложении А.

Для октавного фильтра $B = 0{,}71f_c$, для 1/3-октавного фильтра $B = 0{,}23f_c$, где f_c — среднегеометрическая частота фильтра. При одинаковом числе конфигураций измерения в октавных полосах обеспечивают более точные результаты по сравнению с 1/3-октавными полосами.

7.2 Метод интегрированной импульсной переходной характеристики

Неопределенность измерения при использовании метода импульсной переходной характеристики имеет такую же величину, как и для метода прерываемого шума при десяти усреднениях в каждой измерительной конфигурации. Для повышения статистической точности измерений не требуется дополнительного усреднения в каждой конфигурации.

7.3 Ограничения, обусловленные фильтром и детектором

При малых значениях времени реверберации кривая спада может искажаться фильтром и детектором. Нижние пределы надежности результатов можно оценить по формулам:

$$BT > 16, \tag{4}$$

$$T > T_{det}, \tag{5}$$

где B — ширина полосы фильтра, Гц;

T — измеренное время реверберации, с;

T_{det} — постоянная времени усредняющего детектора, с.

8 Пространственное усреднение

Результаты измерений, полученные для некоторой области расположения источника звука и микрофона, для получения пространственно усредненных величин могут быть объединены как для определенных подпространств помещения, так и помещения в целом. Такое пространственное усреднение должно выполняться одним из следующих способов:

a) арифметическим усреднением времен реверберации. Пространственное среднее получают как среднее отдельных времен реверберации для всех независимых измерительных конфигураций. Для оценки точности и пространственной изменчивости времени реверберации может быть оценено стандартное отклонение;

b) усреднением ансамбля кривых спада. Кривые спада накладывают, совмещая их начала (см. 5.2.2).

9 Представление результатов

9.1 Таблицы и графики

Оцененные времена реверберации для каждой полосы частот измерений должны быть представлены в виде таблиц. Результат может быть изображен также в виде графика.

В случае графиков их точки должны быть соединены отрезками прямых линий или может использоваться столбцовая диаграмма. По абсциссе следует отображать частоту в логарифмическом масштабе, по ординате — время в линейном масштабе с началом в нуле или в логарифмическом масштабе. По оси частот следует отметить среднегеометрические частоты октавных полос в соответствии с МЭК 61260.

В таблице и графике должно быть ясно указано, какое из времен реверберации измерялось (T_{20} или T_{30}).

9.2 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать по меньшей мере следующую информацию:

a) ссылку на настоящий стандарт;

b) сведения, необходимые для однозначной идентификации испытуемого помещения;

c) эскиз плана помещения с указанием масштаба;

d) объем помещения;

Примечание — Если помещение не является полностью замкнутым, то следует пояснить способ определения объема.

e) условия в помещении (оборудование, число присутствующих людей и т. п.);

f) температура и относительная влажность воздуха в помещении (только для точного метода измерений);

g) тип источника звука;

h) описание примененного звукового сигнала;

i) точность метода (ориентировочный, технический или точный), включая детальное описание позиций источника и точек измерения, желательно с изображением их на плане и указанием высоты позиций;

j) описание средств измерений и характеристик микрофонов;

k) метод оценки кривых спада: расчет методом наименьших квадратов или наилучшее визуальное приближение;

l) используемый метод усреднения результатов в каждой позиции (5.2.2);

m) используемый метод усреднения результатов по всем позициям (раздел 8);

n) таблица с результатами измерений;

o) дата измерений и наименование испытательной организации.

Приложение А
(справочное)

Неопределенность измерения

А.1 Общие положения

Неопределенность измерения скорости спада рассматривалась в [1] и [2].

Скорость спада d, дБ/с, связана со временем реверберации T, с, посредством формулы $d = 60/T$. Измерения могут повторяться в той же позиции.

Вариация средней скорости спада $\mathrm{var}(\overline{d})$ по совокупности позиций определяется по формуле

$$\mathrm{var}(\overline{d}) = \frac{1}{N}\,\mathrm{var}_s(d) + \frac{1}{Nn}\,\mathrm{var}_e(d), \qquad (A.1)$$

где n — число спадов измеренных в каждой позиции;

N — число независимых измерительных конфигураций при измерении спада;

$\mathrm{var}_e(d)$ — вариация по ансамблю измерений в одной измерительной конфигурации;

$\mathrm{var}_s(d)$ — вариация по измерительным конфигурациям.

Относительную вариацию времени реверберации рассчитывают по формуле

$$\frac{\mathrm{var}(\overline{T})}{\overline{T}^2} = \frac{\mathrm{var}(\overline{d})}{\overline{d}^2}. \qquad (A.2)$$

Таким образом, оценку коэффициента вариации среднего времени реверберации (называемого также стандартной неопределенностью) рассчитывают по формуле

$$\frac{\sigma(\overline{T})}{\overline{T}} = \sqrt{\frac{\mathrm{var}(\overline{d})}{\overline{d}^2}} = \frac{1}{\sqrt{N}}\sqrt{\frac{\mathrm{var}_s(d)}{d^2} + \frac{\mathrm{var}_e(d)}{nd^2}}. \qquad (A.3)$$

А.2 Метод прерываемого шума

В [1] вариация по ансамблю и вариация по конфигурациям были получены в случае измерений с использованием метода прерываемого шума. Подставляя в формулу (А.3) формулы (2.55) и (2.56) из [1], можно получить

$$\frac{\sigma(\overline{T})}{\overline{T}} = G\sqrt{\frac{1+(H/n)}{NBT}}, \qquad (A.4)$$

где $\sigma(\overline{T})$ — стандартное отклонение среднего времени реверберации, с;

B — ширина полосы фильтра, Гц;

G, H — константы, зависящие от интервала оценивания;

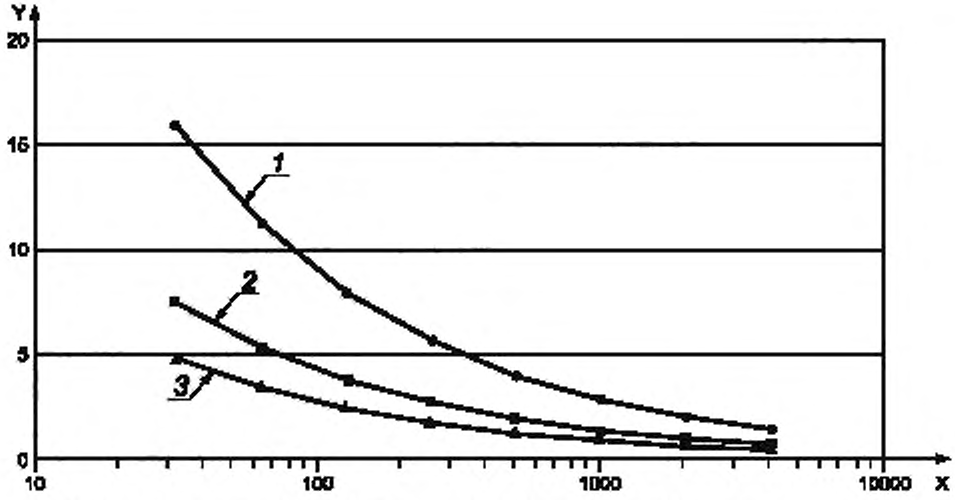
T — время реверберации, с.

Константы G и H зависят от интервала оценивания D и параметра $\gamma = T/T_{det}$, который представляет собой отношение измеренного времени реверберации к собственному времени реверберации измерительного прибора. T_{det} — постоянная времени усредняющего детектора. Значения констант G и H для некоторых типичных значений D и γ приведены в таблице А.1.

В формулах (2) и (3) предполагают, что $\gamma = 5$.

Таблица А.1 — Значения констант G и H

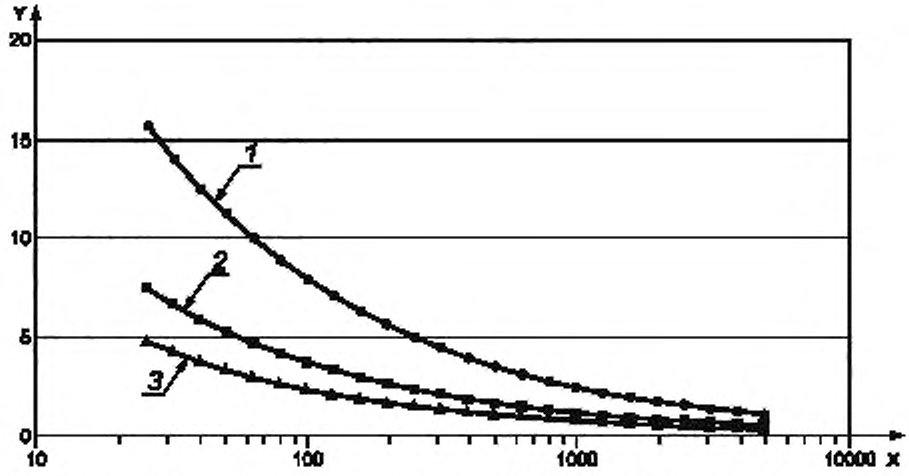
Интервал оценивания D, дБ	G	H		
	%	$\gamma = 3$	$\gamma = 5$	$\gamma = 10$
10	175	2,67	3,32	3,87
20	88	1,72	1,90	2,04
30	55	1,42	1,52	1,59



По оси X отложено значение произведения среднегеометрической частоты f_c на время реверберации T_{20}.
По оси Y отложен коэффициент вариации T_{20}, равный $\sigma(\overline{T}_{20})/\overline{T}_{20}$

1 — ориентировочный метод; *2* — технический метод; *3* — точный метод

Рисунок А.1 — Коэффициент вариации T_{20} в октавных полосах в зависимости от частоты, умноженной на время реверберации. Кривые относятся к ориентировочному, техническому и точному методам



По оси X отложено значение произведения среднегеометрической частоты f_c на время реверберации T_{20}.
По оси Y отложен коэффициент вариации T_{20}, равный $\sigma(\overline{T}_{20})/\overline{T}_{20}$

1 — ориентировочный метод; *2* — технический метод; *3* — точный метод

Рисунок А.2 — Коэффициент вариации T_{20} в третьоктавных полосах в зависимости от частоты, умноженной на время реверберации. Кривые относятся к ориентировочному, техническому и точному методам

А.3 Метод интегрируемой импульсной переходной характеристики

Теоретически для метода интегрируемой импульсной переходной характеристики вариация по ансамблю $var_e(d') = 0$. Это соответствует бесконечному числу возбуждений в одной и той же точке для метода прерываемого шума (см. [2]). Для ориентировочной оценки стандартного отклонения результата измерений может быть применена формула (А.4) при $n = 10$.

Приложение В
(справочное)

Критерии нелинейности кривых спада

В.1 Общие положения

Измерение времени реверберации основано на предположении, что в пределах интервала оценки наклон кривой спада может быть аппроксимирован прямой линией. Полезно иметь представление о пределах, в которых данное предположение справедливо. В данном приложении предлагаются два таких показателя.

В.2 Степень нелинейности

Если кривую спада оценивают методом наименьших квадратов, то может быть вычислен следующий параметр нелинейности ξ. Пусть L_i, дБ, — уровень точки кривой спада с номером i, $\hat{L}_i$ — значение линейной регрессионной оценки для точки с номером i, и средний уровень $\overline{L}$ рассчитан по формуле

$$\overline{L} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i. \qquad (B.1)$$

Квадрат коэффициента корреляции в модели линейной регрессии рассчитывают по формуле

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{L}_i - \overline{L})^2}{\sum_{i=1}^{n}(L_i - \overline{L})^2}. \qquad (B.2)$$

Квадрат коэффициента корреляции может принимать значения от 0 до 1? и кривая спада в виде прямой линии соответствует $r^2 = 1$. Параметр нелинейности ξ рассчитывают по формуле

$$\xi = 1000(1 - r^2). \qquad (B.3)$$

Типичные значения ξ лежат в пределах от 0 ‰ до 5 ‰. Значения, превышающие 10 ‰ характерны для кривых спада, которые считаются значительно отклоняющимися от прямой линии. Значения времени реверберации, полученные в результате оценки по такой кривой спада, являются недостоверными. Эти значения относятся к средним по ансамблю кривым спада и кривым интегрированной импульсной переходной характеристики. Более высокие значения могут быть для отдельных кривых спада.

В.3 Степень кривизны

Кривая спада, измеряемая в помещении, часто бывает слегка нелинейной. Начальный участок кривой обычно несколько круче конечного участка кривой спада. Причина этого состоит в том, что кривая спада представляет собой сумму затухающих мод с различной скоростью затухания. Если звукопоглощение неравномерно распределено по поверхностям помещения, то моды могут иметь сильно отличающиеся скорости спада. Очевидно, что нелинейность кривой спада приведет к тому, что оцениваемое по измерениям время реверберации будет зависеть от того, какой участок кривой спада используется. Следовательно, такой результат менее достоверен по сравнению с линейной кривой спада.

Параметр кривизны C основан на двух интервалах оценки 20 и 30 дБ и определяется по формуле

$$C = 100 \times \left(\frac{T_{30}}{T_{20}} - 1\right). \qquad (B.4)$$

Типичные значения C лежат в пределах от 0 % до 5 % . Значения, превышающие 10 %, характерны для кривых спада, которые значительно отклоняются от прямой линии. Значения времени реверберации, полученные в результате оценки по такой кривой спада, являются недостоверными. Отрицательных значений быть не должно и если они появляются, то это указывает на ошибку измерений.

Приложение С
(справочное)

Линейная аппроксимация кривой спада методом наименьших квадратов

Время реверберации может быть оценено при помощи линейного регрессионного анализа и процедуры линейной аппроксимации кривой спада методом наименьших квадратов. Это означает, что кривая спада аппроксимируется прямой линией. Уровень линии регрессии $\hat{L}_i$, дБ, значений кривых спада в момент времени с номером i рассчитывают по формуле

$$\hat{L}_i = a + bt_i, \tag{C.1}$$

где a — смещение линии регрессии, дБ;

b — коэффициент наклона линии регрессии, дБ/с;

t_i — момент времени выборки с номером i, с.

В соответствии с методом наименьших квадратов смещение и наклон линии регрессии следует рассчитывать по формулам:

$$a = \overline{L} - b\,\overline{t}, \tag{C.2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i L_i) - m\,\overline{t}\,\overline{L}}{\sum_{i=1}^{n}(t_i^2) - m\,\overline{t}^2}, \tag{C.3}$$

где

$$\overline{L} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i, \tag{C.4}$$

$$\overline{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i. \tag{C.5}$$

Оценка времени реверберации $\hat{T}$, с, рассчитывается по формуле

$$\hat{T} = -60/b. \tag{C.6}$$

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 3382-1	IDT	ГОСТ Р ИСО 3382-1 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы»
ИСО 18233	MOD	ГОСТ Р 54579—2011 «Акустика. Применение новых методов измерений в акустике зданий и помещений»
МЭК 61260	MOD	ГОСТ Р 8.714—2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Фильтры полосовые октавные и на доли октавы. Технические требования и методы испытаний»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Библиография

[1] DAVY, J.L., DUNN, I.P., DUBOUT, P. The variance of decay rates in reverberation rooms. Acustica 1979, 43, pp. 12—25

[2] DAVY, J.L. The variance of impulse decays. Acustica 1980, 44, pp. 51—56

[3] ISO 140 (all parts), Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements

[4] ISO 354, Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room

[5] ISO 3740, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Guidelines for the use of basic standards

[6] ISO 10052, Acoustics — Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound — Survey method

[7] ISO 80000-8, Quantities and units — Part 8: Acoustics

УДК 534.322.3.08:006.354 МКС 91.120.20 Т34

Ключевые слова: методы измерений, импульсная переходная характеристика, акустические свойства помещений, время реверберации, кривая спада, импульсный источник звука

Редактор *П.М. Смирнов*
Технический редактор *Е.В. Беспрозванная*
Корректор *В.Е. Нестерова*
Компьютерная верстка *Ю.В. Деменикой*

Сдано в набор 13.10.2014. Подписано в печать 30.10.2014. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,58. Тираж 37 экз. Зак. 4413.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru