ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 3382-1— 2013

Акустика

ИЗМЕРЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЙ

Часть 1

Зрительные залы

ISO 3382-1:2009
Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 1: Performance spaces
(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 международного 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. № 2171-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 3382-1:2009 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы» (ISO 3382-1:2009 «Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 1: Performance spaces»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации и действующие в этом качестве межгосударственные стандарты, 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 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 . . . 5
6 Оценивание времени реверберации по кривым спада . . . 7
7 Неопределенность измерения . . . 7
8 Пространственное усреднение . . . 8
9 Представление результатов . . . 8
Приложение А (справочное) Акустические параметры помещений, определяемые на основе импульсной переходной характеристики . . . 10
Приложение В (справочное) Бинауральные характеристики помещения, определяемые на основе импульсной переходной характеристики . . . 16
Приложение С (справочное) Акустические характеристики сцены, определяемые на основе импульсной переходной характеристики . . . 17
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам) . . . 19
Библиография . . . 20

Введение

Время реверберации помещения считалось основным показателем его акустических свойств. Наряду с этим существует понимание о необходимости более полной оценки акустического качества помещений при помощи таких величин, как относительные уровни звукового давления, отношения энергии раннего и позднего отклика, вторичные (боковые) энергетические составляющие, интераурального взаимные корреляционные функции (корреляционные функции сигналов правого и левого уха) и уровни фонового шума.

Настоящий стандарт устанавливает метод определения времени реверберации на основе импульсной переходной характеристики и прерываемого шума. Приложения знакомят с некоторыми положениями методов измерений новых показателей акустики залов, которые пока не подлежат стандартизации. Они дают возможность сравнивать результаты измерений времени реверберации с большей достоверностью и содействуют использованию и определению сопоставимости результатов измерений новых показателей.

В приложении А представлены показатели, основанные на импульсной переходной характеристике помещения: дополнительные параметры реверберации в помещении (раннее время спада) и относительные звуковые уровни, ранние/поздние и боковые энергетические составляющие. В настоящее время не все из этих показателей могут быть стандартизованы. Однако поскольку все они определяются на основе импульсной переходной характеристики помещения, то ее целесообразно использовать в качестве основы стандартных измерений. В приложении В представлены основы бинауральных измерений в помещении, выполняемые на испытуемых и с использованием имитатора головы человека. В приложении С приведены сведения о вспомогательных характеристиках, которые могут быть полезны для оценки акустических условий с точки зрения музыкальной акустики.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Акустика

ИЗМЕРЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЙ

Часть 1

Зрительные залы

Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1. Performance spaces

Дата введения — 2014—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы измерений времени реверберации и других акустических параметров зрительных залов. Рассмотрены методика и средства измерений, необходимое рабочее пространство (зона озвучивания), методы оценки и представления результатов испытаний. Применение стандарта предполагает использование современных методов измерений и оценки акустических параметров помещения на основе цифровой обработки его импульсной переходной характеристики.

2 Нормативные ссылки

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

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

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

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

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

[[1], 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).

Примечание 2 — Время реверберации, определенное непосредственно по спаду уровня звукового давления в помещении при использовании импульсного источника шума (например, на основе записи звука выстрела из пистолета самописцем уровня) может быть использовано лишь для ориентировочной оценки. Спад отклика помещения на импульсное воздействие в общем случае не является экспоненциальным, и, следовательно, наклон кривой спада будет отличаться от наклона интегрированной импульсной переходной характеристики.

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

[[1], 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.

[[1], 3.4]

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

[[1], 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 звука.

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}.

3.6 **степень заполненности помещения**

3.6.1 **помещение не заполнено** (unoccupied state): Состояние помещения, подготовленного для выступления исполнителей в присутствии зрителей, но при отсутствии указанных лиц, а в случае концертных залов и оперных театров — желательно без стульев исполнителей, без музыкальных и ударных инструментов и аналогичного оборудования.

3.6.2 **репетиционное заполнение** (studio state): Состояние помещения (для воспроизведения речи или музыки) в присутствии исполнителей и технических специалистов в обычно необходимом количестве (например, во время репетиции или звукозаписи), но при отсутствии зрителей.

3.6.3 **полное заполнение** (occupied state): Состояние помещения зала или театра, когда занято от 80 % до 100 % зрительских мест.

Примечание — Время реверберации помещения зависит от числа присутствующих в нем зрителей, в силу чего приведенные выше определения степени заполненности необходимы при измерениях.

4 Условия измерений

4.1 Общие положения

Измерение времени реверберации может производиться при любой или всех степенях заполненности помещения. Если помещение оборудовано техническими средствами для изменения его акустических характеристик, то целесообразно провести измерения отдельно для каждого технического средства при его обычных настройках. Температура и относительная влажность воздуха в помещении должна измеряться с точностью ± 1 °С и ± 5 % соответственно.

Для оценки результатов, полученных на основе времени реверберации, имеет значение точность описания степени заполненности помещения. Чрезмерное заполнение зала (например, при концертах с необычно большими оркестрами или в присутствии хора или стоящих зрителей) должно отмечаться в протоколе испытаний.

В театрах следует различать состояния «противопожарный занавес поднят» и «противопожарный занавес опущен», «оркестровая яма открыта» и «оркестровая яма закрыта», а также «оркестр размещен на сцене» при наличии или отсутствии концертных ограждений. Измерения целесообразно выполнить во всех указанных случаях. Если противопожарный занавес поднят, то следует описать декорации на сцене.

Если технические средства являются активными (т. е. электронными), то следует также измерить их влияние. Однако некоторые электронные системы улучшения времени реверберации создают нестационарные условия в помещении, поэтому не существует единственной импульсной переходной харак-

теристики и следует соблюдать осторожность при применении синхронного усреднения в процессе измерений.

4.2 Средства измерений и испытательное оборудование

4.2.1 Источник звука

Источник звука должен быть максимально ненаправленным (см. таблицу 1). Он должен создавать уровень звукового давления, обеспечивающий получение кривой спада с минимально необходимым для исключения влияния фонового шума динамическим диапазоном. При измерении импульсной переходной характеристики с использованием псевдослучайных последовательностей необходимый уровень звукового давления может быть существенно меньше из-за возможности повышения отношения «сигнал/шум» за счет синхронного усреднения. При измерениях без применения метода синхронного усреднения (или других методов) для увеличения динамического диапазона кривой спада уровень звукового давления источника должен не менее чем на 45 дБ превышать фоновый шум в соответствующей полосе частот. Если определяют время реверберации T_{20}, то достаточно обеспечить уровень звукового давления, на 35 дБ превышающий уровень фонового шума.

В таблице 1 приведены значения максимально допустимых отклонений от круговой направленности источника при скользящем усреднении значений в пределах дуг с углом в 30°. Если нет в распоряжении поворотного стола, то выполняют измерения через каждые 5° и усредняют результаты для каждых смежных 6 точек. Опорное значение должно быть определено путем энергетического усреднения измеренных значений в заданной плоскости измерений в пределах 360°. При этом расстояние между микрофоном и источником звука должно быть не менее 1,5 м.

Таблица 1 — Максимальное отклонение направленности источника звука при возбуждении в октавных полосах розового шума и измерениях в свободном звуковом поле

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Максимальное отклонение, дБ	±1	±1	±1	±3	±5	±6

4.2.2 Микрофоны, оборудование для регистрации и анализа

4.2.2.1 Общие положения

Для измерения звукового давления следует применять ненаправленный микрофон с одной из следующих возможностей его подключения:

- 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.

4.2.2.2 Микрофон и фильтры

Средство измерений должно удовлетворять требованиям для шумомера 1-го класса по МЭК 61672-1. Октавные или 1/3-октавные фильтры должны удовлетворять требованиям МЭК 61260. Микрофон должен иметь минимально возможные размеры и мембрану предпочтительно диаметром не более 13 мм. Допускаются микрофоны с диаметром до 26 мм, если они являются микрофонами давления или микрофонами свободного поля с корректорами диффузного поля, обеспечивающими плоскую частотную характеристику в диффузном звуковом поле.

4.2.2.3 Регистрирующее устройство

Если спад звука сначала записывают на магнитную ленту или на цифровой регистратор, то не следует использовать цепи автоматической регулировки усиления или другие устройства для динамической оптимизации отношения «сигнал/шум». Продолжительность записи каждого спада должна быть достаточно большой, чтобы зафиксировать уровень фонового шума, следующий за спадом звукового давления. Рекомендуемая продолжительность спада должна быть не менее ожидаемого времени реверберации, увеличенного на 5 с.

Характеристики регистрирующего устройства при заданной комбинации скорости записи и воспроизведения должны быть следующими:

a) частотная характеристика должна быть плоской в диапазоне измерений с максимальным отклонением не более ± 3 дБ;

b) динамический диапазон должен соответствовать динамическому диапазону кривой спада. При измерении спадов методом прерывания шума регистратор должен обеспечить отношение «сигнал/шум» не менее 50 дБ в каждой частотной полосе;

c) отношение скорости воспроизведения к скорости записи должно быть в пределах 2 % от $10^{0,1n}$, где n — целое число, включая нуль.

Примечание — Если при воспроизведении применяют транспонирование частоты, то соответствующая частота транспонирования будет равна целому числу стандартных 1/3-октавных частот или октавных частот, если n кратно трем.

При использовании магнитофона постоянная времени устройства для записи спада уровня звукового давления (см. 4.2.2.4) связана с эффективным временем реверберации T, подлежащего воспроизведению сигнала, которое будет отличаться от времени реверберации реального помещения, если скорость воспроизведения не равна скорости записи.

Если спад был записан для воспроизведения через фильтры и интегрирующее устройство, то целесообразно во время воспроизведения откликов обратить их во времени [10].

4.2.2.4 Устройства записи спада уровня

В устройствах записи (и отображения и/или оценки) 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 (в некоторых случаях с паузами между выполнением усреднения).

Время усреднения, т. е. постоянная времени экспоненциального усредняющего устройства (или эквивалентная ей величина), должно быть равно $T/30$ или максимально близко к данному значению. Аналогично время усреднения линейного усредняющего устройства должно быть меньше $T/12$, где T — подлежащее измерению время реверберации или, в соответствующем случае, эффективное время реверберации, как указано в предпоследнем абзаце 4.2.2.3.

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 $T/30$. 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.

4.2.2.5 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

Позиции источника звука должны выбираться там же, где обычно размещаются естественные источники в данном помещении. Следует использовать не менее двух позиций источника. Акустический центр источника должен быть расположен на высоте 1,5 м над полом.

Точки измерения должны выбираться там же, где обычно находятся слушатели. При измерении времени реверберации важно выбрать точки по всему пространству. Для акустических параметров, описанных в приложениях А и В, должна быть обеспечена также возможность изменения позиции микрофона в помещении. Точки измерения должны отстоять друг от друга на расстоянии не менее половины длины волны, т. е. на расстоянии 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). Пояснения приведены в А.4.

С целью ослабления влияния прямого излучения не следует располагать микрофон вблизи любого источника звука. В помещениях для прослушивания речи и музыки высота микрофона над полом должна быть 1,2 м, соответствуя высоте уха среднего слушателя, сидящего на типичном кресле.

Точки измерения следует выбирать так, чтобы предотвратить доминирующие воздействия, вызванные, например, отличиями времени реверберации в разных частях помещения. Очевидными примерами являются отличия времени реверберации для сидячих мест вблизи стен, нижних поверхнос-

тей балконов или несвязанных пространств (например, церковные трансепты и алтарные части относительно основного зала церкви). Для выявления указанных отличий требуется экспертиза равномерности распределения акустических свойств по различным зрительским местам, одинаковости связей отдельных частей объема и близости локальных неоднородностей.

Для определения адекватности средних пространственных величин при описании помещения с целью измерения времени реверберации может быть полезной оценка помещения по следующим критериям (которые во многих случаях требуют простой визуальной оценки):

a) равномерность распределения по помещению звукопоглощающих и звукорассеивающих материалов ограждающих поверхностей и подвесных элементов;

b) равносильность связи всех частей помещения друг с другом, достаточной чтобы усреднить результаты измерений по трем или четырем точкам измерений, размещенными на равномерной сетке над зрительскими местами.

При раздельной оценке потолка, боковых, передних или задних стен в соответствии с перечислением a) не должно быть поверхностей, облицованных более чем на 50 % площади, отличающихся по своим свойствам от остальных поверхностей. В этом случае распределение акустических свойств можно принять равномерным (для подобной оценки в некоторых пространствах полезно аппроксимировать геометрическую форму помещения в виде прямоугольного параллелепипеда).

При оценке в соответствии с перечислением b) объем помещения можно рассматривать как единое пространство, если нет частей пола, перекрываемых по линии прямой видимости другими частями помещения более чем на 10 % от общего объема помещения.

Если указанные условия не выполнены, то вероятно, что для разных частей помещения времена реверберации не равны и должны исследоваться и измеряться отдельно.

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 создать уровень звукового давления, достаточный для превышения начального уровня кривой спада над фоновым шумом на 35 дБ в соответствующем диапазоне частот. Если измеряют T_{30}, то указанное превышение должно быть не менее 45 дБ.

При измерениях в октавных полосах ширина спектра сигнала должна превышать одну октаву. Аналогично при измерениях в 1/3-октавных полосах ширина спектра сигнала должна превышать 1/3 часть 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 в течение нескольких секунд, но не менее 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 рассчитанной по 7.1.

5.2.2 Усреднение результатов измерений

Используемое при измерениях число точек измерений должно определяться необходимой точностью (см. приложение А). Однако из-за случайности, присущей сигналу источника, чтобы достичь приемлемой точности измерений, необходимо усреднить ряд результатов измерений в каждой точке измерения (см. 7.1). Усреднение в каждой точке измерения 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. Для каждого отсчета 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 строго определенной величиной и может быть измерена различными способами (например, с использованием в качестве сигнала возбуждения пистолетного выстрела, импульсов искрового разряда, кратковременных импульсов с шумовым заполнением, сигналов с линейной частотной модуляцией или псевдослучайных последовательностей максимальной длины). Настоящий стандарт не исключает другие возможные методы измерения импульсной переходной характеристики.

5.3.2 Возбуждение помещения

Импульсная переходная характеристика может быть непосредственно измерена с помощью выстрела из пистолета или другого импульсного источника, не реверберирующего с самим собой (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. [3]). При этом могут использоваться линейно модулированный синусоидальный сигнал или псевдослучайный шум (например, ПМД), 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 предыдущем подразделе. При использовании усреднения по времени следует убедиться, что процесс усреднения не искажает измеряемой импульсной переходной характеристики. Применение данного метода измерений обычно связано с использованием частотной фильтрации в процессе анализа 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. В идеальном случае отсутствия фонового шума интегрирование следовало бы начинать с конца импульсной переходной характеристики ($t \to \infty$) в направлении ее начала. Таким образом, спад как функцию времени рассчитывают по формуле

$$E(t) = \int_t^{\infty} p^2(\tau)\, d\tau = \int_{\infty}^{t} p^2(\tau) d(-\tau), \qquad (1)$$

где $p(t)$ — звуковое давление импульсной переходной характеристики как функция времени;

$E(t)$ — энергия спада как функция времени;

t — время.

Интеграл в обращенном времени часто представляют в виде двух интегралов

$$\int_t^{\infty} p^2(\tau)\, d\tau = \int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau - \int_0^{t} p^2(\tau) d\tau . \qquad (2)$$

Для минимизации влияния фонового шума на последнюю часть импульсной переходной характеристики можно применять следующую процедуру.

Если уровень фонового шума известен, то начальную точку интегрирования t_1 определяют как точку пересечения горизонтальной линии, аппроксимирующей уровень фонового шума, и наклонной прямой, аппроксимирующей квадрат импульсной переходной характеристики, отображаемой в логарифмическом масштабе, и рассчитывают кривую спада по формуле

$$E(t) = \int_{t_1}^{t} p^2(\tau)d(-\tau) + C, \quad (3)$$

где ($t < t_1$) и C — дополнительная поправка к интегрированному квадрату импульсной переходной характеристики от t_1 до бесконечности.

Наиболее приемлемый результат получают при поправке C, рассчитанной в предположении экспоненциального спада энергии с той же скоростью, что и квадрат импульсной переходной характеристики на интервале от t_0 до t_1, где t_0 — момент времени, соответствующий уровню, превышающему на 10 дБ уровень при t_1.

Если принять C равным 0, то ограниченность начального предела интегрирования приводит к систематической ошибке, уменьшающей оценку времени реверберации. Максимальная ошибка 5 % имеет место при уровне фонового шума ниже максимума импульсной переходной характеристики по меньшей мере на интервал оценки, увеличенный на 15 дБ. Например, при определении времени реверберации T_{30} уровень фонового шума должен быть не менее чем на 45 дБ ниже максимума импульсной переходной характеристики.

6 Оценивание времени реверберации по кривым спада

При определении времени реверберации T_{30} интервал оценивания заключен между значениями 5 и 35 дБ от начального уровня кривых спада. Для метода интегрированной импульсной переходной характеристики начальный уровень интервала оценивания равен уровню интегрированной импульсной переходной характеристики. На интервале оценивания следует рассчитать линию наименьшего квадратичного отклонения от кривой спада или, в случае оценивания по графику кривой спада, следует вручную провести аппроксимирующую прямую линию, наиболее близкую к кривой спада. Могут быть применены другие способы оценивания времени реверберации, обеспечивающие приемлемую аппроксимацию. Наклон аппроксимирующей прямой линии есть скорость спада d, дБ/с, по которой время реверберации рассчитывают по формуле $T_{30} = 60/d$. Время реверберации оценивают на интервале оценивания, заключенном между значениями 5 и 25 дБ кривой спада.

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

Для надежной оценки времени реверберации кривые спада должны приближаться по форме 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.

7 Неопределенность измерения

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:

$$\sigma(T_{20}) = 0{,}88T_{20}\sqrt{\frac{1 + 1{,}90/n}{NBT_{20}}}, \quad (4)$$

$$\sigma(T_{30}) = 0{,}55T_{30}\sqrt{\frac{1 + 1{,}52/n}{NBT_{30}}}, \quad (5)$$

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, с, на интервале оценивания 20 дБ;
T_{30} — время реверберации, с, на интервале оценивания 30 дБ.

Формулы (4) и (5) получены в [21] и [22] при определенных предположениях о характеристиках усредняющего устройства.

Для октавного фильтра $B = 0{,}71 f_c$, для 1/3-октавного фильтра $B = 0{,}23 f_c$, 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

Теоретически интегрированная импульсная переходная характеристика соответствует усреднению бесконечного числа кривых спада от прерываемых импульсных возбуждений [11]. Для практической оценки неопределенности измерения при использовании метода импульсной переходной характеристики можно считать, что она имеет такую же величину, как и для метода прерываемого шума при усреднениях в каждой измерительной конфигурации. Однако для повышения статистической точности измерений не требуется дополнительного усреднения в каждой измерительной конфигурации.

7.3 Ограничения, обусловленные фильтром и детектором

При малых значениях времени реверберации кривая спада может искажаться фильтром и детектором. Используя последовательный регрессионный анализ, нижние пределы надежности результатов можно оценить по формулам:

$$BT > 16, \tag{6}$$

$$T > 2T_{det}, \tag{7}$$

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, могут быть объединены как для определенных частей помещения, так и помещения в целом для получения пространственно усредненных величин. Такое пространственное усреднение должно выполняться арифметическим усреднением времен реверберации. Пространственное среднее получают как среднее времен реверберации для всех независимых сочетаний положений источника и микрофона. Для оценки точности времени реверберации и его пространственного изменения может быть оценено стандартное отклонение (см. также А.4).

9 Представление результатов

9.1 Таблицы и графики

Полученные оценки времени реверберации должны быть представлены как в виде таблиц, так и в виде графиков в зависимости от частоты измерений.

Точки на графиках должны быть соединены отрезками прямых линий. По абсциссе следует отображать частоту в логарифмическом масштабе 1,5 см/октава, по ординате — время в линейном масштабе 2,5 см/с или в логарифмическом масштабе 10 см/декада. По оси частот следует отметить среднегеометрические частоты октавных полос в соответствии с МЭК 61260.

График среднего времени реверберации $T_{30,mid}$ может быть рассчитан путем усреднения значений T_{30} в октавных полосах от 500 до 1000 Гц. Аналогично поступают при расчете $T_{20,mid}$. Альтернативно рассчитывают среднее по шести 1/3-октавным полосам в диапазоне от 400 до 1250 Гц.

9.2 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

a) ссылку на настоящий стандарт;
b) наименование и место расположения испытуемого помещения;
c) эскиз плана помещения с указанием масштаба;
d) объем помещения (если оно не имеет сложных ограждающих поверхностей) с пояснением способа определения объема;

e) для речевых и музыкальных залов — число и тип сидячих мест, например, имеют ли они обивку, ее толщину и вид (при наличии такой информации), тип обивочного материала (пористый или без пор), сиденья подняты или опущены и какая часть сидений облицована;

f) описание формы и материала стен и потолка;

g) степень заполненности помещения во время измерений или число зрителей;

h) сведения о дополнительном оборудовании, например о шторах, оборудовании для озвучивания и звукоусиления, электронных системах улучшения реверберации и т. п.;

i) для театров — подняты или опущены противопожарные или декоративные занавесы;

j) описание при необходимости декораций на сцене, в том числе концертных ограждений (при их наличии);

k) температура и относительная влажность в помещении во время измерений;

l) средства измерений, звукоусиливающее и вспомогательное оборудование, источник звука и микрофоны, используемые магнитофоны (самописцы);

m) описание используемого звукового сигнала;

n) выбранное рабочее пространство (зона озвучивания), включая описание мест расположения источника и микрофона с их указанием на плане, высота расположения источника и микрофонов;

o) дата измерений и наименование испытательной организации.

Приложение А
(справочное)

Акустические параметры помещений, определяемые на основе импульсной переходной характеристики

А.1 Общие положения

Субъективные исследования акустических характеристик помещений показали, что многие параметры, определяемые по импульсной переходной характеристике, коррелируют с субъективно воспринимаемыми акустическими свойствами помещений. Хотя время реверберации является одним из фундаментальных акустических параметров помещения, новые дополнительные величины обеспечивают более полное описание акустического качества помещения. Перечень рассматриваемых в настоящем приложении субъективно важных величин ограничен теми, что могут быть непосредственно определены по интегрированной импульсной переходной характеристике. Нахождение зрителей в аудитории может повлиять на время реверберации и значения рассматриваемых здесь величин.

Имеется пять групп или видов величин (см. таблицу А.1). В каждой группе, как правило, более одного показателя, но значения различных величин в каждой группе связаны друг с другом. Таким образом, каждая группа содержит несколько приблизительно эквивалентных показателей и не обязательно рассчитывать значения всех из них; однако по меньшей мере одна величина из каждой группы должна быть принята во внимание.

Таблица А.1 — Акустические величины, сгруппированные по оцениваемым слушателями параметрам

Субъективный параметр, оцениваемый слушателем	Акустическая величина	Диапазон усреднения по октавным полосам[a], Гц	Ощущаемое отличие (JND)	Типичный диапазон[b]
Субъективный уровень звука	Сила звука G, дБ	от 500 до 1000	1 дБ	(–2; +10) дБ
Ощущаемая реверберация	Время раннего запаздывания (EDT), с	от 500 до 1000	5 %	(1,0; 3,0) с
Ощущаемая чистота звука	Чистота C_{80}, дБ	от 500 до 1000	1 дБ	(–5; +5) дБ
	Четкость D_{50}	от 500 до 1000	0, 05	(0,3; 0,7)
	Центральное время T_s, мс	от 500 до 1000	10 мс	(60; 260) мс
Кажущаяся ширина источника (ASW)	Ранняя боковая энергетическая составляющая J_{LF} или J_{LFC}	от 125 до 1000	0,05	(0,05; 0,35)
Окружение слушателя (LEV)	Поздний боковой уровень звука L_J	от 125 до 1000	Не известно	(–14; +1) дБ

[a] Усреднение по октавным полосам означает арифметическое среднее для величин в октавных полосах, за исключением уровня L_J, который должен усредняться энергетически [см. (А.17)].

[b] Усредненные по частоте значения в отдельных точках измерений в незаполненных концертных и многоцелевых залах объемом до 25000 м^2.

А.2 Определение измеряемых величин

А.2.1 Сила звука

Сила звука G может быть измерена при помощи калиброванного ненаправленного (образцового) источника звука как логарифмическое отношение звуковой энергии (возведенного в квадрат и проинтегрированного звукового давления) измеренной импульсной переходной характеристики к такому же отклику, измеренному в свободном звуковом поле на расстоянии 10 м от источника звука, в соответствии с формулами (А.1)—(А.3):

$$G = 10\lg \frac{\int_0^\infty p^2(t)dt}{\int_0^\infty p_{10}^2(t)dt} = L_{pE} - L_{pE,10}, \quad (A.1)$$

причем

$$L_{pE} = 10\lg\left[\frac{1}{T_0}\int_0^\infty \frac{p^2(t)dt}{p_0^2}\right], \quad (A.2)$$

$$L_{pE,10} = 10\lg\left[\frac{1}{T_0}\int_0^{\infty}\frac{p_{10}^2(t)dt}{p_0^2}\right], \quad (A.3)$$

где $p(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики в точке измерения;

$p_{10}(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики, измеренное на расстоянии 10 м в свободном звуковом поле;

$p_0 = 20$ мкПа;

$T_0 = 1$ с;

L_{pE} — уровень звукового воздействия звукового давления $p(t)$;

$L_{pE,10}$ — уровень звукового воздействия звукового давления $p_{10}(t)$.

В приведенных выше формулах $t = 0$ соответствует моменту прихода прямого звука, $t = 4$ соответствует моменту времени, значительно превышающему или равному времени уменьшения кривой спада на 30 дБ.

При использовании большой заглушенной камеры уровень $L_{pE,10}$ может быть непосредственно измерен при расстоянии между источником и приемником звука, равном 10 м. Если измерения в таких условиях невозможны, то может быть измерен уровень $L_{pE,d}$ звукового воздействия в некоторой точке, расположенной на расстоянии d ($d \geq 3$ м) от источника и в этом случае уровень $L_{pE,10}$ может быть рассчитан по формуле

$$L_{pE,10} = L_{pE,d} + 20\lg\left(\frac{d}{10}\right). \quad (A.4)$$

Если такие измерения выполняют в свободном звуковом поле, то для усреднения характеристики направленности источника необходимо измерять уровни звукового воздействия через каждые 12,5° вокруг источника звука и рассчитывать его средние по энергии значения.

Примечание 1 — Альтернативно опорный уровень звукового воздействия $L_{pE,10}$ может быть измерен в реверберационной камере с использованием формулы из [7], [8]:

$$L_{pE,10} = L_{pE} + 10\lg\left(\frac{A}{S_0}\right) - 37, \quad (A.5)$$

где L_{pE} — усредненный по пространству уровень звукового воздействия, измеренный в реверберационной камере;

A — эквивалентная площадь звукопоглощения камеры, м^2;

$S_0 = 1$ м^2.

Площадь A может быть определена по времени реверберации помещения при помощи формулы Сэбина:

$$A = 0{,}16V/T, \quad (A.6)$$

где V — объем реверберационной камеры, м^3;

T — время реверберации камеры, с.

Примечание 2 — Альтернативно сила звука G может быть измерена при помощи стационарного ненаправленного источника звука по формуле

$$G = L_p - L_{p,10}, \quad (A.7)$$

где L_p — уровень звукового давления, измеренный в каждой точке измерений испытуемого помещения;

$L_{p,10}$ — уровень звукового давления, измеренный на расстоянии 10 м в свободном звуковом поле.

При использовании большой заглушенной камеры уровень $L_{p,10}$ может быть непосредственно измерен при расстоянии между источником и приемником звука, равном 10 м. Если измерения в таких условиях недоступны, то может быть измерен уровень звукового давления $L_{p,d}$ в некоторой точке, расположенной на расстоянии d ($d \geq 3$ м) от источника, и значение $L_{p,10}$ может быть рассчитано по формуле

$$L_{p,10} = L_{p,d} + 20\lg\left(\frac{d}{10}\right). \quad (A.8)$$

В данном случае необходимо выполнить усреднение характеристики направленности источника указанным выше способом.

Если применяют ненаправленный источник звука с известной звуковой мощностью, то сила звука может быть рассчитана по формуле

$$G = L_p - L_W + 31, \quad (A.9)$$

где L_p — уровень звукового давления в каждой точке измерения;

L_W — уровень звуковой мощности источника звука.

Уровень звуковой мощности источника звука следует измерять по [2].

А.2.2 Измерения раннего времени спада

Раннее время спада (EDT) следует оценивать по наклону кривых проинтегрированной импульсной переходной характеристики (как обычное время реверберации). Наклон кривой спада следует определять по наклону линии

наилучшей регрессии на интервале первых 10 дБ спада (от 0 до минус 10 дБ). Времена спада должны рассчитываться по наклону линии регрессии как время, необходимое для спада на 60 дБ.

Должны быть определены EDT и T. EDT субъективно более важная величина, т. к. связана с субъективно воспринимаемой реверберацией, в то время как T характеризует физические свойства помещения.

А.2.3 Отношение средней энергии ранних и поздних откликов

Среди используемых параметров данной группы наиболее простым является отношение средней энергии ранних и поздних откликов. Данное отношение зависит от вида источника звука и при значении предельного времени запаздывания 50 мс для речи и — 80 мс для музыки может быть рассчитано по формуле:

$$C_{t_e} = 10\lg \frac{\int_0^{t_e} p^2(t)dt}{\int_{t_e}^{\infty} p^2(t)dt}, \quad (A.10)$$

где C_{t_e} — коэффициент ранних/поздних откликов;

t_e — предельное время запаздывания — момент времени, условно отделяющий ранние отклики от поздних и определяющий начало интервала интегрирования по времени (показатель C_{80} обычно называют «разборчивость»);

$p(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики в точке измерения.

Примечание 1 — Данная величина может быть измерена как отношение звуковой энергии раннего отклика ко всей звуковой энергии. Например, показатель D_{50} («отчетливость» или «Deutlichkeit» — *нем.*) иногда применяют для речевых помещений в соответствии с формулой

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,05} p^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt}. \quad (A.11)$$

Эта величина связана с величиной C_{50} посредством соотношения

$$C_{50} = 10\lg\left(\frac{D_{50}}{1-D_{50}}\right). \quad (A.12)$$

Имея в виду отмеченную взаимосвязь, нет необходимости измерять обе величины.

В качестве последней величины из рассматриваемой группы может быть определен центральный момент времени T_S, являющийся центром тяжести возведенной в квадрат импульсной переходной характеристики, по формуле

$$T_S = \frac{\int_0^{\infty} tp^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt}. \quad (A.13)$$

При определении T_S импульсную переходную характеристику не разделяют на ранние и поздние отклики.

Величины данной группы характеризуют разборчивость или соотношение между разборчивостью и реверберацией.

Примечание 2 — Речевая разборчивость может быть определена также путем измерения индекса речевой передачи (STI) [5]. Изначально данная величина измерялась посредством специально модулированных шумовых сигналов, не рассматриваемых в настоящем стандарте, но она может быть получена также путем последующей (постпроцессной) обработки импульсной переходной характеристики.

А.2.4 Измерения энергии ранних боковых откликов

Доля звуковой энергии J_{LF}, распространяющаяся в боковых направлениях в первые 80 мс, может быть определена по импульсной переходной характеристике, измеренной при помощи имеющего диаграмму направленности в виде восьмерки (двунаправленного) микрофона по формуле

$$J_{LF} = \frac{\int_{0,005}^{0,080} p_L^2(t)dt}{\int_0^{0,080} p^2(t)dt}, \quad (A.14)$$

где $p_L(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики помещения, измеренное двунаправленным микрофоном;

$p(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики в точке измерения.

Предполагается, что нуль диаграммы направленности двунаправленного микрофона расположен напротив некоторой средней точки источника или точно напротив каждого источника так, что микрофон воспринимает звуковую энергию преимущественно с боковых направлений и почти не реагирует на прямой звук.

Из-за косинусообразной формы диаграммы микрофона и возведения в квадрат звукового давления результирующий вклад отдельных отражений в энергию боковых отражений изменяется как квадрат косинуса угла падения отраженного звука относительно оси максимальной чувствительности микрофона.

Как альтернативу доли боковой энергии можно использовать субъективно более точную величину J_{LFC} [9], определяемую по формуле (А.15), вклад отражений в которой изменяется как косинус угла

$$J_{LFC} = \frac{\int_{0,05}^{0,080} |p_L(t)p(t)|\,dt}{\int_0^{0,080} p^2(t)dt}, \quad (A.15)$$

где $p_L(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики помещения, измеренное двунаправленным микрофоном;

$p(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики в точке измерения.

Доля боковой энергии характеризует воспринимаемую пространственную ширину источника звука.

Полагают, что интерауральные поперечные корреляции звуковых сигналов, одновременно воспринимаемых обоими ушами слушателя, также связаны с пространственным восприятием. Эти величины рассмотрены в приложении В.

А.2.5 Измерения энергии поздних боковых откликов

Относительный уровень L_J энергии поздних боковых откликов может быть определен по импульсной переходной характеристике помещения, измеренной при помощи образцового ненаправленного источника звука и двунаправленного микрофона, по формуле

$$L_{\hat{J}} = 10\lg\left[\frac{\int_{0,080}^{\infty} p_L^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t)dt}\right], \quad (A.16)$$

где $p_L(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики помещения, измеренное двунаправленным микрофоном;

$p_{10}(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики, измеренное ненаправленным микрофоном на расстоянии 10 м от источника в свободном звуковом поле.

Предполагается, что нуль диаграммы направленности двунаправленного микрофона расположен вблизи некоторой средней точки источника или точно напротив каждого источника так, что данный микрофон воспринимает звуковую энергию с боковых направлений и почти не реагирует на прямой звук.

Усредненный по частоте уровень $L_{J,avg}$ энергии поздних боковых откликов рассчитывают по формуле

$$L_{J,avg} = 10\ \lg\ [0{,}25\textstyle\sum_{i=1}^{4} 10^{L_{J_i}/10}\ ], \quad (A.17)$$

где L_{J_i} — значение в i-й октавной полосе;

i — номер октавной полосы со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500 и 1000 Гц.

Энергия поздних боковых откликов характеризует воспринимаемое слушателем окружение или объемность (просторность) помещения.

А.3 Измерения

А.3.1 Источник звука

Источник звука и связанное с ним оборудование должны обеспечивать необходимый уровень сигнала во всех октавных полосах частот от 125 до 4000 Гц, чтобы интервал спада уровня звукового давления в каждой октавной полосе был достаточной величины. Источник звука должен быть, по возможности, ненаправленным (см. 4.2.1).

При испытаниях, связанных с характеристиками речи, следует применять источник, имеющий направленность, близкую к говорящему человеку. Имитаторы головы, отвечающие требованиям [6], можно применять без специальной проверки диаграммы направленности.

А.3.2 Микрофоны

При всех видах измерений импульсной переходной характеристики следует использовать ненаправленный микрофон.

Для определения значений L_{LF} требуется двунаправленный микрофон. Относительная чувствительность ненаправленного и двунаправленного микрофонов в направлении максимальной чувствительности должна калиброваться в свободном звуковом поле.

Для определения значений G должен использоваться калиброванный ненаправленный микрофон.

А.3.3 Импульсные переходные характеристики

Для расчетов всех величин требуются значения импульсных переходных характеристик в октавных полосах. Они могут быть определены при помощи импульсного источника звука подобного холостому выстрелу из пистолета или путем более сложной обработки, требующей расчета импульсной характеристики от различных типов сигналов, излучаемых громкоговорителями. Если результирующая импульсная переходная характеристика не обладает

достаточной повторяемостью, то результаты должны быть усреднены по нескольким измерениям в тех же точках измерения.

Пистолеты можно модернизировать с целью создания максимально ненаправленного излучения звука, но они, как правило, не генерируют идентичных импульсных переходных характеристик. Пистолеты могут создавать высокие уровни звука, обеспечивая получение результатов в нужном динамическом диапазоне, но их применение может сопровождаться нелинейными эффектами вблизи пистолета.

Методы с использованием в качестве источников звука громкоговорителя имеют ограничение по частоте и направленности излучения. Усреднение отклика по частоте обеспечивает некоторое улучшение стабильности результатов, однако неравномерность излучения громкоговорителя по направлению принципиально не может быть устранена и становится особенно значительной на высоких частотах. Использование громкоговорителя для излучения импульсных сигналов различного вида малопригодно из-за ограниченного динамического диапазона получаемой импульсной переходной характеристики, особенно без использования синхронного усреднения результатов повторных измерений. Одним из методов обеспечить импульсную переходную характеристику с хорошим динамическим диапазоном и устойчивостью к шумам является использование взаимно-корреляционной функции сигналов источника и микрофона (см. [3]). Эффективным подходом к реализации корреляционной методов являются применение быстрого преобразования Адамара и псевдослучайных последовательностей минимальной длины.

А.3.4 Применение временных окон и фильтрации к импульсным переходным характеристикам

Импульсные переходные характеристики подвергаются фильтрации октавными фильтрами.

Фильтрация приводит к задержке сигналов, которая может быть весьма значительной в случае полосы фильтра значительно меньшей октавной полосы частот. Таким образом, начало сигнала, прошедшего через фильтр, запаздывает относительно входного сигнала, и сигнал на выходе фильтра продолжается после окончания сигнала на его входе. Это создает дополнительные трудности при измерении таких величин, как C_{80} или доли энергии J_{LF}, когда в октавных полосах фильтруют короткие отрезки начальных участков сигнала.

Лучшим способом избежать проблем с задержкой фильтра является обработка широкополосной импульсной переходной характеристики перед фильтрацией при помощи временного окна. Начало импульсной переходной характеристики для формул, приведенных в А.2, должно быть получено из широкополосной импульсной переходной характеристики на участке, где сигнал сначала значительно выше фонового шума, но остается ниже максимума не менее чем на 20 дБ. Ранние и поздние составляющие импульсной переходной характеристики фильтруют отдельно, и интервал интегрирования в формулах А.2 увеличивают, чтобы включить в него энергию задержанного фильтром сигнала.

Указанный выше способ обработки временным окном перед фильтрацией может быть выполнен путем коррекции временного окна [7]. Если импульсные сигналы сначала фильтруют в октавных полосах, то начало интегрирования в формулах А.2 должно быть определено как точка, где выходной сигнал фильтра после первого превышения фонового шума становится равным значению, которое на 20 дБ ниже максимума. Начало раннего отклика должно начинаться от этого момента времени и иметь продолжительность t_e секунд, увеличенную на половину времени задержки фильтра. Момент начала позднего отклика должен начинаться от окончания выходного сигнала раннего отклика, т. е. запаздывать от его начала на t_e секунд плюс половина времени задержки фильтра. В данном случае время задержки фильтра соответствует моменту достижения энергией выходного сигнала значения, равного половине всей энергии импульса.

Определение начала низкочастотных откликов может оказаться невозможным из-за значительного ослабления прямого и раннего низкочастотного звука. Хотя это может быть необходимым для определения начального момента широкополосной или высокочастотной импульсной переходной характеристики и измерения времени задержки фильтров.

А.3.5 Кривые спада

Для получения интегрированных в октавной полосе кривых спада, по которым рассчитывают времена реверберации, следует использовать метод интегрированной импульсной переходной характеристики (интегрирование в обращенном времени) согласно 5.3.3. Одновременно и другие величины могут быть рассчитаны по этим кривым спада при условии правильного применения временного окна. При применении этого метода требуется правильное определение начального момента времени отклика в каждой октавной полосе по широкополосному отклику. В других случаях для нахождения значений других величин можно использовать интегрирование в прямом направлении времени.

А.4 Точки измерения

Отдельные количественные показатели не представляют собой статистические характеристики всего зрительного зала и, как правило, закономерно изменяются в зависимости от положения зрительского места. Поэтому важно выбрать необходимое число позиций источника и точек измерения, чтобы охарактеризовать помещение зала в целом.

Обычно следует использовать как минимум три позиции источника на сцене. В залах с большой сценой или оркестровой ямой требуется большее число позиций источника звука. В малых лекционных аудиториях, где естес-

твенный источник звука расположен в одном месте, достаточно одной позиции одиночного испытательного источника.

Источник должен располагаться в позициях, репрезентативных тем, что используются во время представлений в данном зале. Поскольку большинство залов симметричны относительно центральной осевой линии, точки измерения могут располагаться с одной стороны зала при размещении источника симметрично относительно центральной линии. Таким образом, одна позиция источника может быть по центру и по одной позиции справа и слева от актера на сцене на равных расстояниях от центральной линии. Для предотвращения изменения выходной мощности источника на низких частотах диапазона измерений рекомендуется располагать источник на высоте 1,5 м.

Если направленность источника близка к предельным значениям, указанным в таблице 1, то измерения следует полностью повторить по меньшей мере в трех положениях источника, отличающихся углом поворота. Результирующие параметры, относящиеся к разным углам положения источника, должны арифметически усредняться.

В зависимости от размеров зала должны использоваться как минимум от 6 до 10 позиций микрофона. В таблице А.2 приведено рекомендуемое число точек измерения как функция размеров зала. Точки измерения должны быть равномерно распределены по всей площади зрительских мест. Если зал разбит на отдельные пространства, такие как балконы и подбалконные зоны, то потребуется большее число точек измерения.

Микрофон следует располагать на высоте 1,2 м над полом вблизи зрительских мест, чтобы измеряемые сигналы были репрезентативны звукам, воспринимаемым сидящим слушателем. Положения источника и микрофона и их высоту следует регистрировать в протоколе испытаний. Следует также отмечать наличие стульев и музыкальных инструментов на сцене, т. к. это может оказать воздействие на результаты измерений.

Т а б л и ц а А.2 — Минимальное число точек измерений в зависимости от размеров зала

Число мест	Минимальное число точек измерения
500	6
1000	8
2000	10

А.5 Представление результатов измерений

В дополнение к формату представления времени реверберации T, значения измеренных величин могут быть представлены в более сжатой форме путем определения средних значений результатов, полученных в паре соседних октав. Таким образом, результат для низких частот может быть представлен средним значением для октавных полос 125 и 250 Гц, аналогично для средних частот — средним значением для 500 и 1000 Гц и высоких частот — средним значением для 2000 и 4000 Гц. Следует иметь в виду, что доли боковой энергии в октавной полосе 4000 Гц обычно не считаются субъективно значимыми.

Для всех одночисловых значений рассмотренных выше параметров применяют арифметическое усреднение в октавных полосах, за исключением расчета значения L_J, при котором должно быть применено энергетическое усреднение [см. формулу (А.17)]. При частотном усреднении в диапазонах, указанных в таблице А.1, у соответствующих величин следует указывать индекс «m» (среднее по частоте значение).

Пример 1 — G_m — сила звука, усредненная в октавных полосах 500 и 1000 Гц;

Пример 2 — J_{LFm} — доля ранней боковой энергии, усредненная в октавных полосах от 125 до 1000 Гц.

Результаты измерений для показателей, описанных в настоящем приложении, обычно не должны усредняться по всем точкам измерений в помещении, так как полагают, что данные показатели описывают локальные условия. Для больших залов иногда целесообразно усреднить результаты в некоторых зонах зала (места в партере, первого балкона и т. п.). Некоторые показатели, такие как сила звука G, изменяются с расстоянием, поэтому могут быть полезны графические зависимости G как функции расстояния между источником и микрофоном.

Приложение В
(справочное)

Бинауральные характеристики помещения, определяемые на основе импульсной переходной характеристики

В.1 Общие положения

Процесс слухового восприятия является бинауральным. Субъективные исследования аудиторий показали, что интераурального коэффициент взаимной корреляции (IACC), измеренный на имитаторе головы или реальном человеке стандартных размеров при помощи миниатюрных микрофонов, вставленных в слуховой канал, хорошо коррелируют с субъективными оценками качества пространственного восприятия (стереофонического эффекта) в конкретном зале [полагают, что показатели ранней боковой энергии имеют отношение к ощущению пространства (см. приложение А)].

Пространственное восприятие может быть разделено на два подкласса:

- подкласс 1: уширения источника (ASW), т. е. ощущение протяженности кажущегося источника;
- подкласс 2: охват слушателя (LEV), т. е. ощущение погруженности в звук или охваченности звуком*).

В.2 Определение IAAC

Нормированную интераурального функцию взаимной корреляции (IACF) определяют по формуле

$$\mathrm{IACF}_{t_1, t_2}(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_l(t) p_r(t+\tau) dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} p_l^2(t) dt \int_{t_1}^{t_2} p_r^2(t) dt}}, \quad \text{(B.1)}$$

где $p_l(t)$ — импульсная переходная характеристика на входе левого ушного канала;

$p_r(t)$ — импульсная переходная характеристика на входе правого ушного канала.

Интераурального коэффициент взаимной корреляции IACC рассчитывают по формуле

$$\mathrm{IACC}_{t_1, t_2} = \max|\mathrm{IACF}_{t_1, t_2}| \text{ для } -1 \text{ мс} < \tau < +1 \text{ мс}. \quad \text{(B.2)}$$

В.3 Использование головы для проведения акустических измерений

В.3.1 Имитатор головы человека

Для рассматриваемого в настоящем стандарте множества измерений в качестве стандартного испытательного оборудования следует использовать имитатор головы человека с имитацией ушной раковины и ушного канала. Имитатор головы, удовлетворяющий требованиям [6], может быть использован без проверки его геометрических или акустических характеристик. Выбор и использование имитатора головы должны быть указаны в протоколе испытаний. Характеристика направленности имитатора головы должна быть детально описана.

При измерениях в зале высота ушных каналов имитатора головы над полом должна быть 1,2 м.

В.3.2 Измерения на человеке

Измерения интераурального коэффициента взаимной корреляции IACC можно выполнять на реальном человеке-испытателе вместо стандартного имитатора головы. При этом следует обеспечивать выполнение условия K_1 < [ширина головы плюс удвоенная разность между продольным (в направлении источника) размером головы и расстоянием от точки входа в ушной канал (EEP) до затылочной кости] < K_2, где константы K_1 и K_2 определяют путем сравнения с имитатором головы так, чтобы измеренный IACC для головы выбранного испытателя был не менее 0,85 от той же величины для имитатора головы. В протоколе испытаний следует четко указать способ отбора испытателя и привести подробные инструкции для участующих в испытаниях лиц, а также детально описать тип применяемых микрофонов.

В.4 Использование IACC

Использование IACC еще не является общепринятым. Как в случае с J_{LF} и J_{LFC}, использование IACC и его субъективная значимость все еще являются предметом обсуждения и исследования. Кроме того, были предложены различные подходы к выбору моментов времени (пределов интегрирования) t_1 и t_2 и частоты фильтрации сигналов [8].

В наиболее общем случае IACC определяют при $t_1 = 0$ и $t_2 = \infty$ (в акустике помещений интервал времени выбирают порядка времени реверберации) и в широкой полосе частот. Как и в случае монауральных (монофонических) измерений, IACC обычно измеряют в октавных полосах частот в диапазоне от 125 до 4000 Гц.

IACC может быть измерено, чтобы показать несовпадение момента прихода сигналов на оба уха как для ранних отражений ($t_1 = 0$ и $t_2 = 0{,}08$ с), так и для реверберации ($t_1 = 0{,}08$ с, t_2 равно времени, большем времени реверберации зала).

Порог различения (JND) для IACC полагают равным 0,075.

В.5 Методика измерений

Методика измерений в общем аналогична описанной в приложении А.

*) Более подходящим представляется термин «акустическая атмосфера».

Приложение С
(справочное)

Акустические характеристики сцены, определяемые на основе импульсной переходной характеристики

С.1 Общие положения

В концертных залах и других помещениях для представлений важно, чтобы акустические условия позволяли музыкантам слышать друг друга и обеспечивали достаточную реакцию помещения. Было показано, что для объективной оценки таких условий полезно выполнять измерения на оркестровой площадке с источником и микрофоном, расположенными близко друг к другу [19]. При таких измерениях могут быть определены два разных параметра (см. таблицу С.1).

Таблица С.1 — Акустические параметры, измеряемые на оркестровых площадках

Субъективный параметр	Акустическая величина, дБ	Диапазон частот усреднения для определения одночислового значения, Гц	Порог различения	Типичный диапазон значений, дБ
Ансамблевые условия	Ранняя поддержка ST_{Early}	от 250 до 2000	Не известен	(–24; –8)
Воспринимаемая реверберация	Поздняя поддержка ST_{Late}	от 250 до 2000	Не известен	(–24; –10)

С.2 Определение показателей

С.2.1 Ранняя поддержка

Ранней поддержкой называется отношение в дБ энергии отраженного в течение 0,1 с звука к энергии прямого звука (включающего отражения от пола), измеренные на расстоянии 1 м от акустического центра ненаправленного источника звука, и обозначают ST_{Early}. Другие отражающие поверхности или объекты должны находиться на расстояниях более 2 м от точки измерения [см. формулу (С.1)]. Величину ранней поддержки рассчитывают по формуле:

$$ST_{Early} = 10\lg\left[\frac{\int_{0,020}^{0,100} p^2(t)dt}{\int_{0}^{0,020} p^2(t)dt}\right], \quad (C.1)$$

где $p(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики в точке измерения и $t = 0$ соответствует приходу прямого звука.

Ранняя поддержка характеризует ансамбль, т. е. насколько хорошо исполнитель слышит других исполнителей в оркестре. При этом не учитываются влияние прямого звука, времени задержки и отражений от близких поверхностей.

С.2.2 Поздняя поддержка

Поздней поддержкой называют отношение в дБ энергии отраженного после 0,1 с звука к энергии прямого звука (включающего отражения от пола), измеренные на расстоянии 1 м от акустического центра ненаправленного источника звука, и обозначают ST_{Late}. Другие отражающие поверхности или объекты должны находиться на расстояниях более 2 м от точки измерения [см. формулу (С.2)]. Величину поздней поддержки рассчитывают по формуле

$$ST_{Late} = 10\lg\left[\frac{\int_{0,100}^{1,000} p^2(t)dt}{\int_{0}^{0,010} p^2(t)dt}\right], \quad (C.2)$$

где $p(t)$ — мгновенное звуковое давление импульсной переходной характеристики в точке измерения и $t = 0$ соответствует приходу прямого звука.

Поздняя поддержка характеризует воспринимаемую исполнителем реверберацию, т. е. реакцию зала.

С.2.3 Точки измерения

Высота источника и микрофона должна быть одинаковой: 1 или 1,5 м над полом. Обычно используют по меньшей мере три различные позиции источника и микрофона. Рекомендуется выполнять измерения при наличии стульев и инструментов на оркестровой площадке, но ближайшие из них должны находиться на удалении не менее 2 м от источника и микрофона, чтобы исключить попадание отраженного звука непосредственно в микрофон. Положения источника и микрофона и их высота должны указываться в протоколе испытаний.

С.2.4 Оформление результатов

Измерения выполняют в октавных полосах. В качестве одночислового результата принимают арифметическое среднее измерений в четырех октавных полосах от 250 до 2000 Гц в трех позициях.

Стандартное отклонение результата в одной позиции и одной октавной полосе оценивают значением 1 дБ. Стандартное отклонение усредненного по частоте и позициям одночислового результата оценивают значением 0,3 дБ.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам)

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 61260:1995	MOD	ГОСТ Р 8.714—2010 (МЭК 61260:1995)«Государственная система обеспечения единства измерений. Фильтры полосовые октавные и на доли октавы. Технические требования и методы испытаний»
МЭК 61672-1:2002	MOD	ГОСТ 17187—2010 (IEC 61672-1:2002)«Шумомеры. Часть 1. Технические требования»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - MOD — модифицированные стандарты.		

Библиография

[1] ISO 354:2003, Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room*

[2] ISO 3741, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation rooms**

[3] ISO 18233, Acoustics — Application of new measurement methods in building and room acoustics***

[4] IEC 60268-1, Sound system equipment — Part 1: General

[5] IEC 60268-16, Sound system equipment — Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index

[6] ITU Recommendation P.58:1994, Head and torso simulator for telephonometry

[7] BARRON, M. Impulse Response Testing Techniques for Auditoria, App. Acoust., Vol. 17, 1984, p. 165

[8] KEET, W. de V. The Influence of Early Lateral Reflections on Spatial Impression, 6th International Congress on Acoustics, Tokyo, 1968

[9] KLEINER, M.A. New Way of Measuring Lateral Energy Fractions, App. Acoust., Vol. 27, 1989, p 321

[10] RASMUSSEN, B., RINDEL, J.H. and HENRIKSEN, H. Design and Measurement of Short Reverberation Times at Low Frequencies in Talks Studios, J. Audio Eng. Soc., Vol. 39, 1991, p. 47

[11] SCHROEDER, M.R. New Method of Measuring Reverberation Time, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 37, 1965, p. 409

[12] SCHROEDER, M.R., GOTTLOB, D. and SIEBRASSE, D.F. Comparative Study of European Concert Halls: Correlation of Subjective Preference with Geometric and Acoustic Parameters, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 56, 1974, p. 1195

[13] VORLÄNDER, M. and BIETZ, H. Comparison of Methods for Measuring Reverberation Time, Acustica, Vol. 80, 1994, p. 205

[14] KUTTRUFF, H. Room Acoustics, 3rd edition, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1991, chapter VIII

[15] TACHIBANA, H. et. al. Definition and Measurement of Sound Energy Level of a Transient Sound Source, J. Acoust. Soc. Jpn (E), Vol. 8 No. 6, 1987, p. 235

[16] KOYASU, M. et. al. Measurement of Equivalent Sound Absorption Area by Stationary and Impulsive Reference Sound Sources, Proc. of Inter-Noise 94, 1994, p. 1501

[17] BRADLEY, J.S. and SOULODRE, G.A. Objective measures of listener envelopment. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 98, 1995, p. 2590

[18] BARRON, M. Using the standard on objective measures for concert auditoria, ISO 3382, to give reliable results. Acoustical Science and Technology, Vol. 26, 2005, p. 162—169

[19] GADE, A.C. Practical Aspects of Room Acoustical Measurements on Orchestra Platforms. Proc. of 14th ICA, Beijing, 1992, Paper F3-5

[20] BARTEL, T.W. and YANIV, S.L. Curvature of sound decays in partially reverberant rooms. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 72, 1982, p. 1838—1844 ISO 3382-1:2009(E) 26 © ISO 2009 — All rights reserved

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

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

---

* В Российской Федерации действует ГОСТ 31704—2011 «Материалы звукопоглощающие. Методы измерения звукопоглощения в реверберационной камере» модифицированный по отношению к ЕН ИСО 354—2003.

** Последняя редакция данного стандарта ISO 3741:2010 «Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation test rooms».

*** В Российской Федерации действует ГОСТ Р 54579—2011 «Акустика. Применение новых методов измерений в акустике зданий и помещений», модифицированный по отношению к ISO 18233.

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 91.120.20 Т34

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

Редактор *Б.Н. Колесов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 02.09.2014. Подписано в печать 03.10.2014. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,60. Тираж 37 экз. Зак. 4203.

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

gost.e-ecolog.ru