ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р ЕН 12354-6— 2012**

## Акустика зданий

# МЕТОДЫ РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

### Часть 6

## Звукопоглощение в закрытых пространствах

**EN 12354-6:2004**
**Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 6: Sound absorption in enclosed 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 европейского регионального 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 29 ноября 2012 г. № 1385-ст

4 Настоящий стандарт идентичен европейскому региональному стандарту ЕН 12354-6:2004 «Акустика зданий. Оценка акустических характеристик зданий по характеристикам элементов. Часть 6. Звукопоглощение в закрытых пространствах» (EN 12354-6:2004 «Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 6: Sound absorption in enclosed spaces»).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного европейского регионального стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации и 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 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 Модели расчета . . . 2
4.1 Общие положения . . . 2
4.2 Исходные данные . . . 3
4.3 Определение суммарной эквивалентной площади звукопоглощения . . . 3
4.4 Определение времени реверберации . . . 4
4.5 Особенности расчета в частных случаях . . . 5
4.6 Ограничения . . . 5
5 Точность расчетов . . . 5
Приложение А (обязательное) Перечень обозначений . . . 6
Приложение В (справочное) Звукопоглощение материалов . . . 9
Приложение С (справочное) Звукопоглощение объектов . . . 12
Приложение D (справочное) Расчет для помещений неправильной формы и/или неравномерного распределения звукопоглощения . . . 13
Приложение Е (справочное) Пример расчета . . . 18
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам) . . . 19
Библиография . . . 20

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Акустика зданий**

# МЕТОДЫ РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Часть 6**

**Звукопоглощение в закрытых пространствах**

Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 6. Sound absorption in enclosed spaces

**Дата введения — 2013—12—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод расчета общей эквивалентной площади звукопоглощения и времени реверберации в закрытых пространствах зданий. Расчет основан на результатах измерений, характеризующих звукопоглощение материалов и объектов. Расчеты выполняют в полосах частот.

Настоящий стандарт устанавливает основные принципы построения расчетных схем, определяет область их применения и ограничения, устанавливает перечень соответствующих величин. Настоящий стандарт предназначен для экспертов в области акустики и служит основой для разработки документов и программных средств для других специалистов в строительстве с учетом региональных требований.

Расчетные модели основаны на опыте прогнозирования для типичных жилых помещений, офисов, а также для общих пространств здания, включая лестничные пролеты, коридоры и помещения с инженерным оборудованием. Настоящий стандарт не распространяется на большие помещения или помещения неправильной формы, такие как концертные залы, театры и производственные помещения.

## 2 Нормативные ссылки

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

ЕН ИСО 354 Акустика. Метод измерения звукопоглощения в реверберационной камере (EN ISO 354, Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room)

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

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

**3.1 Акустические характеристики зданий**

3.1.1 **акустические характеристики помещения** (acoustic performances of a room): Эквивалентная площадь звукопоглощения или время реверберации помещения в соответствии с [10].

Примечание — Данные величины характеризуют степень звукопоглощения звука в пространстве помещения и определяются в полосах частот (третьоктавных или октавных).

3.1.2 **эквивалентная площадь звукопоглощения помещения** (equivalent sound absorption area of a room) $A$, **м$^2$:** Площадь гипотетической поверхности, которая полностью и без дифракционных эффек-

**Издание официальное**

тов поглощает такое же количество звуковой энергии и обеспечивает такое же время реверберации, как и рассматриваемое помещение.

3.1.3 **время реверберации** (reverberation time) $T$, **с:** Время, в течение которого уровень звукового давления в помещении после выключения источника звука спадает на 60 дБ.

Примечание 1 — Определение времени реверберации, соответствующего спаду уровня звукового давления на 60 дБ, выполняют по кривой спада путем линейной экстраполяции на меньшем чем 60 дБ интервале оцениваемых уровней.

Примечание 2 — Если кривая спада не является монотонной, то время реверберации определяют по моментам времени, в которые кривая спада впервые достигает уровней, которые на 5 дБ и на 25 дБ ниже начального уровня. В случае невозможности расширения такого интервала экстраполяции до 60 дБ время реверберации обозначают $T_{20}$.

### 3.2 Акустические характеристики элементов

3.2.1 **акустические характеристики элемента** (acoustic performances of an element): Эквивалентная площадь звукопоглощения или коэффициент звукопоглощения элемента, выражающие звукопоглощение элемента в соответствии с ЕН ИСО 354.

Примечание 1 — Данные величины определяют в полосах частот (третьоктавных или октавных).

Примечание 2 — Оценка одним числом характеристик элемента, например $\alpha_W(M)$, может быть получена по данным для частотных полос в соответствии с [7]. Оценка одним числом может использоваться для сравнения элементов или определения их требуемых характеристик, но не может непосредственно применяться для расчета характеристик в натурных условиях.

3.2.2 **эквивалентная площадь звукопоглощения объекта** (equivalent sound absorption area of an object) $A_{obj}$, **м²:** Разность между эквивалентной площадью звукопоглощения испытательного помещения при наличии и отсутствии в нем объекта (испытуемого образца).

3.2.3 **коэффициент звукопоглощения** (sound absorption coefficient) $\alpha_s$: Отношение эквивалентной площади звукопоглощения испытуемого образца к его площади.

Примечание 1 — Для звукопоглощающих пластин, облучаемых с обеих сторон, коэффициент звукопоглощения для каждой стороны принимают равным среднему значению коэффициентов звукопоглощения обеих сторон.

Примечание 2 — Данную величину применяют только к плоским звукопоглотителям или к заданному множеству объектов, но не к одиночному объекту.

### 3.2.4 Другие данные

Дополнительными данными при расчетах являются:

- площадь ограждающих элементов помещения;
- объем и форма закрытого пространства;
- величина и тип объектов, оборудование в закрытом пространстве;
- число людей, обычно находящихся в помещении.

### 3.3 Другие термины и величины

3.3.1 **звукопоглощение воздухом** (absorption by air) $A_{air}$, **м²:** Эквивалентная площадь звукопоглощения, соответствующая коэффициенту затухания звука в воздухе.

3.3.2 **объем свободного помещения** (empty room volume) $V$, **м³:** Объем закрытого пространства без установленных в нем объектов и оборудования.

3.3.3 **объем объекта** (object volume) $V_{obj}$, **м³:** Объем гипотетического тела, имеющего регулярную форму, поверхность которого охватывает объект за исключением малых выступающих частей.

3.3.4 **коэффициент объемного заполнения** (object fraction) $\psi$: Отношение суммы объемов всех объектов к объему свободного пространства помещения.

3.3.5 **группа объектов** (object array): Заданный набор объектов, для которого звукопоглощение выражается коэффициентом звукопоглощения $\alpha_s$, приписываемым площади поверхности, покрываемой данными объектами.

## 4 Модели расчета

### 4.1 Общие положения

При расчете эквивалентной площади звукопоглощения и времени реверберации в закрытом пространстве предполагают диффузность звукового поля. Это может быть в закрытом пространстве, пред-

ставляющем собой соразмерное помещение (см. 4.6), с равномерным распределением по нему звукопоглощения. Наличие звукорассеивающих объектов ослабляет данные ограничения. При расчете учитывают звукопоглощение поверхностей, воздуха, объектов, включая людей и группы объектов.

Примечание 1 — Для помещений неправильной формы или имеющих неравномерное распределение звукопоглощения следует руководствоваться усовершенствованной расчетной моделью, приведенной в приложении D. При неправильной форме пространства, например в случае лестничных пролетов, или при заполненном оборудованием помещении полагают, что уровень звукового давления, а следовательно, и звукопоглощение более объективно характеризуют помещение, чем время реверберации.

Модель может использоваться для расчета акустических характеристик здания в полосах частот на основе акустических данных элементов в этих полосах. Расчет обычно выполняют в октавных полосах в диапазоне частот от 125 до 4000 Гц.

Примечание 2 — Данные расчеты могут быть выполнены для частот вне указанного диапазона при наличии соответствующих данных об элементах. Однако в настоящее время отсутствуют сведения о точности расчетов для расширенного, особенно в низкочастотную область, диапазона частот.

Перечень обозначений, используемых в расчетной модели, приведен в приложении А.

### 4.2 Исходные данные

Эквивалентную площадь звукопоглощения и время реверберации определяют, используя следующие данные:

- коэффициент звукопоглощения $\alpha_{s,i}$ поверхности $i$;
- площадь $S_i$ поверхности $i$;
- эквивалентную площадь звукопоглощения $A_{obj,j}$ объекта $j$;
- коэффициент звукопоглощения группы $\alpha_{s,k}$ объектов $k$;
- площадь поверхности $S_k$ группы объектов $k$;
- объем $V$ свободного помещения;
- объем $V_{obj,j}$ объекта $j$ или объем $V_{obj,k}$ группы $k$.

Акустические характеристики элементов следует брать, прежде всего, из результатов лабораторных измерений. Однако они могут быть определены также и другими способами, например с помощью теоретических расчетов, эмпирических оценок или результатов измерений в натурных условиях. Соответствующие сведения приведены в некоторых приложениях настоящего стандарта. Используемые источники данных должны быть указаны.

Исходные данные для расчетов в октавных полосах могут быть получены усреднением соответствующих третьоктавных значений.

Примечание — Использование средних третьоктавных значений в качестве исходных данных для расчетов в октавных полосах не всегда обеспечивает необходимую точность для узкополосных звукопоглотителей.

Информация о звукопоглощении некоторых материалов и облицовок поверхностей приведена в приложении В.

Информация о звукопоглощении некоторых типичных объектов приведена в приложении С.

### 4.3 Определение суммарной эквивалентной площади звукопоглощения

Суммарную эквивалентную площадь звукопоглощения в закрытом пространстве рассчитывают по формуле

$$A = \sum_{i=1}^{n} \alpha_{s,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^{o} A_{obj,j} + \sum_{k=1}^{p} \alpha_{s,k} \cdot S_k + A_{air}, \quad (1)$$

где $n$ — число звукопоглощающих поверхностей $i$;

$o$ — число звукопоглощающих объектов $j$;

$p$ — число групп звукопоглощающих объектов $k$.

Эквивалентную площадь звукопоглощения для звукопоглощения воздухом рассчитывают по формуле

$$A_{air} = 4mV(1 - \psi), \quad (2)$$

где $m$ — коэффициент затухания звуковой мощности в воздухе, Нп/м;

$V$ — объем свободного помещения, м$^3$;

$\psi$ — коэффициент объемного заполнения.

Коэффициент объемного заполнения рассчитывают по формуле

$$\psi = \frac{\sum_{j=1}^{o} V_{obj,\,j} + \sum_{k=1}^{p} V_{obj,k}}{V}. \quad (3)$$

Затухание звука в воздухе в соответствии с ИСО 9613-1 является функцией температуры, относительной влажности и частоты. Для распространения шума в помещении при нормальных условиях соответствующие значения коэффициента затухания звуковой мощности, определенные по данным ИСО 9613-1, приведены в таблице 1. При других условиях коэффициент затухания мощности определяют в соответствии с ИСО 9613-1. Если условия не заданы, то рекомендуется использовать значения температуры 20 °С и относительной влажности от 50 % до 70 %.

Если диапазон частот при расчетах ограничен сверху октавной полосой 1000 Гц, а объем помещения менее 200 м$^3$, то звукопоглощением воздухом можно пренебречь, положив в формуле (1) $A_{air} = 0$.

Для жестких звукоотражающих объектов или объектов неправильной формы, таких как станки, шкафы или офисная мебель, эквивалентная площадь звукопоглощения является важным, но не всегда известным из результатов измерений параметром. Для целей настоящего стандарта эквивалентную площадь звукопоглощения указанных жестких объектов можно рассчитать исходя из объема объектов по формуле

$$A_{obj} = V_{obj}^{2/3}, \quad (4)$$

где $V_{obj}$ — объем жесткого звукоотражающего объекта.

Примечание — Данная эмпирическая формула обеспечивает достоверные результаты для относительно большого числа объектов в рассматриваемом пространстве, содержащем, например, большое число единиц оборудования.

### 4.4 Определение времени реверберации

Время реверберации рассчитывают по суммарной эквивалентной площади звукопоглощения, рассчитанной в соответствии с 4.3, объему свободного замкнутого пространства и коэффициенту объемного заполнения по формуле

$$T = \frac{55{,}3V(1-\Psi)}{A}, \quad (5)$$

где $c_o$ — скорость звука в воздухе, м/с.

Примечание — Отношение $55{,}3/c_o = 0{,}16$ при скорости звука 345,6 м/с [8].

Таблица 1 — Коэффициент затухания звуковой мощности в воздухе $m$ в октавных полосах в зависимости от температуры и относительной влажности

| Температура и диапазон относительной влажности | $m$, $10^{-3}$ Нп/м<br>Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| 10 °С, от 30 % до 50 % | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1,1 | 2,7 | 9,4 | 29,0 |
| 10 °С, от 50 % до 70 % | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,8 | 5,9 | 21,1 |
| 10 °С, от 70 % до 90 % | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1,4 | 4,4 | 15,8 |
| 20 °С, от 30 % до 50 % | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,9 | 5,8 | 20,3 |
| 20 °С, от 50 % до 70 % | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,7 | 4,1 | 13,5 |
| 20 °С, от 70 % до 90 % | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 3,5 | 10,6 |

Примечание — Данные значения рассчитаны по значениям ИСО 9613-1 в третьоктавных полосах путем деления коэффициента затухания в атмосфере, дБ/км, на 4,343 (= *10/g e*). Приведенные значения совпадают со значениями для центральных третьоктавных полос в диапазоне ниже 1 кГц и со значениями для низших третьоктавных полос в диапазоне свыше 1 кГц. Значения линейно усреднены по влажности в пределах указанного диапазона.

### 4.5 Особенности расчета в частных случаях

Указанные ниже частные случаи имеют некоторые особенности расчета:

- расчетная модель применима к помещениям правильной формы, имеющим надлежащим образом распределенный звукопоглощающий материал и несколько звукорассеивающих объектов, жестких или звукопоглощающих, обычно применяемых в жилых и офисных помещениях. В таких помещениях звукопоглощением воздухом можно пренебречь, а коэффициент объемного заполнения, как правило, $\psi < 0,05$ для свободных помещений и $0,05 < \psi < 0,2$ для меблированных;
- в помещениях с инженерным оборудованием или механизмами, даже акустически жесткими, влияние коэффициента объемного заполнения так же значительно, как звукопоглощение воздухом. Однако модель неприменима, если коэффициент объемного заполнения велик и вследствие этого свободное от оборудования пространство не может рассматриваться как единое целое (см. приложение D);
- жесткие объекты или группы объектов существенно влияют на звуковое поле лишь в случае, когда их размеры превышают длину звуковой волны. Поэтому объектами с размерами менее 1 м можно пренебречь;
- в пространствах общего пользования, таких как лестничные пролеты и площадки здания или коридоры (холлы), оценка времени реверберации будет менее точной. В таких пространствах вместо времени реверберации целесообразнее указывать коэффициент звукопоглощения.

### 4.6 Ограничения

Расчетная модель для эквивалентной площади звукопоглощения не зависит от вида закрытого пространства, хотя результирующие уровни звукового давления будут зависеть от вида и формы пространства.

Метод расчета времени реверберации распространяется на закрытые пространства, имеющие следующие свойства:

- пространство должно быть соразмерным, т. е. ни один его линейный размер не должен более чем в пять раз превышать любой другой его размер;
- пространство должно обладать равномерным распределением звукопоглощения, т. е. для любой пары противоположных поверхностей коэффициент звукопоглощения не должен отличаться более чем в три раза, исключая случай наличия звукорассеивающих объектов;
- пространство должно содержать малое число объектов, чтобы коэффициент объемного заполнения был менее 0,2.

При невыполнении данных условий время реверберации может оказаться более расчетного. Рекомендации по определению времени реверберации в таких ситуациях приведены в приложении D.

## 5 Точность расчетов

Точность расчетов зависит от точности исходных данных, соответствия натурных условий и модели, типа элементов и их соединений, геометрической конфигурации и качества изготовления элементов зданий. Поэтому не представляется возможным установить точность расчетов для всех случаев. Данные по точности расчетов должны накапливаться с целью последующего сравнения результатов модельных расчетов с результатами натурных измерений. Однако и при недостаточном объеме опытных данных отмечают, что при слабодиффузном звуковом поле (из-за неправильной формы помещения, неравномерного распределения звукопоглощения, малого числа звукорассеивающих объектов или малого числа мод) фактическое время реверберации в два раза больше расчетного значения. Увеличение степени диффузности звукового поля, например, путем размещения большего числа звукорассеивающих объектов, существенно снижает указанное различие.

При расчетах целесообразно варьировать исходные данные, если имеются сомнения относительно их достоверности, особенно в сложных ситуациях с нетипичными элементами зданий. При надлежащем выполнении указанные меры обеспечивают ожидаемую точность расчетов.

## Приложение А
## (обязательное)

## Перечень обозначений

Таблица А.1 — Перечень обозначений

| Обозначение | Физическая величина | Единица измерения |
|---|---|---|
| $A$ | Суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения в закрытом пространстве | $м^2$ |
| $A_{obj}$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения объекта | $м^2$ |
| $A_{obj,j}$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения объекта $j$ | $м^2$ |
| $A_{obj,k}$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения группы объектов $k$ | $м^2$ |
| $A_{obj,x}$, $A_{obj,y}$, $A_{obj,z}$, $A_{obj,central}$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения объектов вблизи соответствующих поверхностей $x = 0$, $x = L$, $y = 0$, $y = B$, $z = 0$, $z = H$ и в центральной части помещения | $м^2$ |
| $A_{x=L}$, $A_{y=B}$, $A_{z=H}$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностей $x = L$, $y = B$, $z = H$ соответственно и т. п. | $м^2$ |
| $A_{air}$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения воздухом | $м^2$ |
| $A_x$, $A_y$, $A_z$, $A_d$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения приповерхностных звуковых полей для поверхностей, перпендикулярных соответственно осям ox, oy, oz и диффузного поля | $м^2$ |
| $A_s$ | Эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностей и объектов в подпространстве $s$ | $м^2$ |
| $A'_x$, $A'_y$, $A'_z$, $A'_d$ | Взаимные площади звукопоглощения, обусловленные взаимным обменом энергией между приповерхностными звуковыми полями $x$, $y$, $z$ и диффузным звуковым полем | $м^2$ |
| $A^*_x$, $A^*_y$, $A^*_z$, $A^*_d$ | Эффективная площадь звукопоглощения приповерхностных звуковых полей для поверхностей, перпендикулярных соответственно осям ox, oy, oz и диффузного поля | $м^2$ |
| $A^*_{xyzd}$ | Эффективная площадь звукопоглощения в закрытом пространстве ниже частоты $f_t$ | $м^2$ |
| $C$ | Безразмерный параметр звукопоглощения материала ($=\sigma/\rho_0 f$) | — |
| $c_o$ | Скорость звука в воздухе | м/с |
| $d$ | Толщина слоя звукопоглощающего материала | м |
| $f$ | Частота | Гц |
| $f_{ref}$ | Опорная частота ( = 1000 Гц) | Гц |
| $f_t$ | Переходная частота | Гц |
| $i$ | Индекс (номер) звукопоглощающей поверхности | — |
| $j$ | Индекс (номер) звукопоглощающего объекта, индекс подпространства | — |
| $k$ | Индекс группы звукопоглощающих объектов, индекс источников, индекс подпространства | — |
| $k_o$ | Волновое число ( $= 2\pi f/c_o$ ) | $м^{-1}$ |
| $L_{p,s}$ | Уровень звукового давления в подпространстве $s$ | дБ относительно 20 мкПа |

*Продолжение таблицы А.1*

| Обозначение | Физическая величина | Единица измерения |
|---|---|---|
| $L_{p,x}$ | Уровень звукового давления для приповерхностного звукового поля x; аналогично индексы y, z и d для приповерхностного звукового поля y и z и диффузного звукового поля | дБ относительно 20 мкПа |
| $L_{W,k}$ | Уровень звуковой мощности источника $k$ | дБ относительно 1 пВт |
| $L$, $B$, $H$ | Длина, ширина и высота прямоугольного замкнутого пространства | м |
| $l_{ref}$ | Опорная длина ( =1 м) | м |
| $m$ | Коэффициент затухания звуковой мощности в воздухе | (Нп) $м^{-1}$ |
| $N_x$, $N_y$, $N_z$ | Относительное число мод, скользящих по поверхностям, перпендикулярным к соответствующим осям ox, oy, oz | — |
| $n$ | Число звукопоглощающих поверхностей, число подпространств $j$ | — |
| $o$ | Число звукопоглощающих объектов | — |
| $p$ | Число групп звукопоглощающих объектов | — |
| $p_o$ | Опорное значение звукового давления ($p_o$ = 20 мкПа) | Па |
| $r$ | Сопротивление продуванию воздухом | Па · с/$м^2$ |
| $r_\varphi$ | Коэффициент отражения звукового давления в плоской звуковой волне, падающей под углом $\varphi$ | — |
| $r_k$ | Расстояние от источника шума $k$ до контрольной точки в подпространстве | м |
| $s$ | Число подпространств в помещении неправильной формы | — |
| $S_i$ | Площадь поверхности $i$ | $м^2$ |
| $S_k$ | Площадь поверхности, покрываемая группой объектов $k$ | $м^2$ |
| $S_{s,j}$ | Площадь воображаемой поверхности, общей для подпространств $s$ и $j$ | $м^2$ |
| $T$ | Время реверберации | с |
| $T_x$, $T_y$, $T_z$, $T_d$ | Время реверберации для мод в направлениях, соответствующих осям ox, oy, oz и диффузному полю в замкнутом пространстве | с |
| $T_{eff}$ | Эффективное время реверберации в замкнутом пространстве с учетом мод в трех направлениях | с |
| $V$ | Объем свободного помещения | $м^3$ |
| $V_s$ | Объем подпространства $s$ | $м^3$ |
| $V_{obj}$ | Объем объекта или группы объектов | $м^3$ |
| $V_{obj,j}$ | Объем объекта $j$ | $м^3$ |
| $V_{obj,k}$ | Объем группы объектов $k$ | $м^3$ |
| $W_s$ | Звуковая мощность реверберационного звукового поля в подпространстве $s$ | Вт |
| $W_o$ | Опорная звуковая мощность ($W_o$ = 1 пВт) | Вт |
| $w_s$ | Плотность звуковой энергии в подпространстве $s$ | Дж/$м^3$ |
| $x$, $y$, $z$ | Расстояние в трех направлениях в прямоугольном замкнутом пространстве | м |

*Окончание таблицы А.1*

| Обозначение | Физическая величина | Единица измерения |
|---|---|---|
| $Z'$ | Удельный импеданс поверхности в единицах волнового сопротивления воздуха $\rho_o c_o$ | — |
| $Z'_c$ | Удельный импеданс звукопоглощающего материала в единицах волнового сопротивления воздуха $\rho_o c_o$ | — |
| $\alpha_s$ | Коэффициент звукопоглощения | — |
| $\alpha_{s,i}$ | Коэффициент звукопоглощения поверхности $i$ | — |
| $\alpha_{s,k}$ | Коэффициент звукопоглощения группы объектов $k$ | — |
| $\overline{\alpha_s}$ | Средний коэффициент звукопоглощения подпространства $s$ | — |
| $\alpha_\varphi$ | Коэффициент звукопоглощения плоской звуковой волны, падающей под углом $\varphi$ | — |
| $\gamma$ | Постоянная распространения звукопоглощающего материала | $м^{-1}$ |
| $\delta_{x=0}$ | Коэффициент рассеяния для поверхности x = 0; то же с индексами для поверхностей x = L; y = 0; y = B; z = 0; z = H соответственно | — |
| $\varphi$ | Угол падения плоской волны | рад |
| $\rho_o$ | Плотность воздуха | $кг/м^3$ |
| $\chi$ | Коэффициент затухания различной природы при прямом распространении звука, например при экранировании и направленном излучении | — |
| $\psi$ | Коэффициент объемного заполнения | — |

**Приложение В**
**(справочное)**

## Звукопоглощение материалов

### В.1 Примеры

Коэффициенты звукопоглощения для некоторых распространенных видов поверхностей здания, измеренные в соответствии с ЕН ИСО 354, приведены в таблице В.1. Данные значения можно рассматривать как типичные минимальные значения.

Таблица В.1 — Типичные значения для коэффициента звукопоглощения $\alpha_s$

| Материал (конструкция) | Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Бетон, оштукатуренный кирпич | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Кирпичная кладка, неоштукатуренная | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| Жесткие напольные покрытия (например, ПВХ, паркет) по тяжелому полу | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Мягкое покрытие по тяжелому полу; толщина ≤ 5мм | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,15 | 0,30 | 0,40 |
| Мягкое покрытие по тяжелому полу; толщина ≥ 10 мм | 0,04 | 0,08 | 0,15 | 0,30 | 0,45 | 0,55 |
| Деревянный пол, паркет по деревянному настилу | 0,12 | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Окна, застекленный фасад | 0,12 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| Двери деревянные | 0,14 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| Сетчатый занавес; на расстоянии от 0 до 200 мм перед жесткой поверхностью* | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Занавес с поверхностной плотностью менее 0,2 кг/м$^2$; на расстоянии от 0 до 200 мм перед жесткой поверхностью (типичный минимум*) | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,18 | 0,22 |
| Занавес, тканый материал с поверхностной плотностью 0,4 кг/м$^2$, сложенный или гофрированный в отношении более 1:3, на расстоянии от 0 до 200 мм перед жесткой поверхностью (типичный максимум) | 0,10 | 0,40 | 0,70 | 0,90 | 0,95 | 1,00 |
| Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Большие отверстия (наименьший размер более 1 м) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Вентиляционная решетка, 50 % открытой площади | 0,30 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |

Примечание — Данные основаны на публикациях австрийских, датских и нидерландских источников.

* Значения для материала, расположенного перед окном. В комбинации с окном они могут увеличиться до значений, соответствующих окну без занавеса.

### В.2 Расчет

Коэффициент звукопоглощения слоя пористого материала, размещенного непосредственно на жесткой стене, можно оценить, зная сопротивление продуванию воздухом материала и толщину слоя. Сопротивление продуванию измеряют в соответствии с [3].

Для диффузного звукового поля коэффициент звукопоглощения может быть рассчитан по формулам:

$$\alpha_s = \int_0^{\pi/2} \alpha_\varphi \sin 2\varphi d\varphi,$$

$$\alpha_\varphi = 1 - |r_\varphi|^2, \qquad \text{(В.1)}$$

$$r_\varphi = \frac{Z' \cos\varphi - 1}{Z' \cos\varphi + 1},$$

где $\varphi$ — угол падения плоской волны, рад;

$\alpha_\varphi$ — коэффициент звукопоглощения плоской звуковой волны, падающей под углом $\varphi$;

$r_\varphi$ — коэффициент отражения давления плоской звуковой волны, падающей под углом $\varphi$;

$Z'$ — удельный импеданс поверхности в единицах волнового сопротивления воздуха $\rho_o c_o$.

Удельный импеданс поверхности слоя локально реагирующего материала, расположенного непосредственно на жесткой стене, может быть рассчитан по формуле

$$Z' = Z'_c \, cth(\gamma d), \qquad \text{(В.2)}$$

где $\gamma$ — постоянная распространения звукопоглощающего материала, м$^{-1}$;

$d$ — толщина слоя звукопоглощающего материала, м;

$Z'_c$ — удельный импеданс звукопоглощающего материала в единицах волнового сопротивления воздуха $\rho_o c_o$.

Для различных звукопоглощающих материалов удельный импеданс $Z'_c$ и постоянная распространения $\gamma$ могут быть определены по сопротивлению продуванию воздухом $r$ материала с использованием эмпирического отношения параметров $C$ и волнового числа $k_o$ по формулам:

$$C = \frac{r}{\rho_o f}, \qquad \text{(В.3)}$$

$$k_o = \frac{2\pi f}{c_o},$$

где $r$ — сопротивление продуванию воздухом, Па · с/м$^2$;

$f$ — частота, Гц;

$\rho_o$ — плотность воздуха (≈ 1,2 кг/м$^3$), кг/м$^3$;

$c_o$ — скорость звука в воздухе (≈ 343 м/с), м/с;

В данных формулах предполагается гармоническая зависимость от времени всех величин в соответствии с множителем $e^{-i2\pi ft}$.

Для волокнистого материала формулы для расчета удельного импеданса поверхности слоя и постоянной распространения звукопоглощающего материала имеют следующий вид ([1], [4]):

$$Z'_c = (1 + 0{,}0571C^{0{,}754}) - i(0{,}087C^{0{,}732}),$$
$$\gamma = k_0(0{,}189C^{0{,}595}) + ik_0(1 + 0{,}0978C^{0{,}700}). \qquad \text{(В.4a)}$$

Для пористого материала с открытыми порами применяют формулы [2]:

$$Z'_c = (1 + 0{,}114C^{0{,}369}) - i(0{,}0985C^{0{,}758}),$$
$$\gamma = k_0(0{,}168C^{0{,}715}) + ik_0(1 + 0{,}136C^{0{,}494}). \qquad \text{(В.4b)}$$

Каждая из формул справедлива при определенной области изменения параметра $C$. При больших значениях $C$ формулы неверны, поэтому рекомендуется производить оценку по формулам [4]:

$$Z'_c = \sqrt{1{,}11 - i - 0{,}12C};$$
$$\gamma = ik_0 1{,}33 Z'_c \,. \qquad \text{(В.4c)}$$

Для пористого материала с открытыми порами и волокнистых материалов применяют следующие значения безразмерного параметра звукопоглощения $C$:

$C < 0,25$: формулы (B.4b);
$0,25 \leq C \leq 80$: формулы (B.4a);
$C > 80$: формулы (B.4c).

Подобные расчеты могут быть применены и к многослойным звукопоглощающим элементам или звукопоглощающим материалам, разделенным воздушными промежутками (см. [4]).

**Приложение С**
**(справочное)**

## Звукопоглощение объектов

Для некоторых распространенных объектов и конфигураций объектов эквивалентная площадь звукопоглощения и коэффициент звукопоглощения, измеренные в соответствии с ЕН ИСО 354, приведены в таблицах С.1 и С.2. Данные значения можно считать типичными.

Таблица С.1 — Типичные значения эквивалентной площади звукопоглощения $A_{obj}$ некоторых объектов

| Объект | Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Стул деревянный | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Стул с мягкой обивкой | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,35 |
| Один человек в группе, сидя или стоя, на площади 6 м$^2$ (типичный минимум) | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,35 | 0,50 | 0,65 |
| Один человек в группе, сидя, на площади 6 м$^2$ (типичный максимум) | 0,12 | 0,45 | 0,80 | 0,90 | 0,95 | 1,00 |
| Один человек в группе, стоя, на площади 6 м$^2$ (типичный максимум) | 0,12 | 0,45 | 0,80 | 1,20 | 1,30 | 1,40 |
| Примечание — Данные основаны на публикациях австрийских, датских и нидерландских источников. | | | | | | |

Таблица С.2 — Типичные значения коэффициента звукопоглощения $\alpha_s$ некоторых групп объектов

| Группа объектов | Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Стулья деревянные/пластиковые в ряд через 0,9—1,2 м | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 |
| Стулья с мягкой обивкой в ряд через 0,9—1,2 м (типичный минимум) | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| Стулья с мягкой обивкой в ряд через 0,9—1,2 м (типичный максимум) | 0,50 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,0 | 1,0 |
| Люди в аудитории, сидящие в ряд через 0,9—1,2 м (типичный минимум) | 0,20 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,70 |
| Люди в аудитории, сидящие в ряд через 0,9—1,2 м (типичный максимум) | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| Ребенок в классе с жесткой мебелью на площади 1 м$^2$ | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,35 | 0,40 | 0,40 |
| Примечание — Данные основаны на публикациях австрийских, датских и нидерландских источников. | | | | | | |

**Приложение D**
**(справочное)**

# Расчет для помещений неправильной формы и/или неравномерного распределения звукопоглощения

## D.1 Введение

Если закрытое пространство имеет неправильную форму, неравномерное распределение звукопоглощения или в значительной степени заполнено инженерным оборудованием, то метод расчета времени реверберации в соответствии с разделом 4 может быть неприемлем. Настоящее приложение описывает возможные методы улучшения результатов расчета в подобных случаях. Рассматриваются две основные ситуации: прямоугольное помещение с неравномерным распределением звукопоглощения; помещение неправильной формы, обусловленное либо особенностями проекта, либо заполнением помещения большим числом объектов (коэффициент объемного заполнения более 0,2).

## D.2 Неравномерное распределение звукопоглощения

На практике прямоугольные помещения с неравномерным распределением звукопоглощения встречаются довольно часто. Во многих офисах звукопоглощающим является только потолок, а остальные поверхности являются звукоотражающими. Целесообразно разделить общее звуковое поле на части, которые примыкают к различным поверхностям, и на поле, не зависящее от этих поверхностей [5]. При рассмотрении баланса мощности указанных частей звукового поля следует учитывать воздействие на поле звукопоглощающих материалов и звукорассеивающих элементов. В настоящем приложении приведен практический метод оценки на основе расчетной модели, но с использованием данных по звукопоглощению, измеренному стандартными методами.

Размеры помещения объемом $V = L \times B \times H$ м$^3$ определяют в соответствии с рисунком D.1. Для высоких частот общее звуковое поле разделяют на диффузное поле и еще на три части, примыкающие к поверхностям, перпендикулярным осям ox, oy, oz. Для каждого из данных полей определяют эффективное звукопоглощение и соответствующее время реверберации. Значимость частей поля в данных областях определяется числом мод каждой части, зависимым от размеров помещения. На низких частотах эффективное звукопоглощение суммарного звукового поля мало из-за отсутствия диффузии в помещении.

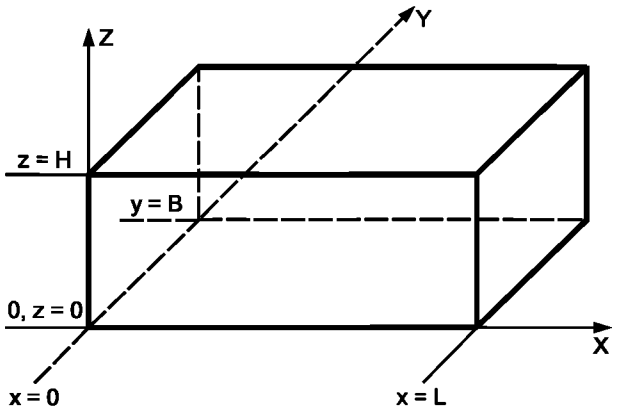



Рисунок D.1 — Система координат и размеры прямоугольного помещения

Принадлежность полосы частот к высокочастотному или низкочастотному диапазону определяют путем сравнения среднегеометрических частот октавных полос с переходной частотой, рассчитываемой по формуле

$$f_t = \frac{8{,}7 c_o}{V^{1/3}}. \qquad (D.1)$$

Суммарную эквивалентную площадь звукопоглощения $A$ поверхности определяют по данным звукопоглощения в соответствии с 4.3, пренебрегая другими объектами. Эквивалентную площадь звукопоглощения соответствующих объектов $A_{obj}$ также определяют по данным о звукопоглощении в соответствии с 4.3. Звукопоглощение поверхностей помещения и различных объектов для указанных частей звукового поля рассчитывают в соответствии с настоящим приложением. Дополнительно может быть определен коэффициент рассеяния $\delta$ поверхности

помещения, показывающий долю энергии диффузно отраженного звука. Значения коэффициента рассеяния могут варьироваться от 0 до 1. При наличии данных о коэффициенте рассеяния может быть сделана общая оценка влияния рассеяния звука на результаты в конкретных ситуациях.

Примечание 1 — Коэффициент рассеяния учитывает неровности плоских поверхностей. Для жестких плоских поверхностей типичный коэффициент рассеяния обычно равен 0,05 или менее. Для стен с углублениями, характерными для фасада, его значения на средних и высоких частотах варьируются от 0,4 до 0,6.

Относительное число мод показывает вклад каждой части в суммарное звуковое поле и рассчитывается по формулам:

$$N_x = 0{,}14 + 1{,}43\left[\frac{(B+H)}{2c_o} + \frac{\pi f}{c_o^2}BH\right]\frac{c_o^3}{4\pi f^2 V},$$
$$N_y = 0{,}14 + 1{,}43\left[\frac{(L+H)}{2c_o} + \frac{\pi f}{c_o^2}LH\right]\frac{c_o^3}{4\pi f^2 V}, \quad \text{(D.2)}$$
$$N_z = 0{,}14 + 1{,}43\left[\frac{(L+B)}{2c_o} + \frac{\pi f}{c_o^2}LB\right]\frac{c_o^3}{4\pi f^2 V}.$$

Эквивалентные площади звукопоглощения для примыкающих (приповерхностных) звуковых полей $A_x$, $A_y$ и $A_z$ и эквивалентная площадь звукопоглощения $A_d$ для диффузного поля, обусловленные наличием поверхностей помещения и звукопоглощения воздухом, рассчитывают по формулам:

$$A_x = \frac{c_o^2}{2f^2L^2}(A_{x=0} + A_{x=L})(f/f_{ref})^{1/3} + [A_{y=0} + A_{y=B} + A_{z=0} + A_{z=H}]\sqrt{2}(f/f_{ref})^{1/3} + \pi mV, \quad \text{(D.3a)}$$

$$A_y = \frac{c_o^2}{2f^2B^2}(A_{y=0} + A_{y=B})(f/f_{ref})^{1/3} + [A_{x=0} + A_{x=L} + A_{z=0} + A_{z=H}]\sqrt{2}\,(f/f_{ref})^{1/3} + \pi mV, \quad \text{(D.3b)}$$

$$A_z = \frac{c_o^2}{2f^2H^2}(A_{z=0} + A_{z=H})(f/f_{ref})^{1/3} + [A_{x=0} + A_{x=L} + A_{y=0} + A_{y=B}]\sqrt{2}\,(f/f_{ref})^{1/3} + \pi mV, \quad \text{(D.3c)}$$

$$A_d = (A_{x=0} + A_{x=L} + A_{y=0} + A_{y=B} + A_{z=0} + A_{z=H}) + 4mV, \quad \text{(D.3d)}$$

где $A_{x=0}$, $A_{x=L}$ — эквивалентные площади звукопоглощения поверхности x = 0 и x = L соответственно, м$^2$,

$f_{ref}$ — опорная частота, $f_{ref}$ = 1000 Гц.

Примечание 2 — В формулах (D.3) индексами y и z обозначены аналогичные величины, относящиеся к поверхностям, перпендикулярным осям oy и oz.

Различные части звукового поля связаны между собой через эффекты диффузии на поверхностях, а также через рассеяние и звукопоглощение звукового поля объектами. Это выражается взаимными площадями звукопоглощения $A'$, $A'$, $A'$ и $A'$ для каждой части звукового поля, которые рассчитывают по формулам:

$$A'_x = [LH(\delta_{y=0} + \delta_{y=B}) + LB(\delta_{z=0} + \delta_{z=H})] + A_{obj,y} + A_{obj,z} + A_{obj,central}, \quad \text{(D.4a)}$$

$$A'_y = [BH(\delta_{x=0} + \delta_{x=B}) + LB(\delta_{z=0} + \delta_{z=H})] + A_{obj,x} + A_{obj,z} + A_{obj,central}, \quad \text{(D.4b)}$$

$$A'_z = [BH(\delta_{x=0} + \delta_{x=B}) + LH(\delta_{y=0} + \delta_{z=H})] + A_{obj,x} + A_{obj,y} + A_{obj,central}, \quad \text{(D.4c)}$$

$$A'_d = \sum_{all} A_{obj} + N_x A'_x + N_y A'_y + N_z A'_z, \quad \text{(D.4d)}$$

где $\delta_{x=0}$, $\delta_{x=L}$ — коэффициенты рассеяния поверхностей $x = 0$ и $x = L$ соответственно;

$A_{obj}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения объекта, м$^2$;

$A_{obj,x}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения объектов, связанных с поверхностями $x = 0$ и $x = L$, м$^2$;

$A_{obj,central}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения объектов в центре помещения, м$^2$.

Примечание 3 — В формулах (D.4) индексами $y$ и $z$ обозначены аналогичные величины, связанные с осями $oy$ и $oz$.

Эффективная площадь звукопоглощения для каждой части звукового поля может быть рассчитана по формулам:

$$A^*_d = \frac{A_d + A'_d - N_x A'^2_x/(A_x + A'_x) - N_y A'^2_y/(A_y + A'_y) - N_z A'^2_z/(A_z + A'_z)}{1 + N_x A'_x/(A_x + A'_x) + N_y A'_y/(A_y + A'_y) + N_z A'_z/(A_z + A'_z)}; \quad \text{(D.5a)}$$

$$A^*_x = \frac{A_x + A'_x}{1 + A'_x/A^*_d};$$

$$A_y^* = \frac{A_y + A'_y}{1 + A'_y/A_d^*};$$
$$A_z^* = \frac{A_z + A'_z}{1 + A'_z/A_d^*}. \quad \text{(D.5b)}$$

Эффективную площадь звукопоглощения для суммарного поля $A^*_{xyzd}$ на низких частотах ($f < f_t$) рассчитывают по формуле

$$A^*_{xyzd} = (\overline{A_{x=0}} + \overline{A_{x=L}} + \overline{A_{y=B}} + \overline{A_{z=0}} + \overline{A_{z=H}}) + \sum A_{obj} + 4mV. \quad \text{(D.6a)}$$

Здесь уменьшение эффективности звукопоглощения поверхностей обозначено $\overline{A}$ с соответствующими индексами $x$, $y$ и $z$ и рассчитывается по формуле

$$\overline{A} = Ae^{-A/S}, \quad \text{(D.6b)}$$

где $A$ и $S$ — суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения помещения и площадь рассматриваемой поверхности соответственно.

Время реверберации для каждой части звукового поля $x$, $y$, $z$ и $d$ рассчитывают по формулам:

$$T_x = \frac{55{,}3}{c_o}\frac{V(1-\psi)}{A_x^*};$$
$$T_y = \frac{55{,}3}{c_o}\frac{V(1-\psi)}{A_y^*};$$
$$T_z = \frac{55{,}3}{c_o}\frac{V(1-\psi)}{A_z^*}; \quad \text{(D.7)}$$
$$T_d = \frac{55{,}3}{c_o}\frac{V(1-\psi)}{A_d^*}.$$

Соответствующий уровень шума при $t = 0$ с для каждой части звукового поля $x$, $y$, $z$ и $d$ рассчитывают по формулам:

$$L_{p,d} = -10\lg\left(1 + N_x\frac{A_d^*}{A_x^*} + N_y\frac{A_d^*}{A_y^*} + N_z\frac{A_d^*}{A_z^*}\right); \quad \text{(D.8a)}$$

$$L_{p,x} = L_{p,d} + 10\lg\left(N_x\frac{A'_d}{A'_x}\right);$$
$$L_{p,y} = L_{p,d} + 10\lg\left(N_y\frac{A'_d}{A'_y}\right); \quad \text{(D.8b)}$$
$$L_{p,z} = L_{p,z} + 10\lg\left(N_z\frac{A'_d}{A'_z}\right).$$

Если четыре времени реверберации, определенные по формулам (D.7), отличаются незначительно, то в качестве времени реверберации, адекватно характеризующей рассматриваемый случай помещения с неравномерным распределением звукопоглощения, можно принять оценку времени реверберации диффузного поля. В противном случае время реверберации будет более длительным, и кривая спада на длительном интервале не будет монотонной. Более реалистичная оценка $T_{20}$ для высокочастотного диапазона может быть рассчитана как среднее значение эффективных времен реверберации по формуле (D.9a). Данная оценка времени реверберации, однако, будет не меньше времени реверберации для диффузного поля.

$$T_{estimate} = \frac{(T_x + T_y + T_z + T_d)}{4} \geq T_d. \quad \text{(D.9a)}$$

Для низких частот ($f < f_t$) время реверберации оценивают расчетом по формуле

$$T_{estimate} = \frac{55{,}3}{c_o}\frac{V(1-\psi)}{A^*_{xyxd}}. \qquad \text{(D.9b)}$$

### D.3 Помещения неправильной формы

В помещениях неправильной формы или в узких помещениях время реверберации не будет одинаковым во всех точках помещения, как в случае помещения с большим числом объектов и/или крупными объектами. Однако в ситуациях с большим числом механизмов и единиц оборудования не так важно время реверберации, как уровни звукового давления в различных частях помещения. Уровни звукового давления будут зависеть как от распределения звуковой мощности источников, так и от распределения звукопоглощения. В таких случаях оценка уровня звукового давления может быть основана на разделении помещения на подпространства правильной формы. Уровень звукового давления в каждом подпространстве оценивают по уровню прямого звука источников данного подпространства и по части звуковой мощности, распределенной по всем подпространствам [6]. Распределение звуковой мощности образуется за счет звуковой мощности шума, излучаемого в реверберационное поле источниками каждого подпространства, эквивалентной площади звукопоглощения каждого подпространства и баланса мощности между всеми связанными подпространствами.

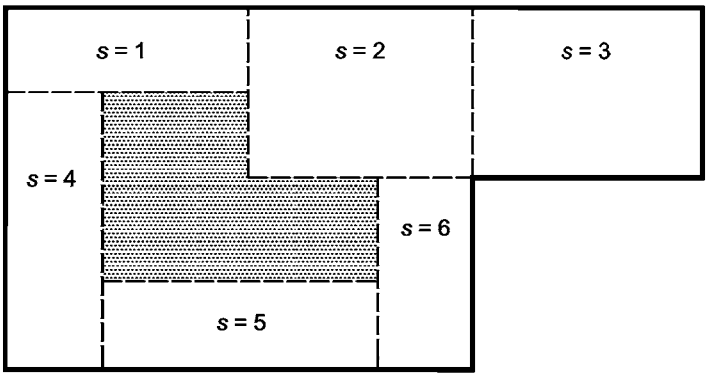



Рисунок D.2 — Пример помещения неправильной формы и его разделения на подпространства

Эквивалентную площадь звукопоглощения в каждом подпространстве с объемом $V_s$ рассчитывают по 4.3, полагая $\alpha = 1$ для всех воображаемых поверхностей $S_{sj}$ между подпространством с номером $s$ и $n$ граничащими с ним подпространствами $j$. Следующие соотношения справедливы для каждого подпространства $s$, в котором имеется $k$ источников шума с уровнями звуковой мощности $L_{W,k}$:

$$W_s = c_o w_s A_s - \sum_{j \neq s}^{n} c_o w_j s_{sj}; \qquad \text{(D.10a)}$$

$$W_s = (1 - \overline{\alpha_s})\, W_o \sum_k 10^{L_{w,k}/10}, \qquad \text{(D.10b)}$$

где $W_s$ — звуковая мощность реверберационного звукового поля в подпространстве $s$, Вт;

$W_o$ — опорное значение звуковой мощности, Вт, $W_o = 1$ пВт;

$w_s$ — плотность звуковой энергии в подпространстве $s$, Дж/м$^3$;

$A_s$ — эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностей, отверстий, объектов и воздухом в подпространстве $s$, м$^2$;

$S_{s,j}$ — площадь воображаемой поверхности между подпространствами $s$ и $j$;

$n$ — число подпространств $j$, соприкасающихся с подпространством $s$;

$L_{W,k}$ — уровень звуковой мощности источника $k$ в подпространстве $s$, дБ относительно 1 пВт;

$\alpha_s$ — средний коэффициент звукопоглощения для подпространства $s$, принимая во внимание все виды звукопоглощения (т. е. поверхностями, отверстиями, объектами, воздухом).

Плотность звуковой энергии $w_s$ в каждом подпространстве рассчитывают по формуле (D.10a) по известным уровням звуковой мощности и звукопоглощению путем, например, обращения матрицы. Уровень звукового давления $L_{p,s}$ в контрольных точках в каждом подпространстве рассчитывают по плотности звуковой энергии с учетом прямой звукопередачи от источников $k$ на расстоянии $r_k$ от контрольной точки и соответствующего затухания, возникающего вследствие экранирования и направленности излучения по формуле

$$L_{p,s} = 10\lg \frac{\rho_o c_o}{p_o^2}\left[4c_o w_s + \sum_k \frac{W_o}{4\pi r_k^2}\chi_k \times 10^{L_{w,k}/10}\right], \quad \text{(D.11)}$$

где $L_{p,s}$ — уровень звукового давления в подпространстве $s$, дБ относительно 20 мкПа;

$p_o$ — опорное звуковое давление, Па; $p_o$ = 20 мкПа;

$r_k$ — расстояние от источника шума $k$ до контрольной точки в подпространстве $s$, м;

$\chi_k$ — коэффициент затухания вследствие эффекта экранирования и направленности излучения от источника $k$ к контрольной точке.

Остальные величины, входящие в формулу (D.11), определены в предыдущих формулах.

**Приложение Е**
**(справочное)**

## Пример расчета

Рассматривают помещение с размерами, м (длина, ширина, высота) 4,54, 2,73, 2,40. $V = 29,75$ м$^3$.

Пол и потолок бетонные, длинная стена и две короткие боковые стены кирпичные, неоштукатуренные. Фасадная стена остеклена. Пол с твердым напольным покрытием. Расчет производится в октавной полосе 1000 Гц.

**Вариант 1: свободное помещение**

В соответствии с приложением В коэффициенты звукопоглощения поверхностей равны $\alpha_{пола} = 0$, $\alpha_{потолка} = 0,02$, $\alpha_{стены} = 0,04$, $\alpha_{боковых\ стен} = 0,04$, $\alpha_{фасада} = 0,04$. Для октавной полосы 1000 Гц и данного объема звукопоглощением воздухом можно пренебречь ($A_{air} = 0$). По формуле (1) и параметрам помещения рассчитывают эквивалентную площадь звукопоглощения

$$A = 12,39 \times 0,05 + 12,39 \times 0,02 + 10,90 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 = 2,26 \text{ м}^2,$$

округленно $A = 2,3$ м$^2$.

Согласно формуле (5) результирующее время реверберации $T = 0,16 \times 29,75/2,26 = 2,1$ с.

Примечание — В случае $A_{air} = 0,12$ м$^2$ при нормальных условиях время реверберации равно 2,0 с.

**Вариант 2: то же помещение с (жесткими) объектами в нем**

В помещении установлен стол (0,15 м$^3$), письменный стол (0,60 м$^3$), два стула ($2 \times 0,05$ м$^3$) и два шкафа ($2 \times 0,65$ м$^3$), коэффициент объемного заполнения $\psi = 0,072$. Таким образом, звукопоглощение данных объектов равно

$$\sum A_{obj} = 0,15^{2/3} + 0,60^{2/3} + 2 \times 0,05^{2/3} = 2,77 \text{ м}^2.$$

Эквивалентная площадь звукопоглощения равна $A = 2,26 + 2,77 = 5,03$ м$^2$, округленно $A = 5,0$ м$^2$, результирующее время реверберации равно

$$T = 0,16 \times 29,75(1 - 0,072/5,03) = 0,9 \text{ с}.$$

**Вариант 3: то же свободное помещение, но с одной звукопоглощающей стеной**

Длинная стена на 90 % площади облицована звукопоглощающим материалом с коэффициентом звукопоглощения $\alpha = 0,85$. Эквивалентная площадь звукопоглощения равна

$$A = 12,39 \times 0,05 + 12,39 \times 0,02 + (1,09 \times 0,04 + 9,81 \times 0,85) + 10,90 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 = 10,21 \text{ м}^2,$$

округленно $A = 10,2$ м$^2$.

По формуле (5) результирующее время реверберации равно

$$T = 0,16 \times 29,75/10,21 = 0,5 \text{ с}.$$

Так как звукопоглощение двух противоположных стен значительно отличается и отсутствуют звукорассеивающие объекты, то данный случай выходит за границы применения рассматриваемой модели. Время реверберации в данном случае может быть определено в соответствии с приложением D. Для четырех типов звуковых полей без дополнительных звукорассеивающих поверхностей или объектов эффективные площади звукопоглощения, рассчитанные по формулам (D.5), равны:

$$A_x^* = 13,69 \text{ м}^2;\ A_y^* = 2,04 \text{ м}^2;\ A_z^* = 13,22 \text{ м}^2 \text{ и } A_d^* = 10,21 \text{ м}^2.$$

Соответствующие времена реверберации [формулы (D.7)] равны $T_x = 0,35$ с; $T_y = 2,34$ с; $T_z = 0,36$ с и $T_d = 0,47$ с. Эффективное время реверберации равно $T_{eff} = 0,9$ с (формула D.8). Так как $T_y$ в пять раз больше наименьшего времени, то наилучшей оценкой реального времени реверберации в таком случае будет $T_{20}$.

**Приложение ДА**
**(справочное)**

## Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным 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 |
|---|---|---|
| ЕН ИСО 354 | MOD | ГОСТ Р 53376—2009 (ЕН 354:2003) «Материалы звукопоглощающие. Метод измерения звукопоглощения в реверберационной камере» |
| ИСО 9613-1 | MOD | ГОСТ 31295.1—2005 (ИСО 9613-1:1993)«Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет звукопоглощения звука атмосферой» |
| Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:<br>- MOD — модифицированные стандарты. | | |

## Библиография


[1] Delany, M.E. & E.N. Bazley, Acoustical properties of fibrous absorbent materials, Applied Acoustics 3 (1970), 105.

[2] Dunn, I.P. & W.A. Davern, Calculation of acoustic impedance of multi-layer absorbers, Applied Acoustics 19 (1986), 321.

[3] EN 29053, Acoustics — Materials for acoustical applications — Determination of airflow resistance (ISO 9053:1991)

[4] Mechel, F.P. *Schallabsorber band II,* S.Hirzel Verlag, Stuttgart, Leipzig, 1995.

[5] Nilsson,E., *Decay process in rooms with non-diffuse sound fields,* Report TVBA-1004, Lund Institute of Technology, May 1992.

[6] Timmermans, N.S., Application of coupled interior space noise prediction to compact shipboard power plants, Internoise '80, Miami 1980.

[7] EN ISO 11654, Acoustics — Sound absorbers for use in buildings — Rating of sound absorption (ISO 11654:1997)

[8] EN ISO 140-4, Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms (ISO 140-4:1998).

[9] EN 12354-5:2000, Building acoustics — Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements — Part 5: Sounds levels due to the service equipment

[10] EN ISO 3382-2:2008 Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms



УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 91.120.20

Ключевые слова: эквивалентная площадь звукопоглощения, время реверберации, коэффициент звукопоглощения, помещения неправильной формы

Редактор *Б.Н. Колесов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Ю.В. Демениной*

Сдано в набор 24.03.2014. Подписано в печать 14.05.2014. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,35. Тираж 88 экз. Зак. 2045.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.


gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru