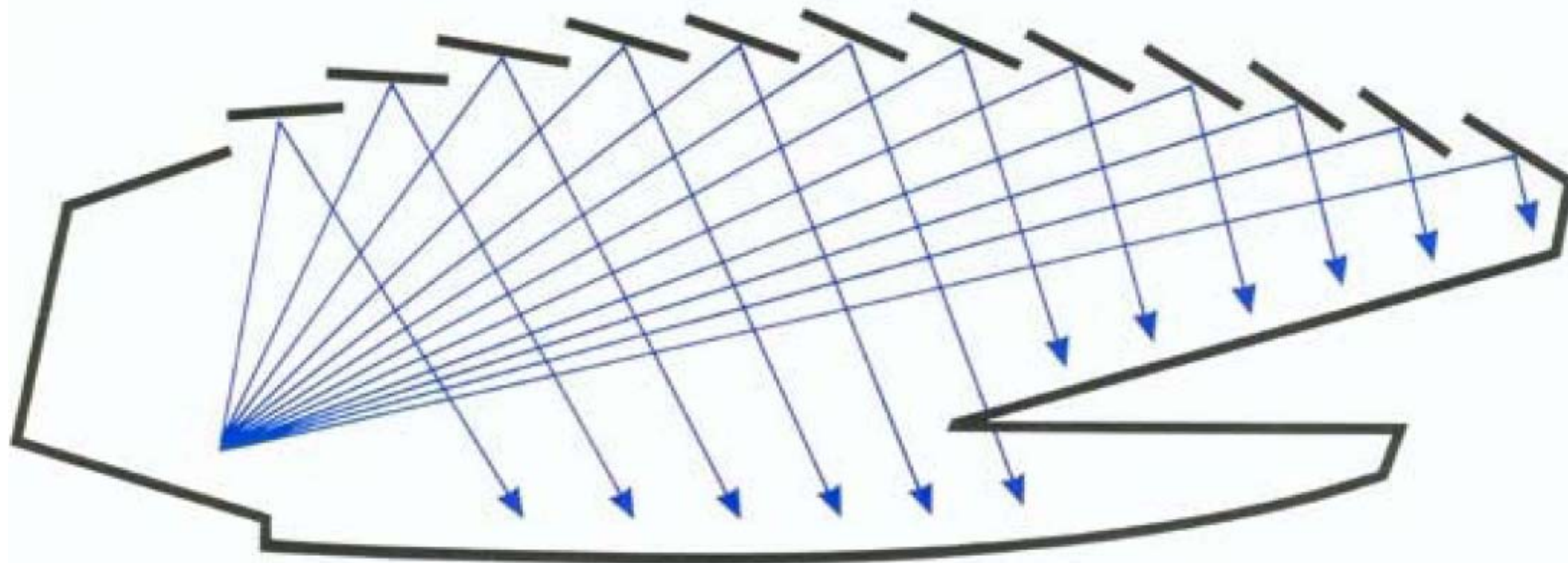


Измерения в акустике зданий



Эта брошюра содержит ответы на ряд вопросов, которые обычно задают новички в области измерений в строительной акустике. В брошюре кратко разъяснены следующие темы:

Введение	3
Поведение звука в помещении	4
Наращение и затухание звука в помещении	6
Формула Сэбина для вычисления времени реверберации	8
Измерение времени реверберации	9
Измерение поглощения звука	12
Измерение распределения звука	15
Разборчивость речи	17
Как разборчивость речи выражается количественно?	18
Индекс передачи быстрой речи (Rapid speech transmission index - RASTI)	19
Анализ акустики помещения в режиме реального времени	21
Акустика здания: что измерять?	23
Коэффициент звукоизоляции стены	24
Что такое эффект совпадений?	25
Лабораторные и полевые измерения	27
Воздушная звукоизоляция	28
Измерение воздушной звукоизоляции	29
Ударная звукоизоляция	31
Измерение ударной звукоизоляции	32
Внешняя и внутренняя звукоизоляция	33
Звукоизоляция офисов – влияние фоновых шумов	34
Сопоставление результатов с требованиями	35
Измерения вибрации	36
Обзор измерений акустики здания (ISO)	37
Обзор измерений акустики здания (ISO) – продолжение	39
Обзор измерений акустики здания (ISO) – продолжение	41
Обзор измерений акустики здания (ISO) – продолжение	44

Введение

Влияние акустики на проектирование зданий прослеживается на протяжении веков: от римских амфитеатров до современных домов, в которых мы работаем и отдыхаем. Однако между жизнью в Древнем Риме и наших нынешних перенаселенных городах есть одна существенная разница – шум от все увеличивающегося числа источников: соседей, уличного движения, объектов промышленности.

Как следствие, акустика здания уже не ограничивается расчетами акустики театров. Область ее применения расширилась и включает в себя контроль и ослабление шумов в зданиях всех типов.



Поведение звука в помещении

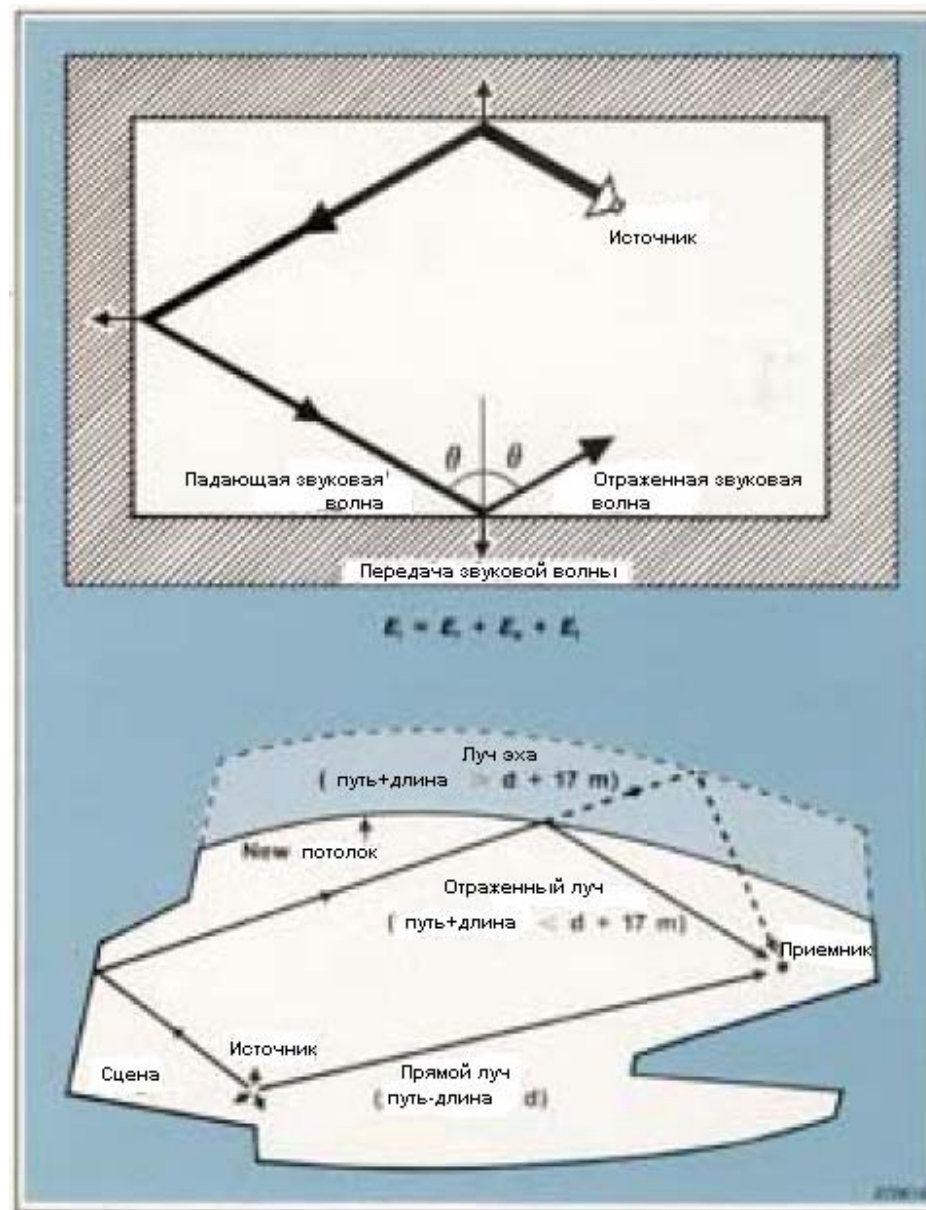
Если мы хотим приспособить помещение для разговоров или музыки и стремимся ослабить внешние шумы, то нам нужно знать, как звук ведет себя в помещении. Посмотрим, что происходит, если в помещении поместить источник звука. Когда звуковая энергия от этого источника (E_i) наталкивается на границу помещения, отраженная звуковая энергия (E_r) становится частью акустического поля помещения, поглощенный звук (E_a) рассеивается в виде тепла, а переданная звуковая энергия (E_t) распространяется за пределы граничного слоя.

Отражение звука

Если длина падающей звуковой волны существенно меньше габаритов отражающей поверхности, то угол отражения волны равняется углу падения. Благодаря этому геометрическому поведению мы можем предвидеть структуру звуковых лучей помещения с одним ограничением: мы можем рассматривать лишь однократное и, возможно, двукратное отражение, так как после этого реверберационное поле начинает маскировать путь луча.

В больших помещениях, например, концертных залах, «трассировка лучей» дает возможность обнаружить нежелательное эхо (при этом эхо определяется как отраженный сигнал, который улавливается более чем на 50 мс позже прямого звука). Эхо также можно рассматривать как отраженный луч с длиной пути, превышающей длину пути прямого звука более чем на 17 м. В больших помещениях проблема эха решается за счет снижения длины пути отраженного луча. Этого можно добиться понижением потолка или подвешиванием к нему рефлекторов.

Наблюдая за тем, как в помещении отражается звук, мы можем контролировать такие субъективные свойства как камерность, которая повышается с уменьшением временного интервала между прямым звуком и отраженным, и *рассеяние*, т.е. равномерность реверберационного поля.



Поглощение звука

Для того, чтобы понять смысл поглощения, измерим в определенной точке помещения уровень звукового давления от постоянного источника звуковой энергии. Вместо того, чтобы расти до бесконечности по мере прибытия в точку измерения все новых отраженных лучей, давление звука вскоре стабилизируется. Это означает, что скорость выработки энергии в точности соответствует скорости, с которой ее поглощают различные поверхности помещения. Если увеличить количество поглощающего материала в помещении, то уровень звукового давления снизится, поскольку уменьшится энергия отраженного звука.

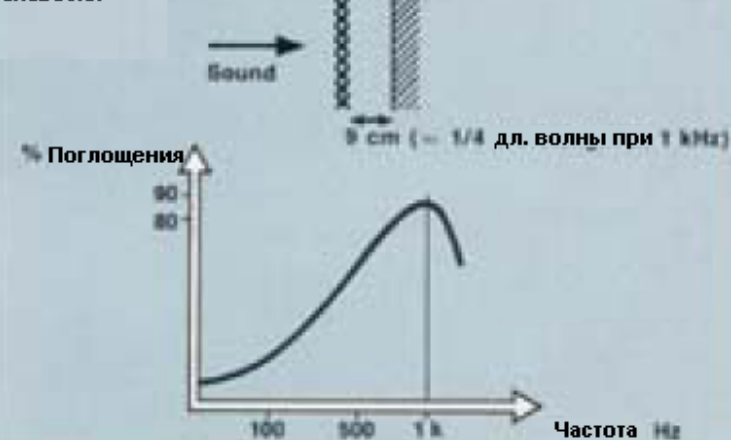
Поглощающими поверхностями в помещении, как правило, служат ковры и занавески. Это просты пористые поглотители, действие которых основывается на препятствовании движению частиц воздуха, а за счет сил трения энергия рассеивается в виде тепла. Пористые поглотители наиболее эффективны, когда они помещаются в ту точку, где скорость частиц звуковой волны максимальна. Эта точка расположена на расстоянии одной четверти длины волны от отражающей поверхности (если волна падает под прямым углом) и, таким образом, зависит от частоты. Пример пористого поглотителя, расположенного близко к границе отражающей поверхности – это ковер. Лучше всего он поглощает высокочастотные компоненты, поскольку в этом случае четверть длины волны сравнима с толщиной ковра.

Другие поверхности помещения поглощают разные частоты в различной степени, изменяя соотношение этих поглотителей, мы можем влиять на *темплоту* помещения для музыки или его *чистоту* для речи.

Поглощающие поверхности обычной комнаты



Поглощающие свойства занавески

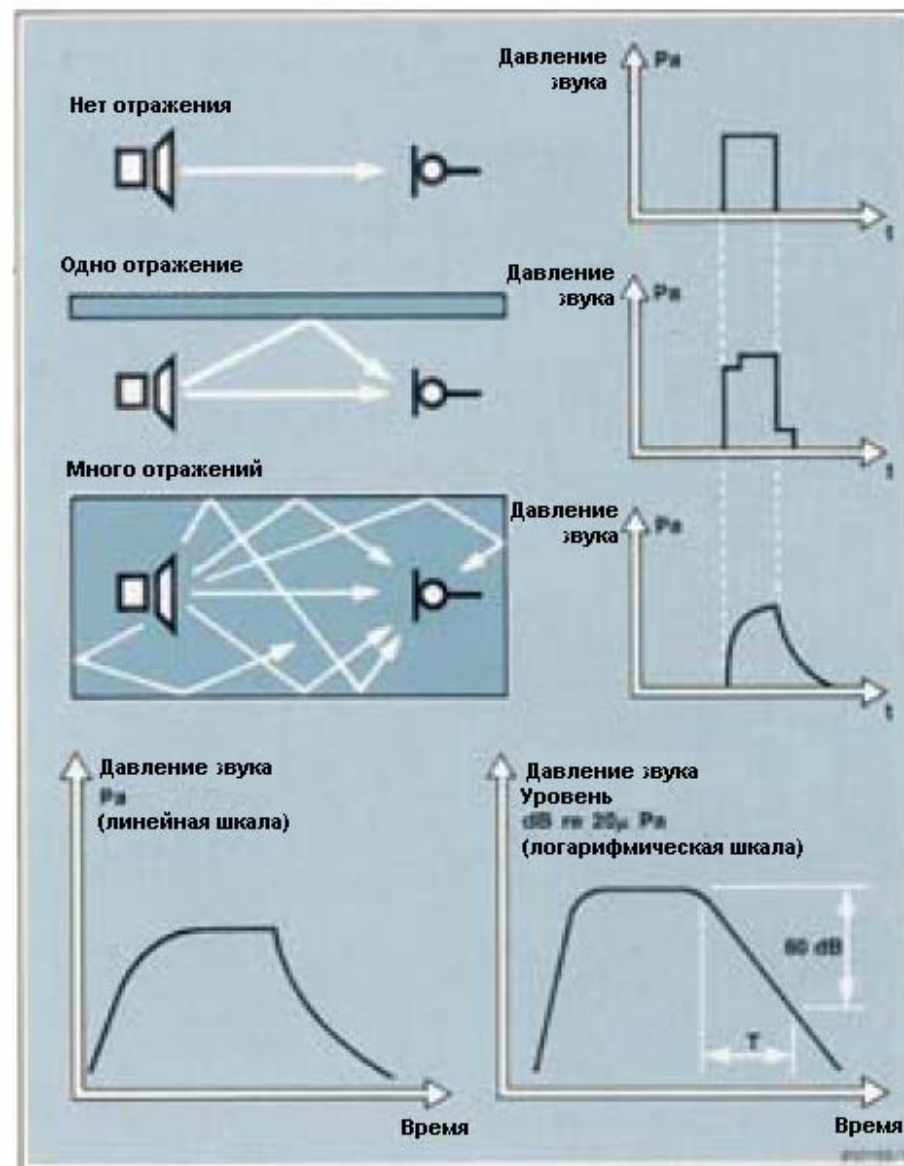


Нарастание и затухание звука в помещении

Если мы поместим в комнату микрофон, а затем включим постоянный источник звука, то мы заметим, что звуковое давление не сразу достигает стабильного уровня. Это связано с тем, что как первому, так и всем остальным отраженным лучам требуется некое конечное время для того, чтобы достичь микрофона.

После того, как достигается состояние равновесия, интерференция звуковых волн приводит к возникновению в помещении точек максимального и минимального давления, обнаружит которые можно, передвигая микрофон с места на место. Эти точки естественного резонанса – *естественные моды помещения* связаны с геометрией помещения и длинами волн, которые испускает источник звука. Интересным следствием этих мод является то, что на границах отражающих поверхностей давление удваивается, а поскольку для всех мод помещения существуют зоны пучности, расположенные в углах, все их можно «возбудить», расположив там источник звука.

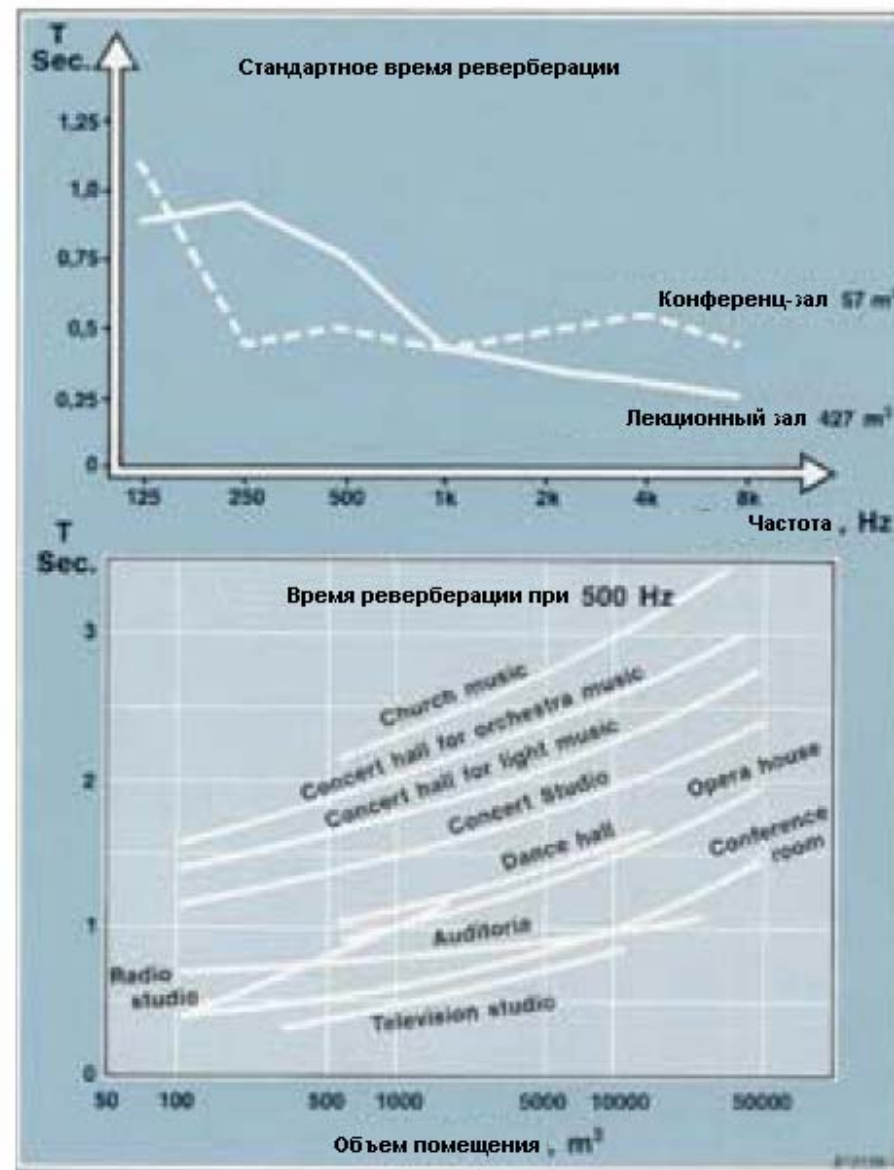
Теперь, если источник звука выключить, набор затухающих мод помещения называется звуковым реверберационным полем. Скорость затухания зависит количества и расположения поглотителей. *Временем реверберации* называется время, за которое уровень звукового давления в помещении снижается на 60 дБ. Это соответствует уменьшению звукового давления в тысячу раз.



Важность учета времени реверберации при проектировании комнат и залов

В комнатах, поверхности которых отражают много звуковой энергии (например, ванной), время реверберации относительно велико, тогда как для безэховой камеры, все стены, потолок и пол которой покрыты материалом, хорошо поглощающим звук, время реверберации близко к нулю. Поглощающая способность материалов сильно изменяется в зависимости от частоты звука и угла падения волны. Отсюда следует, что время реверберации должно изменяться в зависимости от частоты. Как правило, для низких частот время реверберации выше, так как они обычно поглощаются хуже, чем высокие частоты.

Важно, чтобы время реверберации соответствовало назначению помещения. Слишком большое время реверберации снижает разборчивость речи, делает музыку более какофонной и повышает общий уровень шума. Малое время реверберации снижает уровень фонового шума, но приглушает речь и делает музыкально звучание более «тонким» и отрывистым.



Формула Сэбина для вычисления времени реверберации

Время реверберации зависит от объема и полного поглощения помещения. Уравнение было эмпирически сформулировано Сэбином; оно хорошо описывает поведение звука в помещениях, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни. Это уравнение не подходит для описания помещений с сильно поглощающими поверхностями, например, для безэховой камеры.

В уравнении (I)

T – время реверберации (с)

V – объем помещения (м^3)

A – поглощение помещения (м^2)

0,16 – константа, полученная эмпирическим путем (с/м)

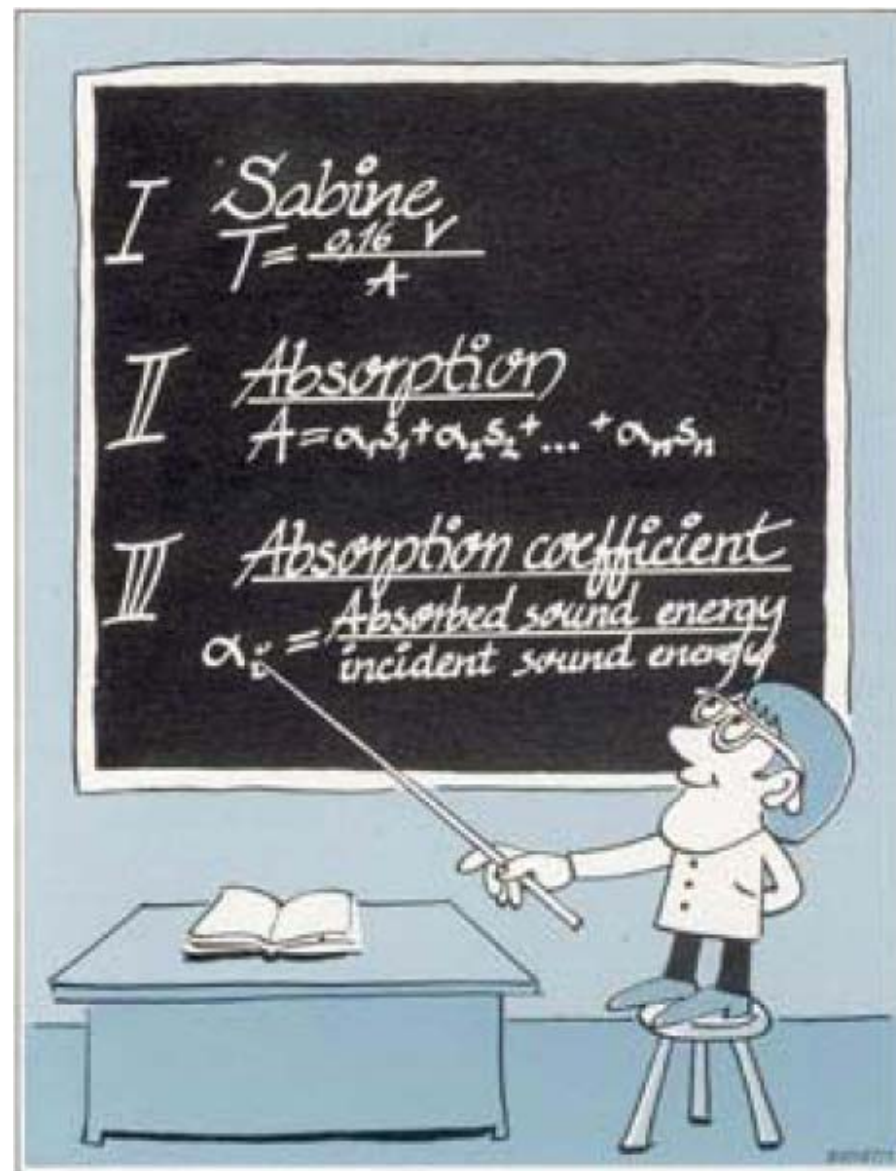
Чтобы получить поглощение помещения нужно сложить поглощения всех его поверхностей: стен, потолка, пола и всей мебели. Поглощение каждой из поверхностей – это произведение площади поверхности и ее коэффициента поглощения α_i , являющегося отношением звуковой энергии, которую поверхность поглощает, и звуковой энергии падающей волны (уравнение III). Коэффициент поглощения зависит не только от материала, но еще от частоты и угла падения.

В уравнении (II)

A – полное поглощение помещения

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – коэффициенты поглощения отдельных поверхностей комнаты

S_1, S_2, \dots, S_n – площади соответствующих поверхностей в м^2



Измерение времени реверберации

Для того, чтобы измерить время реверберации требуется источник звука, который будет генерировать звук в помещении, и приемное устройство, чтобы следить за затуханием уровня звукового давления после прекращения звука от источника.

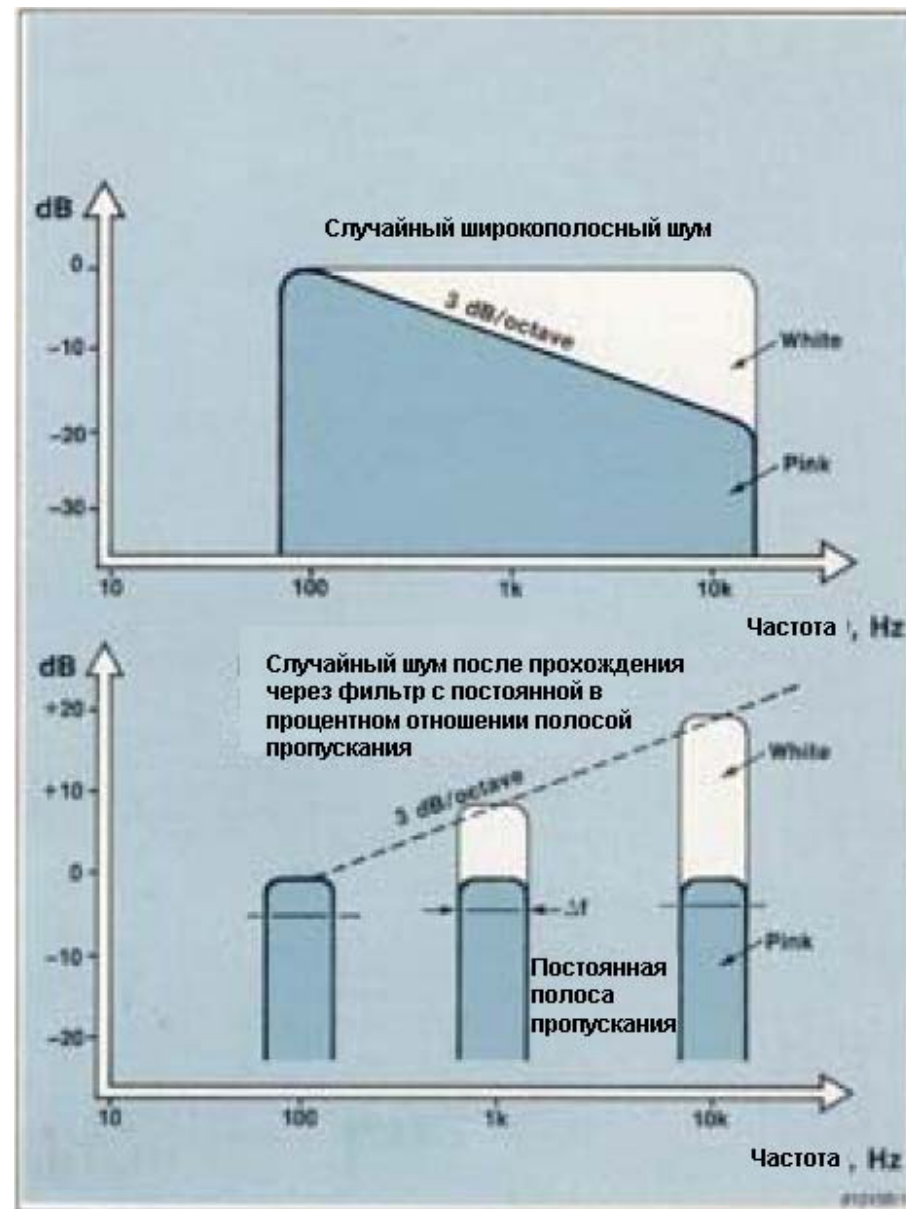
Источник звука

На практике в качестве источника звука используется стартовый пистолет, но пистолетный выстрел не обладает достаточной энергией в областях низких частот и воспроизводимостью. Лучше применять акустическую систему, генерирующую сигнал в различных полосах частот. Это позволяет, если использовать один и тот же усилитель мощности, передавать в помещение больше энергии, чем с помощью стартового пистолета, что важно при высоком уровне фоновых шумов.

«Белый» шум – это случайный шум (т.е. сигнал, содержащий все частоты спектра со случайным распределением амплитуд) в широкой полосе, уровень которого на герц неизменен на протяжении всего спектра. «Розовый» шум – это случайный шум в широкой полосе, уровень которого снижается на 3 дБ на октаву. Такое ослабление необходимо для передачи через фильтр, полоса пропускания которого постепенно расширяется (например, фильтр в одну октаву или треть октавы), удваиваясь для каждой октавы, постоянного количества энергии.

В связи с наличием фоновых шумов измерить полное затухание реверберации на 60 дБ, как правило, невозможно, и приходится довольствоваться 40 дБ, 30 дБ, или даже 20 дБ, экстраполируя затем затухание на 60 дБ. Обычно принято указывать затухание, на котором измерялось время реверберации, например, $Tr(30)$, $Tr(20)$.

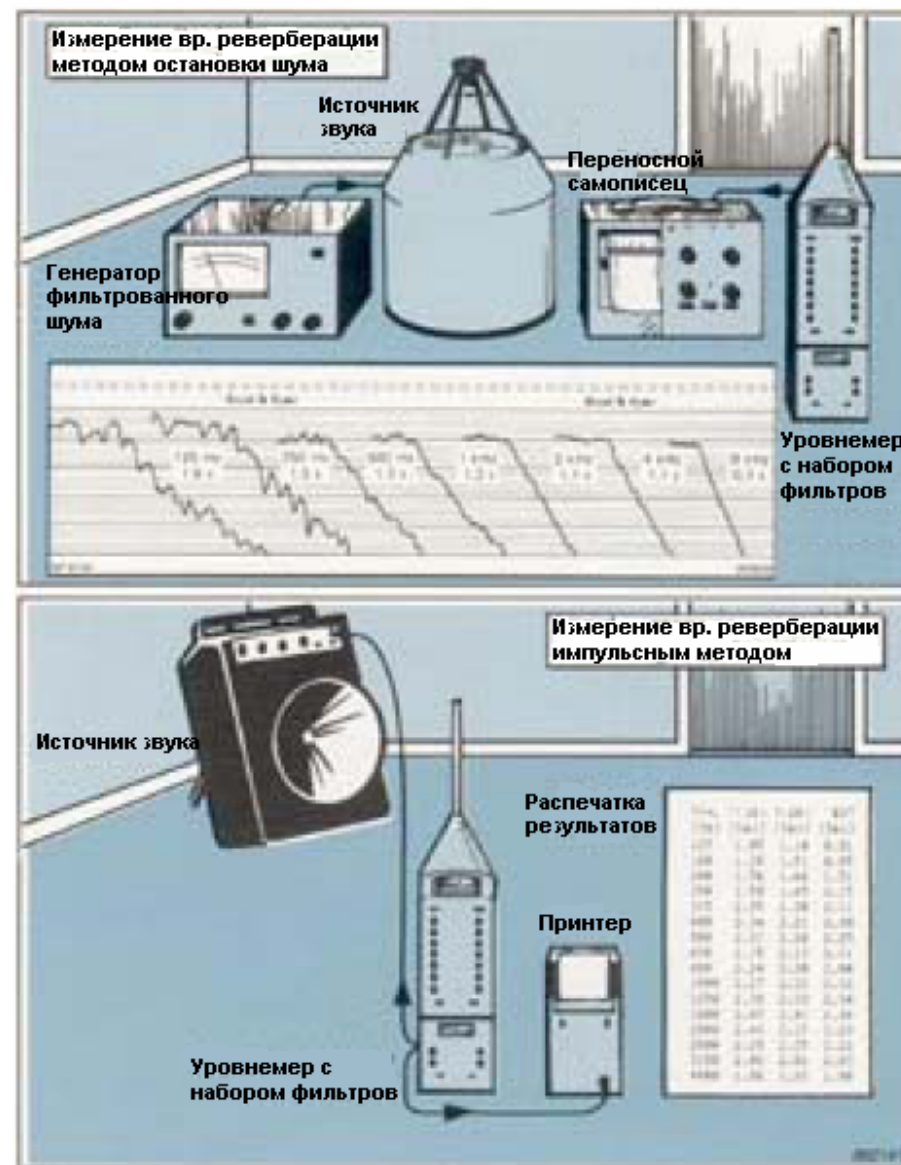
Шум можно передавать или как постоянный сигнал, который затем прекращается, или коротким импульсом; эти методы предъявляют разные требования к приемному устройству.



Приемное устройство

Обычное приемное устройство может состоять из фonoметра, оснащенного набором фильтров в одну октаву или треть октавы и самопишущим уровнемером. Фильтр, центр которого приходится на ту же частоту, что и у фильтра передающей части, снижает влияние фоновых шумов. Поскольку реверберация снижается по экспоненте, а записывается в логарифмической шкале, затухание на бумажной ленте будет представлять собой прямую линию. Итоговое время реверберации для данной частотной полосы определяется прямо по записи. Зазубренный вид графика затухания в низких частотах связан с неравномерным распределением естественных мод помещения в этой области.

Если используется импульсный метод генерации шума, то график будет представлять собой *импульсную характеристику* помещения, а определить время реверберации непосредственно по затуханию будет невозможно. Рассчитать итоговое время реверберации на основе импульсной характеристики можно с помощью соответствующего программного обеспечения. Преимущества импульсного метода (метода Шредера) – точность и повторяемость результатов, а также большая чем при «обрезании» скорость их получения.



Применение анализатора акустики здания

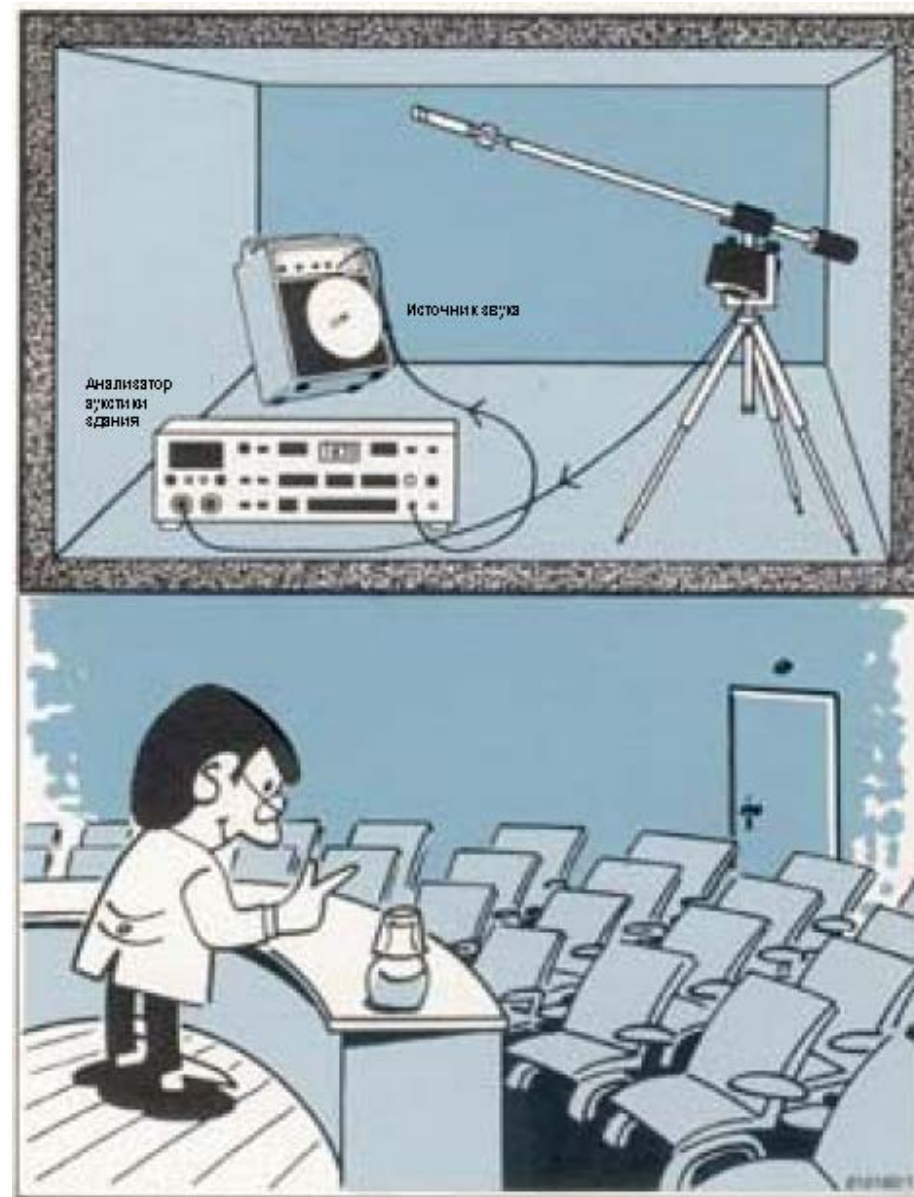
Анализатор акустики здания – это прибор, содержащий передающее и приемное устройство. Он подает на усилитель и динамик случайный шум в полосах в одну треть октавы, анализирует сигнал от микрофона, прошедший через второй набор фильтров в одну треть октавы и подсчитывает время реверберации для каждой полосы частот.

Расположение источника сигнала и принимающего микрофона

В связи с наличием эха и мод помещения время реверберации помещения зависит от расположения источника и принимающего микрофона. Иногда размещение источника очевидно (например, кафедра в лекционном зале). Для того, чтобы избежать возбуждения лишь ряда естественных мод помещения, источник звука обычно размещают в углу, при этом для каждой моды достигается максимальное давление звука.

В больших комнатах и аудиториях принимающий микрофон следует помещать в нескольких разных местах, так как время реверберации в них может меняться. При необходимости результаты измерений для каждой полосы можно усреднить при помощи одного из следующих методов:

- (а) перемещая с места на место один микрофон
- (б) получая результаты от нескольких микрофонов через мультимплексор
- (с) закрепив один микрофон на вращающейся стреле



Измерение поглощения звука

Коэффициент поглощения материала представляет собой отношение поглощенного материалом звука ко всему звуку. Общее поглощение поверхности – это произведение коэффициента поглощения и площади поверхности. Стандартными методами измерения поглощения являются:

Метод реверберационной камеры

Измеряется изменение времени реверберации при помещении образца поглощающего материала площадью 10 м^2 в реверберационную камеру. Из формулы Сэбина и определения поглощения следует, что:

$$\alpha = \frac{0,16 V}{S} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_e} \right)$$

где

α – коэффициент поглощения образца;

S – площадь образца

V – объем камеры

T_s – время реверберации при наличии образца

T_e – время реверберации пустой камеры

Измерения производятся с использованием фильтра в октаву или треть октавы, чтобы получить α как функцию частоты.

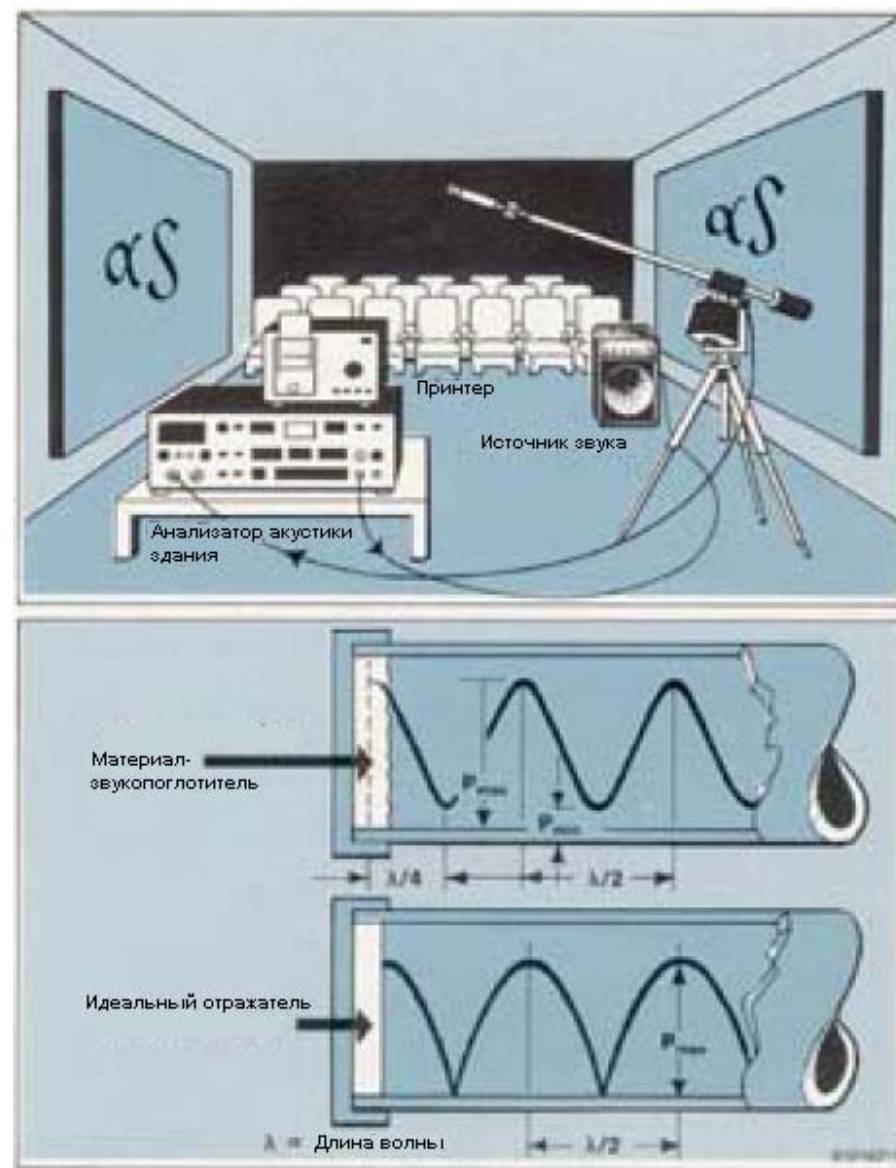


Измерение изменения времени реверберации «на месте»

Схожий метод можно применять на практике для определения количества поглощающего материала, необходимого для достижения в помещении приемлемого времени реверберации. На основе коэффициента поглощения α , рассчитанного на основе измерений в реверберационной камере, вычисляется площадь поглощающего материала, необходимая для требуемого изменения времени реверберации в конкретном помещении. Поглощающий материал устанавливается, затем производится измерение времени реверберации в помещении; при необходимости оно регулируется путем добавления или изъятия части поглощающего материала.

Метод стоячей волны

При использовании этого метода применяется динамик, подающий стационарные (стоячие) волны в трубу, перекрытую образцом исследуемого материала. Коэффициент поглощения можно рассчитать, если измерить соотношение максимального и минимального давления звука, перемещая акустический зонд по оси трубы. Преимущество этого метода в том, что он требует наличия лишь небольшого образца материала, его результаты повторяемы и представляют собой значения α на прямой шкале. Его недостатки – возможность применения лишь при падении звука по нормали, и только в случае, если образец является репрезентативным по отношению ко всему материалу.



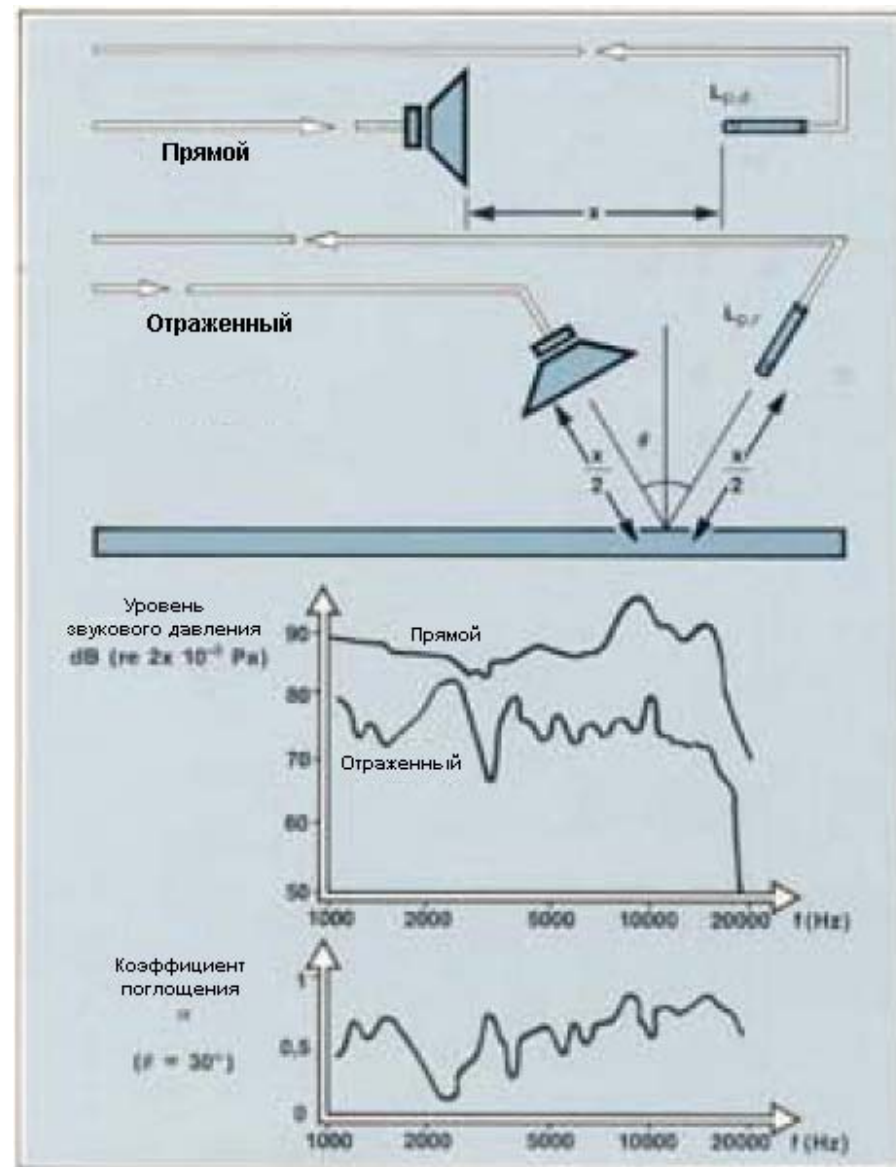
Метод тональной посылки

Этот метод позволяет определять коэффициент поглощения материала при различных углах падения звуковой волны. Для него не требуется специальной реверберационной камеры. Динамик, расположенный на расстоянии x от принимающего микрофона, выдает в помещение тональную посылку. Затем динамик направляется на испытываемый образец под нужным углом падения θ так, чтобы длина пути отраженного звука была такой же, как и в первом случае. Сравнивая уровень звукового давления отраженного звука $L_{p,r}$ с уровнем звукового давления прямого звука $L_{p,d}$, можно вычислить коэффициент отражения и определить коэффициент поглощения по формуле:

$$\alpha_{\theta,f} = 1 - r_{\theta,f}$$

где $\alpha_{\theta,f}$ – коэффициент поглощения,

а $r_{\theta,f}$ – коэффициент отражения = $10^{\frac{-(L_{p,d} - L_{p,r})}{10}}$



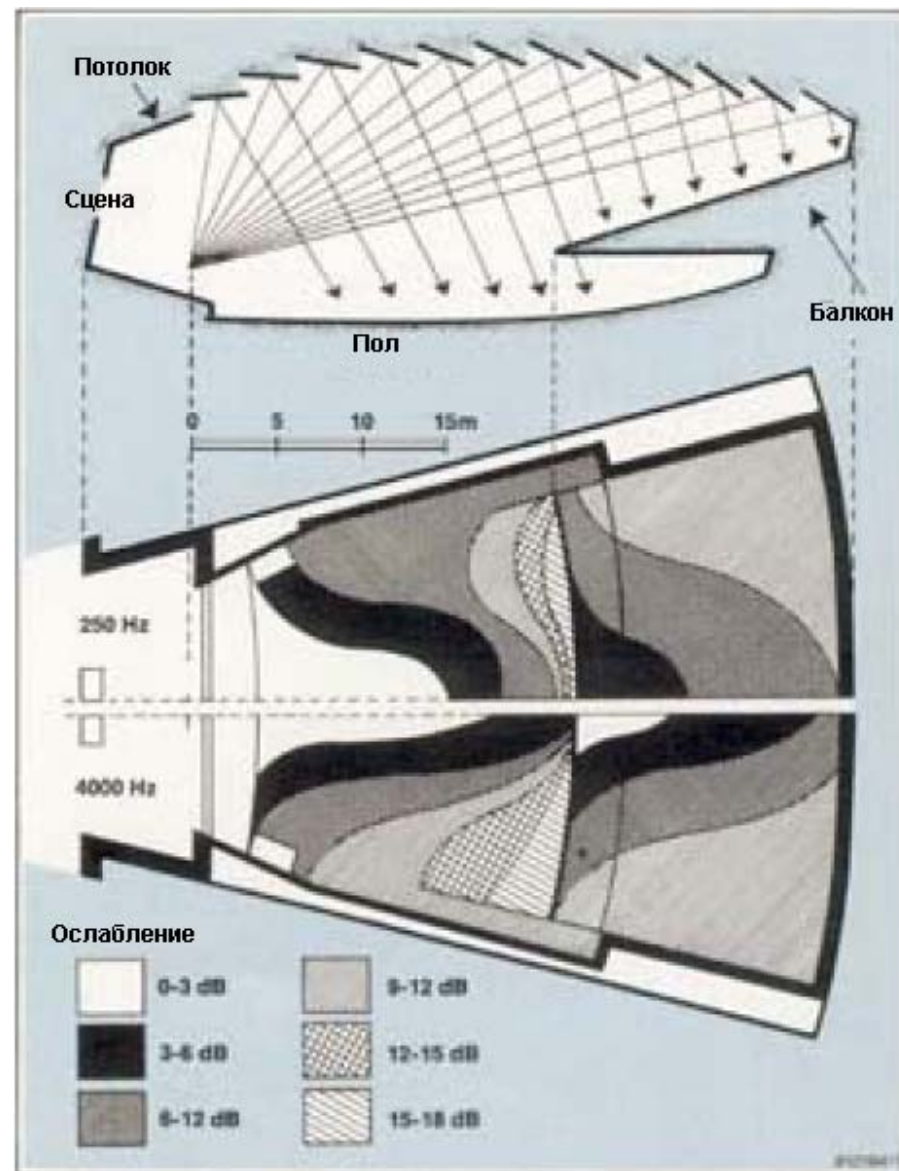
Измерение распределения звука

Измерения распределения звука особенно важны в театрах и концертных залах или других общественных местах, где музыка и речь должны быть одинаково четко слышны во всех точках помещения.

Измерения в существующем помещении

Измерить распределение звука в помещении можно непосредственно, поместив источник в точку наиболее вероятного расположения реального источника сигнала (сцена театра, церковная кафедра и т.п.), и измеряя уровень звукового давления в разных точках помещения с помощью фометра. Источником должен служить источник звука постоянной мощности, генерирующий широкополосный сигнал (белый или розовый шум).

Повысить информативность этого метода можно, если проводить измерения в одних и тех же точках, но на разных частотах. Фильтры (в октаву или треть октавы) можно применять как в источнике – для ограничения его мощности, так и/или в приемной части – для снижения влияния фоновых шумов.



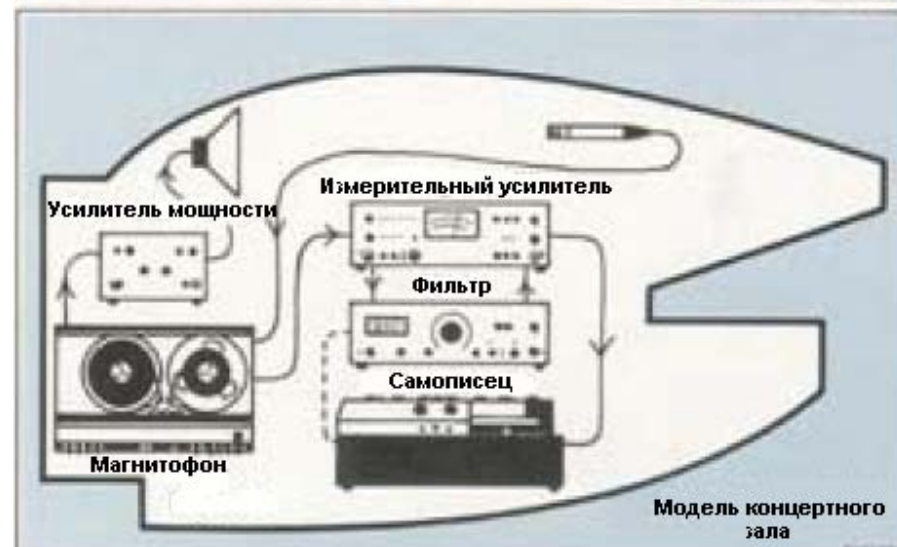
Измерения на моделях

Прежде чем приступить к постройке нового дорогостоящего театра или аудитории, с экономической точки зрения может быть полезно изучить акустику проекта на модели меньшего размера. Приняв определенные предосторожности, на такой модели можно определить, среди прочего, время реверберации, разборчивость речи и распределение звука.

Частота возбуждения источника должна быть повышена во столько же раз, во сколько модель была уменьшена. Добиться этого можно тремя способами:

- (a) применяя генератор, способный выдавать шум на более высоких частотах, которые требуются в модели
- (b) записав диапазон частот шума возбуждения на магнитофон, и воспроизводя его со скоростью, повышенной в нужное количество раз
- (c) используя источник звука, спектр частот которого включает в себя относительно высокие частоты, например, разряд искр или ультразвуковой свисток.

При столь высоких частотах передающий и приемный преобразователи должны иметь малые габариты, чтобы исключить их влияние на звуковое поле. В качестве передатчиков можно использовать конденсаторные микрофоны, преимуществом которых является стабильная частотная характеристика вплоть до 140 кГц. В приемной точке модели сигнал с высокой скоростью записывается на магнитофон. При анализе пленка воспроизводится на пониженной скорости, что позволяет вернуть сигнал в диапазон слышимых частот.

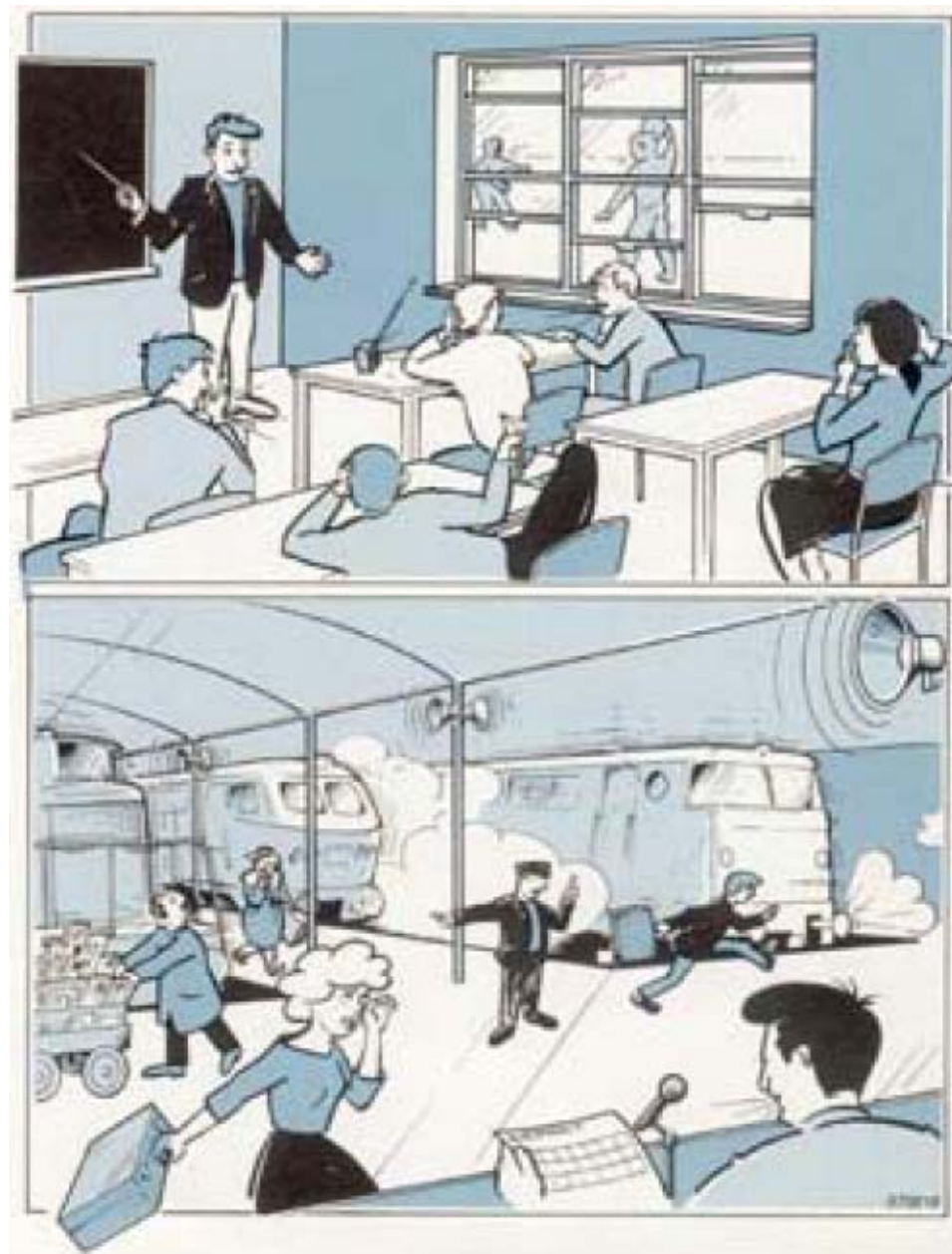


Разборчивость речи

Речь, которую в помещении произносит человек или передает система громкой связи, для слушателя никогда не является точной копией начального сигнала. К сигналу не только добавляется фоновый шум, но еще и искажения, связанные с отражающими и реверберационными свойствами помещения. Прямым следствием этих искажений часто является снижение разборчивости речи.

Чтобы повысить разборчивость дикторы часто приспособливают свою речь к свойствам помещения: говорят медленно в помещениях с сильной реверберацией, или громко – если помещение обладает высокими поглощающими свойствами или содержит мертвые точки. Однако, в ряде случаев, например, при объявлении по громкой связи, диктор не в состоянии изменить характеристики своей речи. Результатом этого часто оказывается неразборчивость объявления.

Выражая разборчивость речи количественно, и измеряя ее в помещении, мы можем выяснить, насколько необходимы для решения проблемы акустические меры. Стандартные средства повышения разборчивости речи включают в себя: усиление звука в аудиториях, снижение времени реверберации в залах заседаний, предотвращение возникновения эха в больших помещениях, оптимизацию систем громкой связи и ослабление фоновых шумов.

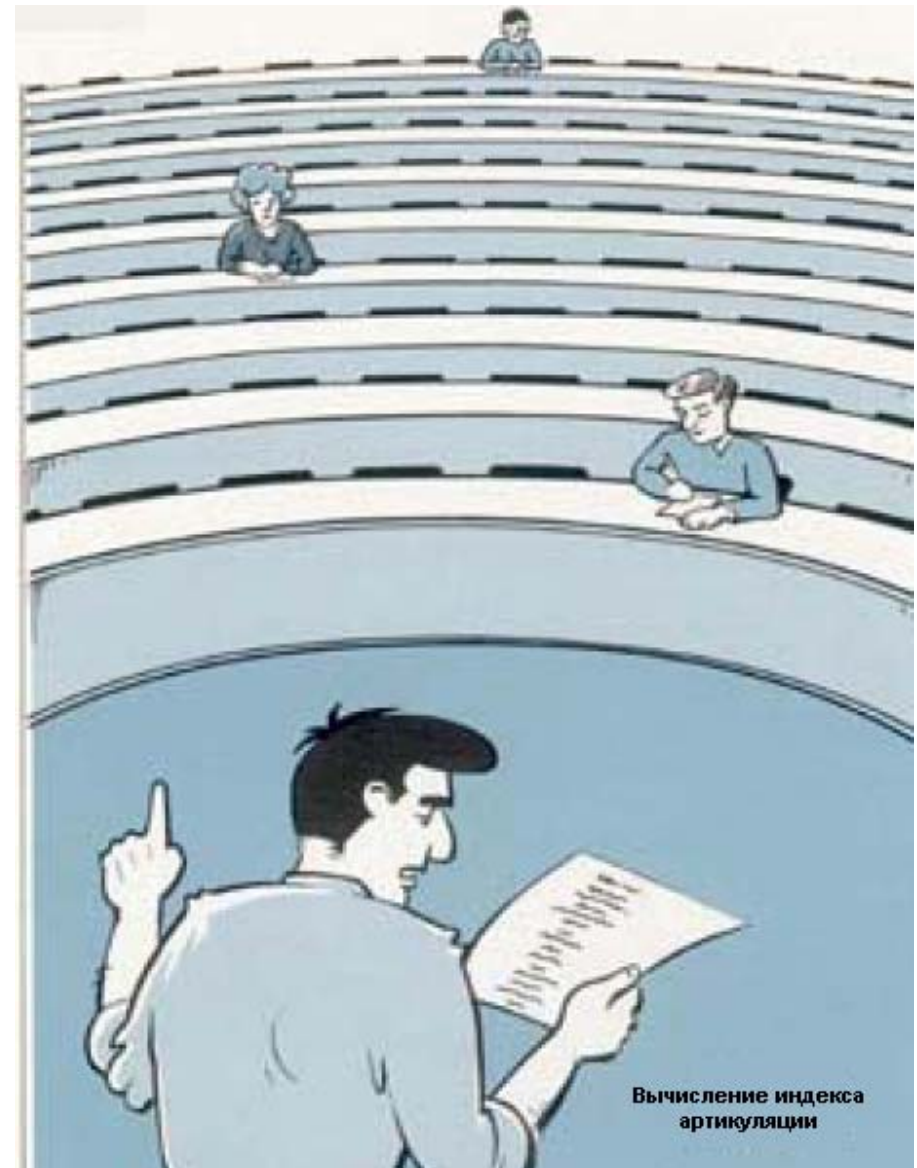


Как разборчивость речи выражается количественно?

Разборчивость является субъективной характеристикой, поэтому ее можно измерить, отслеживая количество фонетически сбалансированных бессмысленных слов, которое будет правильно записано командой подготовленных слушателей. Результат представляется в виде процента правильно записанных слов или индекса в диапазоне от 0 до 1. *Индекс артикуляции* (Articulation index - AI) ниже 0,3, как правило, означает, что речь неразборчива, а выше 0,7 указывает на отличную разборчивость. Различия между слушателями неизбежно приведут к большому разбросу результатов.

Другой подход заключается в определении *предпочтительного уровня разборчивости речи* (Preferred speech intelligibility level - PSIL) на основе серии измерений уровня звукового давления. Он предполагает измерения уровня сигнала и шума на предпочтительном спектре речи (полосы в три октавы с центром на 500 Гц, 1 кГц и 2 кГц), а затем добавление эмпирически полученного добавочного коэффициента, который позволяет учесть влияние реверберации.

Индекс передачи речи (Speech transmission index - STI) также является численным представлением разборчивости речи в диапазоне от 0 до 1. Этот индекс вычисляется на основе семейства кривых *частотно-контрастных характеристик*. Они описывают степень изменения изначальных модуляций сигнала системой передачи звука в семи октавах от 125 Гц до 8 кГц. Для определения STI не требуются дикторы и слушатели; он также содержит информацию о характере искажения сигнала помещением.



Вычисление индекса артикуляции

Индекс передачи быстрой речи (Rapid speech transmission index - RASTI)

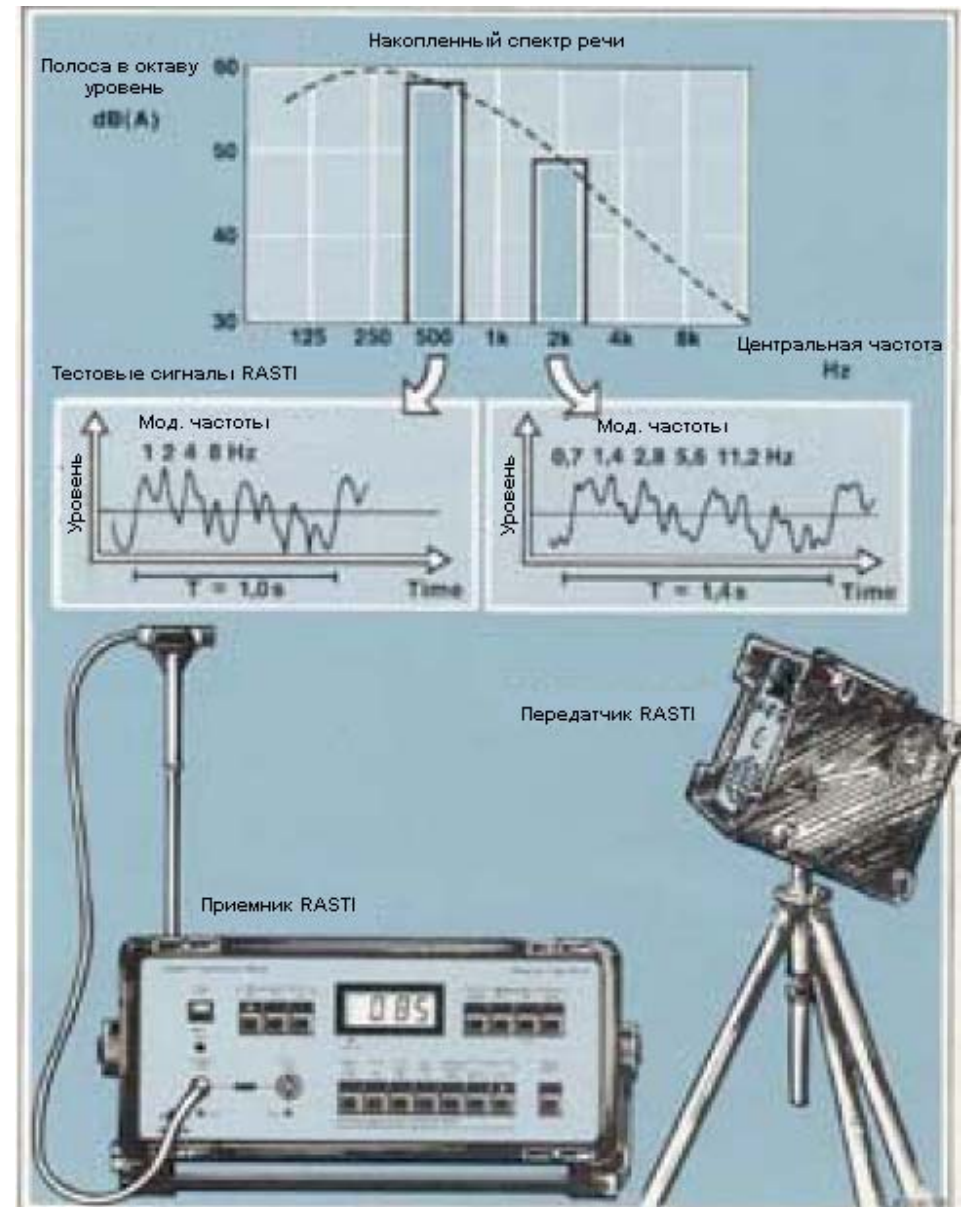
Если ограничить измерение частотно-контрастных характеристик лишь двумя октавами, то можно вычислить индекс передачи быстрой речи (RASTI). Этот расчет намного быстрее, чем полная процедура STI, и его можно провести с помощью передающего и приемного оборудования RASTI.

Передатчик RASTI

Передатчик RASTI генерирует розовый шум амплитудой 59 дБ и 50 дБ (на расстоянии в 1 м) в октавах 500 Гц и 2 кГц, соответственно, что имитирует спектр продолжительной речи. Этот шум подвергается синусоидальной модуляции одновременно несколькими частотами, что соответствует модуляциям, присутствующим в обычной речи. Передатчик осуществляет передачу с учетом того, что измерение проводится в 1 метре от диктора.

Приемник RASTI

Сигнал принимается ненаправленным микрофоном и анализируется приемником RASTI, который обнаруживает изменения, внесенные средой передачи. Приемник и передатчик не синхронизируются (и поэтому являются независимыми единицами), поскольку сигнал повторяется. Отклонение принятого сигнала от переданного для каждой частоты модуляции записывается в виде *коэффициента ослабления модуляции* (м). RASTI вычисляется на основе коэффициентов ослабления модуляции и представляет собой число от 0 до 1.



Интерпретация измерений RASTI

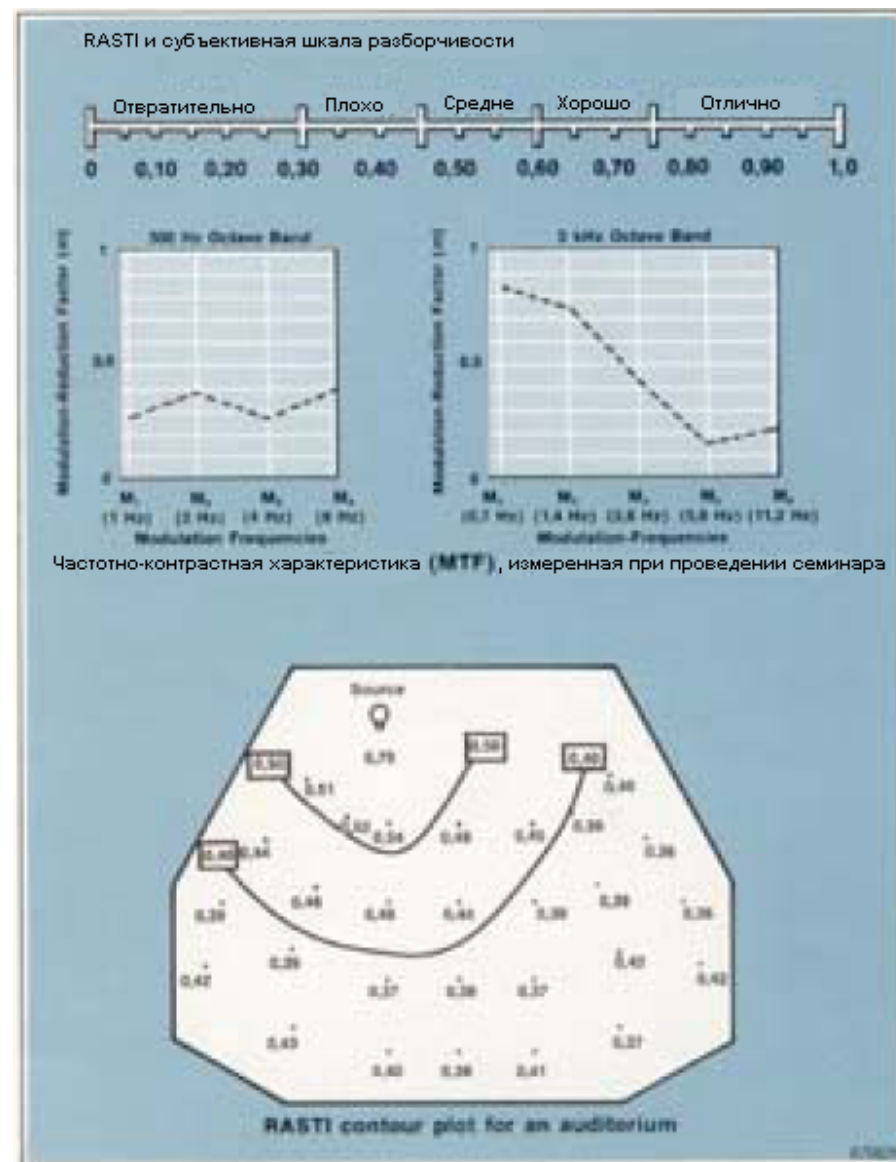
RASTI можно связать со шкалой субъективной разборчивости, приведенной рядом, которая получилась путем сравнения результата по фонетически сбалансированным словам и методов STI.

Также информацию об акустических свойствах помещения можно получить из измерений RASTI интерпретируя *частотно-контрастную характеристику* (Modulation transfer function - MTF). MTF – это просто график отношения коэффициента ослабления модуляции (m) к частоте модуляции (M). Если MTF имеет плоский вид, то источником помехи является шум, в случае снижения MTF источник помехи – реверберация. Примеры этих случаев приведены на рисунке. MTF сложного вида означает, что причина помехи – дискретное эхо.

Применения RASTI

Метод RASTI позволяет обнаружить в помещении зоны низкой разборчивости. Поскольку расчеты по этому методу быстры, результаты могут быть отражены в виде отображения RASTI в изолиниях. Испытания систем громкой связи и усиления звука можно проводить, поместив источник звука на место микрофона, или произведя его электрическое подключение к системе.

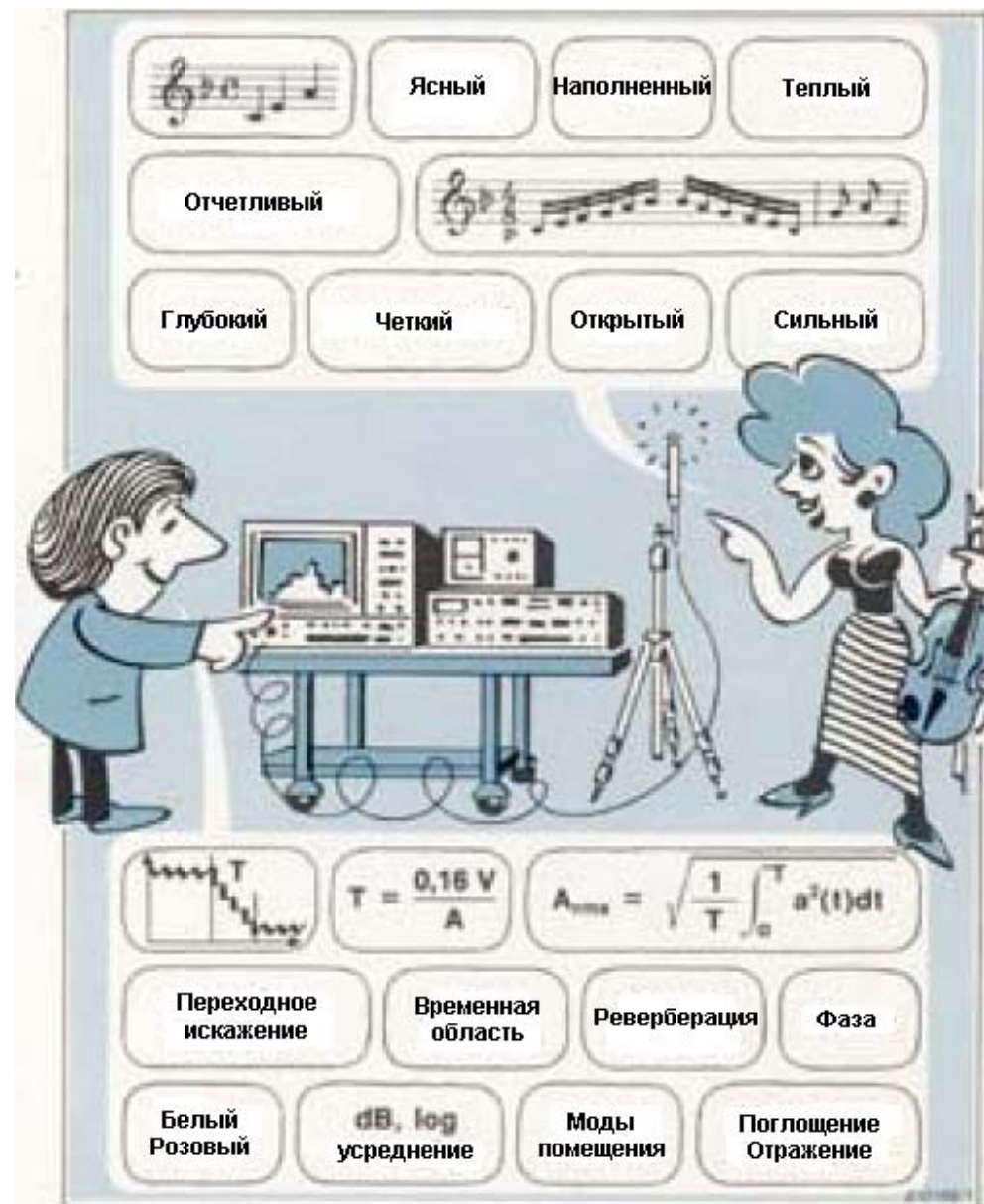
Также этот метод можно применять для оценки того, подходит ли помещение для записи речи, или определения акустической изолированности комнаты от соседних. Во втором случае, если передатчик помещен в комнате, а приемник – вне нее, то значение RASTI не должно превышать 3.



Анализ акустики помещения в режиме реального времени

Что такое «хорошая акустика»?

Определить, из чего в целом складывается «хорошая акустика» довольно сложно. Во-первых, все зависит от того, для чего вы планируете использовать помещение. Акустические требования к концертному залу, театру и аудитории для лекций различаются, а если одно помещение планируется использовать и для концертов, и для театральных постановок, то придется пойти на ряд компромиссов. Во-вторых, это зависит от того, как определяется акустика помещения. Акустик будет обращать внимание на время реверберации, распределение звука, поглощение и т.п., иными словами, на объективные измеряемые параметры. Музыкант, слышащий музыкальное произведение, или слушатель, воспринимающий речь в помещении, будет описывать акустику в терминах четкости, чистоты тона, теплоты и т.п., т.е. субъективными или тяжелыми для измерения параметрами. На самом деле, понятие «хорошая акустика» представляет собой сочетание большинства этих объективных и субъективных параметров, рассмотренных «глобально». Таким образом, чтобы добиться более общей оценки, может понадобиться одновременно рассмотреть несколько параметров: например, амплитуду, частоту и время. «Анализ в режиме реального времени» позволяет анализировать весь спектр звукового сигнала без искажения или потерь фрагментов исходного сигнала. За счет этого можно проследить временные изменения спектра.

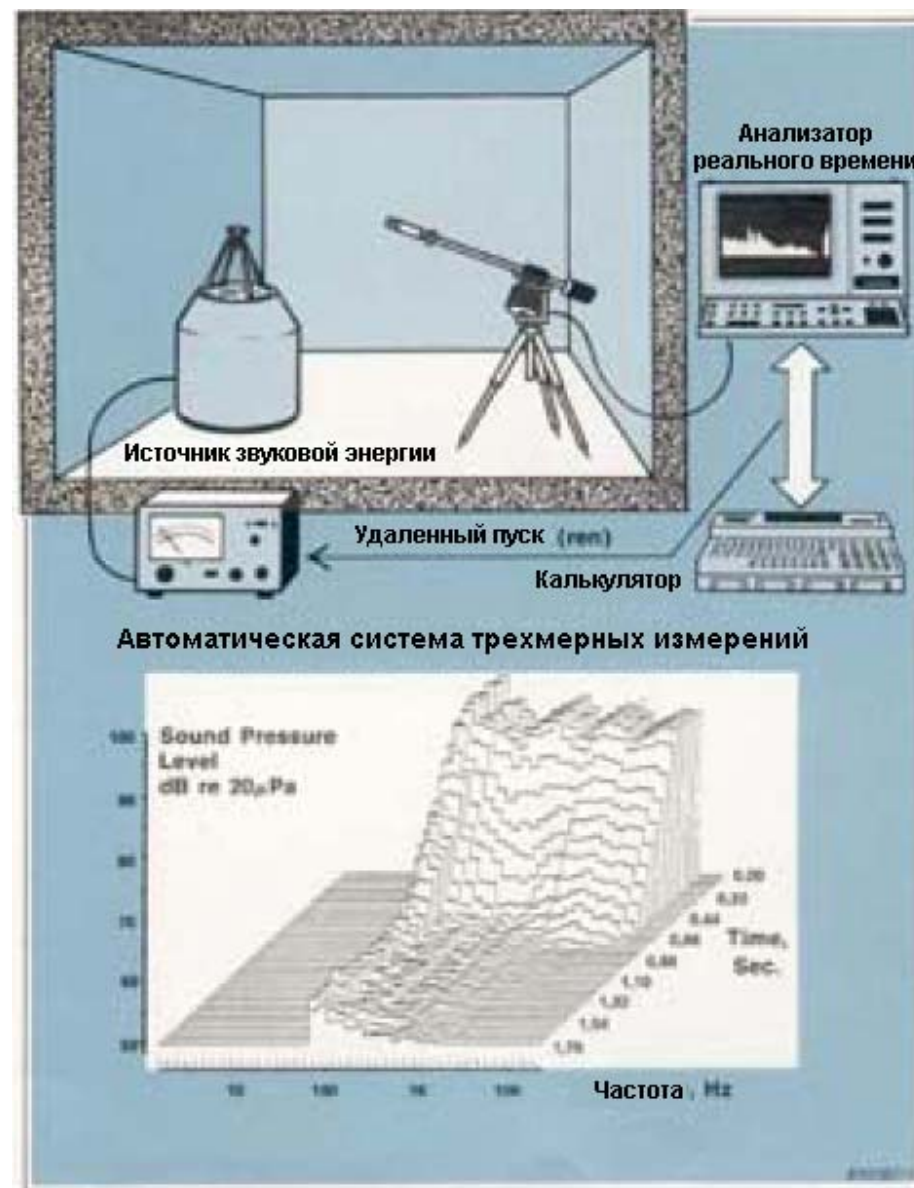


Анализ в режиме реального времени

Анализатор реального времени проводит частотный анализ сигнала и отображает результаты на дисплее в виде графика зависимости уровня от полосы частот. Постоянное обновление экрана приводит к появлению движущейся картинки, которая точно соответствует изменениям уровня сигнала в помещении. Это позволяет проводить в помещении испытания звучания голоса или музыкальных инструментов «в реальном времени», с мгновенным отображением результатов на экране. Например, различие времени реверберации в низких и высоких частотах будет хорошо заметно – скорость снижения высоты столбиков, отображающих мгновенный уровень сигнала в разных полосах спектра, будет разной. Особенно полезен анализ в режиме реального времени для обнаружения эха, размещения рефлекторов, измерения времени реверберации и т.д.

Затухание реверберации в трех измерениях

С помощью анализатора реального времени и компьютера с подключенным графопостроителем кривые затухания времени реверберации звука в помещении можно представить в форме трехмерного ландшафта с осями амплитуда-частота-время. Если имеется возможность автоматически включать и выключать источник звука с помощью компьютера, то можно провести измерения и усреднение большого числа затухающих ревербераций, получив в итоге окончательную «кривую затухания» для каждой интересующей полосы частот.



Акустика здания: что измерять?

Время реверберации

Время реверберации следует измерять в тех комнатах и частях здания, где необходимо подавление шума (например, на лестничных пролетах), а также, если необходимо принять меры по звукоизоляции (время реверберации необходимо для расчета ряда индексов звукоизоляции).

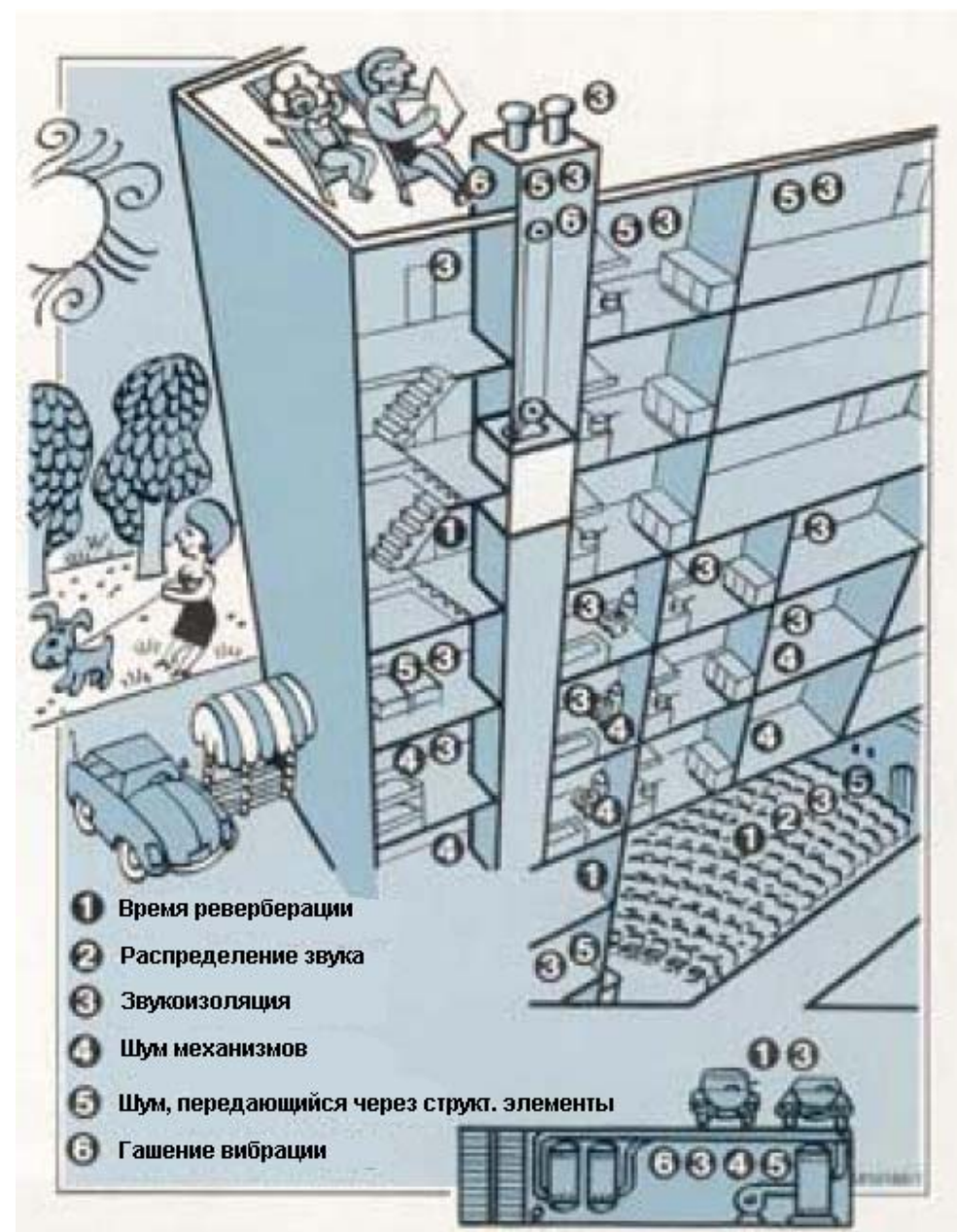
Воздушная и ударная звукоизоляция

Звуковая энергия не остается в помещении, где она была сгенерирована, а распространяется по зданию всеми возможными путями, вторгаясь в другие комнаты в виде шума. Звуковая энергия передается по воздуху и через структурные элементы здания. В однородных структурах с низким коэффициентом потерь (например, монолитная бетонная стена) звуковая энергия передается почти без ослабления. Для того, чтобы описать звукоизоляционные свойства двери или пола, необходимо измерить два акустических параметра: воздушную и ударную звукоизоляцию.

Механические шумы и гашение колебаний

Механизмы, нагревательные приборы и лифты часто производят шум. Поэтому большинство стандартов для строительных норм и правил приводят предельный уровень шума каждой установки для помещений, где живут люди. Здесь требуется измерить:

- (а) шум и вибрацию источника
- (б) передачу шума и вибраций через структурные элементы и вентиляцию, отопительную систему и систему подачи воды
- (с) уровень шума в комнатах, в которые проникает шум установок



Коэффициент звукоизоляции стены

Воздушная звукоизоляция, которую обеспечивает стена, выражается в виде коэффициента звукоизоляции R (в дБ), который представляет собой отношение акустической мощности волны, падающей на стену, к акустической мощности, передаваемой через стену. Коэффициент звукоизоляции зависит от частоты и угла падения генерируемой звуковой волны.

$$R = 10 \log_{10} \frac{W_i}{W_t}$$

W_i – акустическая мощность волны, падающей на стену

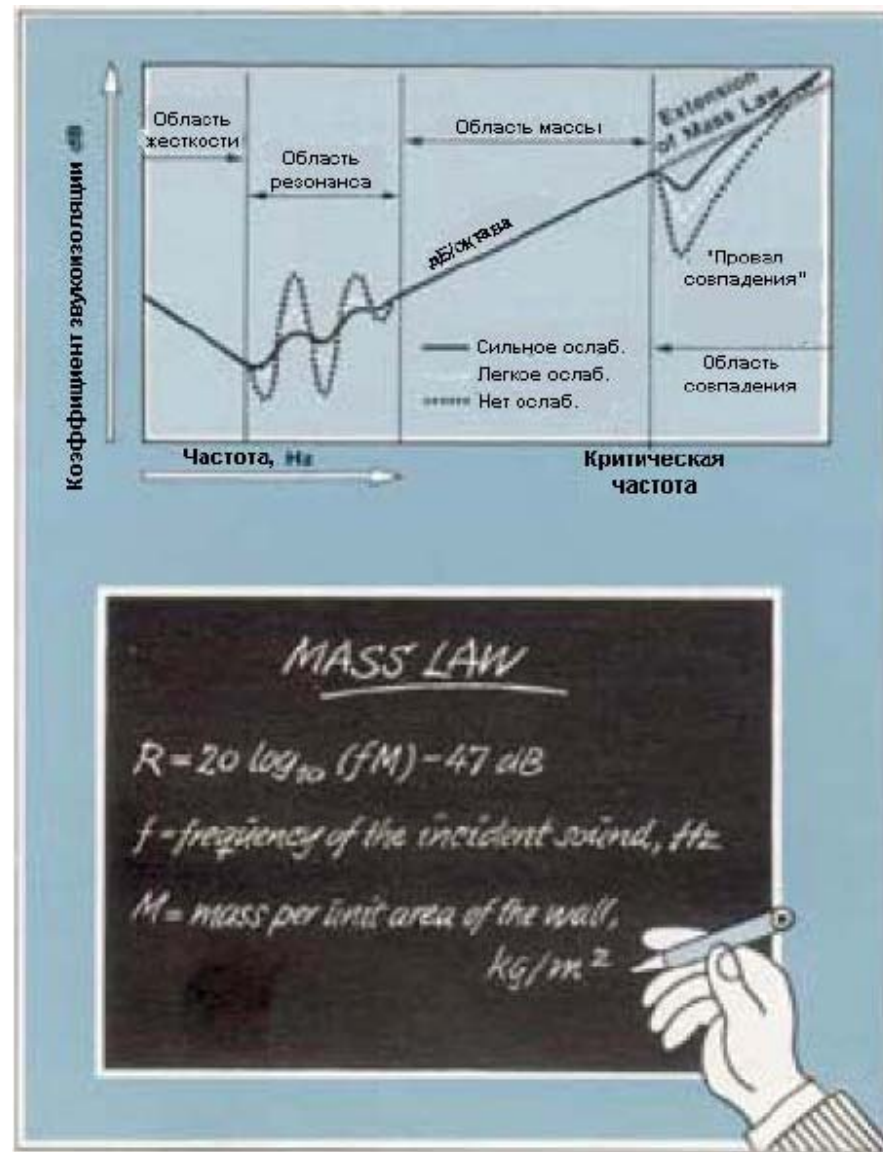
W_t – акустическая мощность, передаваемая через стену

R – Коэффициент звукоизоляции, дБ

В случае монолитной гомогенной стены кривая коэффициента звукоизоляции как функции частоты может быть разделена на несколько областей на основании того, какое из свойств стены наиболее влияет на звукоизоляцию. Речь идет об областях жесткости, резонанса, массы и совпадения. Гашение колебаний влияет лишь на форму кривой в области резонанса и совпадений.

Закон массы

В области массы коэффициент звукоизоляции повышается на 6 дБ с каждым удвоением частоты при фиксированной массе на единицу площади или с каждым удвоением массы на единицу площади (т.е. с удвоением толщины стены) при фиксированной частоте.



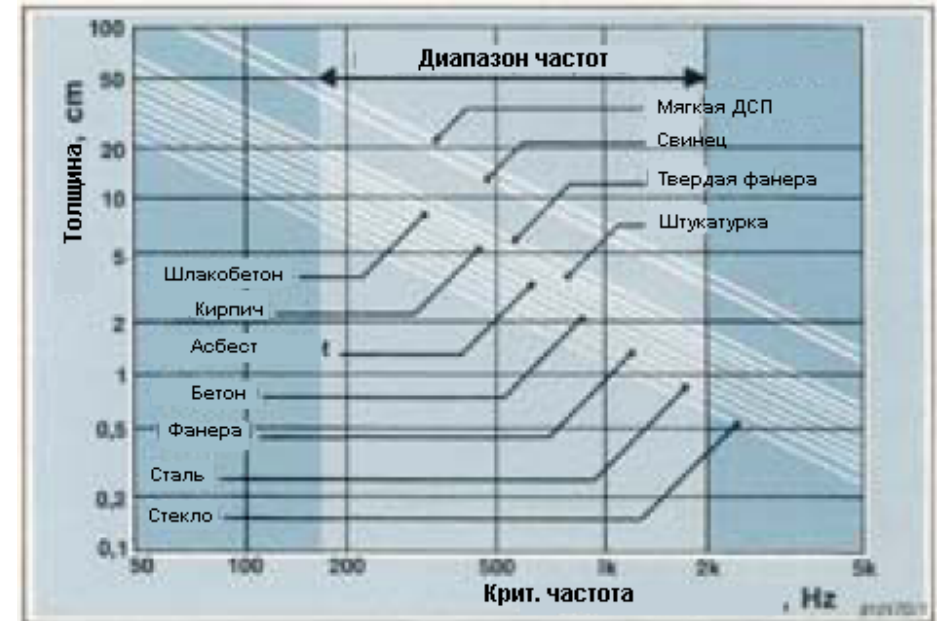
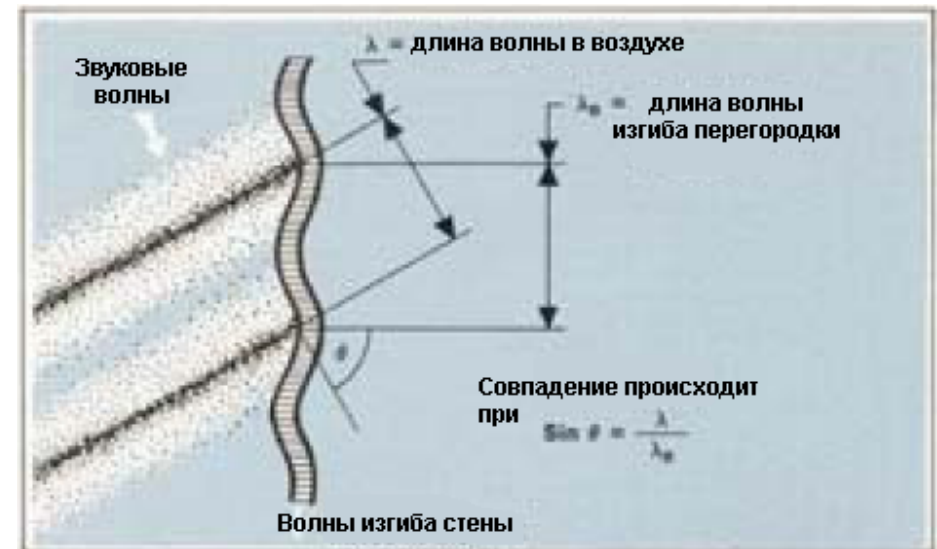
Что такое эффект совпадений?

Эффект совпадений

Закон массы представляет собой отличное рабочее правило для предсказания воздушной звукоизоляции перегородки, но его применение в области высоких частот ограничено эффектом совпадений. Этот эффект проявляется, если проекция длины звуковой волны, распространяющейся в воздухе, совпадает с длиной волн изгиба перегородки. При определенной частоте и угле падения звуковых волн изгибные колебания перегородки будут усиливаться, а акустическая энергия передастся через перегородку почти без ослабления. На практике звуковые волны падают на перегородку под всеми возможными углами, поэтому с акустической точки зрения понятно возникновение узкой частотной области, называемой «провал совпадения» («coincidence dip»).

Критическая частота

Минимальная частота, на которой проявляется эффект совпадения для конкретной перегородки, проявляется когда падающие звуковые волны едва касаются перегородки (т.е. скользят вдоль нее). Эта частота называется критической частотой f_c . Для определения критической частоты в реальных условиях при проектировании помещения или разделительной стены можно воспользоваться номограммой, приведенной справа. Например, критическая частота фанерной перегородки толщиной 3 см составляет около 500 Гц: к сожалению, это середина речевой частотной области.



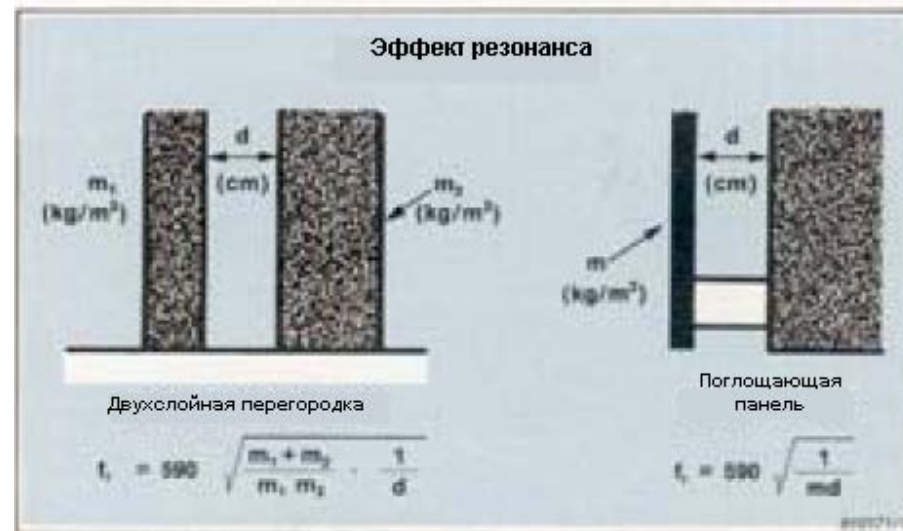
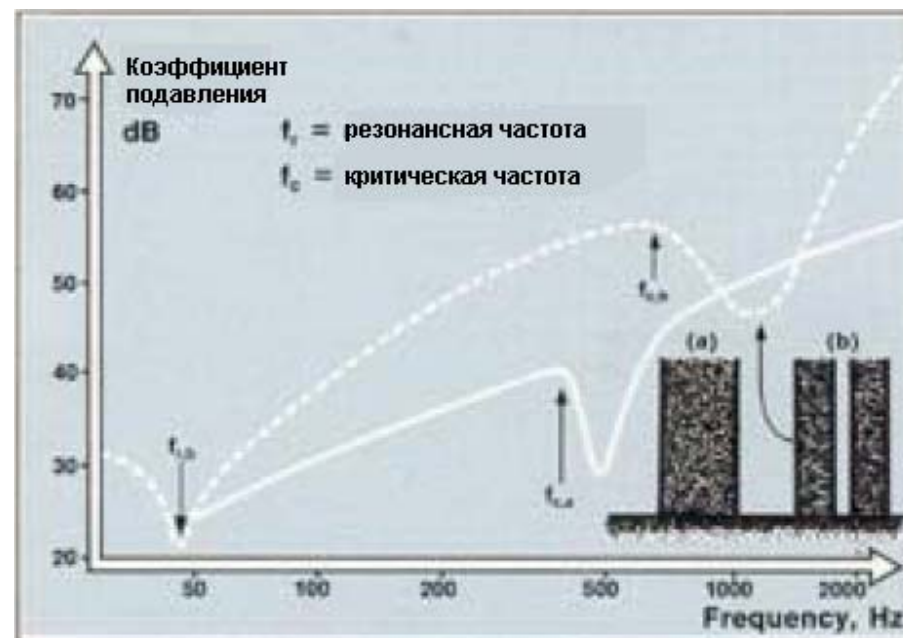
Двухслойная перегородка

Один из способов повышения критической частоты эффекта совпадения, не снижая звукоизоляции – это применение двухслойных перегородок. Для двухслойной перегородки частота проявления эффекта совпадения определяется толщиной каждого из элементов, тогда как коэффициент звукоизоляции даже превышает предсказанный по закону массы для однослойной перегородки с той же массой. Более того, серьезным преимуществом является возможность установки слоев разной толщины, что позволит избежать проявления эффекта совпадения на одной частоте для обоих слоев.

Резонансная частота

В общем случае звукоизоляционные свойства двухслойной перегородки лучше, чем у однослойной стены. Однако на резонансной частоте (f_r) для системы масса-пружина-масса звукоизоляция такой перегородки уже не будет лучше, поэтому нужно следить, чтобы f_r не попадала в интересующую нас полосу частот (т.е. была ниже 100 Гц).

Обратите внимание, что эффект резонанса можно с пользой применять для поглощения звуковой энергии в области низких частот, если помещение насыщено шумами и реверберациями. Тонкая панель размещается на расстоянии d от жесткой стены, а резонансная частота панели в этом случае подбирается так, чтобы она попадала в частотную область, в которой должно происходить подавление шума.



Лабораторные и полевые измерения

Лабораторные измерения

Лабораторные измерения используются для установления специфических свойств материала или для проведения его комплексного обследования для выяснения акустической информации или установления стандарта качества. Также они применяются для установления соответствия материала или образца строительного материала международным стандартам и местным нормам.

Комната для проведения лабораторных испытаний оборудуется очень тщательно, во избежание боковой передачи шума. Поэтому при проведении испытаний на звукоизоляцию звуковая энергия помещения почти полностью передается через испытываемую перегородку.

Полевые измерения

В любом здании существует так много путей распространения звука, а на качество конструкции с акустической точки зрения влияет так много факторов, что единственный способ проверить соответствие здания официальным требованиям – это провести измерения «на месте», в самом здании.

В большинстве случаев часть звуковой энергии, генерируемой в помещении, передается в примыкающие комнаты не напрямую, а обходным путем или через «акустические дыры». Таким образом, звукоизоляция элементов здания при измерении на месте обычно ниже, чем в лаборатории. Поэтому при выборе строительных материалов следует позаботиться о включении в смету «запаса прочности» предполагаемой звукоизоляции конструктивных элементов здания.



Воздушная звукоизоляция

Воздушная звукоизоляция между двумя комнатами рассчитывается на основе разности уровней звукового давления в комнатах источника и приемника с учетом фактора поглощения комнаты с приемником. В лабораторных условиях корректирующий фактор включает в себя площадь исследуемого образца S и эквивалентную поглощающую площадь комнаты с приемником A , определить которую можно по объему и времени реверберации комнаты приемника. В реальных зданиях корректирующий фактор зависит от того, как определяется звукоизоляция помещения. Два наиболее частых способа определения – это: **стандартизованная разность уровней** $D_{нТ}$, представляющая собой отношение времени реверберации комнаты приемника к стандартному времени реверберации 0,5 с., и **предполагаемый коэффициент глушения** R' , который учитывает площадь общей перегородки, время реверберации и громкость комнаты приемника. Поскольку время реверберации в комнате с мебелью составляет около 0,5 секунд, $D_{нТ}$ соответствует реальной звукоизоляции, с которой мы сталкиваемся в гостиной или спальне. R' же, напротив, основывается на размерах комнаты. Требования к небольшим комнатам, например, ванным, на основе R' оказываются менее жесткими.



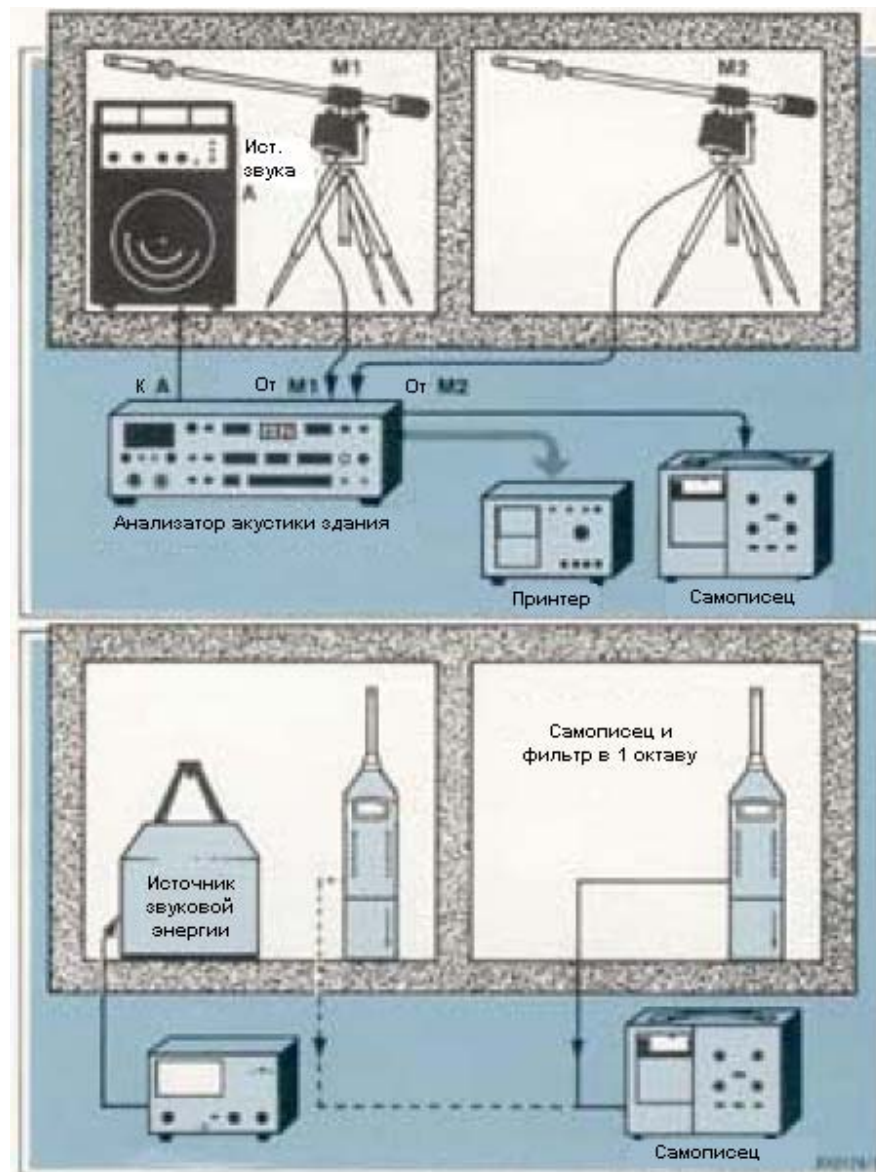
Измерение воздушной звукоизоляции

Передающая часть

При лабораторных измерениях коэффициента звукоизоляции элемента здания возбуждение в комнате источника может вызываться (как и при измерениях времени реверберации, см. стр. 8-9) широкополосным сигналом, прошедшим через фильтр с полосой пропускания в одну треть октавы. Такой сигнал подается генератором шума, оснащенным набором фильтров. При измерениях «на месте» источником звука может быть переносная система, генерирующая шум в широкой или узкой полосе, или даже источник шума, расположенный непосредственно на месте, например какой-либо механизм, при условии, что его шум стационарен и имеет широкую полосу без доминирующих частот. Уровень шума в комнате источника должен быть достаточно высок для проведения осмысленных измерений.

Принимающая часть

Уровень звукового давления измеряется последовательно в комнатах источника и приемника, а затем фиксируется самописцем. Фильтр принимающей части может понадобиться, если в передающей части используется источник широкополосного шума, или если уровень звука, полученный при измерениях в комнате приемника менее, чем на 6 дБ превышает уровень фоновых шумов. При измерениях на месте в комплекте с переносным самописцем можно использовать прецизионный уровнемер со встроенными фильтрами или оснащенный набором фильтров. Что касается измерения времени реверберации, то необходимо провести усреднение уровней звукового давления в пространстве и времени.



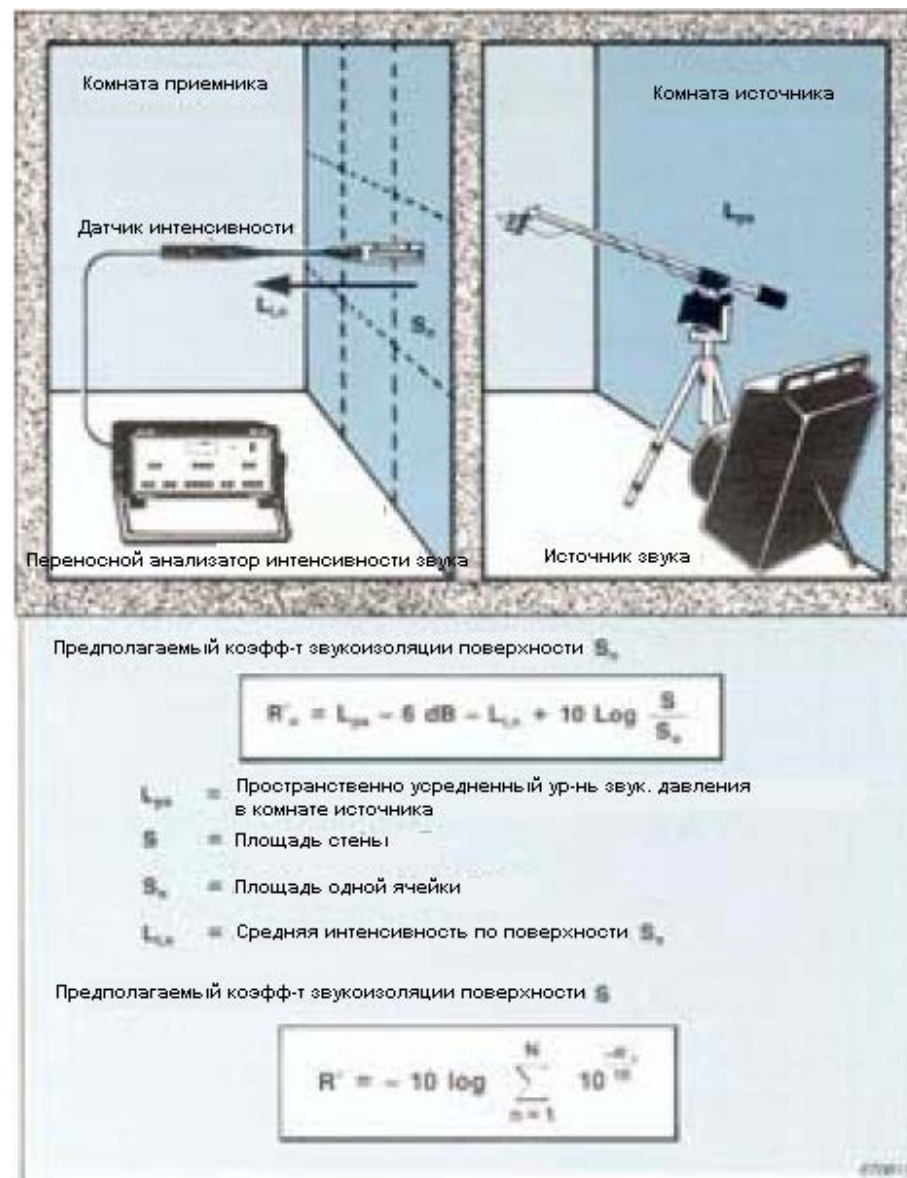
Подход с точки зрения интенсивности звука

Другой подход к измерению воздушной изоляции заключается в измерении интенсивности звука. Интенсивность – это векторная величина, описывающая звуковую энергию, проходящую через некую площадь. Единица ее измерения – Вт/м². Измерить силу звука можно при помощи датчика из двух микрофонов и анализатора интенсивности.

В комнате источника измерения проводятся точно так же, как и в предыдущем случае. В комнате приемника на измеряемую поверхность прикрепляется сетка, отмечающая область нашего интереса. Среднюю интенсивность звука, проходящего через каждую ячейку сетки можно непосредственно измерить при помощи системы анализа интенсивности звука. Сила звука в каждой ячейке сети – это просто средняя интенсивность звука, умноженная на площадь ячейки.

Поскольку мы можем измерить интенсивность звука на любой из поверхностей помещения, можно измерить долю общей силы звука комнаты приемника, приходящуюся на передачу по обходным путям и через акустические дыры. Таким образом, результаты можно сравнить с тем, что мы получили с помощью предыдущего метода.

Существенным преимуществом подхода с точки зрения интенсивности является возможность нахождения предполагаемого коэффициента глушения R'_n для каждой их ячеек сети. Таким образом, при изучении неоднородных перегородок, например, стены с окном, можно вычислить R'_n материала стены и стекла.



Ударная звукоизоляция

Звук удара

Звук шагов по полу или ступеням лестницы в других комнатах часто слышен лучше, чем в той, где он возникает. Причина этого в том, что каркас здания вибрирует, и эта вибрация передается другим частям здания почти без ослабления. Эффективный способ снижения шума от ударов – это снижение силы ударов до того, как они достигнут структурных элементов здания, например, уложить «плавающий» пол, подходящий ковер или иное упругое покрытие.

Измеряемый параметр

Ударная звукоизоляция оценивается на основе измерения уровня звука удара в комнате с приемным устройством. Как и в случае воздушной звукоизоляции следует различать измерения в лабораторных и полевых условиях, а также включать в расчет уровня звука удара корректирующий фактор, учитывающий поглощение в комнате приемника.

Нормализованный уровень давления звука удара L_n (или L'_n , если учитываются обходные пути передачи звука) учитывает поглощение комнаты приемника A (A рассчитывается исходя из объема V и времени реверберации T в комнате приемника по формуле Сэбина), а стандартизованный **уровень давления звука удара L_{nT}** учитывает стандартное значение времени реверберации в комнате приемника T , равное 0,5 с.



Измерение ударной звукоизоляции

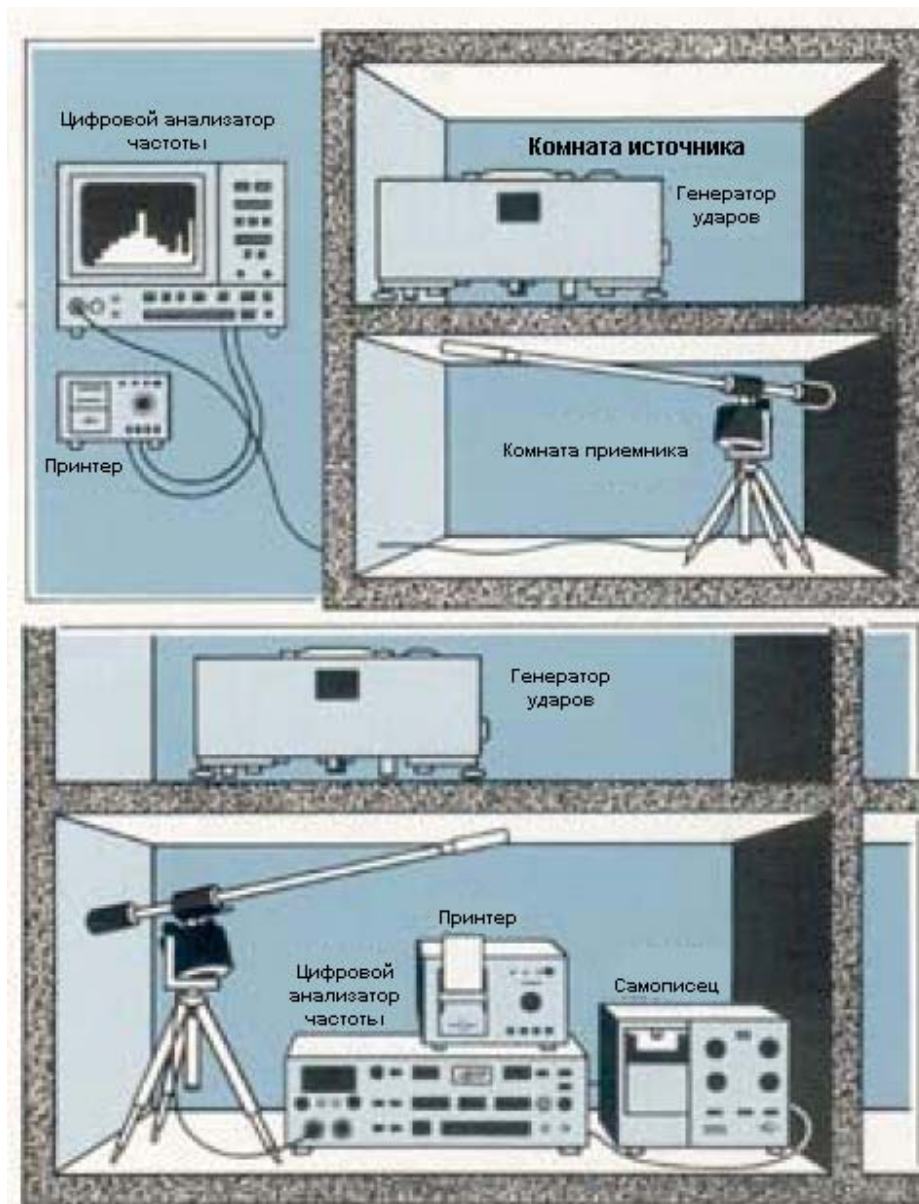
Источник звука

Шум шагов имитируется с помощью обычного генератора шума ударов, оснащенного пятью молотами с высотой свободного падения 4 сантиметра, наносящими 10 ударов в секунду. При использовании на полу результат существенно превышает обычный шум шагов – это необходимо для достижения достаточно приемлемого звукового давления в комнате приемника. Согласно стандартам, измерения должны проводиться несколько раз: при разных положениях генератора в комнате источника.

Принимающая часть

При измерении в зданиях предполагается, что звуковое поле равномерно рассеяно, но обычно это не так. В реальности уровни звукового давления в комнате приемника необходимо усреднять путем измерений при разных положениях микрофона или установив микрофон на конце медленно вращающейся стрелы. После приема сигнал проходит через фильтр в одну октаву или треть октавы. Результаты, полученные с фильтром в одну октаву на 5 дБ выше, чем при фильтре в треть октавы ($10\log 3=5$). Поэтому на кривой результатов измерений всегда следует указывать тип фильтра.

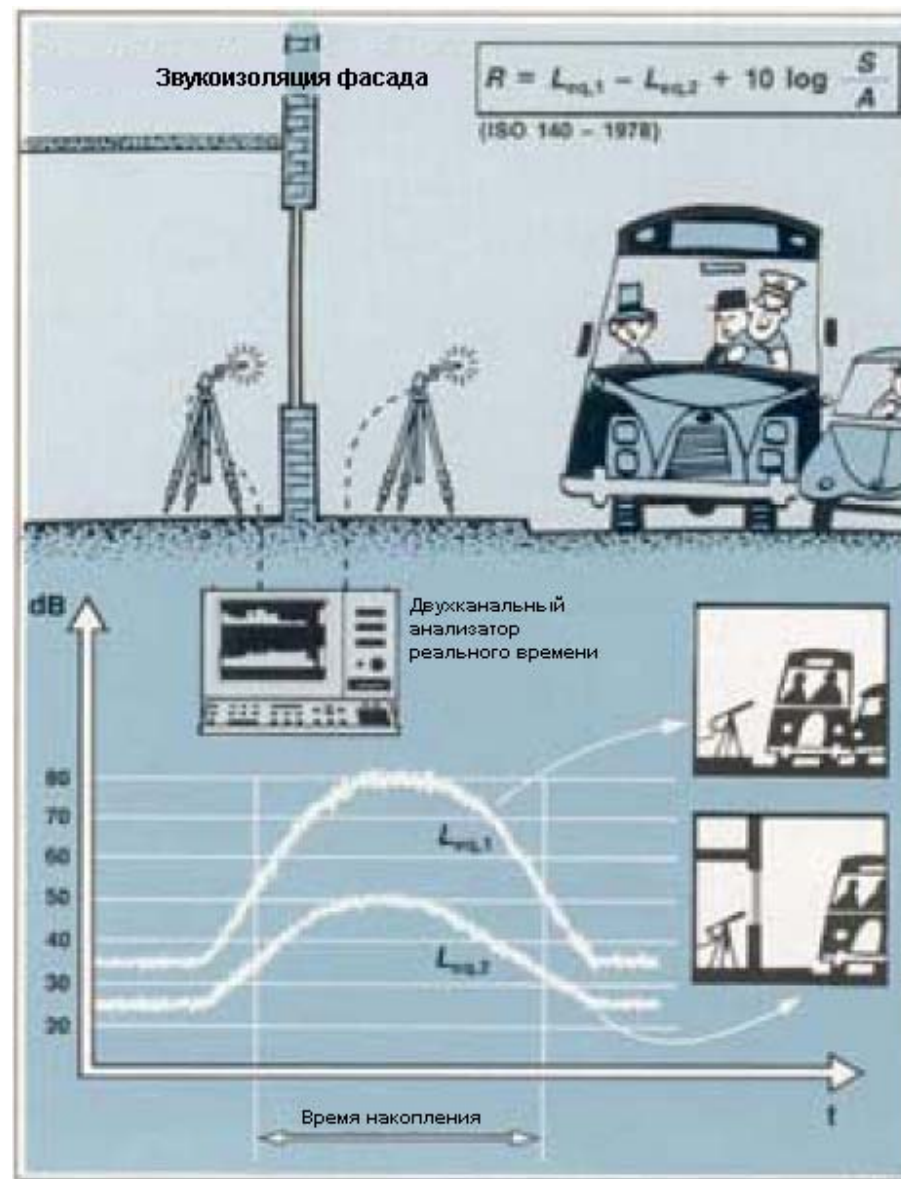
Анализатор реального времени производит усреднение автоматически. Например, мы мгновенно увидим любое изменение спектра при испытаниях различных упругих слоев. Анализатор акустики зданий также проводит усреднение автоматически, а затем отображает уже непосредственно стандартизованный и нормализованный уровень давления звука удара.



Внешняя и внутренняя звукоизоляция

Звукоизоляция фасада с применением транспортного шума

Звукоизоляцию здания от внешних шумов следует рассматривать по несколько иному углу, нежели звукоизоляцию между разными частями здания. Во втором случае предполагается, что во время измерений звуковое поле остается равномерным и неизменным, тогда как в первом внешнее звуковое поле почти всегда неравномерно и нестационарно. Шум может падать под различными углами и нередко сильно различается по амплитуде (например, в случае транспортного шума). Звукоизоляция фасада – это скорее вопрос определения уровня шума внутри здания на основе знаний о шумовой обстановке вне его, нежели расчет абсолютных значений исходя из коэффициента звукоизоляции различных элементов фасада. Таким образом, звукоизоляция фасада выражается в виде разности эквивалентных непрерывных уровней с наружной стороны фасада и в комнате приемника, измеренных на одном интервале времени. Эквивалентный непрерывный уровень L_{eq} – это уровень звукового давления, усредненный по энергии на относительно большом интервале измерения. Это означает, что значение L_{eq} имеет ту же энергоемкость, что и измеряемый звук с переменным уровнем.

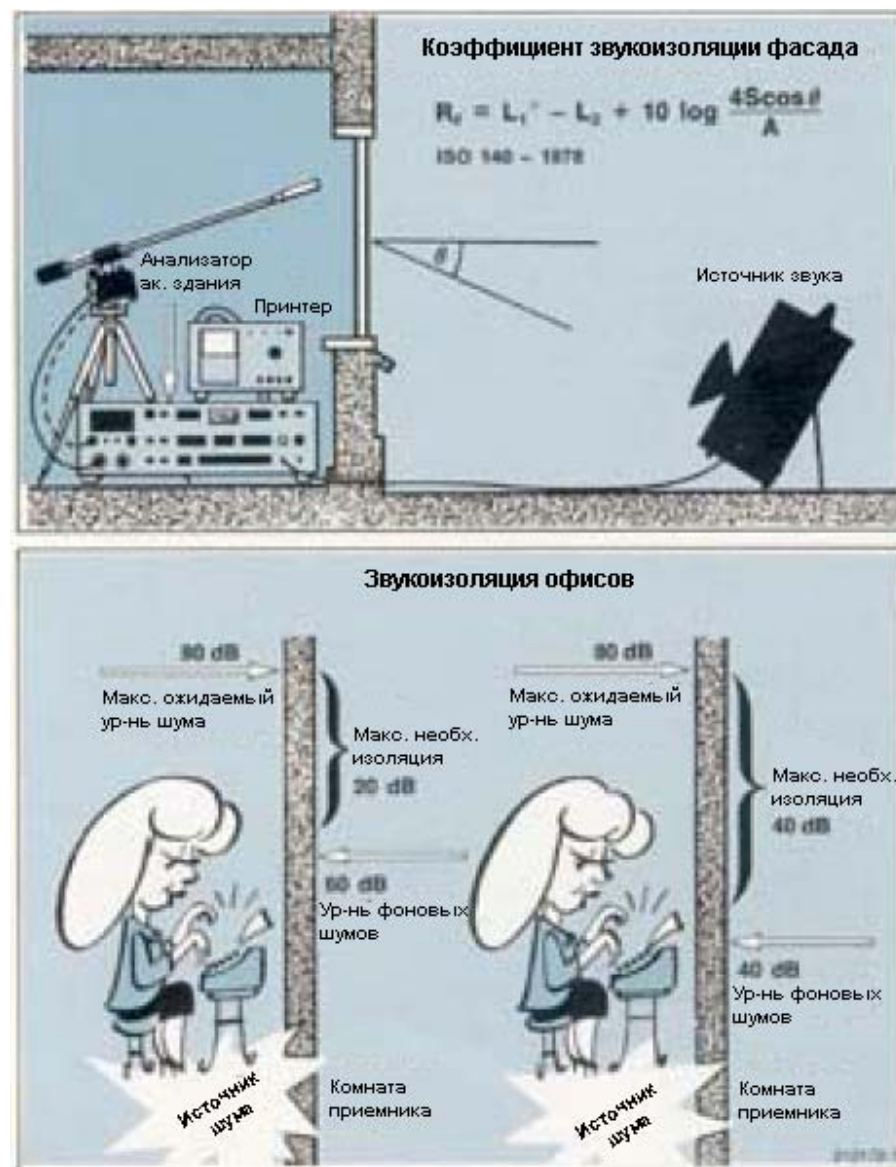


Звукоизоляция фасада при помощи шума динамика

В отсутствие транспортного шума, или если необходимо исследовать звукоизолирующие свойства фасада или его элемента в зависимости от угла падения шума, то в качестве источника можно использовать динамик. Динамик испускает случайный шум, пропущенный через фильтр в одну треть октавы, и для каждой полосы вычисляется коэффициент звукоизоляции R_e – разность уровней звукового давления с и без испытываемого образца. Измерения можно повторять для каждого интересующего значения угла падения θ .

Звукоизоляция офисов – влияние фоновых шумов

Фоновые шумы оказывают большое влияние на требования к эффективности перегородок между офисными помещениями. Фоновые шумы транспорта снаружи или печатающих устройств внутри офиса маскируют шум, распространяющийся через перегородки, поэтому требования к звукоизоляции оказываются ниже, чем при более слабом фоновом шуме.



Сопоставление результатов с требованиями

Поскольку звукоизоляция зависит от частоты, большинство норм, регламентирующих внутреннюю звукоизоляцию жилых помещений, требует оценивать результаты измерений путем сравнения с эталонными кривыми в полосе частот 100-3150 Гц.

Одночисленные индексы

ISO 717-1982 приводит методику вычисления одночисленных индексов на основе кривых воздушной и ударной звукоизоляции, полученных при измерениях согласно ISO 140.

Взвешенный предполагаемый коэффициент звукоизоляции R'_w . Воздушная звукоизоляция характеризуется единственным числом R'_w , которое вычисляется с помощью перемещения эталонной кривой шагом в 1 дБ до ее по направлению к кривой измерений до того момента, когда начинают выполняться условия, приведенные в стандарте ISO*. Взвешенный предполагаемый коэффициент звукоизоляции R'_w – это значение эталонной кривой в точке 500 Гц после перемещения.

Взвешенный нормализованный уровень давления звука удара $L'_{n,w}$. $L'_{n,w}$ находится точно так же, смещением эталонной кривой в сторону кривой измерений, и равен значению эталонной кривой в точке 500 Гц после перемещения.

Если для измерения кривых звукоизоляции применяется анализатор акустики здания, то индексы $L'_{n,w}$ и R'_w вычисляются и отображаются самим анализатором.



* Среднее неблагоприятное отклонение A должно быть максимальным, но не превышать A_{\max} , если оно превышает 8 дБ на любой частоте.

Измерения вибрации

Многие системы современных зданий, например, лифты и стиральные машины, являются источниками как шума, так и вибрации. Таким образом, в дополнение к измерениям шумов необходимо проводить еще и измерения вибраций.

Измерения виброизоляции

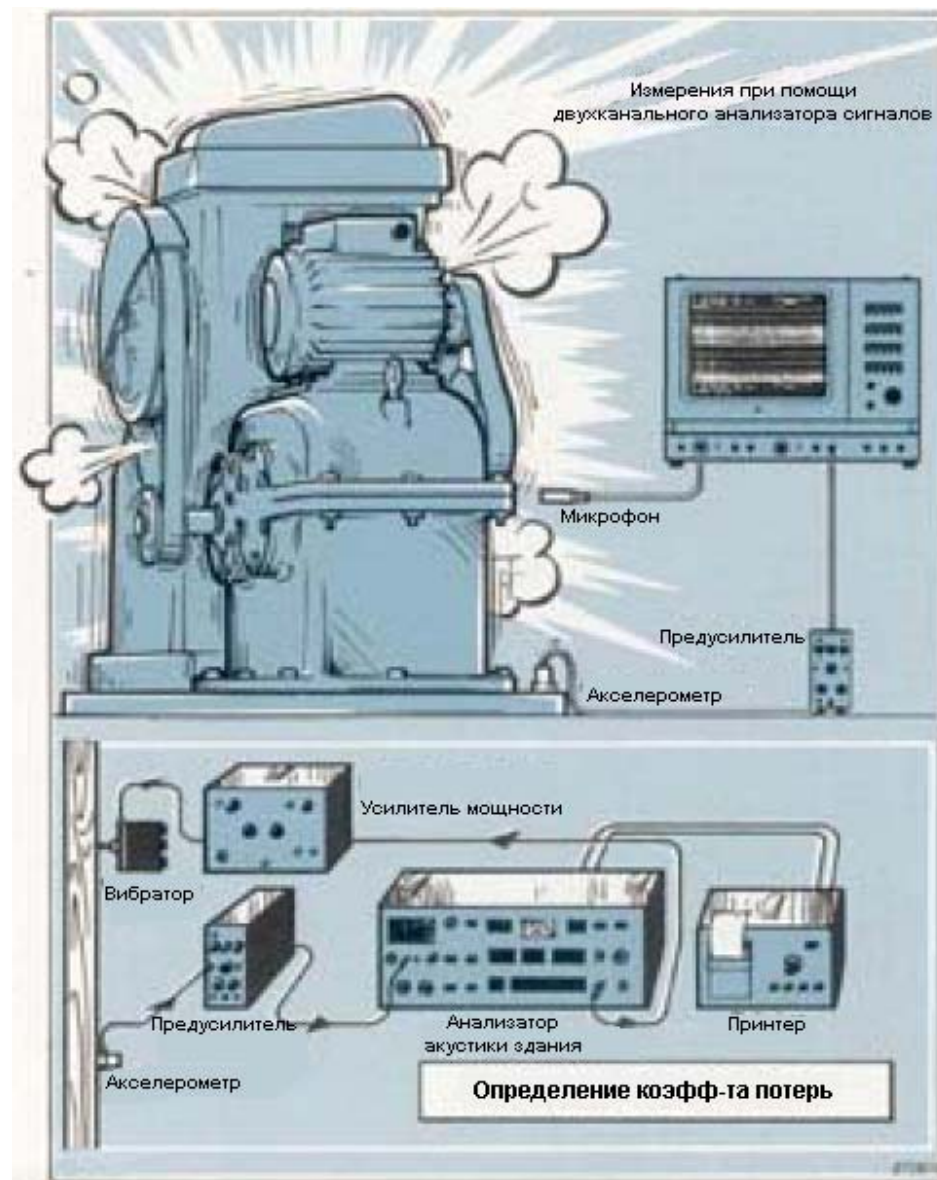
Измерения выполняются при помощи небольших механических преобразователей, называемых акселерометрами, которые прикрепляются к вибрирующему элементу. Акселерометр подключается к предусилителю, который может содержать контуры, позволяющие измерять не только ускорение, но еще и скорость и смещение. Сигнал на выходе анализируется оборудованием того же типа, которое используется и для измерения параметров звука. Для того, чтобы определить наиболее подходящий способ гашения нежелательных вибраций часто требуется частотный анализ сигнала вибрации.

Измерение коэффициента потерь перегородки

Коэффициент потерь η вычисляется на основе времени механической реверберации перегородки, возбуждаемо при помощи вибратора на основе белого шума с полосами в одну треть октавы. Когда уровень вибраций перегородки стабилизируется, вибратор мгновенно отключается. Время реверберации для каждой полосы в одну треть октавы высчитывается по зарегистрированным акселерометром кривым затухания, а коэффициент потерь η вычисляется по формуле:

$$\eta = \frac{2,2}{fT}$$

где f – центральная частота полосы в треть октавы, а T – соответствующее время реверберации.



Обзор измерений акустики здания (ISO)

Измерение	Определяемый параметр	Международный стандарт или рекомендация	Среда испытаний
Время реверберации в аудиториях	Время реверберации	ISO 3382-1975	Пустая аудитория
			Студия и аудитория с людьми
Коэффициент поглощения	Коэффициент поглощения образца $\alpha = \frac{0,16 V}{S} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_e} \right)$	ISO 354-1985	Комната с реверберацией
Воздушная звукоизоляция элементов здания	Коэффициент звукоизоляции R $R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$	ISO 140/111-1978	Лабораторное помещение (согласно ISO 140/1)

Комната источника			Комната приемника		
Источник звука или вибрации	Характер шума	Измерения	Измерения	Условия измерений	Наблюдения
Ненаправленные динамики или пистолет, если $T > 1,5$ с менее 1 кГц	Широкополосный шум в полосе 1 или 1/3 октавы или пистолетный выстрел по меньшей мере на 40 дБ выше уровня фонового шума во всех полосах	Затухание ревербераций в полосе 1/3 или 1 октава (125 Гц – 4 кГц) По меньшей мере 3 разных положения микрофонов, 2 записи для каждого положения (4 для выстрела, 6 для прерывающейся музыки)			
Ненаправленный динамик или оркестр (деревянные духовые или медные инструменты)	Как указано выше, или розовый шум на 40 дБ выше фоновых шумов				
Ненаправленные динамики	Шум в ограниченной полосе с постоянным частотным спектром; полоса, по меньшей мере, в 1/3 октавы	Время реверберации на серии центральных частот полос в 1/3 октавы (100 Гц-5 кГц)			
Динамик	Стационарный, широкополосный, может быть пропущен через фильтр в 1/3 октавы	Уровень звукового давления на 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений	Уровень звукового давления Время реверберации	1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений или движущийся микрофон	Расчет взвешенного коэффициента звукоизоляции R_w (ISO 717/1-1982)

Обзор измерений акустики здания (ISO) – продолжение

Измерение	Определяемый параметр	Международный стандарт или рекомендация	Среда испытаний
Воздушная внутренняя звукоизоляция	<p>Стандартизованная разность уровней</p> $D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0,5}$ <p>или предполагаемый коэффициент звукоизоляции R'</p> $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$	ISO 140/IV-1978	Полевые измерения в зданиях
Воздушная звукоизоляция фасадов и их элементов	<p>Стандартизованная разность уровней</p> $D_{nT} = L_{eq,1} - L_{eq,2} + 10 \log \frac{T}{0,5}$ <p>Коэффициент звукоизоляции</p> $R_{tr} = L_{eq,1} - L_{eq,2} + 10 \log \frac{S}{A}$	ISO 140/V-1978	Полевые измерения
	<p>Коэффициент звукоизоляции</p> $R_{\theta} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{4 S \cos \theta}{A}$		

Источник звука или вибрации	Характер шума	Измерения	Измерения	Условия измерений	Наблюдения
Динамик	Стационарный широкополосный, возможна фильтрация в 1/3 октавы	Уровень звукового давления, октава или 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений	Уровень звукового давления; Уровень фоновых шумов; Время реверберации;	Октава (125 Гц – 2 кГц) или 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений или движущийся микрофон	Оценка взвешенного предполагаемого коэффициента звукоизоляции R'_w (ISO R 717/1 1982)
Шум транспорта	Изменяющийся	$L_{eq,1}$ в 2 м от фасада. Полосы в октаву или 1/3 октавы.	$L_{eq,2}$ и время реверберации	Октава (125 Гц – 2 кГц) или 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько микрофонов или несколько положений	Одновременно измеряются $L_{eq,1}$ и $L_{eq,2}$
Угол падения шума динамика $\theta = 45^\circ$	Стационарный широкополосный, возможна фильтрация в 1/3 октавы	Уровень звукового давления, октава или 1/3 октавы	Уровень звукового давления; Уровень фоновых шумов; Время реверберации	Октава (125 Гц – 2 кГц) или 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений или движущийся микрофон	

Обзор измерений акустики здания (ISO) – продолжение

Измерение	Определяемый параметр	Международный стандарт или рекомендация	Среда испытаний
Ударная звукоизоляция полов	<p>Нормализованный уровень звукового давления удара</p> $L_n = L_i + 10 \log \frac{A_2}{10}$	ISO 140/IV-1978	Лабораторное помещение (согласно ISO 140/1)
Ударная звукоизоляция полов	<p>Нормализованный уровень звукового давления удара</p> $L'_n = L_i + 10 \log \frac{A_2}{10}$ <p>Коэффициент звукоизоляции</p> $R_{tr} = L_{eq,1} - L_{eq,2} + 10 \log \frac{S}{A}$ <p>Коэффициент звукоизоляции</p> $R_\theta = L_{1'} - L_2 + 10 \log \frac{4 S \cos \theta}{A}$	ISO 140/V-1978	Полевые измерения

Источник звука или вибрации	Характер шума	Измерения	Измерения	Условия измерений	Наблюдения
Стандартный генератор шумов удара	Повторяющиеся удары, по меньшей мере в 4 положениях		<p>Уровень звукового давления;</p> <p>Уровень фоновых шумов;</p> <p>Время реверберации;</p>	Октава (125 Гц – 2 кГц) или 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений или движущийся микрофон	Следует указать, какой из фильтров (1 или 1/3 октавы был применен). Вычисление взвешенного нормализованного уровня звукового давления удара $L_{n,w}$ (ISO 717/2 1982)
Стандартный генератор шумов удара	Повторяющиеся удары, по меньшей мере в 4 положениях		<p>Уровень звукового давления;</p> <p>Уровень фоновых шумов;</p> <p>Время реверберации</p>	Октава (125 Гц – 2 кГц) или 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений или движущийся микрофон	Следует указать, какой из фильтров (1 или 1/3 октавы был применен). Вычисление взвешенного нормализованного уровня звукового давления удара $L_{n,w}$ (ISO 717/2 1982)

Обзор измерений акустики здания (ISO) – продолжение

Измерение	Определяемый параметр	Международный стандарт или рекомендация	Среда испытаний
Ослабление звука удара напольным покрытием обыкновенного пола	Снижение уровня давления звука удара $\Delta L = L_{n,0} - L_n$ $L_{n,0}$ – нормальный уровень давления звука удара в отсутствие напольного покрытия	ISO 140/VIII	Лабораторное помещение (согласно ISO 140/1)
Передача по обходным путям	Излучаемая мощность W_k на выходе обходного пути k площадью S_k $W_k = \rho c S_k \overline{V_k^2} \sigma_k$ V_k – скорость перпендикулярно поверхности	Звук в воздушной среде ISO 140/111 Прил. А ISO 140/1 V Прил. В	Лабораторные и полевые измерения
	Средний уровень звукового давления L_k на входе обходного пути k $L_k = L_{vk} + 10 \log \frac{4 S_k}{A}$	Звук удара ISO 140/VI Прил. В ISO 140/VII Прил.	
Коэффициент потерь	Общий коэффициент потерь $\eta_{total} = \frac{2,2}{f T}$ f – центральная частота трети октавы T – время механической реверберации	ISO 140/111 Прил. ISO 140/IV Прил.	Лабораторные и полевые измерения

		перегородки			
Источник звука или вибрации	Характер шума	Измерения	Измерения	Условия измерений	Наблюдения
Стандартный генератор шумов удара	Повторяющиеся удары в трех положениях на полу без покрытия и с покрытием		Уровень звукового давления; Уровень фоновых шумов; Время реверберации;	Октава (125 Гц – 2 кГц) или 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц), несколько положений или движущийся микрофон	Во всех графиках и таблицах необходимо указывать полосу измерения
Динамик или эталонный источник звука	Стационарный, широкополосный	Мощность падающего звука W_i , октава или треть октавы	Скорость перпендикулярно поверхности	Октава или 1/3 октавы, несколько положений для каждого пути обхода	Следует указать, какой из фильтров (1 или 1/3 октавы был применен). Вычисление взвешенного нормализованного уровня звукового давления удара $L_{n,w}$ (ISO 717/2 1982)
Стандартный генератор шумов удара	Повторяющиеся удары		См. выше Время реверберации		
Генератор вибрации	Стационарный уровень вибрации Генератор белого шума в полосах в 1/3 октавы	Затухание вибрации в 1/3 октавы (100 Гц – 3,15 кГц)			

Дополнительная литература

J. ANDERSON & T. JACOBSEN.

"RASTI Measurements in St. Paul's Cathedral, London."

Brüel & Kjær Application Note BO 0116 -11.

BRÜEL& KJÆR PUBLICATIONS

"Sound Intensity" *Brüel&Kjær Booklet* BR 0476-11.

"Reverberation Time — fast and accurate calculations with a sound level meter." *Brüel&Kjær Application Note*

BO 0228-11.

T. R. HORRALL & T. JACOBSEN.

"RASTI Measurements: Demonstration of different applications."

Brüel&Kjær Application Note BO 0123-11.

T. Q. NIELSEN.

"A Powerful Combination for Building Acoustics Measurements."

Brüel&Kjær Application Note BO 0113-11.

"Intensity Measurements in Building Acoustics."

Brüel&Kjær Application Note BO 0147-11.

Надеемся, эта брошюра дала ответ на большинство ваших вопросов и в дальнейшем послужит вам удобным справочником. Если у вас есть другие вопросы по технологии и средствам измерений, то, пожалуйста, свяжитесь с нашими представителями или пишите нам:

Brüel & Kjær
DK-2850 Nærum
Denmark

