

# Акустические характеристики помещений

**Акустическое отношение** - отношение плотности энергии отраженных звуков  $\varepsilon_{\text{дифф}}$  (в поле отраженных звуков, как правило, близко к диффузному) к плотности энергии прямого звука  $\varepsilon_{\text{пр}}$ :

$$R = \frac{\varepsilon_{\text{дифф}}}{\varepsilon_{\text{пр}}}.$$

Переходя к уровням, получим:  $\Delta R = 10LgR = N_{\text{дифф}} - N_{\text{пр}}$ .

Текст....(отраженные звуки - помехи, пояснения)

В реальных условиях для удаленных точек помещения  $R$  редко меньше единицы, а иногда достигает  $10...15$ , т.е. уровень отраженных волн, как правило, выше уровня прямого звука.

Текст....(пример слушания отраженных звуков)

Для речи при  $R > 4$  создаются большие помехи для при-

ема;

для музыкальных передач  $R > 6...8$  не рекомендуется;

для органной музыки не рекомендуется  $R > 10...12$ ;

при малом акустическом отношении  $R < 2$  музыка звучит сухо.

**Радиус гулкости** - расстояние от источника звука, для которого  $R = 1$ , т.к. при б о́льших расстояниях диффузная составляющая становится больше составляющей прямого звука.

Текст....(гулкое и заглушенное помещения, радиус гулкости для них)

**Коэффициент четкости реверберационного сигнала**

$$D(\tau') = \frac{\int_0^{\tau'} \varepsilon(t) dt}{\int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt} \quad ,$$

где  $\tau' = 50$  мс для речи;

$\tau' = 150 \dots 200$  мс для музыки;

$\varepsilon(t)$  - плотность звуковой энергии в процессе реверберации.

Для радиостудий с хорошими акустическими свойствами  $D(\tau)$  достигает 76%. Необходимо, чтобы коэффициент четкости реверберационного сигнала в разных точках студии не менялся. В этом случае выбор места расположения микрофонов наименее критичен, что весьма важно с точки зрения эксплуатации студии.

**Время реверберации** - основная характеристика акустических свойств помещения.

Для реальных помещений время реверберации ( $T$ ) бывает от нескольких десятых до единиц секунд. Помещения с малым временем реверберации называют **заглушен-**

НЫМИ, а с большим - гулками.

Если в помещении время реверберации очень велико и в нем исполняется музыкальное произведение или произносится речь, то художественность исполнения сильно страдает из-за гулкости, а речь становится неразборчивой из-за наплывов предыдущих звуков на последующие.

Но, с другой стороны, если время реверберации очень мало, то музыка и речь звучат резко, отрывисто. Например, оркестр на открытом воздухе звучит сухо, отрывисто. И только при вполне определенном времени стандартной реверберации звучание получается наилучшим.

Время реверберации, при котором звучание получается наилучшим, называют **оптимальной реверберацией**.

Следует отметить, что первые отражения с запаздыванием, не превышающим времени  $\tau'$  (для речи  $\tau' = 50$  мс, для музыки  $\tau' = 150 \dots 200$  мс) когерентны с основным сиг-

налом и играют полезную роль, усиливая и “окрашивая” воспринимаемый сигнал, обогащая его звучание. Более поздние (некогерентные) отражения оказывают вредное действие, ухудшая субъективную оценку качества.

Таким образом, реверберационный процесс можно разделить на две части: начальную стадию (оценивая ее как полезную) и конечную (оценивая ее как вредную).

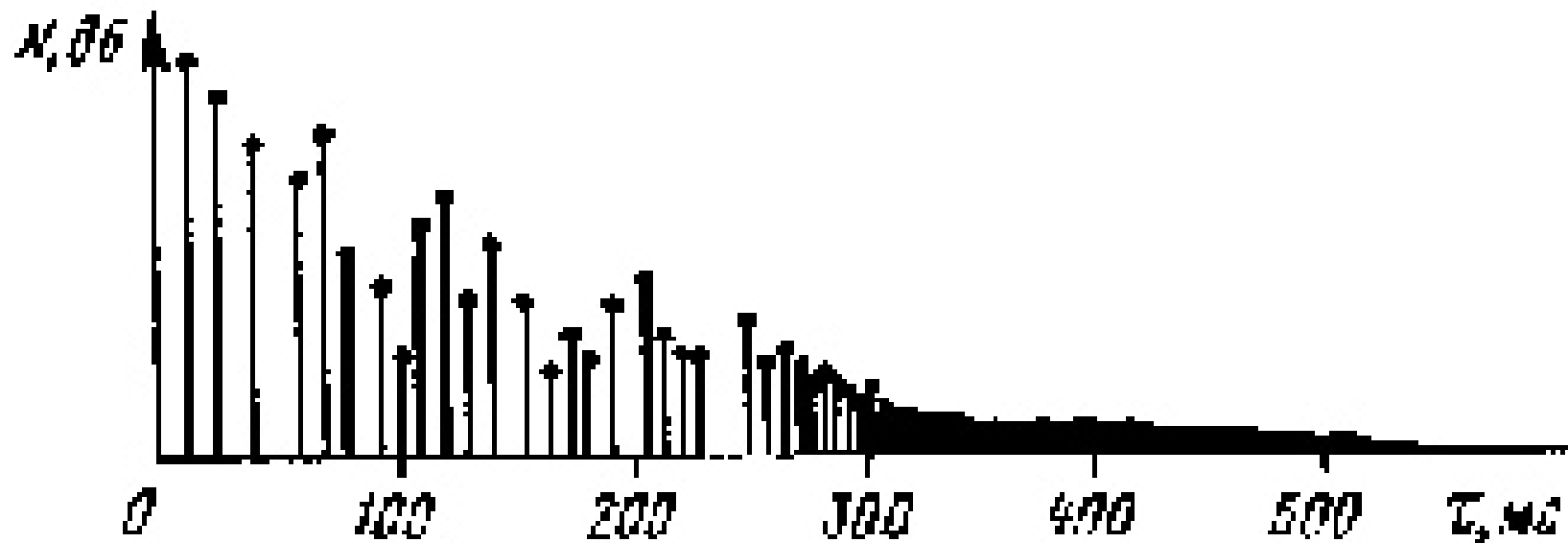
Аналитически реверберирующий сигнал  $S(t)$  можно представить в виде:

$$S(t) = \sum_{i=0}^n a_i x(t - \tau_i) ,$$

где  $a_i$  и  $\tau_i$  - амплитуда и время запаздывания  $i$ -го отражения звука;

$x(t)$  - временная функция сигнала, излучаемого источником звуковых колебаний, для сигнала прямого звука  $i = 0$  .

Типичная картина реверберационного процесса в помещении любой формы:



По оси ординат отложены уровни прямого звука и отзвуков, по оси абсцисс - время их поступления в точку приема звука.

В начальной стадии временная структура реверберационного процесса дискретна, однако с увеличением времени запаздывания отраженных сигналов их количество возрастает, а временные интервалы между ними уменьшаются.

ся.

Уровень отзвуков с течением времени постепенно уменьшается. Причем, в реальных помещениях этот процесс имеет флуктуационный характер. Начальный участок реверберационного процесса несет информацию о геометрических размерах помещения, его объеме.

Завершающий участок реверберационного процесса характеризуется поступлением в каждый момент времени достаточно большого числа отраженных сигналов. Он определяет свойственную помещению гулкость звучания.

## Звукопоглощающие материалы и конструкции

Оптимальные акустические характеристики студий (помещений) могут быть получены путем покрытия поверхностей студии специальными звукопоглощающими (звуч-

коотражающими) материалами и конструкциями. Без применения поглощающих материалов время реверберации в студиях, как правило, превышает требуемое оптимальное значение.

Причиной отражения звуковых волн от любой пространственной границы двух сред является неравенство (несогласованность) их волновых акустических сопротивлений. По общей теории отражения волн **коэффициент отражения** по звуковому давлению

$$\beta_{\text{отр}} = \frac{z_{\text{отр}} - z_{\text{возд}}}{z_{\text{отр}} + z_{\text{возд}}},$$

где  $z_{\text{отр}}$  - акустическое сопротивление отражающей среды;



$Z_{\text{возд}}$  - акустическое сопротивление воздуха.

Таким образом, отражающая способность тем больше, чем резче отличается волновое сопротивление отражающей среды от волнового сопротивления воздуха.

Так как на практике обычно пользуются коэффициентами отражения и поглощения по интенсивности звука, то коэффициент отражения по интенсивности звука будет

$$\alpha_{\text{отр}} = \beta_{\text{отр}}^2 = \left( \frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{пад}}} \right)^2 = \left( \frac{Z_{\text{отр}} - Z_{\text{возд}}}{Z_{\text{отр}} + Z_{\text{возд}}} \right)^2,$$

а коэффициент поглощения

$$\alpha_{\text{погл}} = 1 - \alpha_{\text{отр}} = 1 - \left( \frac{Z_{\text{отр}} - Z_{\text{возд}}}{Z_{\text{отр}} + Z_{\text{возд}}} \right)^2.$$

Сопротивления обеих сред в общем случае могут быть комплексными, т.е.

$$Z_{\text{отр}} = W_{\text{отр}} + jQ_{\text{отр}} \quad \text{и} \quad Z_{\text{возд}} = W_{\text{возд}} + jQ_{\text{возд}}$$

и поэтому абсолютное поглощение может быть только при равенстве вещественных и мнимых частей сопротивлений, т.е.

$$W_{\text{отр}} = W_{\text{возд}} \quad \text{и} \quad Q_{\text{отр}} = Q_{\text{возд}} .$$

Отраженные волны, интерферируя с падающими, образуют стоячие волны с пучностями и узлами.

Коэффициенты отражения зависят от угла падения волн: меньший коэффициент отражения получается при падении на отражающую поверхность под прямым углом.

Звукопоглощающие материалы по строению делятся на **сплошные** (бетон, кирпич, мрамор и т.д.) и **пористые** (штукатурка, облицовочные плиты с перфорацией, щиты, ковры, портьеры и т.д.).

По применению звукопоглощающие материалы делятся на стеновые, облицовочные, драпировки и специальные.

Коэффициенты поглощения у сплошных материалов из-за некоторой шероховатости поверхности материалов с увеличением частоты, как правило, растут.

Примеры:

Материалы (объекты)	Коэффициенты поглощения на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Мрамор.	0,01	0,01	0,01	0,013	0,015	0,017
Стена, штукатуренная гипсом.	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
Два слушателя на 1 м <sup>2</sup> .	0,25	0,44	0,78	0,97	1,0	1,0

Пористые материалы используются только как облицовочные и для драпировок, т.е. во всех случаях за ними располагаются ограждающие конструкции из сплошных материалов.

Если перегородку расположить на небольшом расстоянии от твердой стены, то поглощение увеличивается. При удалении перегородки от стены коэффициент поглощения увеличивается, но не монотонно (кривые 5 и 6 на рис.).

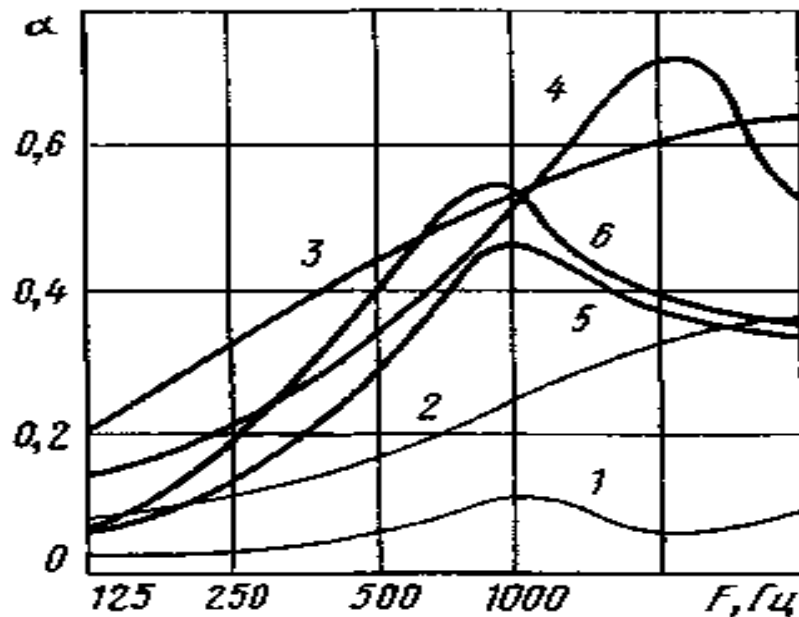


Рис. Частотные характеристики коэффициента звукопоглощения для пористых акустических материалов:

1 — известковая штукатурка по деревянной обрешетке;

2 — ковер с ворсом, лежащий на бетонном полу;

3 — арболитовая плита толщиной 2 см;

4 — фиброакуститовая плита толщиной 2,5 см;

5 — драпировка на стене;

6 — драпировка на расстоянии 10 см от стены.

Для толстых слоев облицовки из пористого материала коэффициент поглощения получается достаточно большим из-за того, что:

а) акустическое сопротивление таких материалов обычно близко к сопротивлению воздуха и звуковые волны почти не отражаются от них;

б) звуковые волны, входя в поглощающий материал, испытывают большие потери из-за вязкости материала, трения в порах и поэтому они достигают твердую стену, находящуюся за ним, значительно ослабленными;

г) при обратном ходе звуковой волны будет также происходить поглощение звуковой волны.

Широкое распространение получили **резонаторные звукопоглощающие конструкции**, построенные по принципу резонаторов Гельмгольца. Они эффективно поглощают звуковую энергию на частотах вблизи их резонансной час-

ТОТЫ.

Эффективность поглощения таких резонаторов определяется потерями в горле резонатора, где скорость колебаний максимальна. Там и располагается материал, вносящий затухание в колебания (например, обеспечивающий высокое трение, вязкость).

В практике для подобных резонаторов используют различные ниши, входные отверстия которых затягиваются тканью.

## Звукоизоляция помещений

Как ранее упоминалось коэффициент звукопроводности определяется отношением:

$$\alpha_{\text{зв.пр}} = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{пад}}},$$

$I_{\text{пр}}$  - интенсивность звуковых волн, прошедших перегородку;

$I_{\text{пад}}$  - интенсивность падающей звуковой волны.

Величина обратная коэффициенту звукопроводности, выраженная в децибеллах, называется **звукоизоляцией перегородки**

$$Q_{\text{пер}} = 10 \lg \frac{1}{\alpha_{\text{зв.пр}}} = 10 \lg \frac{I_{\text{пад}}}{I_{\text{пр}}} = N_{\text{пад}} - N_{\text{пр}} ,$$

где  $N_{\text{пад}}$  - уровень интенсивности звуковых волн, падающих на перегородку;

$N_{\text{пр}}$  - уровень интенсивности звуковых волн, прошедших перегородку.

Поскольку звуковые волны, пройдя сквозь перегородку, ею (перегородкой) как бы излучаются с другой стороны,



то перегородка может считаться излучателем энергии.

Мощность этого источника будет  $P_{\text{а пр}} = I_{\text{пр}} S_{\text{пр}}$  где  $P_{\text{а пр}}$  - акустическая мощность прошедших колебаний звука,  $S_{\text{пр}}$  - площадь преграды (перегородки).

(Рисунок, пояснения)

Разность между уровнями звука с внешней стороны ограждающих помещение конструкций  $N_1$  и внутри помещения  $N_2$  называется **звукоизоляцией помещения**

$$Q_{\text{из}} = N_1 - N_2 .$$

В качестве примера приведем звукоизоляцию различных перегородок:

Материалы и конструкции перегородок	Толщина мм	Звукоизоляция, дБ
Плотная кирпичная кладка (2 кирпича с штукатуркой)	520	59
Окно двойное, плотно закрытое		25
Деревянная стена с воздушным промежутком 5 см	90	12