



**Ижевский государственный  
технический университет  
имени М.Т. Калашникова**

# **Строительная акустика**

**Исаков Виталий Германович,  
д.т.н., профессор**

**Кафедра "Водоснабжение и  
водоподготовка"**

# Литература

1. Гусев Н.М. Основы строительной физики. - М.: Стройиздат, 1975. - 440с.
2. Ковригин С.Д. Архитектурно-строительная акустика. - М.: Высшая школа, 1980.
3. Корепанов Е.В. Акустика ограждающих конструкций зданий: Курс лекций. - Ижевск: Изд.ИжГТУ, 2004.
4. СНиП 23-03-2003 "Защита от шума" (взамен СНиП II-12-77). - М. Госстрой России, 2004.
5. Свод правил СП 23-103-2003 "Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий". - М.: Стройиздат, 2005.
6. Справочник проектировщика: Защита от шума /Под ред. Е.Я.Юдина. - М.: Стройиздат, 1974.

Строительная акустика - научная дисциплина, изучающая вопросы защиты помещений, зданий и территорий населённых мест от шума архитектурно-планировочными и строительно-акустическими (конструктивными) методами.

Строительная акустика рассматривается и как отрасль прикладной акустики, т.к. она базируется на теоретических и экспериментальных положениях общей акустики, и как раздел строительной физики.

Делится на две части:

1. Акустика помещений.
2. Архитектурная акустика.

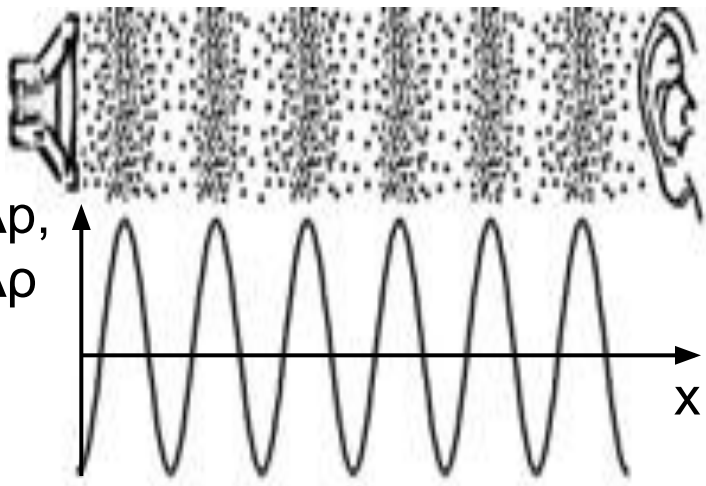
**Акустика помещений** - рассматривает рациональные (с точки зрения защиты от шума) объёмно-планировочные решения зданий и помещений; способы звукоизоляции; применение конструкций и устройств, обеспечивающих эффективное снижение уровня шума от технологического, санитарно-технического и инженерного оборудования, средств транспорта, механизированного инструмента и бытовых приборов; исследования и разработка акустических материалов.

**Архитектурная акустика** - оптимальная планировка микрорайонов, жилых районов и территорий промышленных предприятий.

**Мероприятия по борьбе с шумом** обеспечивают улучшение санитарно-гигиенических условий жизни населения, способствуют повышению производительности труда, эксплуатационных качеств и комфорта зданий.

# Звуковые колебания и волны

$c$  - скорость звука

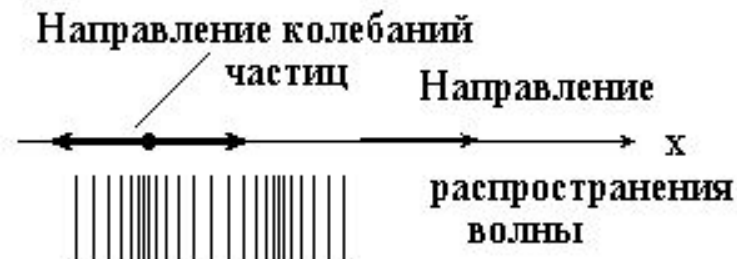


**Звук** - волновое колебание **упругой среды** (воздух, вода, твердое тело), определяемое ощущением, возникающим в **органе слуха** при воздействии звуковой волны.

**Звуковая волна** - любое нарушение стационарного состояния среды в какой-либо точке пространства.

Представляет собой чередование областей повышенного и пониженного давления (плотности среды), распространяющееся от источника возмущения со **скоростью звука**.

Сама среда при этом неподвижна, колеблются только ее частицы



# Характеристики звуковой волны



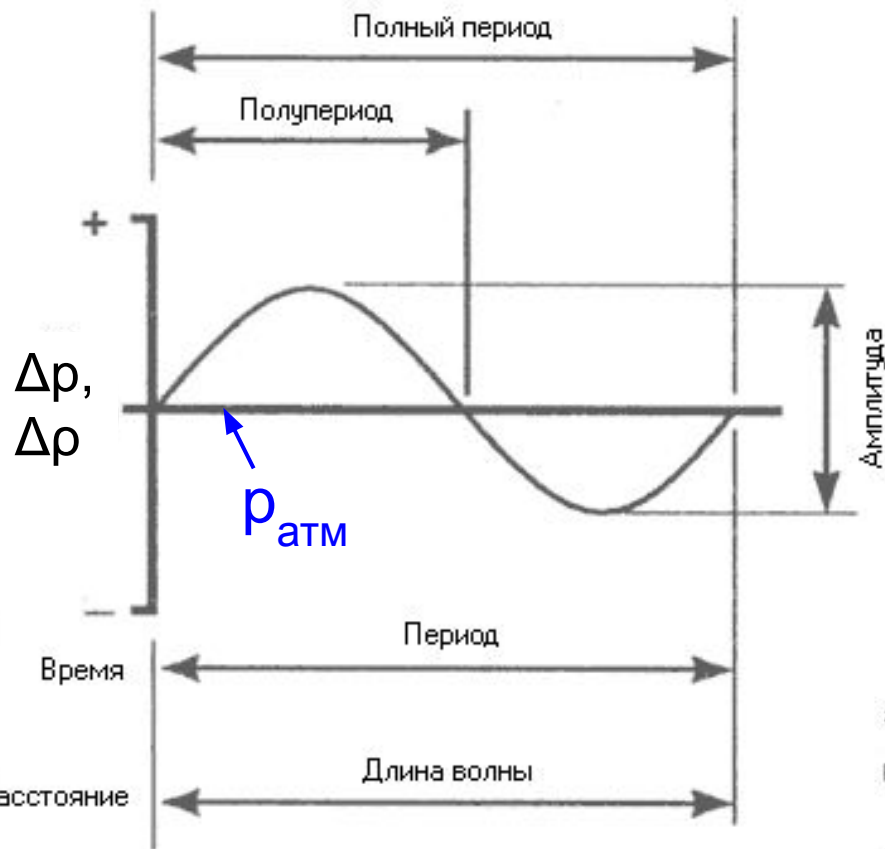
$$\Delta p = 2 \cdot 10^{-5} \dots 2000 \text{ Па}$$

1. **Амплитуда волны** - расстояние, на которое колеблющаяся точка отклоняется от положения равновесия.

Обычно в акустике -  $\Delta p_{\text{max}}$  - отклонение давления среды от атмосферного, вызванное прохождением звуковой волны, Па.

$$\Delta p = \frac{\Delta p_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad \text{- звуковое давление}$$

**Звуковое давление** - среднее отклонение давления среды от атмосферного, вызванное прохождением звуковой волны

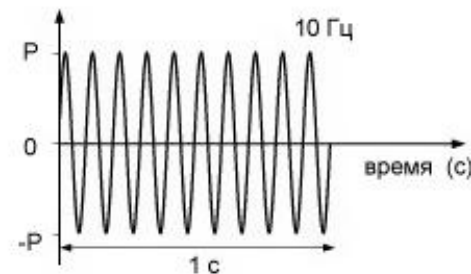
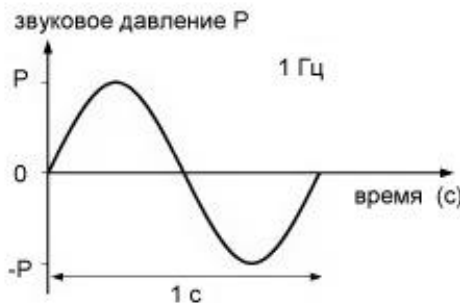


2. **Период** - время, за которое совершается полный цикл звукового колебания, сек.

3. **Частота колебания** - величина, обратная периоду.

$$f = \frac{1}{T}$$

Единица измерения - **Гц (герц)** - число колебаний за 1 с.



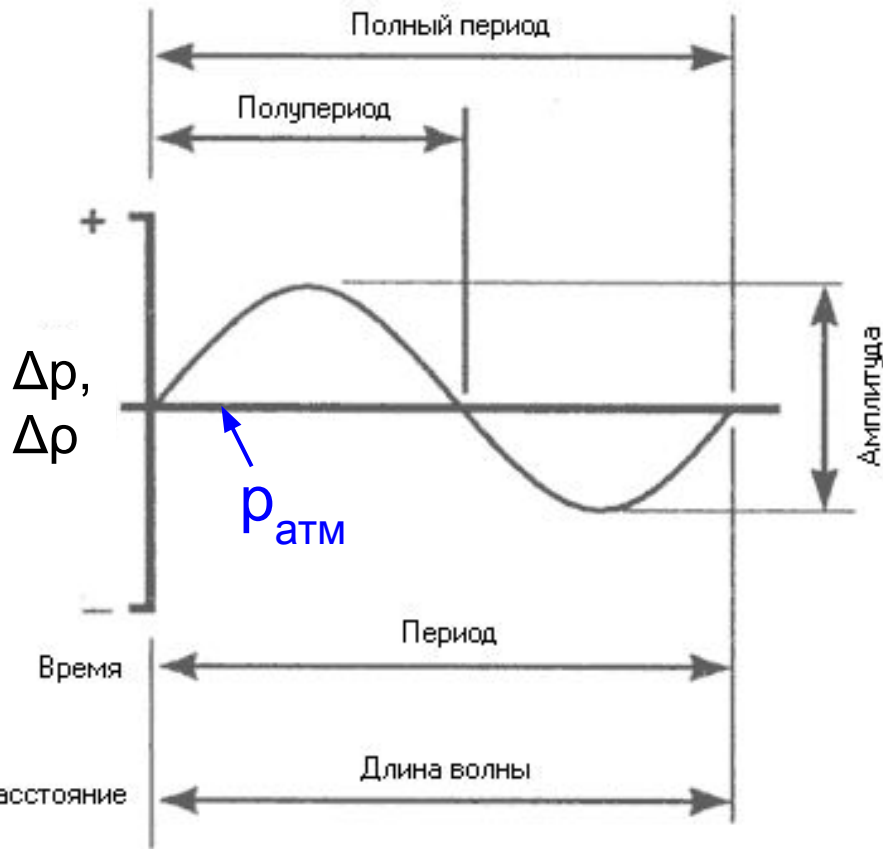
Пример звуковых колебаний с частотой 1 и 10 Гц

Выше 20 кГц - **ультразвук**;

Ниже 16 Гц - **инфразвук**.

**Частоты, воспринимаемые человеком:**

**16...20 - 16000...20000 Гц**



4. **Длина волны** - расстояние в пространстве между двумя соседними волнами, м.

$$\lambda = \frac{c}{f} = c \cdot T \quad \text{Для человека:} \\ \lambda \approx 0,017...17 \text{ м}$$

5. **Скорость звука** - скорость распространения звуковой волны (возмущений давления / плотности среды).

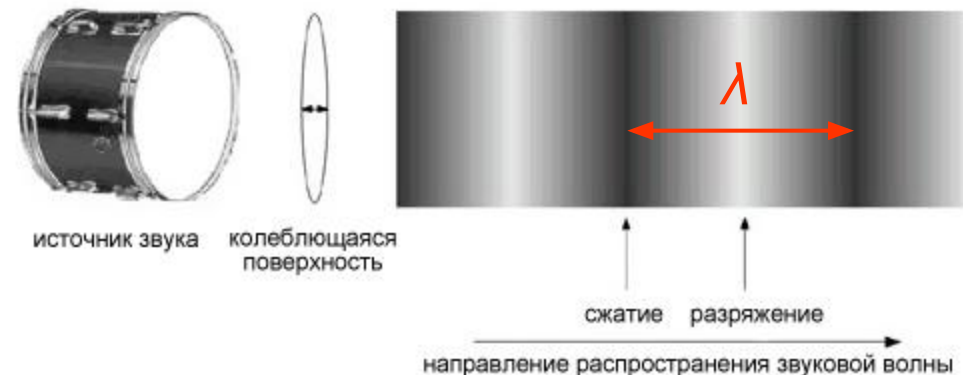
$$c = \sqrt{kR(t + 273)}$$

Для сухого  
воздуха

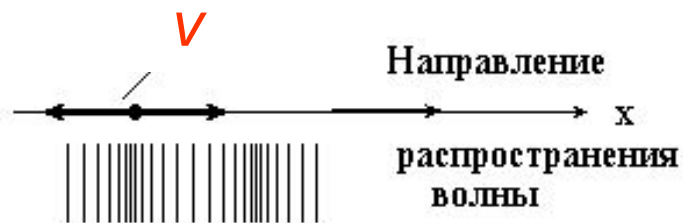
$$c \approx 20\sqrt{t + 273}$$

$$k = 1,4;$$

$$R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг } \text{K})$$

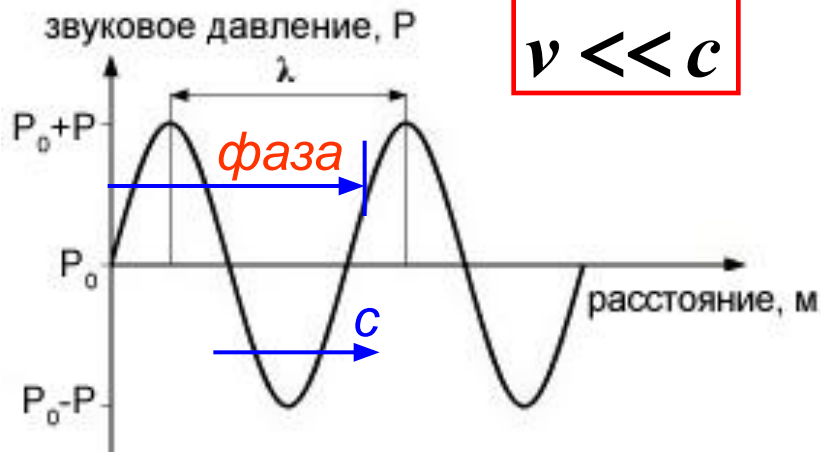






$$v \neq c$$

$$v \ll c$$



Длина звуковой волны (лямбда)

6. Колебательная скорость  $v$  - мгновенная скорость в колебательном движении частиц среды при распространении в ней звуковых волн.

$$v = \frac{\Delta p}{\rho \cdot c}$$

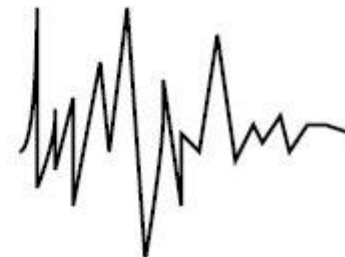
$\rho c$  - удельное акустическое сопротивление среды, Па с/м.

7. Фаза колебания .

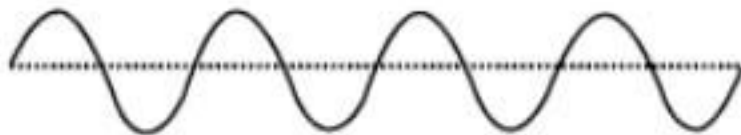
8. Спектр колебания - график разложения звукового давления по времени



Простая звуковая волна



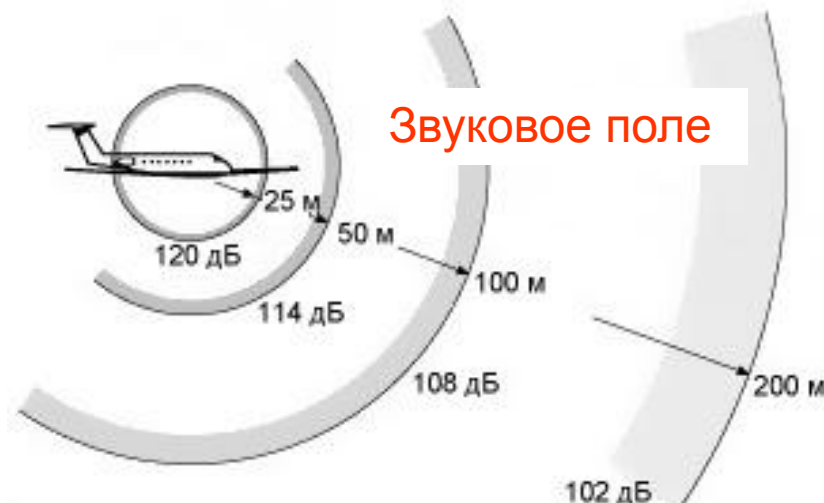
Сложная звуковая волна



- а) гармонические колебания (чистый тон) - распределены по закону синусоиды;
- б) сложный звук - сложение колебаний от нескольких источников с различными частотами

9. Фронт звуковой волны - поверхность, соединяющая точки, находящиеся в одной фазе.

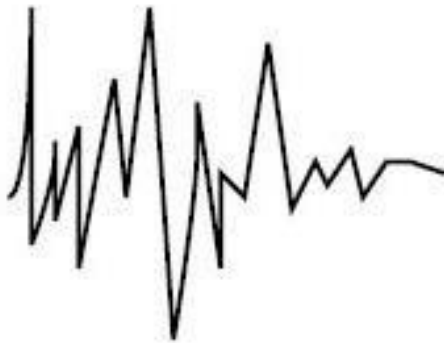
В помещении - это плоскость, на открытой местности - сфера или полусфера.



Пример сферического распространения звука в свободном поле

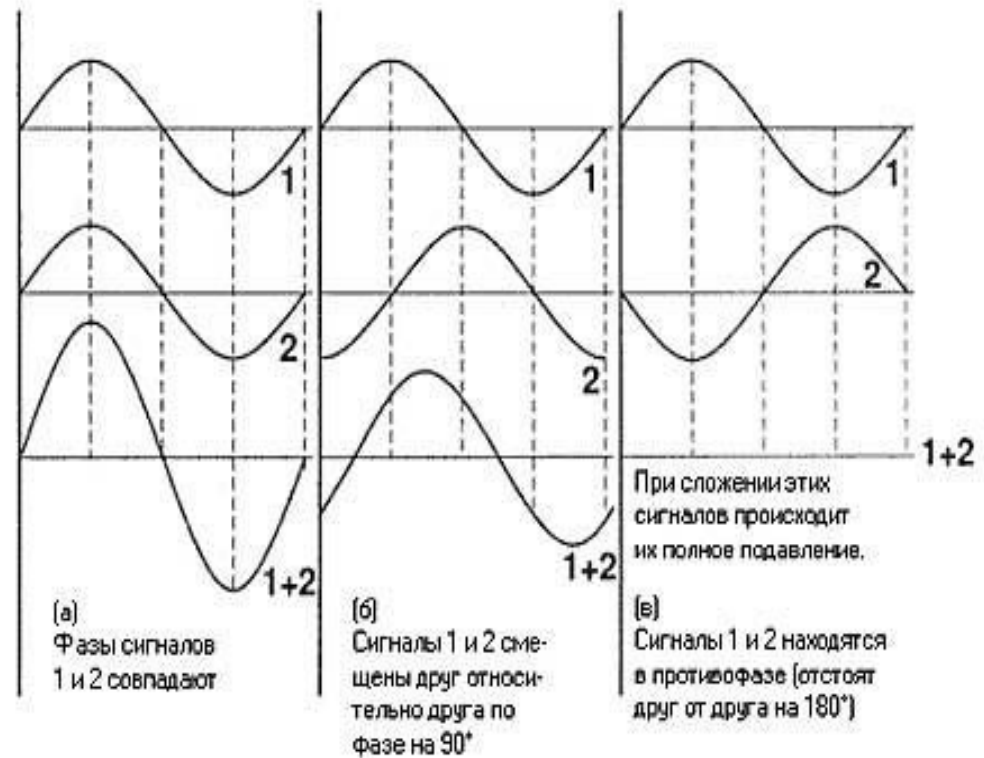
# Основные свойства волнового движения применительно к акустике

1. Суперпозиция – сложение звуковых давлений от звуков: - пришедших от разных источников; - имеющих различные частоты; - имеющих разные фазы колебания.

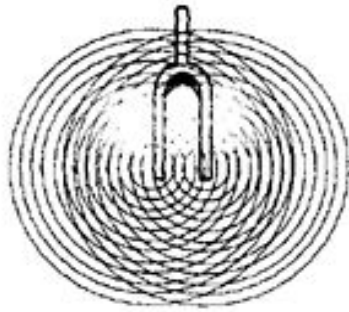


Сложная звуковая волна

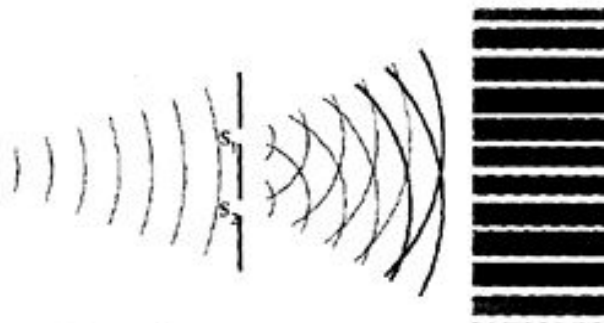
Приводит к местному усилению (волны в одной фазе) или ослаблению звука (волны в разных фазах)



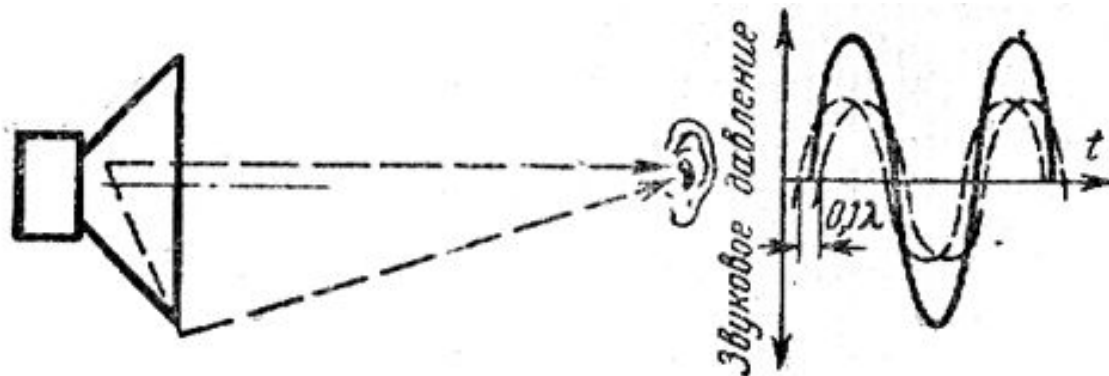
2. Интерференция – стойкий эффект усиления или ослабления звуковых колебаний в какой-то точке при воздействии звуковых волн от нескольких источников.



Интерференция  
двух распространяющихся волн  
в пространстве



Интерференция  
двух когерентных звуковых волн



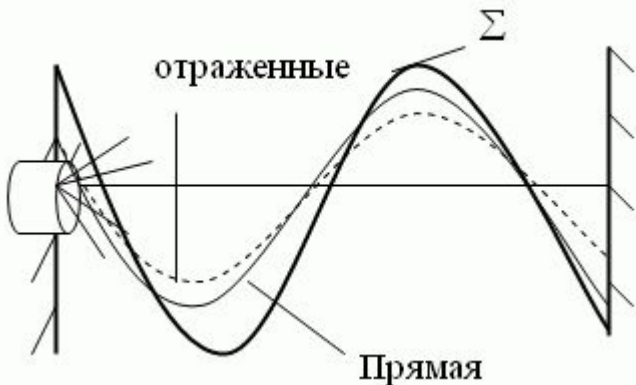
Интерференция – частный случай суперпозиции, возникающий в случае когда источники звука удовлетворяют определенным требованиям (являются когерентными).

- источники неподвижны и имеют строго определенную частоту;
- частоты колебаний источников относятся как целые числа: 1:1 , 1:2 , 3:4 и др.;
- сдвиг фаз звуковых колебаний постоянен.

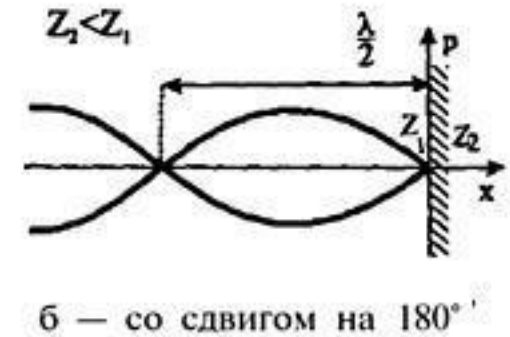
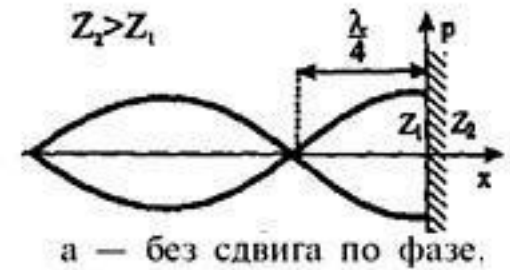
3. **Стоячая волна** — звуковые колебания с характерным расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды.

Практически такая волна возникает при отражениях от преград и неоднородностей, в результате наложения отражённой волны на падающую.

Примеры - колебания струны, колебания воздуха в органной трубе.



В строительной акустике - **усиление звука в глухих дворах и пустых помещениях (стоячая волна между двумя параллельными стенками).**



Степень поглощения, отражения, фазовый сдвиг зависят от свойств сред на границе раздела.

4. **Резонанс** (фр. resonance, от лат. resono — откликаюсь) - явление возникновения и усиления колебаний какого-либо тела или его части под действием возбуждающей эти колебания внешней силы, **частота воздействия которой совпадает с собственной резонансной частотой данного тела.**

**Собственная резонансная частота** - это такая частота колебаний, с которой данное физическое тело начнет колебаться, будучи выведенным из состояния покоя какой-либо **внешней возбуждающей силой**, например толчком (качели, маятник часов и др.), ударом (ножки камертона, корпус колокола, струна рояля), потоком воздуха (труба органа, ротовая полость человека, бутылка, если подуть в ее горлышко и т.д.).

**Собственную резонансную частоту называют также частотой свободных колебаний .**



## Три закона резонанса:

**Первый закон.** Резонатор является усилителем колебаний воздействующей на него возбуждающей силы.

В этом легко убедиться, приставив звучащий камертон к корпусу резонатора: еле слышный звук камертона возрастает до такой силы, что становится слышным в большой аудитории.

**Второй закон.** Резонатор избирательно реагирует на частоту воздействующей на него возбуждающей силы: усиливает только те колебания, которые соответствуют его собственной резонансной частоте.

Максимальный подъем (пик) резонансных кривых - только в точке совпадения частоты воздействующей силы и собственной резонансной частоты резонирующего тела.

**Третий закон.** Резонатор усиливает колебания, соответствующие его собственной частоте, не требуя практически никакой дополнительной энергии.



5. Дифракция звука – огибание звуковой волной препятствия, размеры которого сравнимы или меньше длины волны звука (например, здание имеет звуковую тень, в отличие от человека). Благодаря этому явлению мы можем слышать звуки из-за угла, из-за стен и пр.

Если препятствие оказывается намного больше длины волны, то звуковая волна отражается от него.

Чем ниже частота звука, тем больше длина волны.

Для низких частот стены не являются серьезным препятствием - если препятствие меньше чем длина волны, то это равносильно отсутствию преграды (например, позади акустической системы вы услышите больше басов, чем средних и высоких частот, во дворе слышны только грузовики на улице, но не слышна речь и легковые машины)

**6. Реверберация** - сложный акустический процесс, возникающий при многократном отражении звуковой волны от различных объектов.

Двигаясь в замкнутом пространстве (комната, зал), звуковая волна претерпевает многократные отражения от поверхности стен, различных объектов и т.п.

Отраженные звуковые колебания, складываясь, могут сильно влиять на конечное восприятие звука — изменять его окраску, насыщенность, глубину, создавая характерное послезвучание, обусловленное приходом в точку измерения запоздавших отраженных или рассеянных звуковых волн.

# Единицы измерения звуковых величин

1. Звуковое давление  $p$ ,  $\Delta p$  [Па] – отклонение давления от среднего значения, вызванное прохождением звуковой волны. ( $\Delta p = 2 \cdot 10^{-5} \div 200 \div 2000$  Па).

$$\Delta p = \frac{\Delta p_{max}}{\sqrt{2}}; \quad \Delta p = \Delta \rho \cdot c^2$$

Измерять и оценивать величину, изменяющуюся на 7...9 порядков - неудобно  $\rightarrow$  переходят к единицам логарифмической шкалы  $\rightarrow$  1 Б (белл) = 10 дБ (децибел)

$$L_p = 20 \lg \frac{\Delta p}{\Delta p_0}$$

- звуковое давление, измеренное в единицах логарифмической шкалы, называется **уровнем звука** - 0÷120 дБА

$\Delta p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па при  $f = 1000$  Гц - пороговое (нулевое) значение звукового давления.

## Шкала шумов (уровни звука, децибел)

Децибел, дБА	Характеристика	Источник звука	Строительная норма для:
0	Порог слышимости		
5...15	Почти не слышно	Шелест листвы	
20...30	Тихо	Шепот (с 1 м), тиканье часов	Жилое помещение ночью, с 23 до 7 часов
35...45	Довольно слышно	Обычный разговор	Жилое помещение днем, с 7 до 23 часов
50...55	Отчетливо слышно	Разговор, пиш. машинка	Офис класса А
60...75	Шумно	Громкий разговор, крик	Кантора, аудитория
80...95	Очень шумно	Громкий крик, вагон метро, мотоцикл, цех	
100...115	Крайне шумно	Оркестр, гром, кузнечный цех	100 - максимум для плеера, 110 (125) - рабочее место
120...125	Почти невыносимо	Отбойный молоток	116...122 - спецсигнал
125...130	Болевой порог	Самолет на старте	
135...155	Контузия, травмы	Реакт. самолет, ракета	135 - полный запрет
160	Разрыв барабанных перепонок, шок	Ударная волна, взрыв	

2. Интенсивность звука  $I$ , Вт/м<sup>2</sup> – звуковая мощность, приходящаяся на единицу площади ( $I = 10^{-12} \div 100$  Вт/м<sup>2</sup>).

$$I = \frac{\Delta p^2}{\rho \cdot c} = \Delta p \cdot v, \quad \text{где} \quad v = \frac{\Delta p}{\rho \cdot c} \quad v - \text{колебательная скорость}$$

По аналогии со звуковым давлением переходим к логарифмической шкале:

$$L_1 = 10 \lg \frac{I}{I_0};$$

- интенсивность звука, измеренная в единицах логарифмической шкалы, называется **силой звука** - 0÷120 дБА.

$$L_1 \approx L_p$$

**Уровень звука  $\approx$  силе звука.**

$I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> при  $f = 1000$  Гц - **пороговый уровень интенсивности звука**

3. Звуковая мощность  $W$ , Вт – общее количество звуковой энергии, излучаемой в единицу времени.

$$W = \frac{\Delta p \cdot S}{v} = I \cdot S$$

$$I = \frac{W}{S}$$

Интенсивность звука падает пропорционально площади  $S$ , или квадрату расстояния, т.е. примерно на 3...6 дБА при каждом удвоении расстояния до источника (линейного или точечного).

4. Плотность звуковой энергии  $\varepsilon$ , Дж/м<sup>3</sup> – звуковая энергия в единице объема.

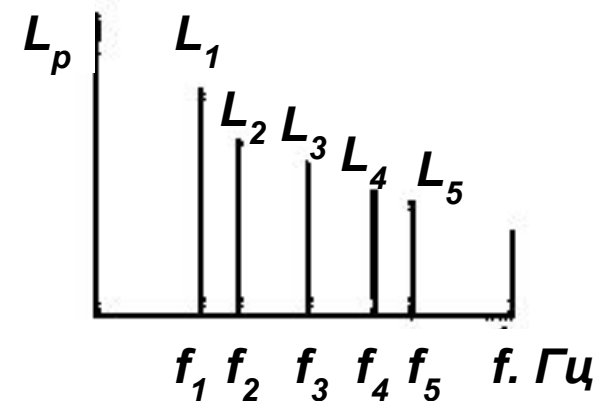
$$\varepsilon = \frac{I}{c} = \frac{\Delta p^2}{\rho \cdot c^2}$$

- скалярная величина, используемая при акустическом расчете помещений.

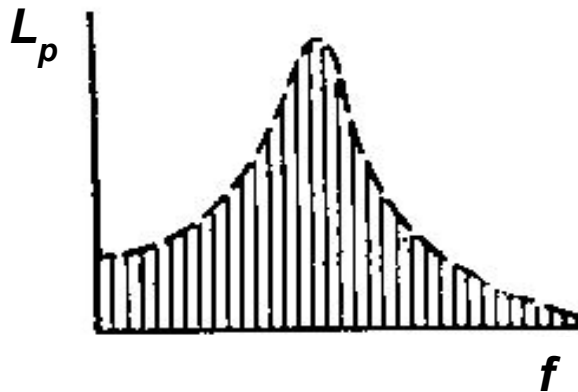
# Частотный спектр звука

**Частотный спектр** – это графическое изображение разложения уровня звукового давления по частотным составляющим. **Спектральные характеристики** помогают определить наиболее вредные звуки и разработать мероприятия по борьбе с производственным шумом.

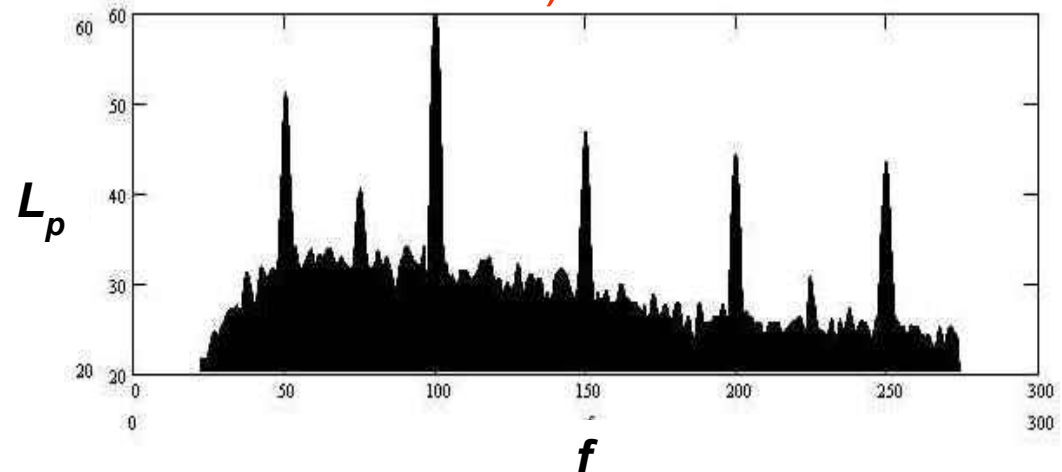
а) Дискретный



б) Сплошной



в) Смешанный



Различают три вида спектров шума: дискретный (тональный, линейчатый), сплошной или широкополостный и смешанный.

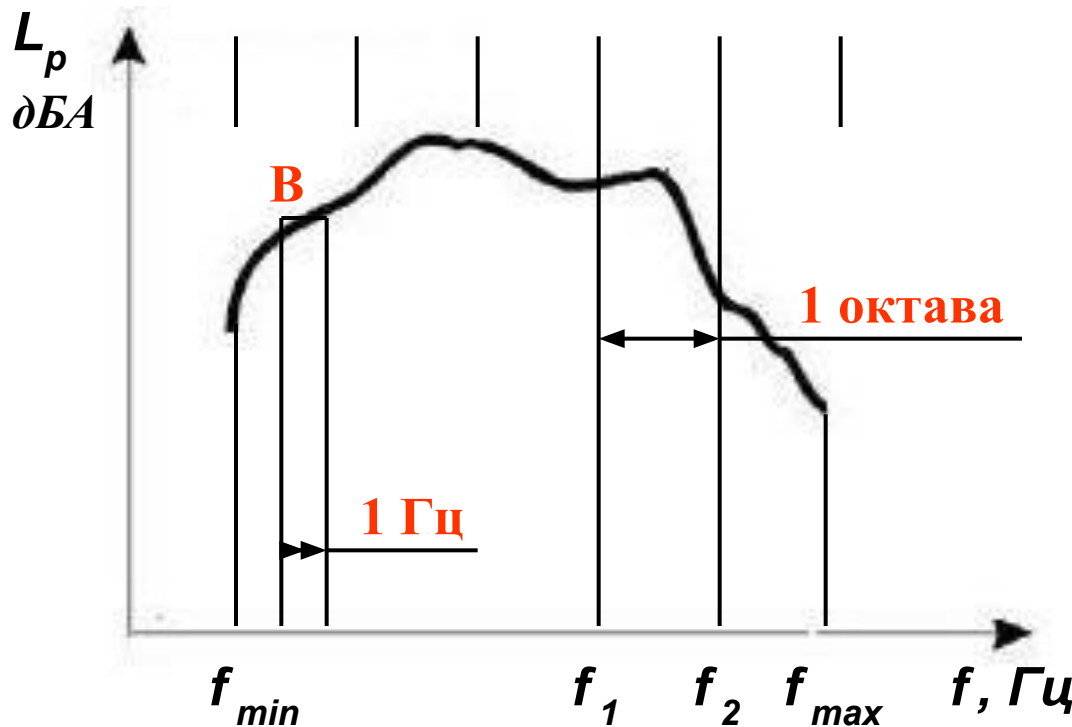
а) **Дискретный спектр** характеризует непостоянный звук, когда из общего уровня резко выделяются отдельные частоты, а на некоторых частотах вообще отсутствует какой-либо звук (например, шум сирены, электродвигатель и т. п.).

б) **Сплошной спектр** - совокупность уровней звукового давления, близко расположенных друг к другу частот, когда на каждой частоте присутствует уровень звукового давления (уличный шум, речь, музыка, двигатель внутреннего сгорания и т. п.).

в) **Смешанный спектр** - это спектр, когда на фоне сплошного шума имеются дискретные составляющие (чаще всего имеют место на предприятиях - это шум технологического оборудования, вентиляторов, компрессоров и т. п.)



# Элементы спектра



$B$  - уровень спектра -  
средний уровень силы звука в  
частотной полосе 1 Гц;

$f_{min}$  - нижняя граничная  
частота спектра;

$f_{max}$  - верхняя граничная  
частота спектра;

$\Delta f = f_2 - f_1$  - ширина полосы  
частот;

$f_{cp}$  - среднегеометрическая  
частота полосы:

$$f_{cp} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

Октава - полоса частот, у которой  
отношение  $f_2 / f_1 = 2$ .

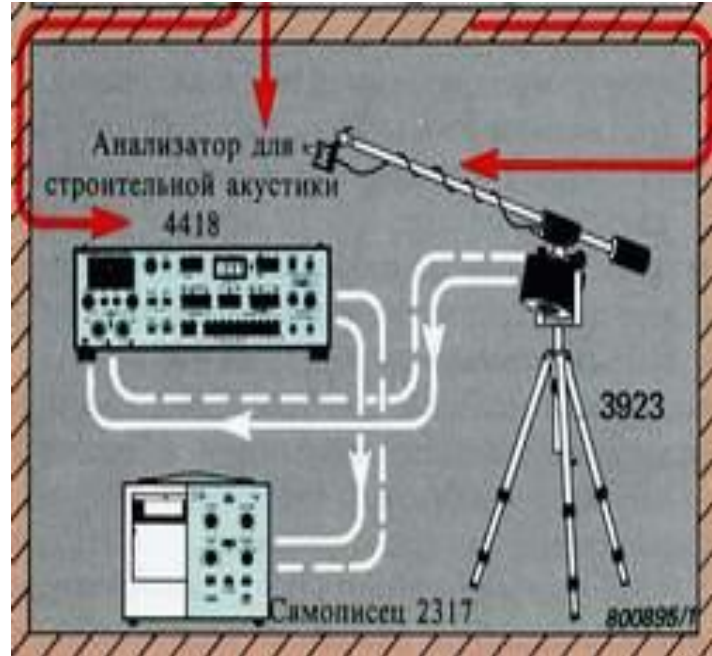
Для строит. октав  $f_{cp} = 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000$  Гц.

Терция (третьоктавная полоса частот) - полоса частот, у которой  
отношение  $f_2 / f_1 = 1,26$ .



Нормирование шума в строительстве (установление предельных уровней шума, норм звукоизоляции для ограждений и др.) идет в октавных и третьоктавных полосах частот.

Для замера фактического уровня шума используются бытовые (диапазоны измерения: 30-130 дБА, 31,5 Гц - 8 кГц, фильтры А и С) и промышленные (интегрирующие) шумомеры с комплектом анализаторов (фильтров) для различных частот.



# Отражение и поглощение звука в помещениях

**Звуковое поле в помещении создают 2 вида звука:**

- **прямой** (непосредственно от источника, значим только на расстояниях порядка метра от источника - **зона прямого звука**);
- **отраженный** от поверхностей помещения, предметов, мебели, людей и др., т.е. приходящий со всех сторон одновременно (обычно более 90% в остальной зоне помещения).

Усреднение прямого и отраженного звука во всех точках помещения обеспечивает одинаковый уровень звукового давления (хорошую акустику помещения) - **диффузное звуковое поле**.

# Характеристики отражения и поглощения звука



2 вида :

1. Для поверхности (материала)

$$\alpha = \frac{L_{пад} - L_{отр}}{L_{пад}} = \frac{L_{прох} - L_{расс}}{L_{пад}}$$

- коэффициент звукопоглощения  
(КЗП) - доля звуковой энергии,  
покинувшей помещение;

$$\beta = \frac{L_{отр}}{L_{пад}} \quad \text{- коэффициент отражения;}$$

$$\tau = \frac{L_{прох}}{L_{пад}} \quad \text{- коэффициент звукопередачи (звукопроницаемости)}$$

# Коэффициенты звукопоглощения материалов и конструкций

Материалы и конструкции	Коэффициенты звукопоглощения с. материалов и конструкций при среднегеометрических частотах в Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Стены, окрашенные масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Асфальт	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
Стальные листы толщиной 50 мм	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Паркет по асфальту	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07
Деревянный пол по лагам	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,06
Ковер, ковровые дорожки	0,12	0,14	0,23	0,32	0,36	0,42	0,43
Тонкая алюминиевая стружка (или шерсть) толщиной 40 мм	0,18	0,35	0,55	0,67	0,63	0,63	
Плиты ПШ-80 СТУ 426—63	0,08	0,30	0,64	0,89	0,95	0,81	0,73
Плиты «Стилит»	0,43	0,98	0,99	0,99	0,95	0,87	0,75

Звукопоглощающие облицовки из мягких волокнистых материалов позволяют снизить уровень шума в помещениях на 5—8 дБ на низких частотах и на 10—12 дБ на высоких.

**Для конструкционных строительных материалов КЗП крайне мал на всех частотах - практически весь звук остается в помещении!**

## 2. Для помещений

Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  зависит от:

- материала ограждения;
- частоты звука;
- угла падения звука;
- конструкции ограждения (прямой угол, сфера и др.).

### а) Средний (диффузный) коэффициент звукопоглощения

$$\alpha = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

$S_i$  - площади поверхностей в помещении

### б) Эквивалентная площадь звукопоглощения $A$ , м<sup>2</sup>

$$A = \alpha \cdot \sum_{i=1}^n S_i = \alpha \cdot S$$

- площадь поверхности, полностью поглощающей ту же звуковую энергию, как и площадь  $S$ .

# Восприятие шума человеком



Ухо не работает как микрофон  
- звуковой сигнал  
обрабатывается МОЗГОМ  
(усиливается или  
ослабляется в зависимости  
от важности).



Субъективное восприятие звукового давления называется громкостью.

Громкость зависит от звукового давления, длительности и частоты звука, формы звуковой волны, времени суток и др.

Субъективное восприятие частоты звука называется высотой звука.



## Основные законы восприятия звука человеком учитываются в строительной акустике.

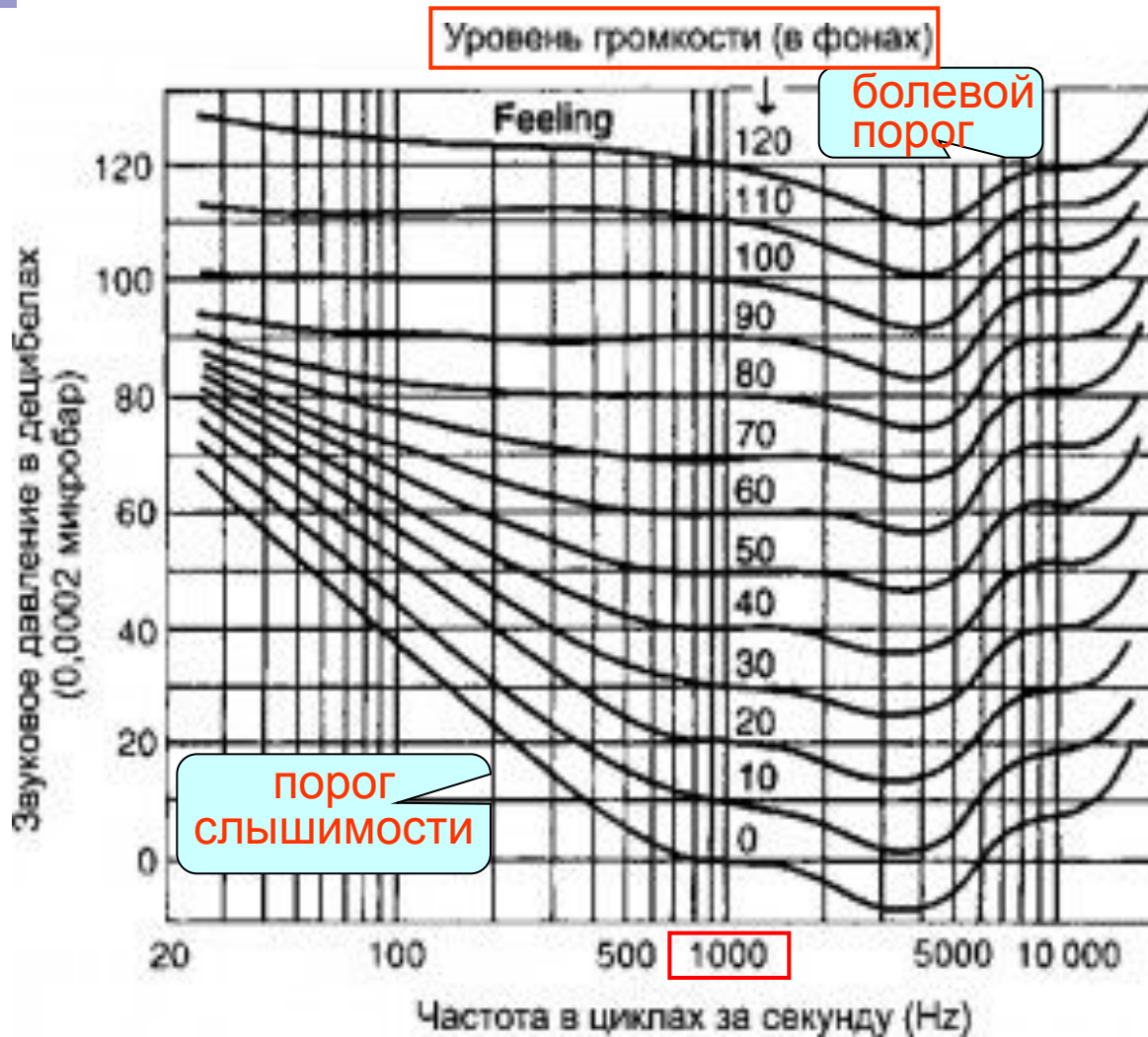
1. Громкость приблизительно связана с силой звука **законом Вебера - Фехнера**: экспоненциальное повышение звукового давления воспринимается человеческим ухом как линейно повышающаяся громкость → логарифмическая связь "звуковое давление-громкость" или линейная "сила (уровень) звука - громкость" на одинаковой частоте.

Два одинаково громких звука не воспринимаются как удвоение громкости -  $L_p$  увеличивается только на 3 дБА.

$$L_{\text{ит}} = 10 \lg \left( \frac{P_1^2}{P_0^2} + \frac{P_2^2}{P_0^2} + \dots + \frac{P_n^2}{P_0^2} \right)$$

Повышение уровня звука на каждые 10 дБА субъективно воспринимается как удвоение громкости, 1 дБА - минимально различимая разница в громкости.





Кривые равной громкости Флетчера-Мансона.

2. Наши уши имеют разную чувствительность к звуковым волнам различных частот слышимого диапазона - имеется спад чувствительности на границах области слышимости, особенно на низких частотах.

2. Количественная оценка громкости производится методом субъективного сравнения с эталонным звуком (синусоидальный, 1000 Гц) - добиваются равногромкости.

Полученная величина называется **уровнем громкости** и измеряется в **фонах**.

1 фон  $\approx$  1 дБА при частоте 1000 Гц

**Перевод уровня звука в уровень громкости - по кривым равной громкости.**

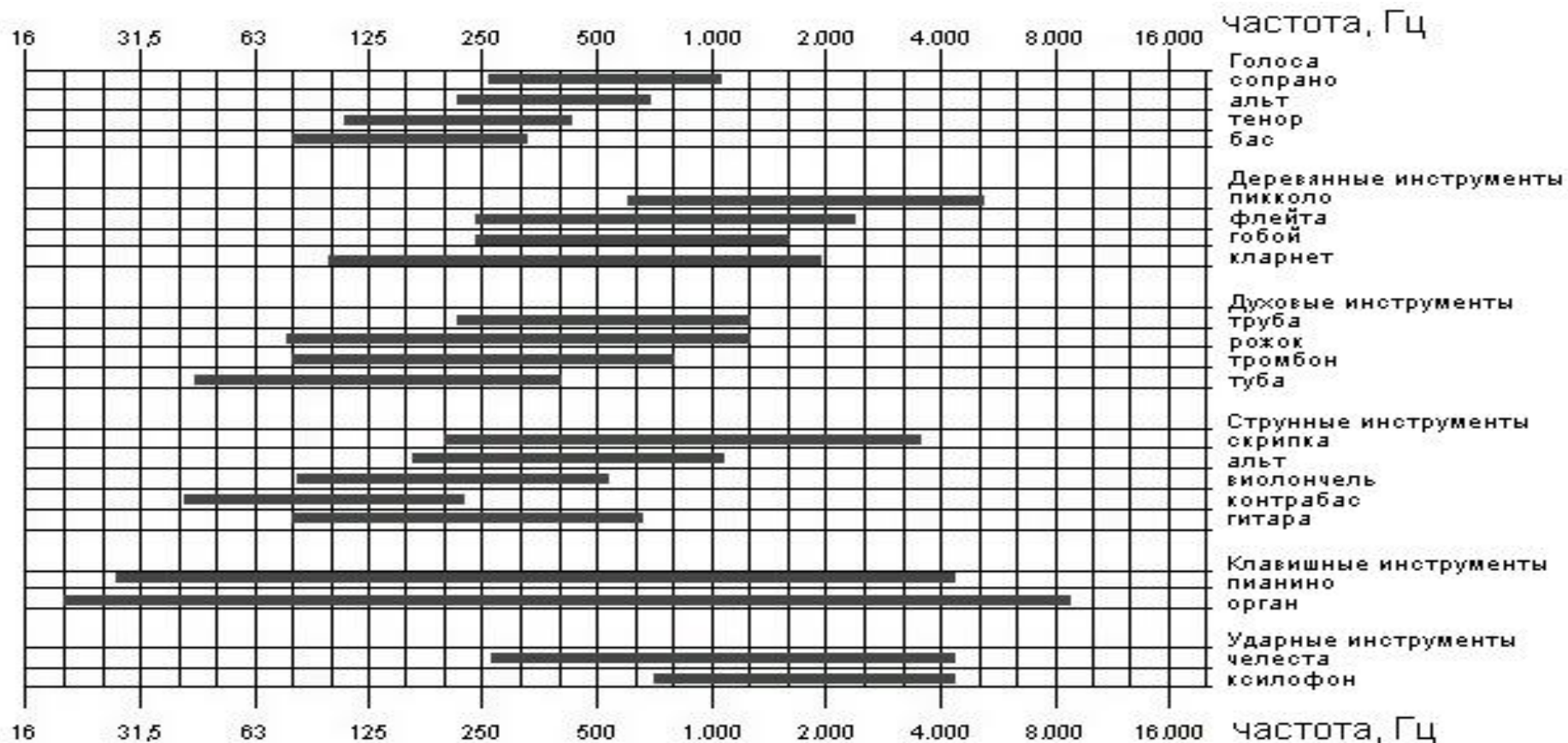
Шкала уровней громкости не всегда удобна, т.к. изменение уровня громкости в фонах в 2 раза не означает, что субъективное ощущение громкости изменится в два раза (соответствует 10 фонам). Для оценки субъективного восприятия - шкала **сонов**.

$$S_G = 2^{\frac{L-40}{10}}, \quad \text{соны}$$

1 сон = 40 фонов при частоте  
1000 Гц

Фоны	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Соны	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256

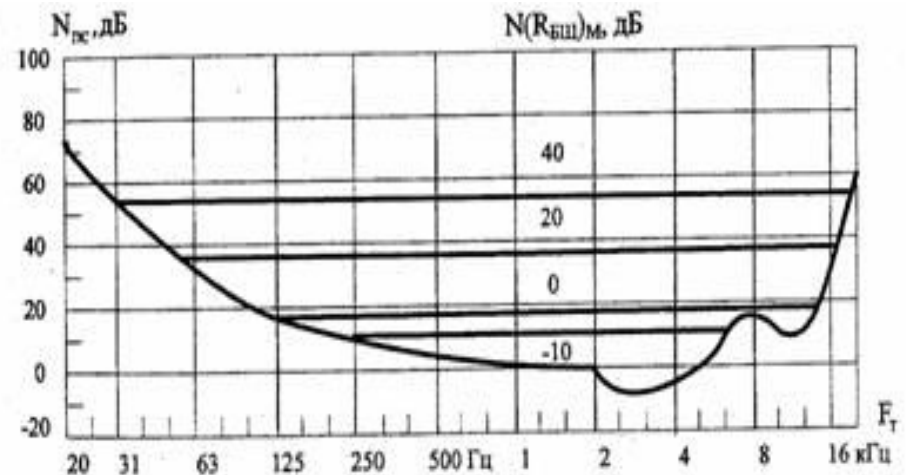
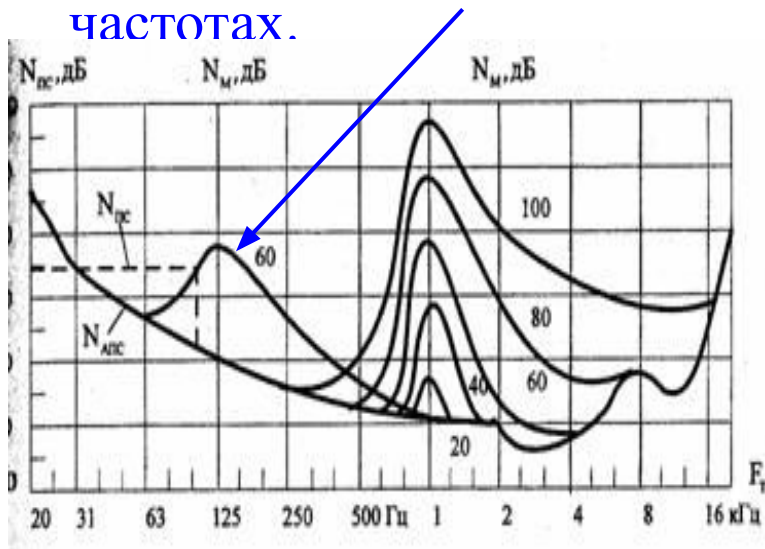
3. **Высота звука** - качество слухового ощущения, которое определяет **место звука в музыкальном ряду**.



#### 4. Маскировка звукового сигнала - ухудшение слышимости при наличии постороннего шума, близких по частоте или составу гармоник:

- повышение порога слышимости / звон в ушах;
- снижение разборчивости речи (звукового сигнала).

Маскировку звука оценивают количественно числом дБ, на которое повышается порог слышимости в присутствии помехи (порог маскировки). **Наибольший эффект маскировки - на низких частотах.**



Узкополосная помеха на  $f = 1 \text{ кГц}$

При равномерно маскирующем шуме



## **Раздел 2.**

# **Акустика помещений**

# Шум и борьба с шумом

Шум - звуки, нарушающие тишину и мешающие восприятию звука человеком.

С определенного уровня шум является **источником санитарной вредности**:

- вызывает снижение работоспособности на 10...15%;
- повышает утомляемость;
- вызывает временные или постоянные нарушения здоровья (профессиональные заболевания):
  - глухота;
  - повышение кровяного давления, сердечно-сосудистые заболевания;
  - болезни желудочно-кишечного тракта;
  - психические расстройства.

# Классификация шума

## 1. По длительности:

- длительный узкодиапазонный (например, электродвигатель);
- длительный широкодиапазонный (уличный шум, речь и др.);
- эпизодический (гудок и т.д.).

Учитывают при оценке восприятия человеком (маскировка), при установке норм шума для помещений.

## 2. По спектральному составу:

- низкочастотный - до 300 Гц (борьба с шумом - повышение массы ограждения, резонирующие конструкции);
- среднечастотный - от 300 Гц до 800 Гц (повышение массы ограждения, резонирующие конструкции + звукопоглощение);
- высокочастотный - выше 800 Гц (звукопоглощение).



### 3. По интенсивности:

- до 40 дБА - малой интенсивности - практически не мешает и защиты обычно не требует;
- 40 ... 80-90 дБА - средней интенсивности - вызывает утомление, травматизм, снижение производительности, легкие нарушения здоровья. Борются строительно-акустическими мерами;

- 80-90 ... 120-130 дБА - шум высокой интенсивности - вызывает утомление, нервозность, стойкое повреждение слуха. Борются строительно-акустическими мерами + средства индивидуальной защиты (антифоны) - противозумные шлемофоны (шлемы), наушники, заглушки, вкладыши (беруши) по ГОСТ 12.4.011 -75)





# Нормирование шума

в строительстве производится по двум методикам:

1. По санитарным нормам (СН) - нормируются уровни  $L$  (дБА) звукового давления в помещении в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами  
63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

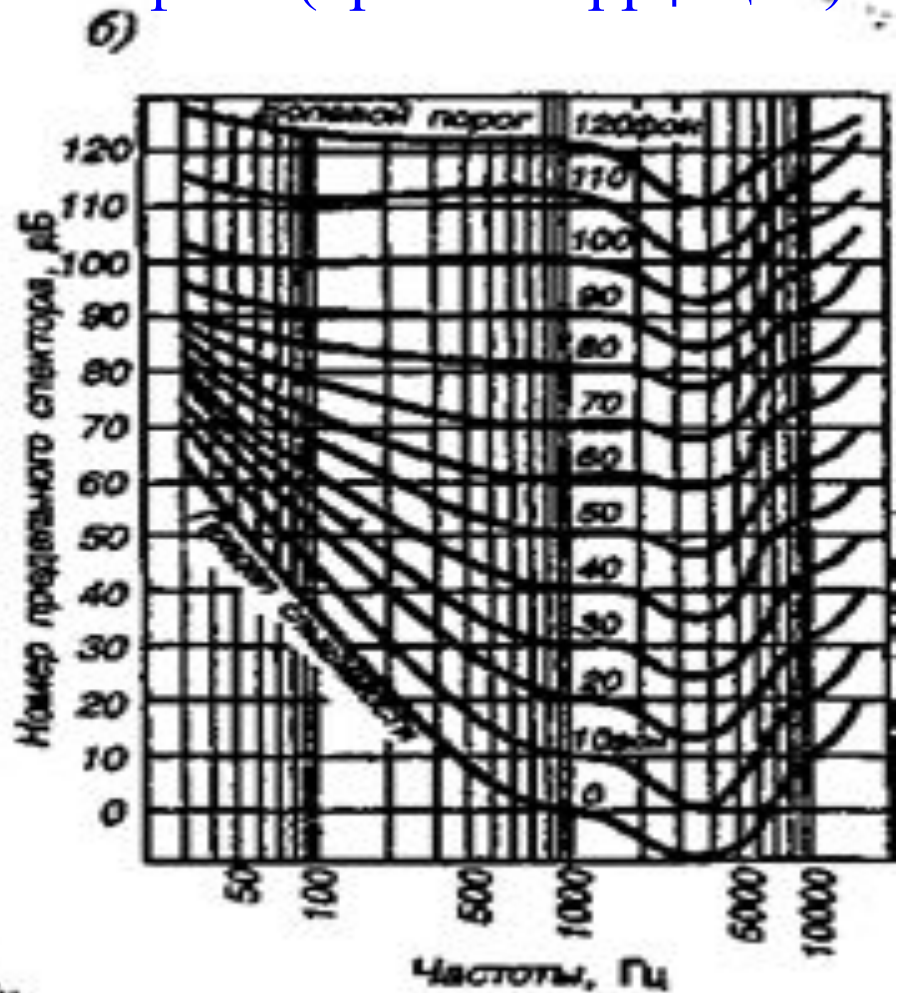
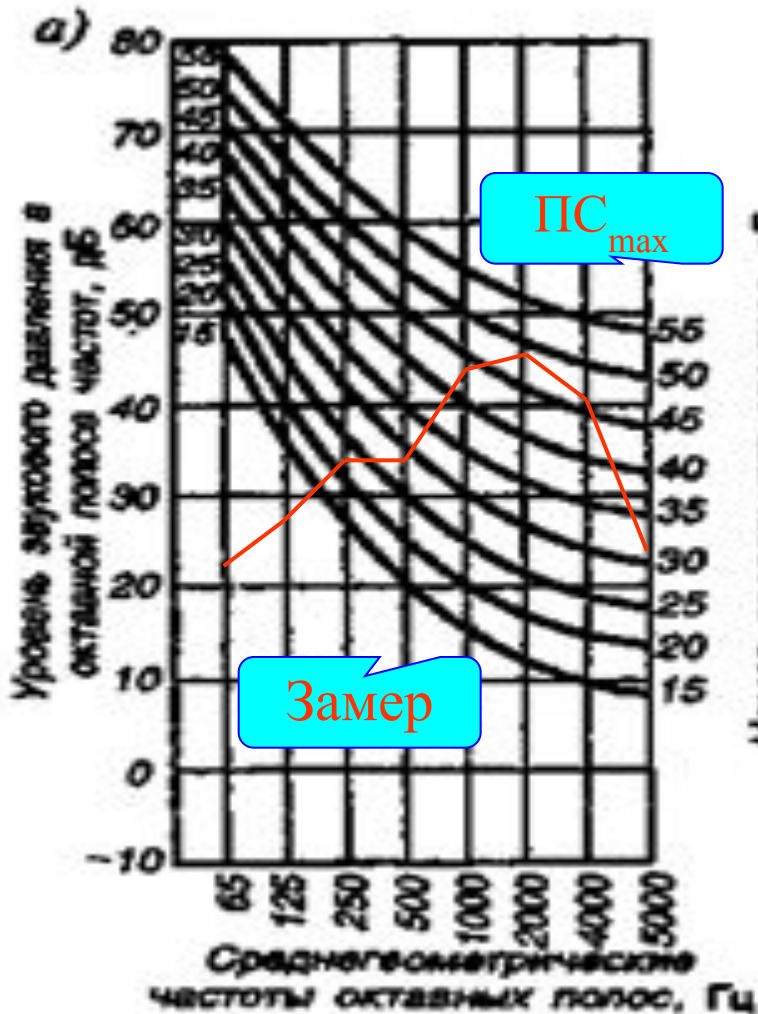
$$L = 20 \lg \frac{P}{2 \cdot 10^{-5}}, \text{ дБА}$$

Для замера уровня шума используются бытовые шумомеры с комплектом анализаторов (фильтров) для различных частот. Если измерение непосредственно в точке  $D$  невозможно, то  $L$  пересчитывают по формуле:

$$L = L_0 - 20 \lg \frac{D}{D_0}, \text{ дБА}$$

Здесь  $L_0$ ,  $D_0$  - уровень звука и расстояние до источника в точке замера.

# ПС-55 - изофона (кривая коррекции)



Кривые предельных спектров (а) - упрощенный вариант кривых равной громкости (б)

Предельный спектр - предельно допустимый уровень звукового давления в октавной полосе частот.

ПС - индекс (№) кривой коррекции ( $\approx$  громкости в фонах)

Допустимый шум  $ПС_{\max}$  = предельный спектр + поправка

### Предельные спектры

Для жилых помещений - №25.

Для дворов и территорий у здания - №35.

Для палат в больницах - №20, №30.

Для классов и столовых - №40, №50.

### Поправки:

Шум импульсный -5 дБ.

Если здание встраивается в район существующих застроек +5 дБ.

Шум только в дневное время (с 7 до 23 ч.) +10дБ.

Шум 56 ... 100% суток - поправки нет;

18...56% суток +5дБ.

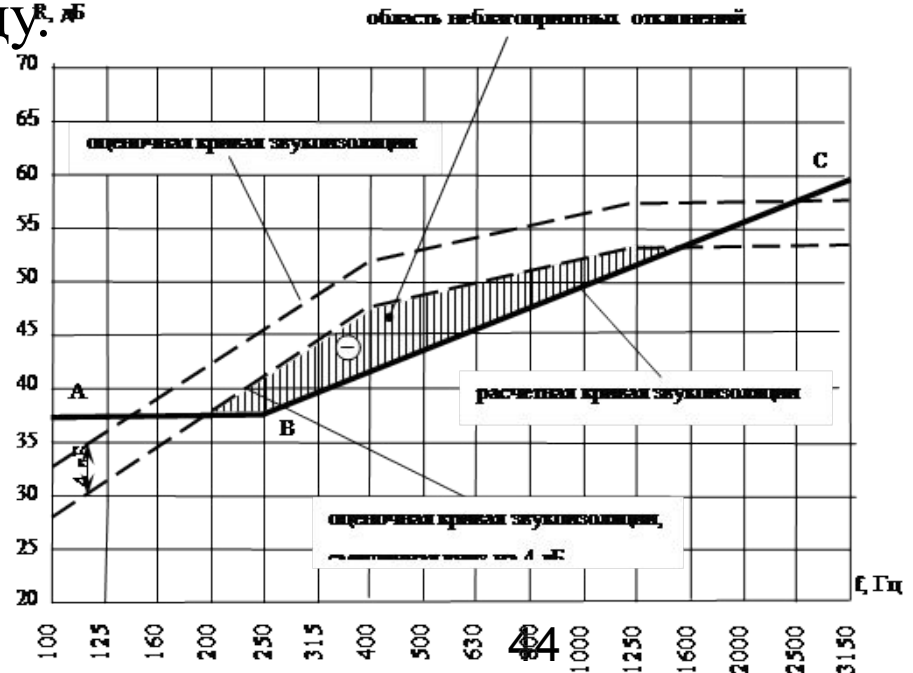
Меньше 6% суток +15 дБ.

## 2. По строительным нормам (СНиП) нормируются:

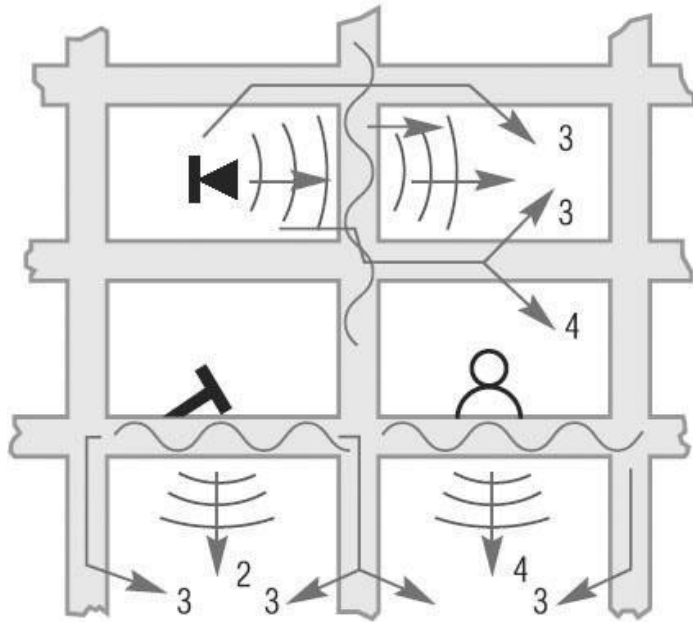
- при защите от воздушного шума - величина звукоизоляции ограждающей конструкции  $R$  (дБ);
- при защите от ударного шума - предельный уровень шума под перекрытием (дБ) при испытании на стандартной ударной машине ("топальной машине") – имеет 5 молотков по 0,5 кг на расстоянии 10 см друг от друга, падающих с высоты 4 см с частотой 10 ударов в секунду.

Нормы устанавливаются  
СНиП 23-03-2003  
"Защита от шума".

Нормирование идет в  
третьоктавных полосах  
частот.



# Распространение шума в зданиях



## Источники шума:

- **внешние** (транспорт, промышленность);
- **внутренние** (инженерное и сантехническое оборудование, музыка, телевизор и др.).

## Способы распространения шума в здании:

- **воздушный** - по воздуху и через отверстия в ограждении;
- **ударный (структурный)** - через колебания конструкции;
- **прямой (1, 2)** – через поры, неплотности в сопряжениях конструкций, непосредственно через ограждение;
- **косвенный (обходной - 3,4)** - через другие помещения.

# Принципы борьбы с шумом

1. Уменьшение шума, распространяемого в воздухе – планировка, шумоизоляция, экранирование, звукопоглощение.
2. Уменьшение колебаний в конструкциях на пути распространения шума – виброизоляция, изоляция ударного шума, вибропоглощение, виброгашение.
3. Отражение энергии колебаний – изоляция воздушного шума, экранирование, виброизоляция, виброизоляция ударного шума.
4. Поглощение энергии звуковых колебаний и превращение в тепло – звукопоглощение, вибропоглощение, виброгашение.
5. Комбинация методов.

# Планировочные мероприятия

1. Максимальное удаление источника шума от слушателя – санитарно-техническое оборудование, лифт, кухня, лестничная площадка - вдали от спальных помещений.
2. Группировка источников по уровню шума - в квартире кухня и туалет рядом; мусоропровод, лифт, ливневый водосток в одной шахте; слабый источник устанавливается рядом с более громким и др.;
3. Отделение шумной и тихой зон буферными нежилыми помещениями - коридоры, кухни, кладовые, встроенные шкафы, в архитектуре - завод – сквер – жилой квартал;
4. Рациональная ориентация помещения или здания относительно источника шума - узкой стороной к источнику шума, нежелательно под углом  $75^\circ$ .

Суммарный эффект до 15-20 дБА<sub>47</sub>

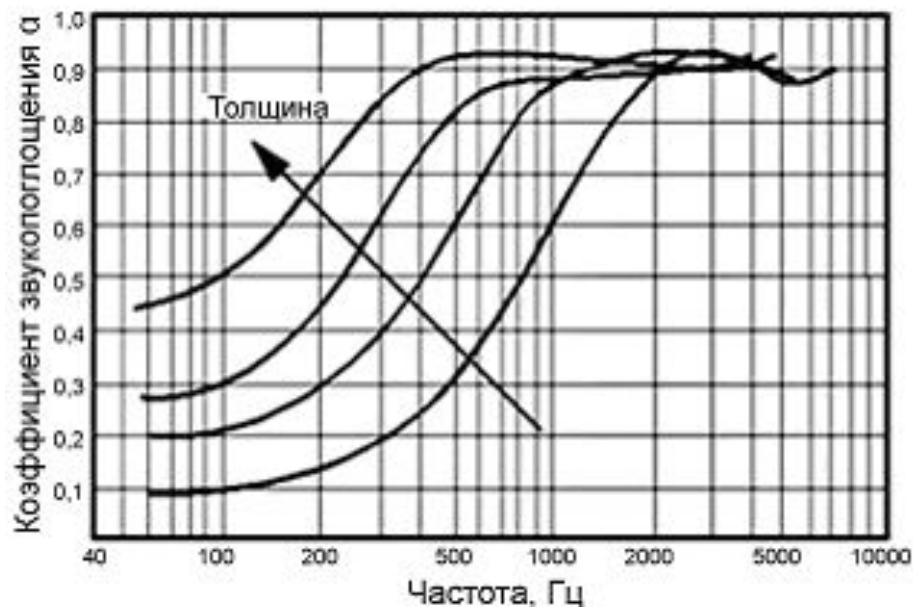


# Применение звукопоглощающих материалов и конструкций

1. Мягкие звукопоглощающие материалы (мягкие пористые плиты - поролон, войлок, минеральная вата, стекловата) - в основном применяются для борьбы с высокочастотным шумом (более 500...600 Гц).

Акустическая характеристика:

Особенности:



- на низких частотах эффективность (величина КЗП) в основном определяется толщиной ;
- на высоких частотах - толщина не влияет;
- установка плиты на отnose малоэффективна.



2. Пористые жесткие плиты (пемзолит, акмигран, ДВП, плиты минволокна и стекловолокна, шуманет, пемза, вермикулит, каолин, шлаки и т.п. с цементом или другим вяжущим) - могут применяться для борьбы со средне- и высокочастотным шумом (более 300...500 Гц).

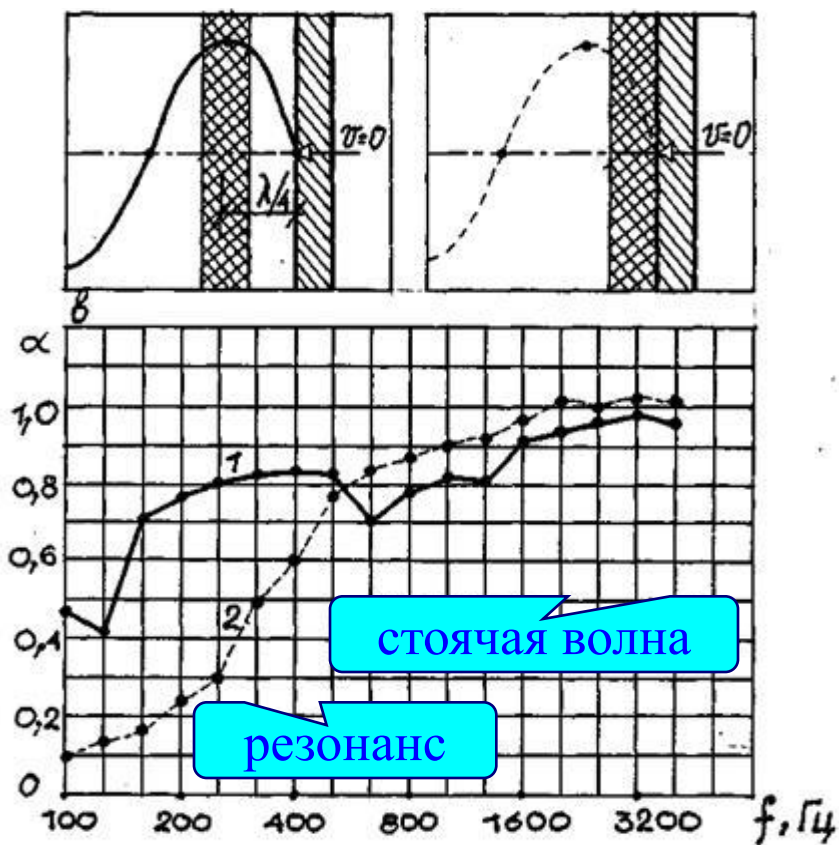
1- плита на отnose; 2 - крепление к стене

Особенности:

- при креплении к стене величина КЗП на низких частотах ниже, чем у мягких ЗПМ;

- при установке на отnose - на низких частотах характеристики лучше, на высоких - хуже;

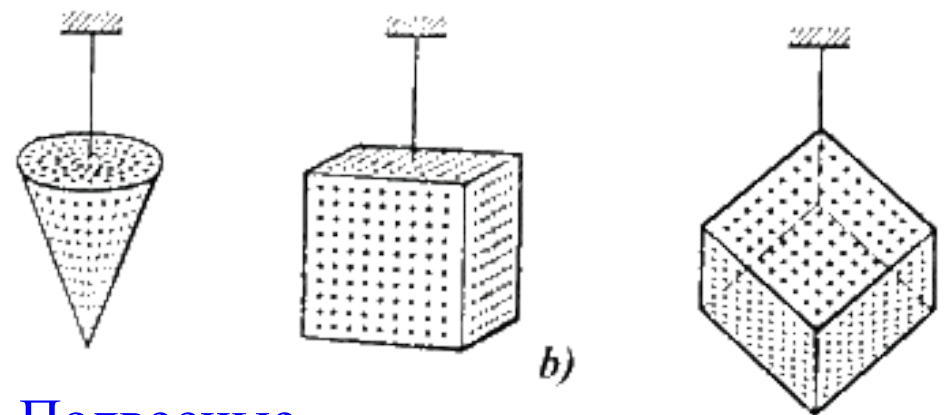
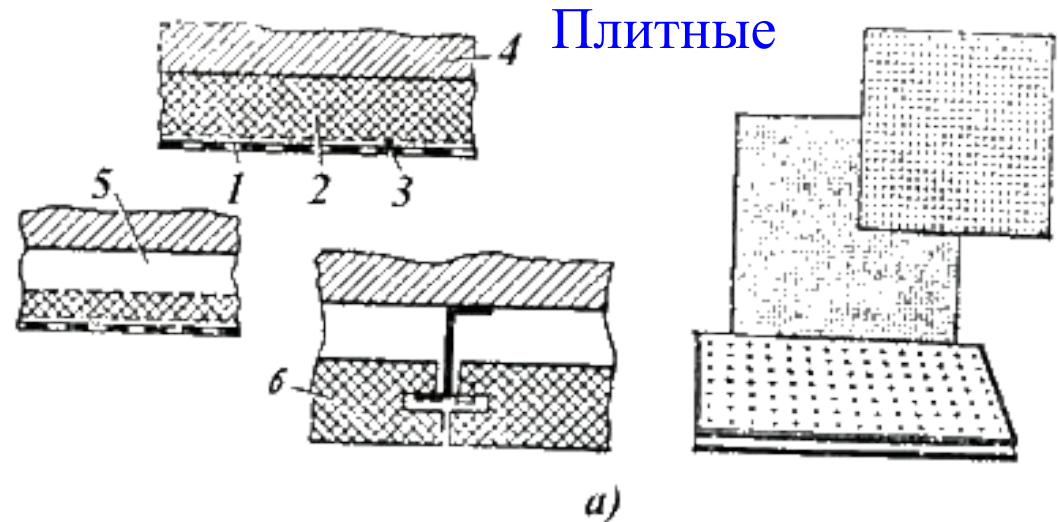
- акустическая характеристика для жестких ЗПМ имеет провалы.



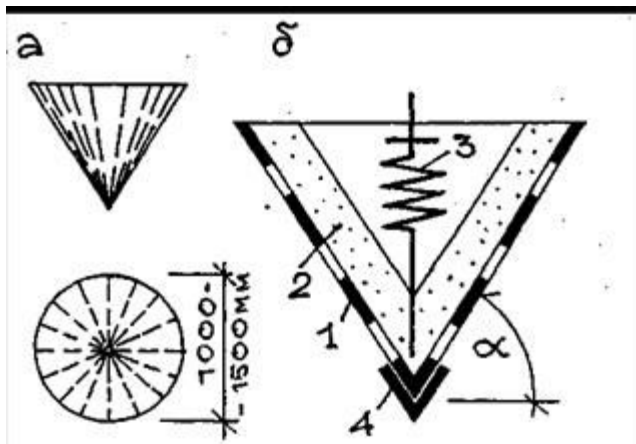
### 3. Резонирующие конструкции - для борьбы с низко- и среднечастотным шумом (300...800 Гц).

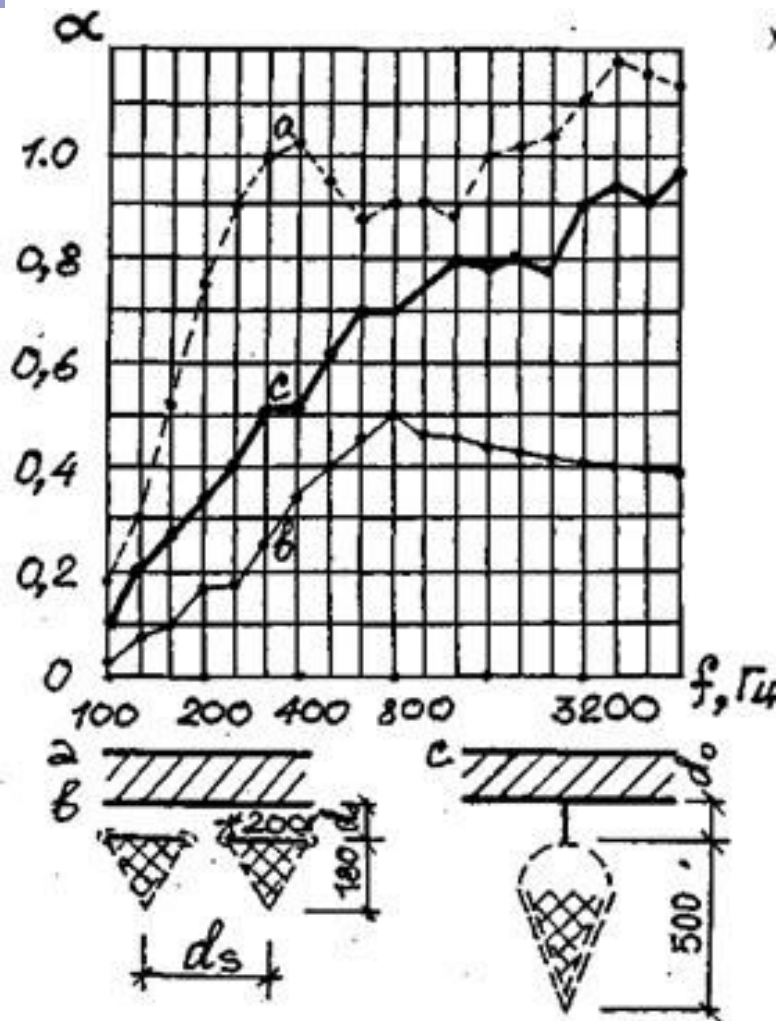
#### Штучные звукопоглотители и резонаторы

- 1 - жесткий перфорированный лист (сталь, алюминий, пластмасса);
- 2, 6 - звукопоглощающий материал;
- 3 - фрикционный тканевый слой (ситец, бязь, стеклоткань);
- 4 - каркас;
- 5 - воздушная прослойка.



Подвесные





Акустическая характеристика и частота поглощения зависит от:

- размеров и геометрии;
- диаметра отверстий;
- толщины слоев воздуха и звукопоглотителя и др.

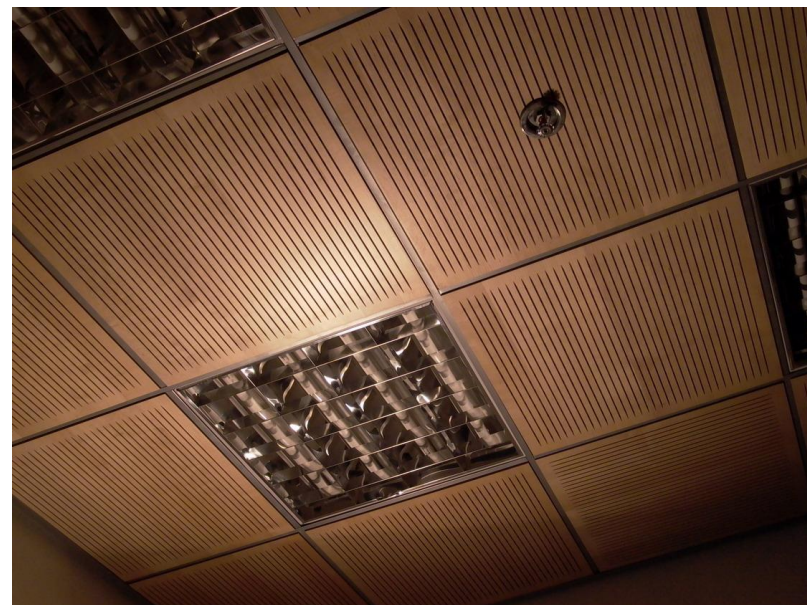
Если убрать фрикционный слой и звукопоглотитель, то конструкция работает как усилитель звука - резонатор Гельмгольца.

Предельное значение эффективности звукопоглощения - до 20 дБ, обычно 10-15 дБ.

Наибольший эффект - при низких потолках.





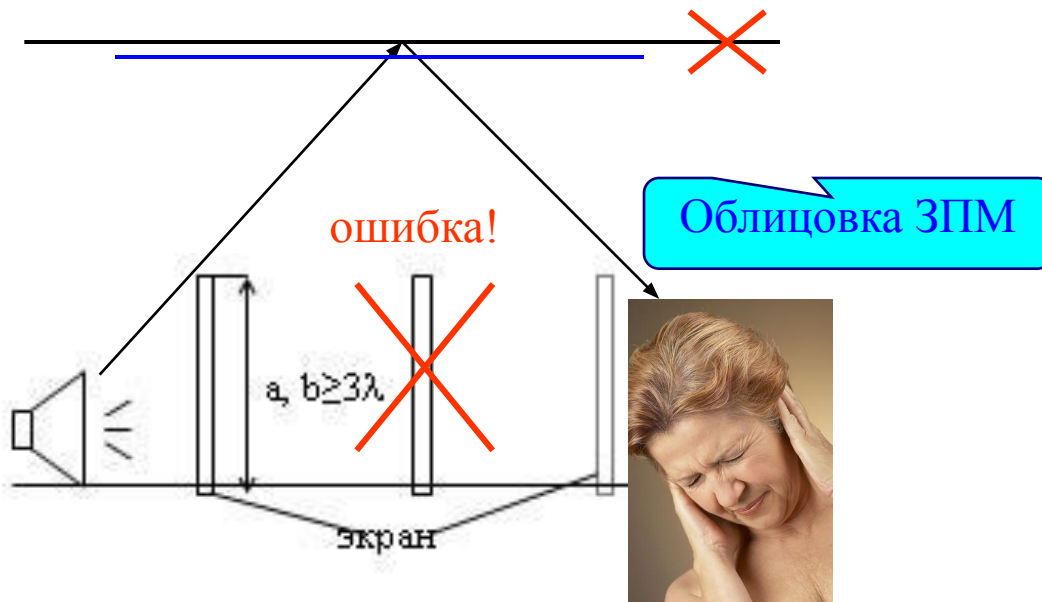


Варианты  
звукопоглощающих  
покрытий и  
конструкций

# Экранирование шума

**Экранирование** – установка препятствия между источником звука и слушателем с целью создания звуковой тени.

Экран устанавливается **рядом с источником звука, либо рядом со слушателем**. Вблизи не должно быть препятствия, от которого звук может отразиться.



Размеры экрана - не менее 3-х длин волны источника и не менее размеров источника звука.

**Применение экранов** – здание, насыпь, глухой забор, щиты и перегородки не до потолка; кулисы в театре.



**Наибольший эффект** - на открытой местности (до 15 - 20 дБ).

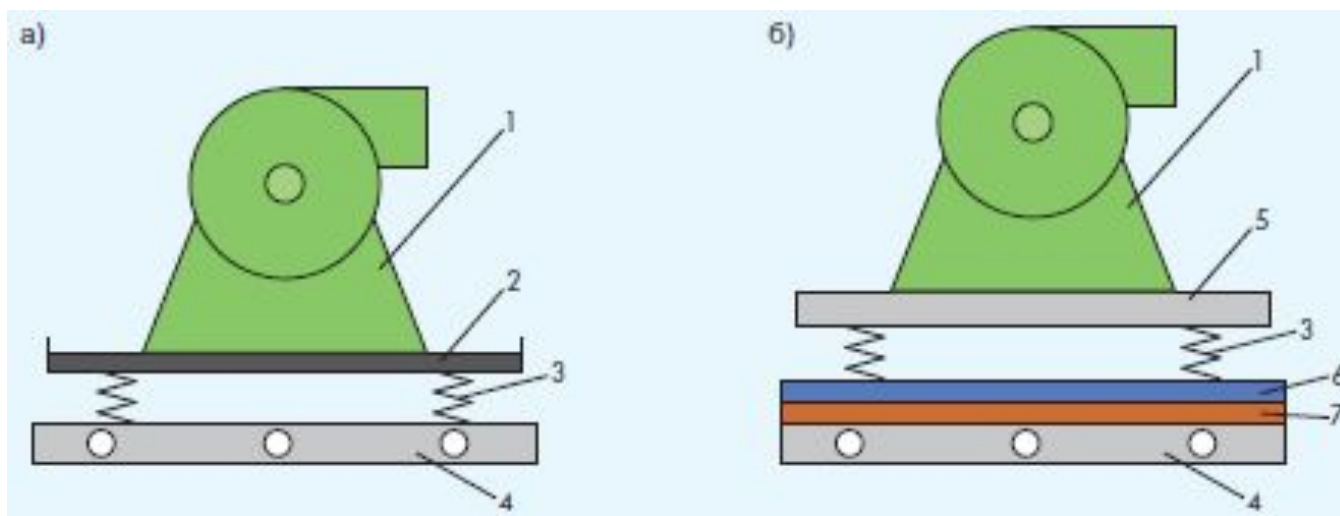
**В помещении при высоких потолках** - до 5 - 7 дБ.

**При низком потолке без звукопоглощающего покрытия** - экран неэффективен.



# Виброизоляция

**Виброизоляция** – снижение колебаний, передаваемых от источников на конструкции здания с помощью упругих систем, размещаемых между строительными конструкциями и оборудованием → ограничение **структурного шума**.



а) однозвенная виброизоляция (крепление к стальной раме на амортизаторах);

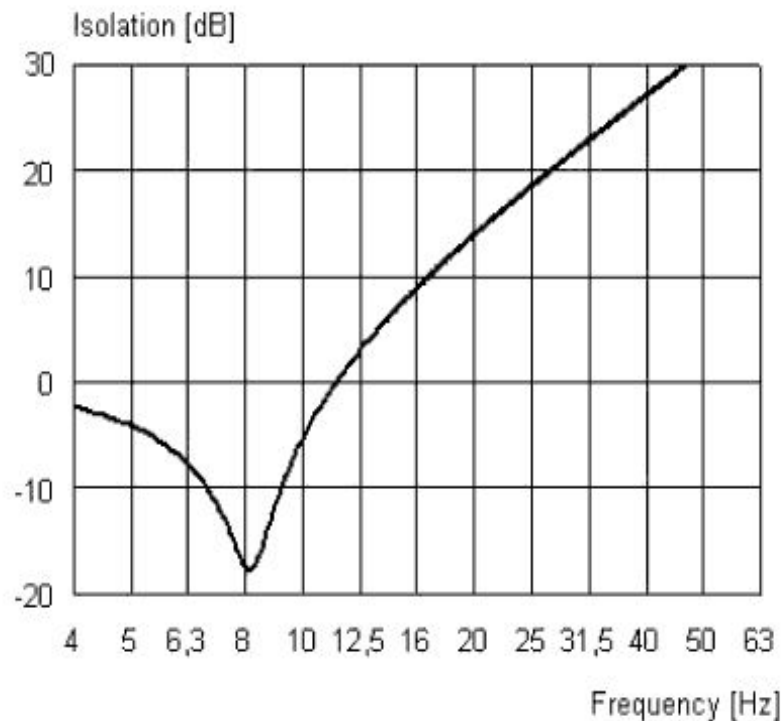
б) двухзвенная виброизоляция (крепление к ж/б плите на амортизаторах и полу на упругом основании);

1 – машина; 2 – стальная рама; 3 – амортизаторы; 4 – несущая плита; 5 – железобетонная плита; 6 – плита пола на упругом основании и 7.



Наиболее важная характеристика виброизолированной установки - частота ее собственных колебаний  $f_0$  (резонансная частота виброизолирующего основания).

При виброизоляции машины на частотах  $f \leq f_0$  колебания фундамента не снижаются. В области частот  $0,7f_0 < f < 1,4f_0$  они усиливаются. При  $f \approx f_0$  наступает резонанс — резкое усиление колебаний. Только на частотах  $f \gg f_0$ , виброизоляторы снижают колебания фундамента.



Двухзвенная схема виброизоляции обладает большей эффективностью по сравнению с однозвенной. Но здесь две резонансные частоты, так что диапазон частот, в котором виброизоляция отрицательна, расширяется.



Величина виброизоляции:

$$R_v = 20 \lg \left| 1 - \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right|, \text{ дБ}$$

Для повышения виброизоляции необходимо снижать  $f_0$ :

- увеличить массу ;
- снизить жесткость.

Виброизоляция не снижает шум в самом помещении, она защищает соседние помещения, поэтому обычно ее сочетают с другими методами:

- применение звукопоглощающих покрытий на стенах;
- звукоизоляционные кожухи на машине;
- вибропоглощение или виброгашение.

Собственная частота

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}};$$

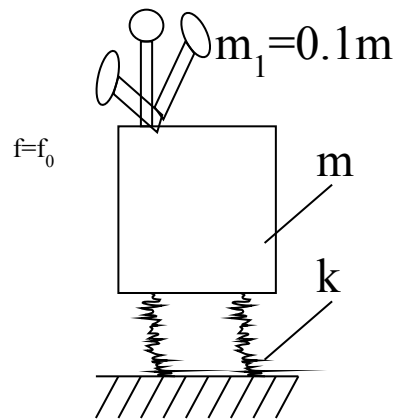
$$k = \frac{mg}{\Delta l} \quad \text{- жесткость упругого элемента (амортизатора)}$$

При  $f \geq (3...4) f_0$  величина виброизоляции 18...25 дБ.

# Вибропоглощение и виброгашение

**Вибропоглощение** – способ защиты тонколистовой конструкции. Применяется в самолётах, поездах, автомобилях и т.д.

**Эффективность - 15...25 дБ на резонансных частотах.**



**Виброгашение** – присоединение к конструкции дополнительной колеблющейся системы (виброгасителя) с собственной частотой, приблизительно равной частоте, которую нужно ослабить → отнимает энергию колебаний на себя.

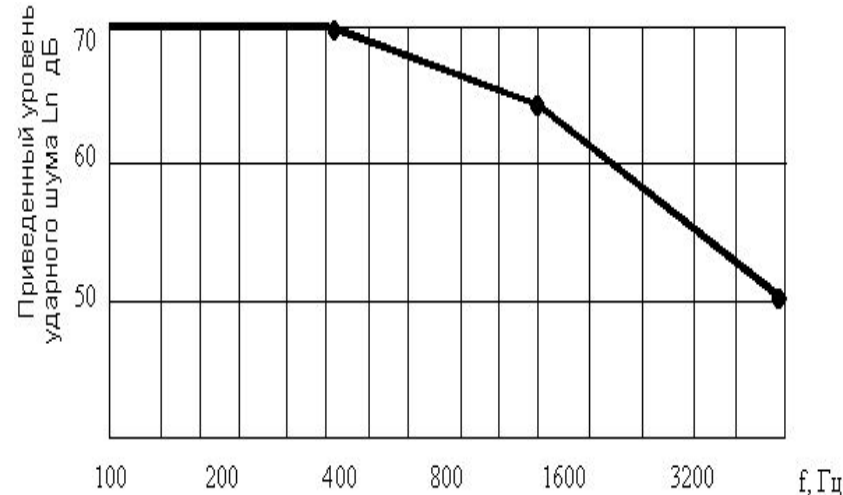
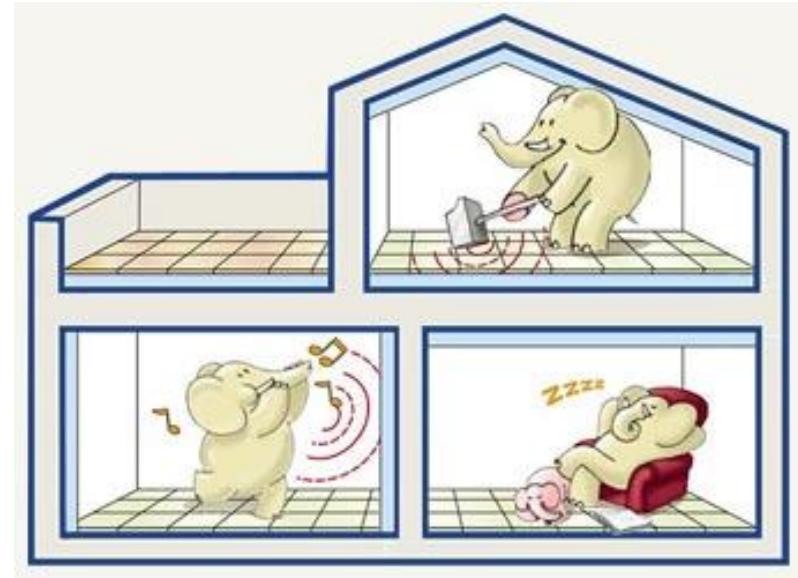
**Устанавливается в местах наибольших колебаний - обычно вынужденное решение.**

# Звукоизоляция ударного шума междуэтажными перекрытиями

**Ударный шум** возникает при механическом воздействии на плиту перекрытия (передвижение предметов, стук о стены и полы, передвижение людей и домашних животных по квартире).

**Воздушные шумы** – это громкий разговор, включенный телевизор, громкая музыка и прочее. Звук из воздуха попадает на перекрытие, заставляя его колебаться и передавать шум дальше.

**Плиты перекрытия обеспечивают нормы изоляции воздушного шума, но не обеспечивают нормы по изоляции ударного шума.**



# Методы и способы звукоизоляции ударного шума

1. Увеличение массивности конструкций - уменьшает амплитуду колебаний перекрытия → снижает уровень звукового излучения.



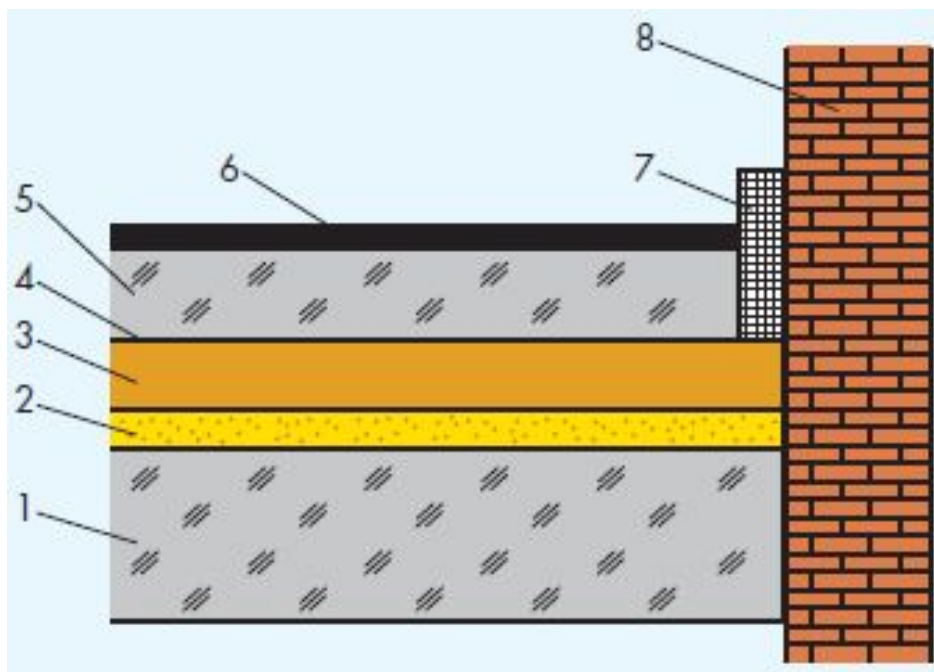
2. Размещение между строительной конструкцией и ударником упругих элементов, амортизирующих удар:

а) с элементами, непосредственно воспринимающими удар - **мягкие полы** - ковролин, линолеум на мягкой основе, мягкие плитки.

**Эффект - 10 дБ на средней частоте, 20...30 дБ на высоких частотах.**

б) с упругим элементом и массой, воспринимающей удар:

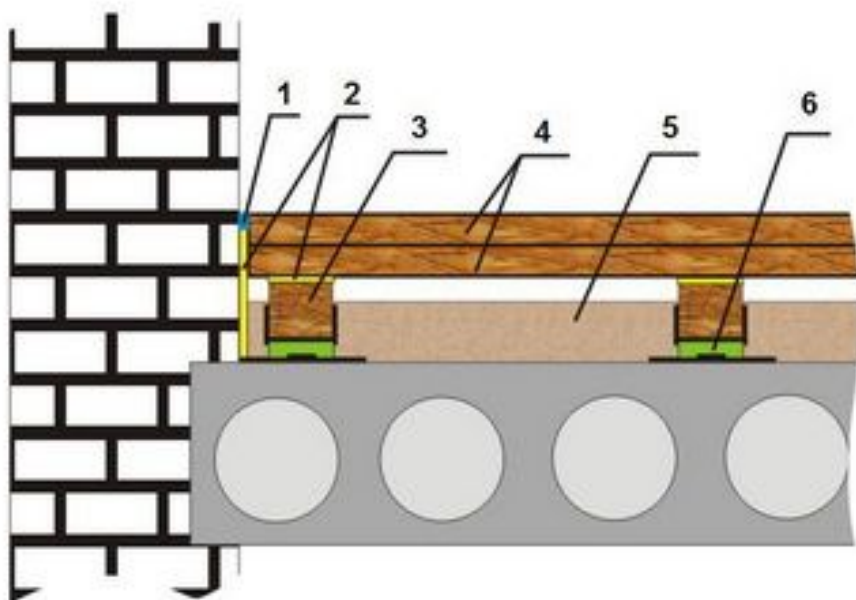
- пол на упругом основании (плавающий пол)



1 – плита перекрытия; 2 – стяжка; 3 – упругий слой (минеральное волокно, полимер, песок, доменный шлак и др.); 4 – гидроизоляция; 5 – железобетонная плита (армированная стяжка / дубовый щит); 6 – чистый пол; 7 – разделительный шов с уплотнителем, покрытым сверху нетвердеющей мастикой; 8 – конструкция здания.

Эффективность - до 30...40 дБ.

## - пол на лагах на упругих прокладках



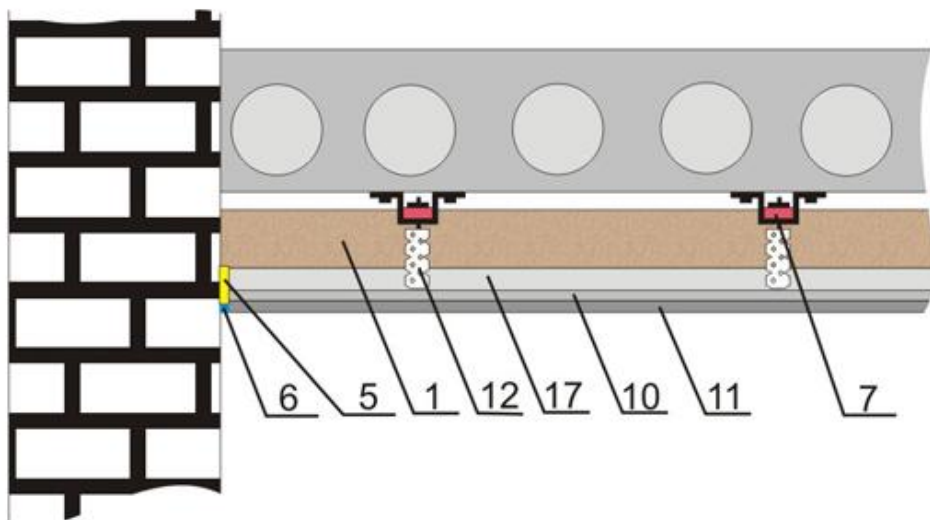
1. герметик;
2. упругая прокладка;
3. деревянная лага;
4. настил пола из ДСП, ОСБ или фанеры;
5. плиты из акустической минеральной ваты;
6. звукоизолирующее крепление

Используется, когда несущая способность межэтажного перекрытия не позволяет выполнить массивную конструкцию плавающего пола с бетонной стяжкой.

**Эффект - от 15 дБ до 25..30дБ.**



### 3. Акустический подвесной потолок на упругих связях



1 – пористый звукопоглотитель (минвата); 5 –упругая прокладка по периметру плиты (4 мм); 6 – нетвердеющий герметик; 7 - звукоизолирующий потолочный подвес ; 10- гипсоволокнистые листы (ГВЛ) толщиной 10 мм; 11 - гипсокартонные листы (ГКЛ) толщиной 12,5 мм; 12 – упругий подвес; 17 - каркас подвесного потолка в двух уровнях.

Эффективность - до 16...19 дБ  
по воздушному шуму, 10...12 дБ  
- по ударному шуму

### 4. Конструктивные меры

