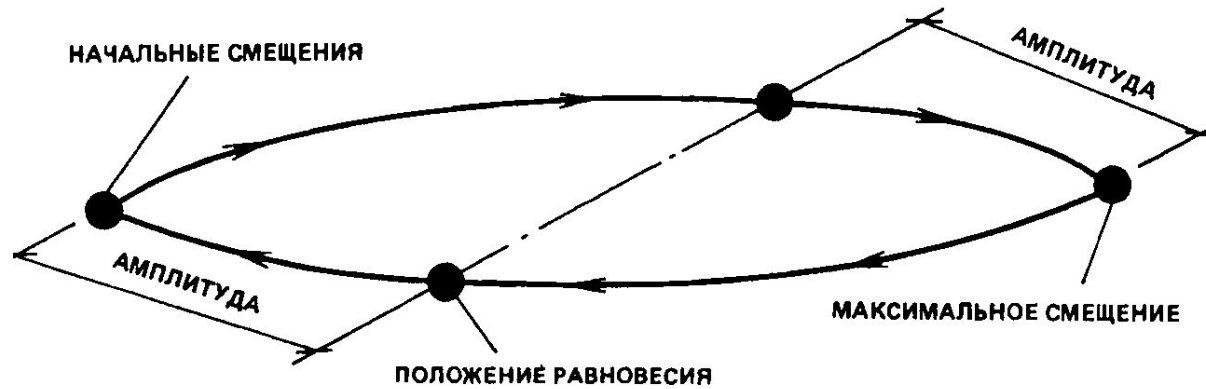


Основы акустики

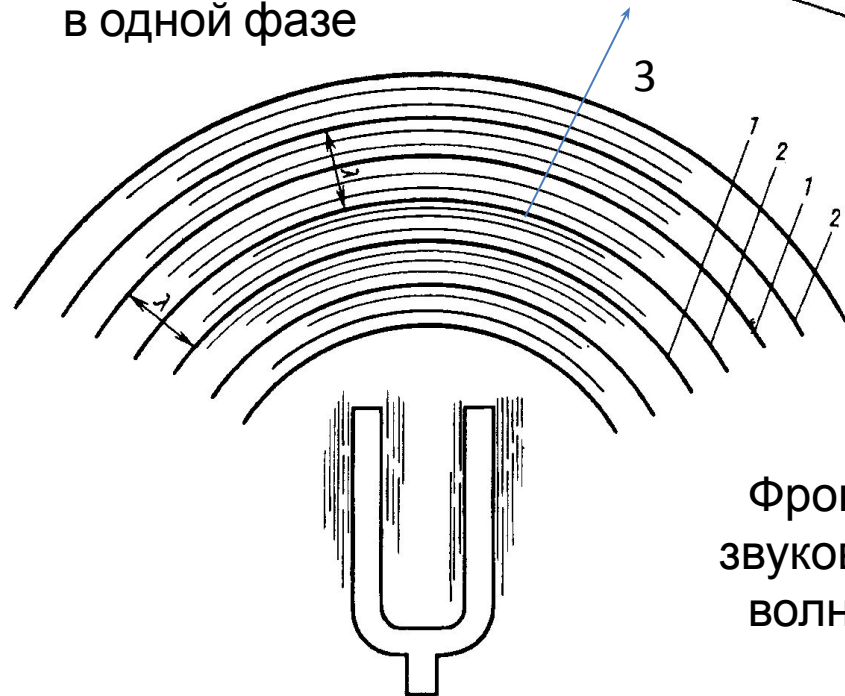
Звуковая волна – процесс распространения колебательного движения в среде

Колеблющиеся частицы упругой среды приходят в колебательное движение под действием возмущающей силы

Фронт звуковой волны – поверхность, проходящая через частицы среды, совершающие колебания в одной фазе



1 – фронт сжатия, 2 – фронт разрежения, 3 – направление распространения (по нормали к фронту)

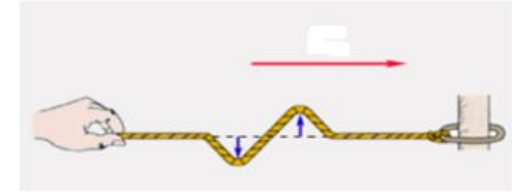
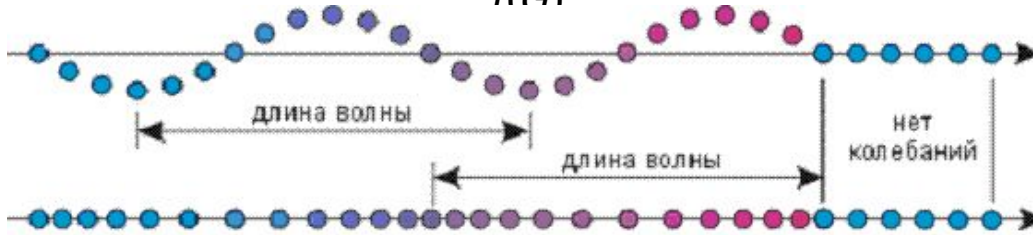
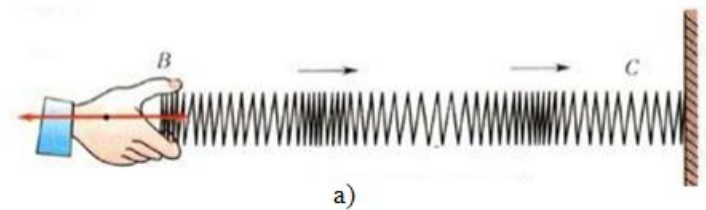


Фронт звуковой волны

- плоски
- и сферически
- и цилиндрически
- и

Твердое упругое тело

Продольные волны $f(E)$
 Поперечные волны $f(G)$



Жидкость (газ)

Продольные волны (наиболее распространенный случай)
 Поперечные волны (только на границе раздела фаз)

Основные физические

характеристики

p – звуковое давление (разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, наблюдаемым при отсутствии звука) фаза сжатия $p > 0$, фаза разрежения $p < 0$.

c – скорость распространения звука (м/с)

λ – длина волны (м).

f – частота колебаний (Гц). $\lambda = \frac{c}{f}$



P – звуковая мощность (количество передаваемой через звук энергии, Вт).

$$D = \frac{P^2}{\rho \cdot c^2}$$

D – плотность звуковой энергии (энергия в единице объема, Вт/м³).

D – величина скалярная (энергия звукового поля в неопределенном направлении)

I – интенсивность звуковой энергии (плотность в одном направлении, звуковая энергия, проходящая через какую-либо площадку => определяется видом звукового поля).

Для свободного звукового поля, в котором звуковые волны идут только в одном направлении (от источника): $I = D \cdot c = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$

Для диффузного звукового поля

(равновероятен приход звука из любого направления): $I = 0,4 \cdot \frac{p^2}{\rho \cdot c}$

но интенсивность звука проходящего только с одной стороны: $Z = \rho c$ – импеданс (акустическое сопротивление среды) $Z = \frac{p}{v} = \rho \cdot c$
 Импеданс введен по аналогии с электрическим импедансом $\rho_{\text{рел}} = \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$

воздух	резина	вода	медь	сталь
417 рел	600 рел	1500 крел	41800 крел	46000 крел

Значения ρ могут меняться в диапазоне $2 \cdot 10^{-5} \dots$

$2 \cdot 10^4$ Па

Уровень интенсивности: $L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} = L$

Пороговое значение: $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$

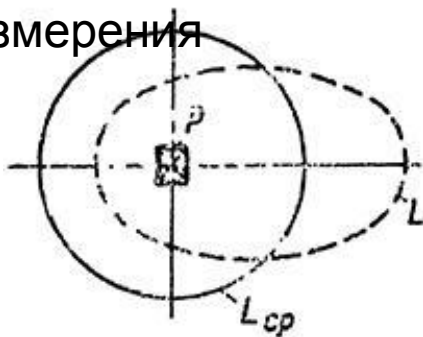
Парадокс: L – безразмерный, но после введения пороговых значений, $\lg(I/I_0)$ – 1 белл, т.е. L [Дб]

Уровень звукового давления, дБ

Болевой порог	134
Пневматический молот	124
Громкий сигнал автомобиля (на расстоянии 1 м)	114
Внутри поезда метро	94
Внутри автобуса	85
Угол пересечения улиц со средним движением	74
Разговорная речь	65
Административное помещение	54
Жилая комната	44
Библиотека	30
Спальня ночью	25
Студия радиовещания	15
Порог слышимости	0

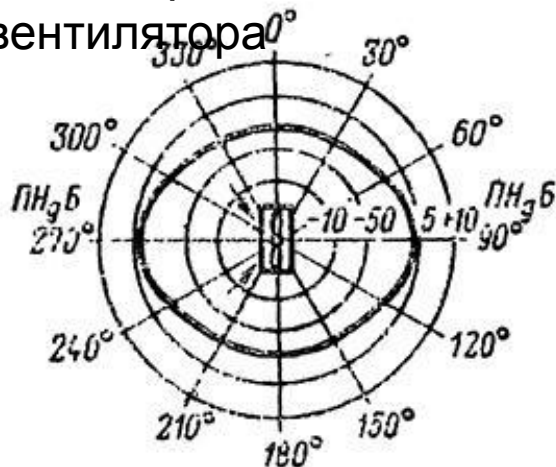
160 дБ – шок, травмы, контузии, 160-200 дБ – разрыв барабанных перепонок, > 200 дБ – смерть.

Алгоритм измерения



а)

ПН центробежного вентилятора



Уровень звуковой мощности:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$$

пороговое значение: 10^{-12}

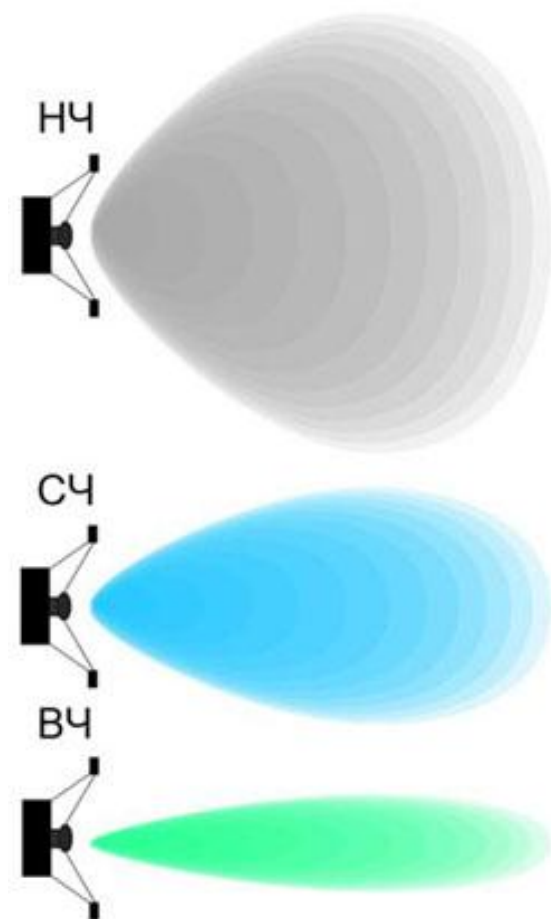
Показатель направленности: $ПН = L - L_{ср}$

L – интенсивность в данном направлении и средняя по направлениям интенсивность.

Фактор направленности:

$$\Phi = \frac{I}{I_{ср}} = \frac{p}{p_{ср}^2}$$

$$ПН = 10 \cdot \lg \Phi$$



Звук (шум) может быть составным не только по направлению, но и по частоте.
 Частотный анализ – разложение сложного колебательного процесса на простейшие составляющие по частоте.

Частотный спектр – величины, характеризующие распределение энергии шума по частотному диапазону (обычно по звуковому давлению, звуковой мощности).

Средняя частота полосы $f_{cp} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$

Ширина спектра $f_2/f_1 = 2$ – одна октава, $f_2/f_1 = \sqrt[3]{2} \approx 1,26$ – треть октавы.

Более мелкие

интервалы:

Цент: две частоты с разницей в 1

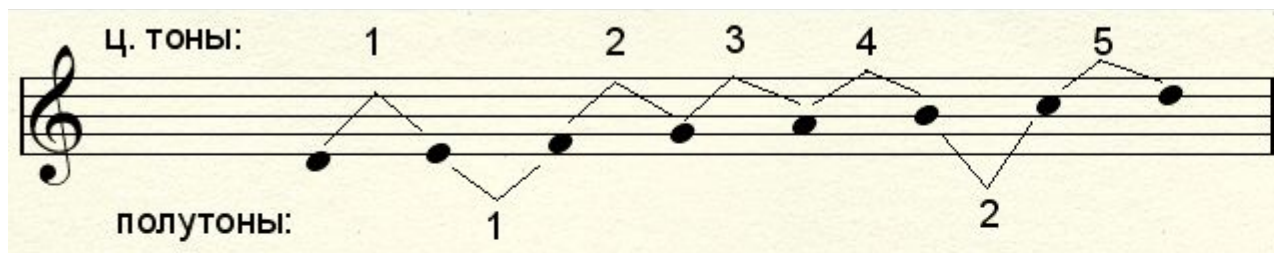
$$\frac{a}{b} = 2^{\frac{1}{1200}} = 1,0005777895...$$

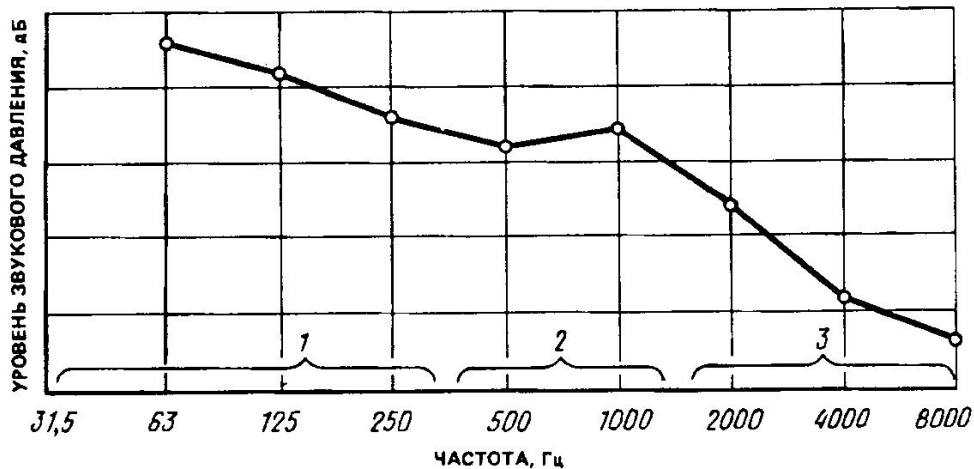
цент:

Или отношение частот в
 центах:

$$n = 1200 \cdot \log_2 \frac{a}{b}$$

В музыке используется понятие тона, которое не имеет одной величины (зависит от музыкального строя). Равномерно темперированный строй делит октаву на 12 полутонов. Пифагоров строй – по «школе гармоники»

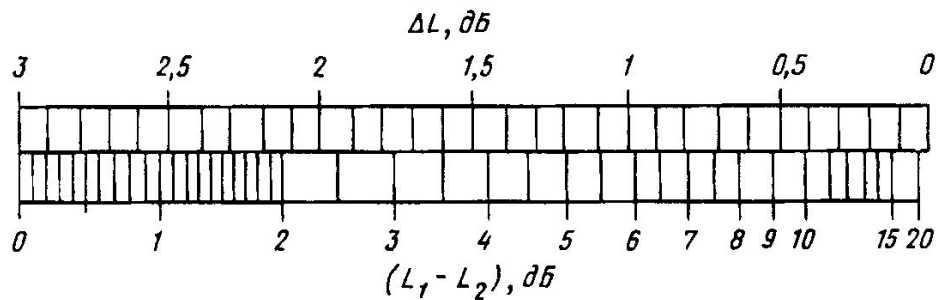




Спектр шума: 1 – низкие частоты, 2 – средние частоты, 3 – высокие частоты

Выделяется эквивалентный шум, т.е. приведенный к одной частоте, в этом случае эквивалентный (по энергии, «взвешенный») уровень звука с размерностью дБА (дБ(A), то есть - с фильтром «А»).

Номограмма для быстрого суммирования уровней шума:



1. Определяем больший уровень L_1 и меньший уровень L_2 .
2. Находим $L_1 - L_2$.
3. По номограмме определяем ΔL .

Сложение шумов по точной методике (разных шумов разных уровней $L_1 + \Delta L$ полос)

Общий уровень звуковой

мощности

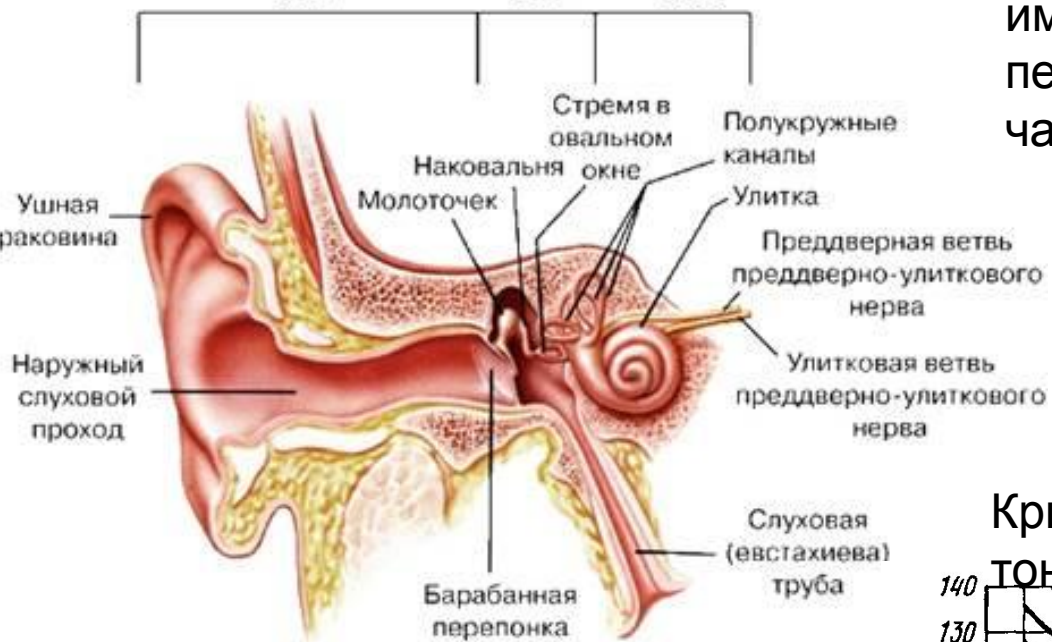
Здесь L_w – уровень звуковой мощности по 8-ми октавным полосам по шкале коррекции А

$$L_{w\Sigma} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_{w1}} + 10^{0,1 \cdot L_{w2}} + \dots + 10^{0,1 \cdot L_{w8}})$$

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коррекция, дБ	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	+1,1

Приведенный по этой таблице шум получается в дБА

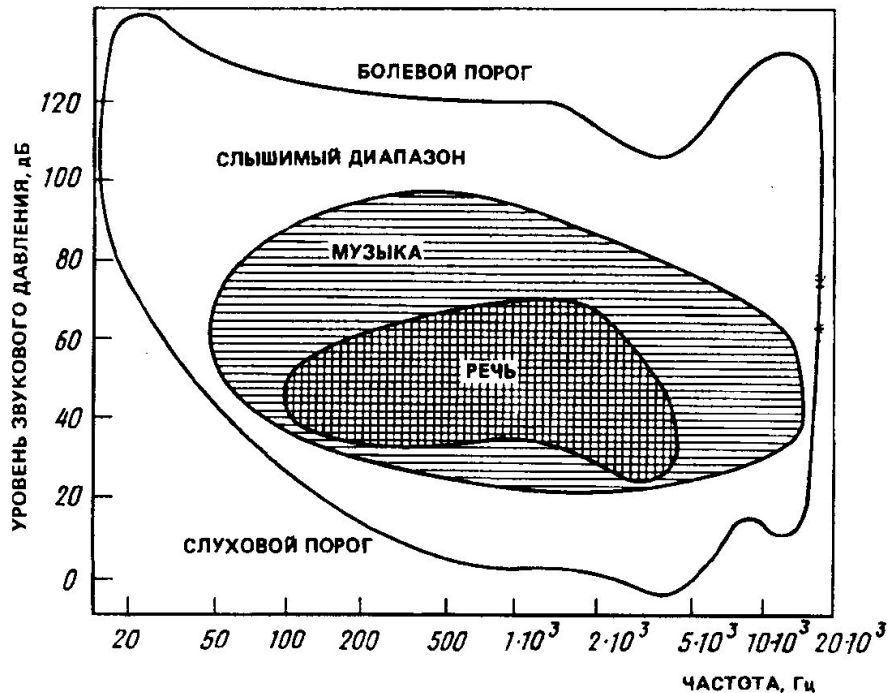
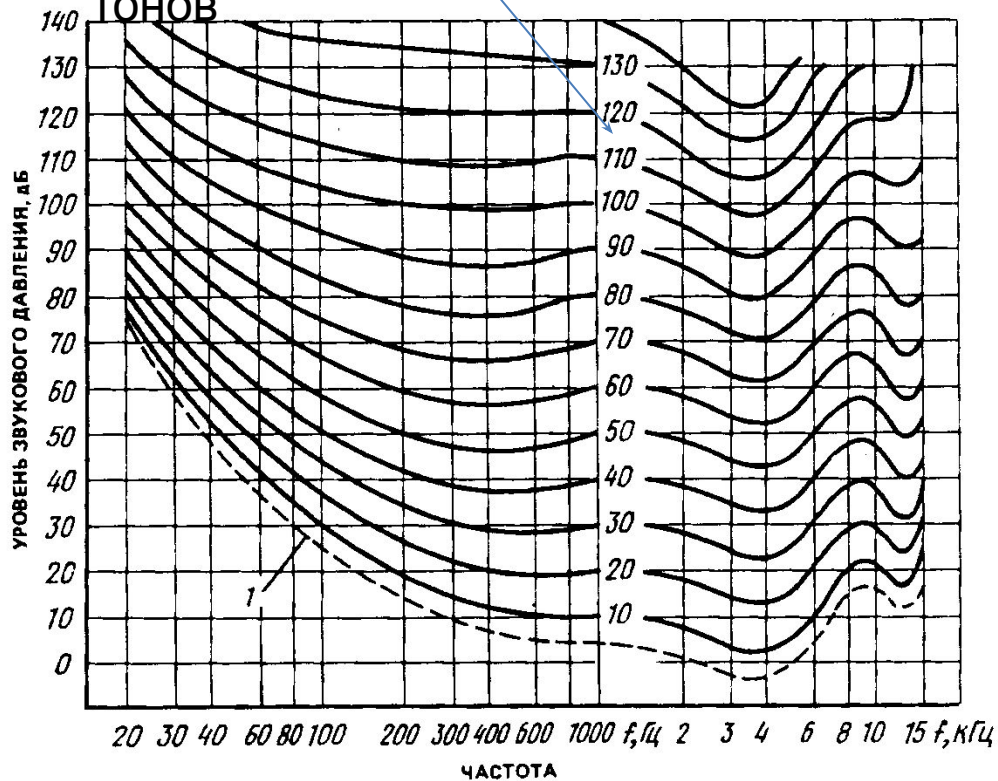
НАРУЖНОЕ УХО **СРЕДНЕЕ УХО** **ВНУТРЕННЕЕ УХО**



Наружное ухо согласовывает импеданс воздуха и барабанной перепонки в диапазоне > 800 Гц, при частоте < 400 Гц согласование плохое.

Фоны – логарифмическая оценка громкости звука (делается коррекция для разных частот) для 1000 Гц фоны совпадают с дБ.

Кривые одной громкости для чистых ТОНОВ

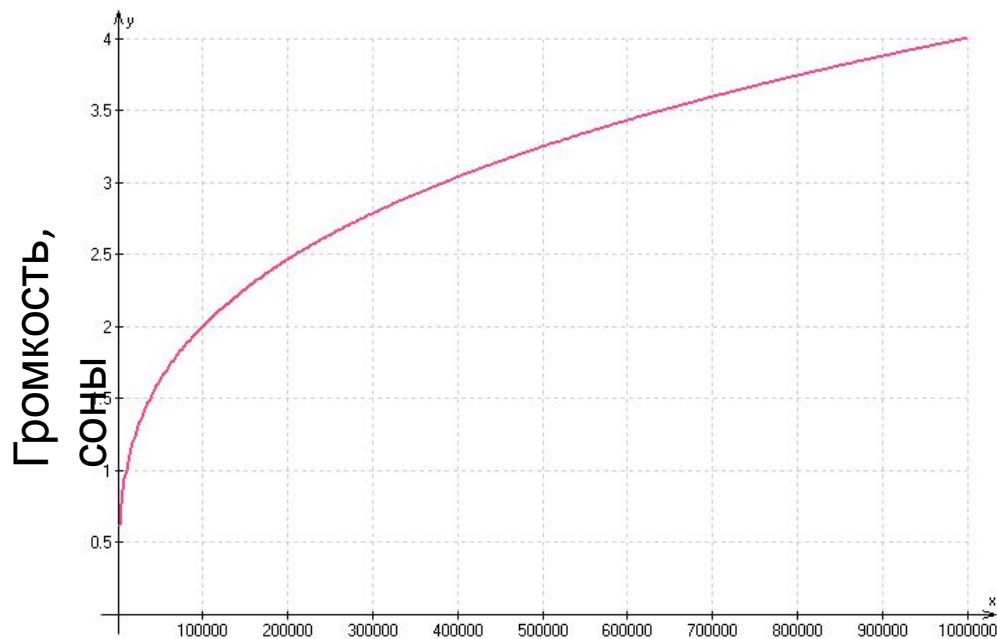


Громкость звука J – психологическая оценка, измеряется в сонах.

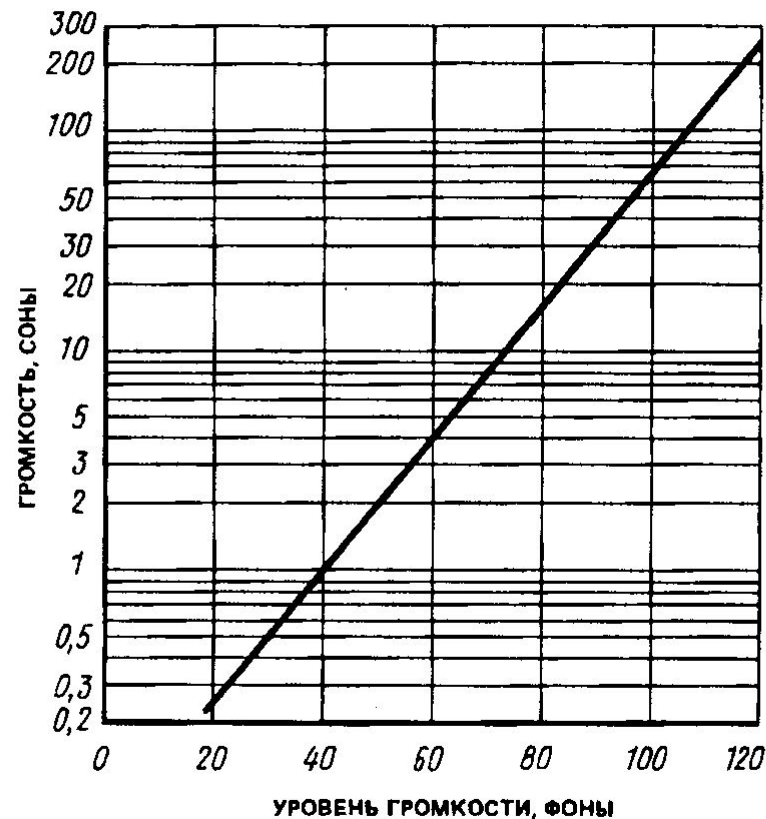
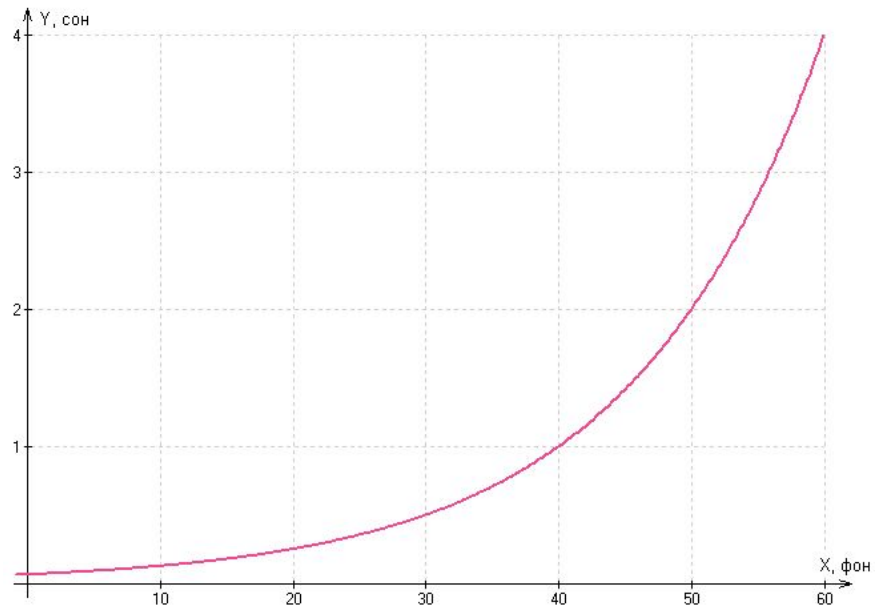
$$J = k \cdot I^{1/3}$$

k – коэффициент пропорциональности, I – интенсивность звука.

Фактически громкость 1 сон – уровень в 40 Дб тона с частотой 1000 Гц. При увеличении уровня на 10 Дб громкость в сонах удваивается.

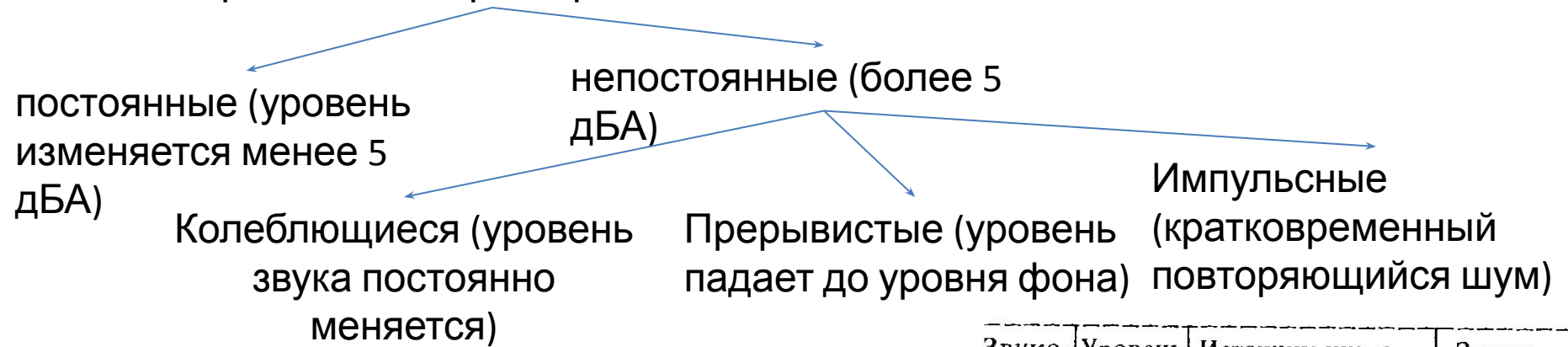


Отношение интенсивности звука к условному значению пороговой



Классификация звуков и шумов

1. По характеру спектра – широкополосные, тональные.
2. По частоте – низкочастотные (максимальный уровень звукового давления до 300 Гц), среднечастотные (300...800 Гц), высокочастотные (свыше 800 Гц).
3. По временным характеристикам



Непостоянные шумы оценивают по эквивалентным уровням (по энергии)
 Эквивалентный уровень непостоянного шума – это уровень постоянного постоянного шума, имеющего ту же энергию:

$$L_{\text{экв}} = 10 \cdot \lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 \cdot L} dt$$

Здесь: T – время наблюдения, t – текущее время

Звуковая мощность, Вт	Уровень звуковой мощности, дБ	Источник шума	Звуковая мощность источника шума, Вт
10^8	200	Ракета Сатурн	$5 \cdot 10^7$
10^6	180	Самолет с 4 реактивными двигателями	$5 \cdot 10^4$
10^4	160	Большой оркестр	10
100	140	Клепальный молоток	1
1	120	Громкий крик	10^{-3}
0,01	100	Обычная беседа	$20 \cdot 10^{-6}$
10^{-4}	80	Шепот	10^{-9}
10^{-6}	60		
10^{-8}	40		
10^{-10}	20		
10^{-12}	0		