

# Техническая акустика и защита от шума



## Лекция №2

Уравнение плоской синусоидальной волны. Волновое число.

Уравнение сферической волны

Диапазоны частот акустических волн.

Понятия шума, основного тона, обертона, тембра музыкальных звуков.

Громкость звука, порог слышимости, порог осязания.

Уровень интенсивности акустических волн. Ультразвук.

# 6 Уравнение плоской синусоидальной волны. Волновое число

!!! Волна называется плоской, если ее волновые поверхности представляют собой параллельные друг другу плоскости, перпендикулярные фазовой скорости волны



# Уравнение имеет вид:

$$\downarrow S = A \cdot \sin \left[ \omega \cdot \left( t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0 \right]$$

$S$  зависит не только от времени, но и от координаты.

$v$  – скорость распространения волны,  $A$  – амплитуда волны, аргумент синуса – фаза волны,  $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний в точке  $x = 0$ ,  $\omega$  – частота (циклическая) волны.

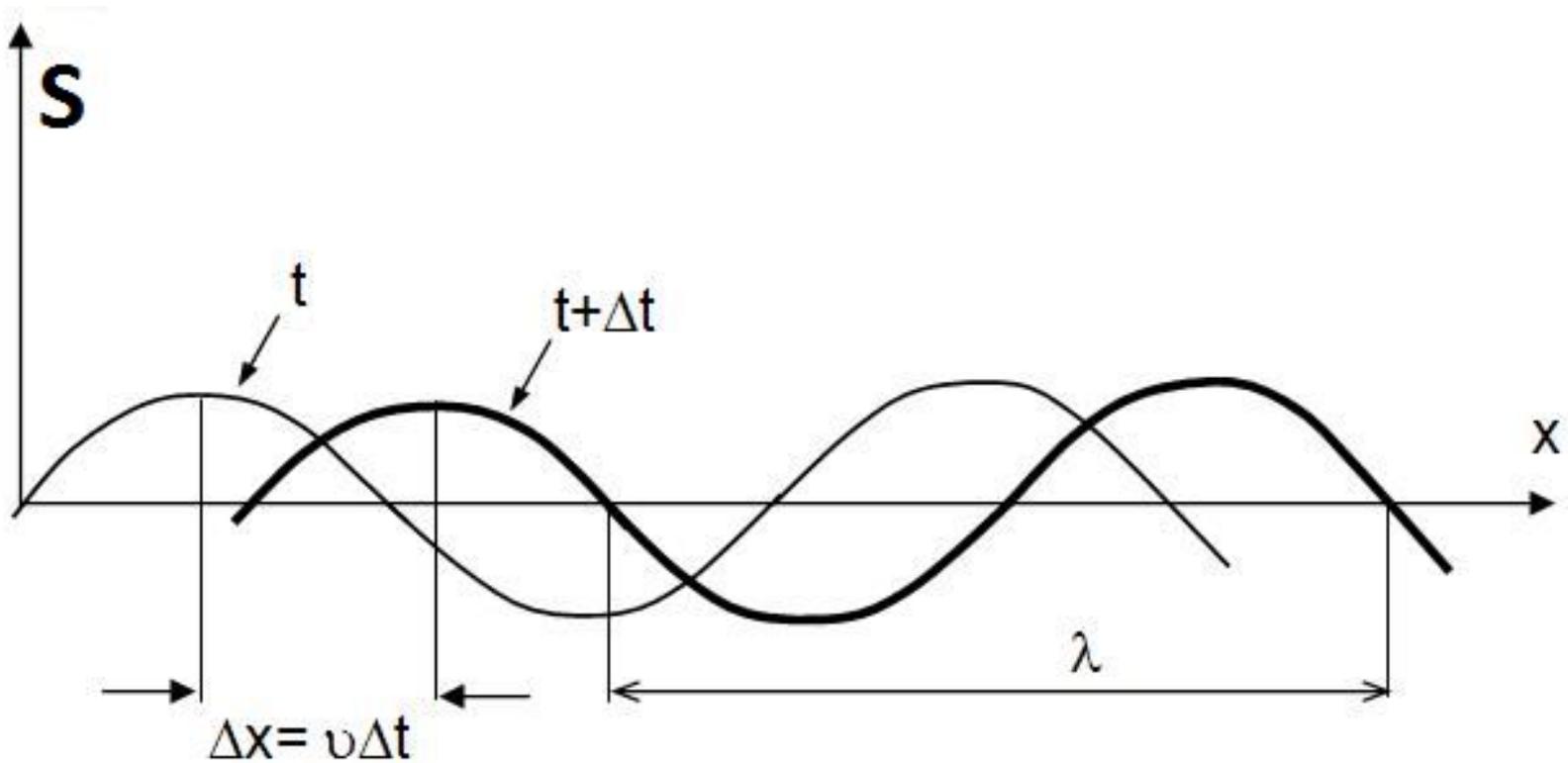
Расстояние, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний, называется **ДЛИНОЙ ВОЛНЫ**  $\lambda = vT$ .

Введем **ВОЛНОВОЕ ЧИСЛО**  $k$ , равное:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Тогда уравнение плоской волны примет вид:

$$S = A \cdot \sin[\omega t - kx + \varphi_0]$$

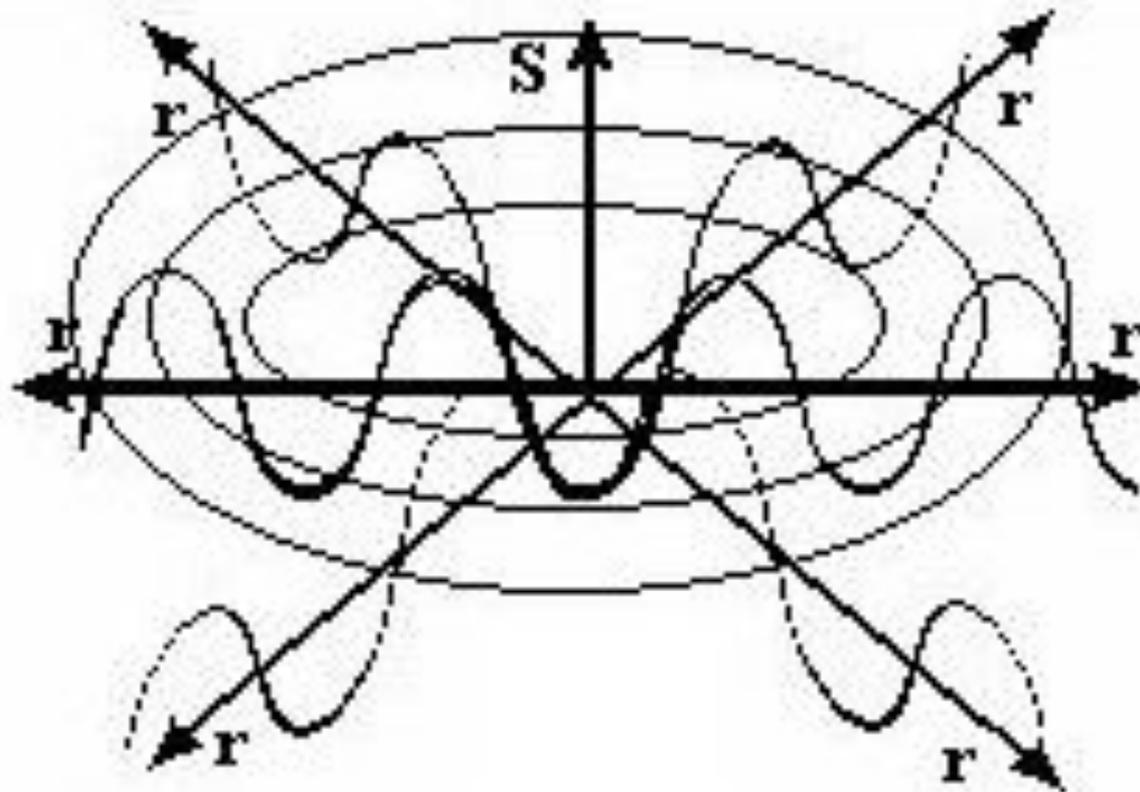


# 7 Уравнение сферической волны

□ При записи уравнения сферической волны учитывается, что амплитуда волны убывает с расстоянием от источника:

$$S = \frac{A_0}{r} \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \varphi_0)$$

$\vec{k}$  – ВОЛНОВОЙ ВЕКТОР, модуль которого  $|\vec{k}|$  равен волновому числу, а направление совпадает с направлением луча распространения волны.



# 8 Диапазоны частот акустических волн

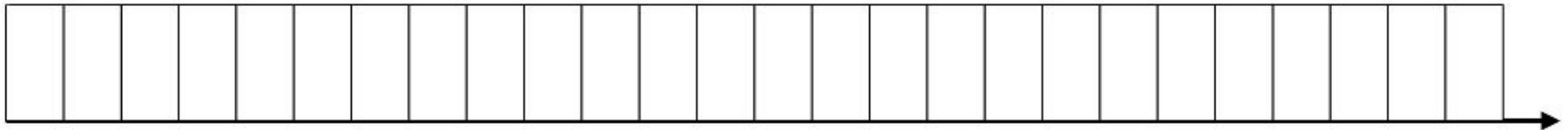
- Инфразвуковой — ниже 20 Гц.
- Звуковой — от 20 Гц до 20 кГц (в него полностью укладывается диапазон средне статистических людей слышимых человеческим ухом частот). Более 20 кГц человеческое ухо может услышать диапазон. Изначально с рождения ребёнок слышит ультразвук с частотой более 20 кГц, но после в возрасте происходит уплотнение стенок перепонки.
- Ультразвуковой — от 20 кГц до 100 кГц.
- Гиперзвуковой — свыше 100 кГц.

# Шкала диапазона частот

20 Гц

20 кГц

100 МГц



2

4

6

8

10

12

14

16

18

20

22

24

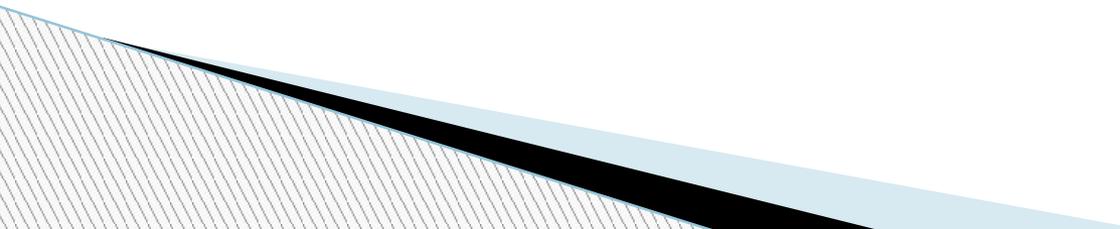
26

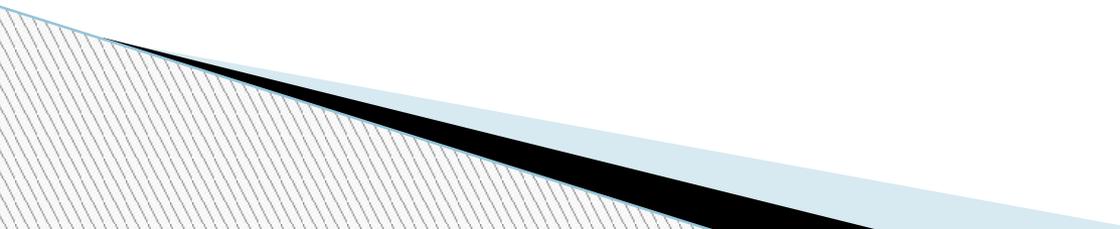
*Инфразвуки* *Звуковые колебания* *Ультразвуковые колебания* *Гиперзвук*

# 9 Понятия шума, основного тона, обертона, тембра музыкальных звуков.

**Шум** — беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной спектральной структуры.

Шум – одновременное сочетание звуков различной частоты.



- ▣ *Чистый тон* - это звук , совершающий гармонические колебания одинаковой частоты.
  - ▣ Звуки разных источников (например разные музыкальные инструменты, человеческий голос, звуки посторонних предметов и т.д ) вместе составляют совокупность гармонических колебаний разных частот.
  - ▣ Основной частотой называется самая маленькая частота этого многосоставного звука, а звук который ей соответствует и он определенной высоты называется основным тоном.
- 

- ▣ **ОБЕРТОН** (от нем. Oberton - высокий тон, высокий звук) - синусоидальная составляющая звуковых колебаний сложной формы с частотой, более высокой, чем *основной тон*.
- ▣ Любое периодическое колебание можно представить как сумму основного тона и обертонов, причём частоты и амплитуды этих обертонов определяются как физическими свойствами колебательной системы, так и способом её возбуждения.

- Если частоты всех обертонов - целые кратные основной частоте, то такие обертоны называют гармоническими или гармониками. Если же частоты зависят от основной частоты более сложным образом, то говорят о негармонических обертонах. В этом случае представление периодических колебания в виде суммы гармоник будет приближённым, но тем более точным, чем большее число гармоник взято.

- Если частота основного тона  $f$  (первая гармоника), то частота второй гармоники равна  $2f$  или близка к этому значению, частота третьей  $3f$  и т. д. Состав и количество обертонов сложного звука определяет его качественную окраску, или *тембр* звука.

- ▣ Тёмбр (фр. timbre — «колокольчик», «метка», «отличительный знак») — колористическая (обертоновая) окраска звука; одна из специфических характеристик музыкального звука (наряду с его высотой, громкостью и длительностью).
- ▣ По тембрам отличают звуки одинаковой высоты и громкости, но исполненные на различных инструментах, разными голосами, или же на одном инструменте, но разными способами, штрихами и т. п.

- При восприятии тембров обычно возникают различные ассоциации: тембральную специфику звука сравнивают с органолептическими ощущениями от тех или иных предметов и явлений, например, звуки называют *яркими, блестящими, матовыми, тёплыми, холодными, глубокими, полными, резкими, насыщенными, сочными, металлическими, стеклянными*; применяются и собственно слуховые определения (например, *звонкие, глухие, шумные*).

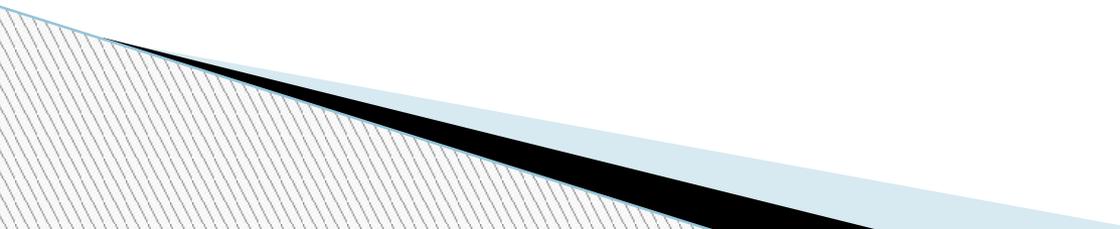
# 10 Громкость звука, порог слышимости, порог осязания

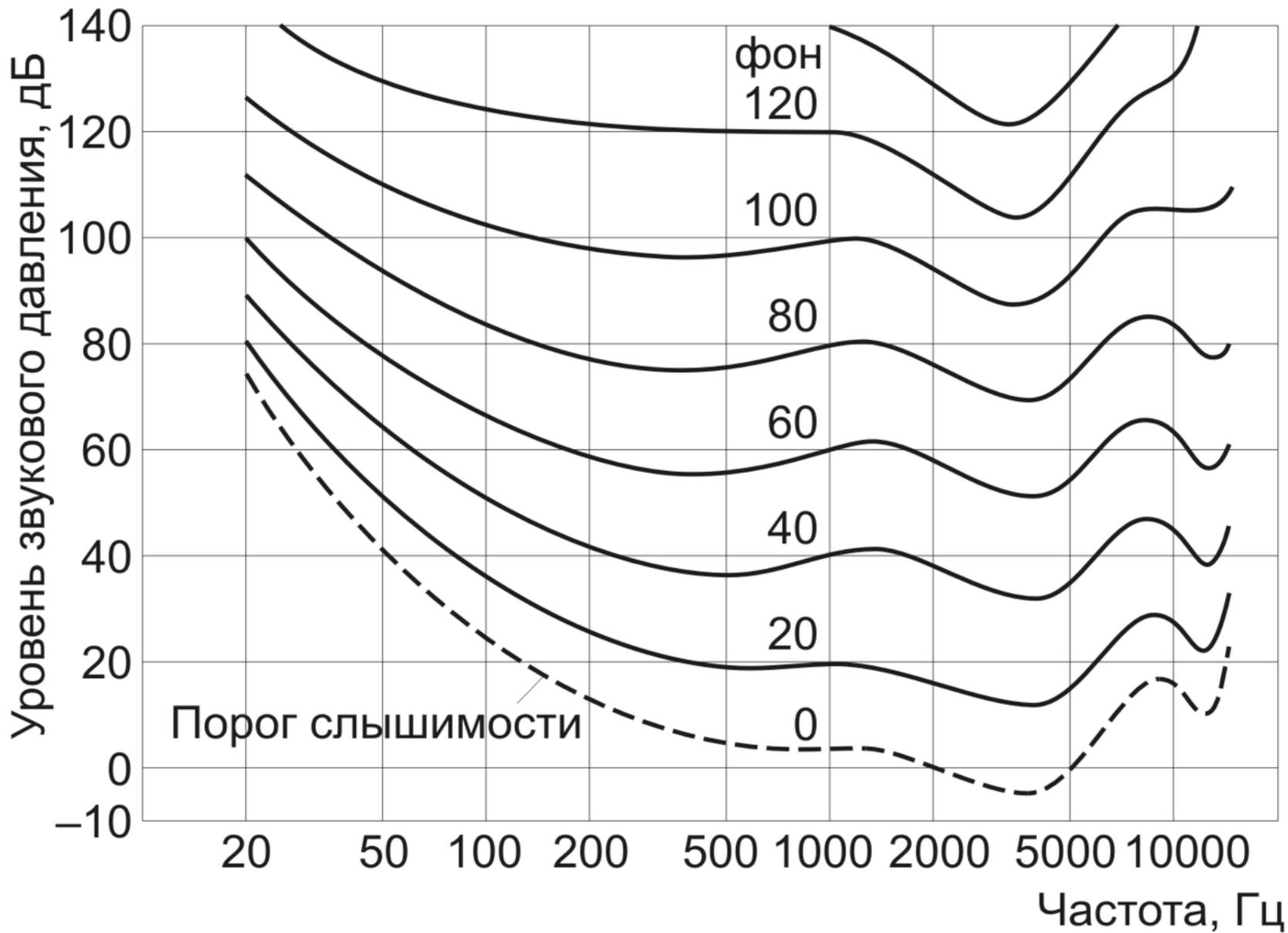
Человек номинально слышит звуки в диапазоне от 16 до 20 000 Гц.

Диапазон громкости воспринимаемых звуков огромен. Но барабанная перепонка в ухе чувствительна только к изменению давления. Уровень давления звука принято измерять в децибелах (дБ).

- Нижний порог слышимости определён как 0 дБ (20 микропаскаль)  $20 \cdot 10^{-5}$  Па, а определение верхнего предела слышимости относится скорее к порогу дискомфорта и далее — к нарушению слуха, контузии и т. д. Этот предел зависит от того, как долго по времени мы слушаем звук. Ухо способно переносить кратковременное повышение громкости до 120 дБ без последствий, но долговременное восприятие звуков громкостью более 80 дБ может вызвать потерю слуха.

Минимальный порог, при котором звук остаётся слышен, зависит от частоты. График этой зависимости получил название *абсолютный порог слышимости*. В среднем, он имеет участок наибольшей чувствительности в диапазоне от 1 кГц до 5 кГц, хотя с возрастом чувствительность понижается в диапазоне выше 2 кГц.



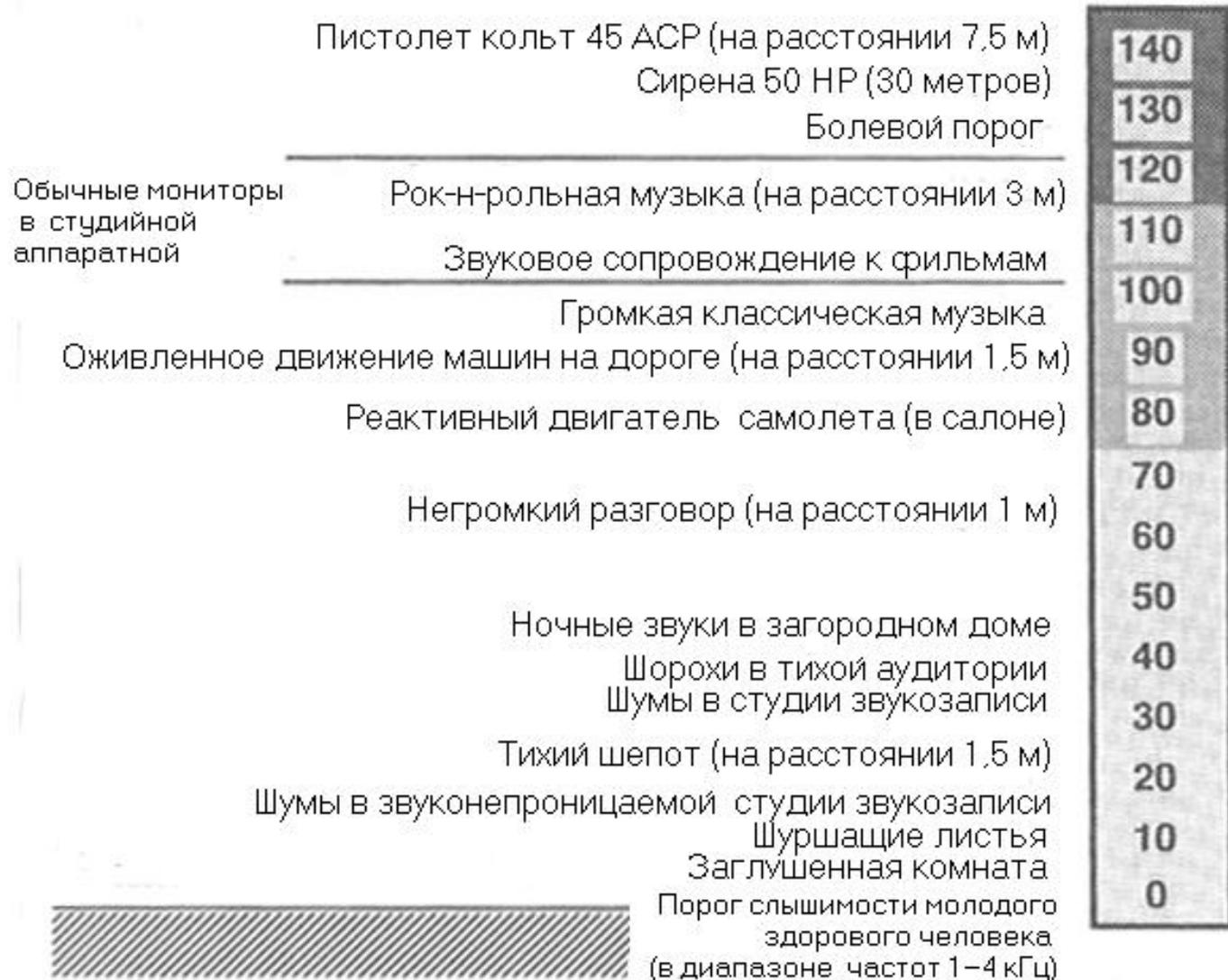


- Человеческий слух во многом подобен спектральному анализатору, то есть ухо распознаёт спектральный состав звуковых волн без анализа фазы волны. В реальности фазовая информация распознаётся и очень важна для направленного восприятия звука, но эту функцию выполняют ответственные за обработку звука отделы головного мозга.

- Разница между фазами звуковых волн, приходящих на правое и левое ухо, позволяет определять направление на источник звука, причём информация о разности фаз имеет первостепенное значение, в отличие от изменения громкости звука воспринимаемого разными ушами.

▣ *Порогом осязания* ( порогом болевого ощущения) называется наибольшая интенсивность звуковой волны, при которой восприятие звука не вызывает болевого ощущения. Порог осязания зависит от частоты звука, изменяясь от  $0,1 \text{ Вт/м}^2$  при  $6000 \text{ Гц}$  до  $10 \text{ Вт/м}^2$  при низких и высоких частотах.

Громкость, дБ.	Характеристика звука	Звуковое давление, Па	Поток мощности мкВт/м <sup>2</sup>
0	Порог слышимости	$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6}$
10	Тихий шепот на расст. 1 м	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$10^{-5}$
20	Шелест листвы	$2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$
30	Шепот на расст. 1 м	$6,4 \cdot 10^{-4}$	0,001
40	Тихий разговор на расст. 1 м	0,002	0,01
50	Слабая работа громкоговорителя	0,064	0,1
60	Обычный разговор на расст. 1 м	0,02	1
70	Машинное отделение. Внутри трамвая	0,064	10
80	Громкая работа громкоговорителя	0,2	100
90	Пневматический молот.	0,64	1000
100	Котельные работы Клепальная машина, автосирена	2	10000

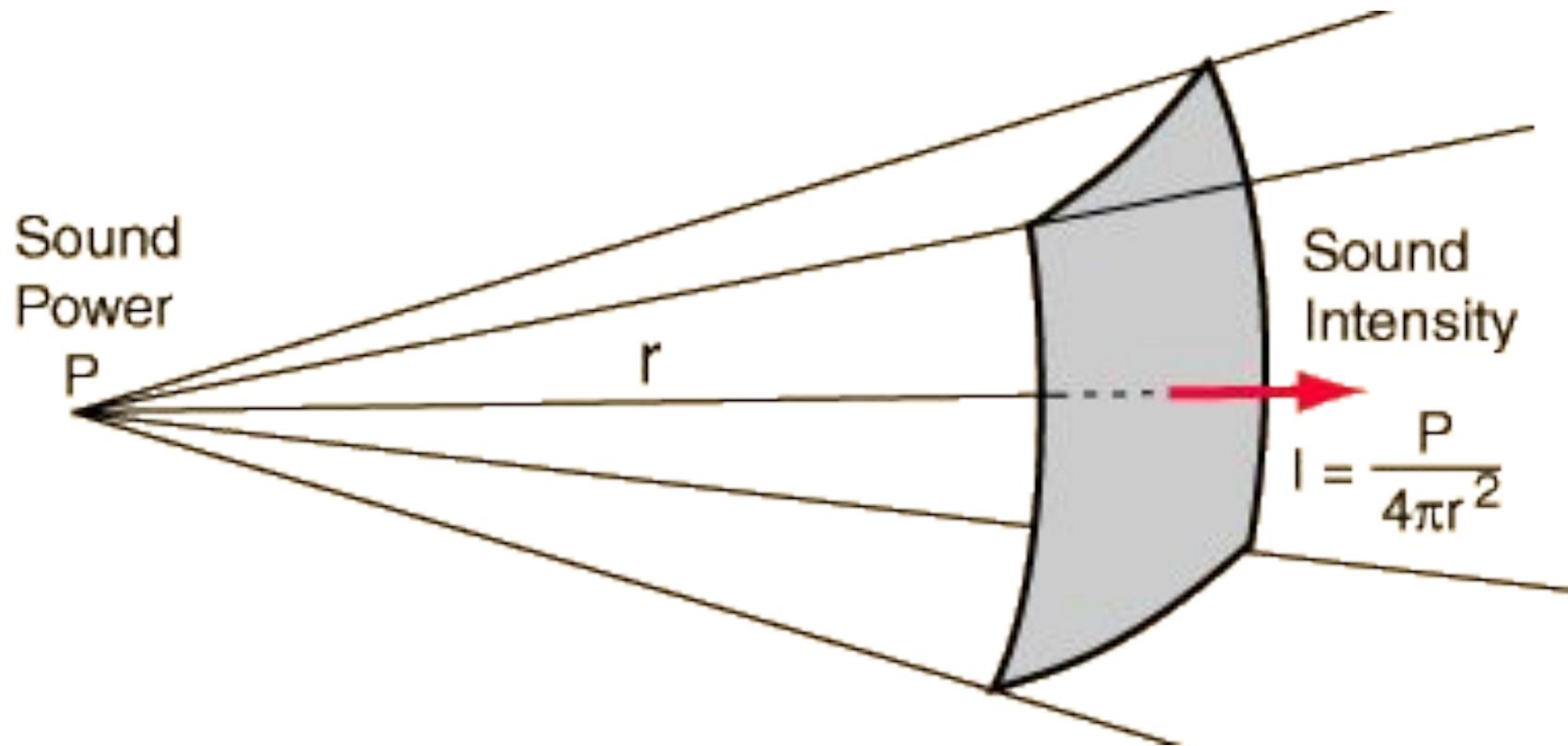


Примечание. 1. Установлено, что некоторые люди могут слышать звуки, имеющие звуковое давление ниже 0дБ.  
 2. Беззховые камеры могут быть очень шумными. Тот факт, что камера не отражает звук, не означает, что она хорошо защищена от проникновения звуков извне.

# 11. Уровень интенсивности акустических волн, интенсивность. Ультразвук

- ▶ Интенсивность звука — скалярная физическая величина, характеризующая мощность, переносимую звуковой волной в направлении распространения. Количественно интенсивность звука равна среднему по времени потоку звуковой энергии через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению распространения звука:

$$I = \frac{1}{T} \int_{t}^{t+T} \frac{dP}{dS} dt$$



- Звуки способны сильно различаются по интенсивности, потому удобнее рассматривать интенсивность как логарифмическую величину и измерять в децибелах (дБ).

Логарифмическая величина интенсивности представляет собой логарифм отношения рассматриваемого значения величины к ее значению, принимаемому за исходное.

- ▣ Уровень интенсивности  $I$  по отношению к некоторой условно выбранной интенсивности  $I_0$  равен:

$$\beta = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ}$$

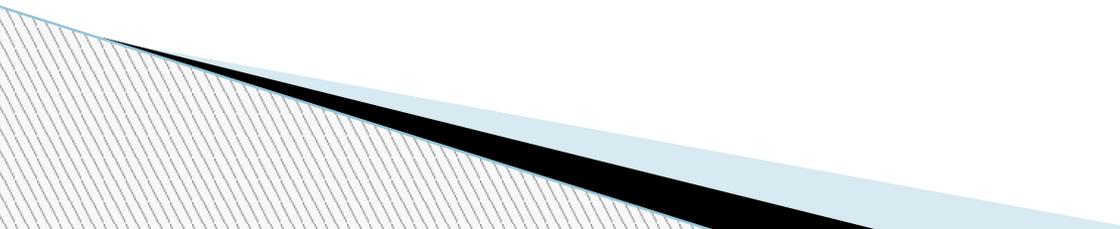
- ▶ Таким образом, один звук, превышающий другой по уровню интенсивности на 20 дБ, превышает его в 100 раз по интенсивности.

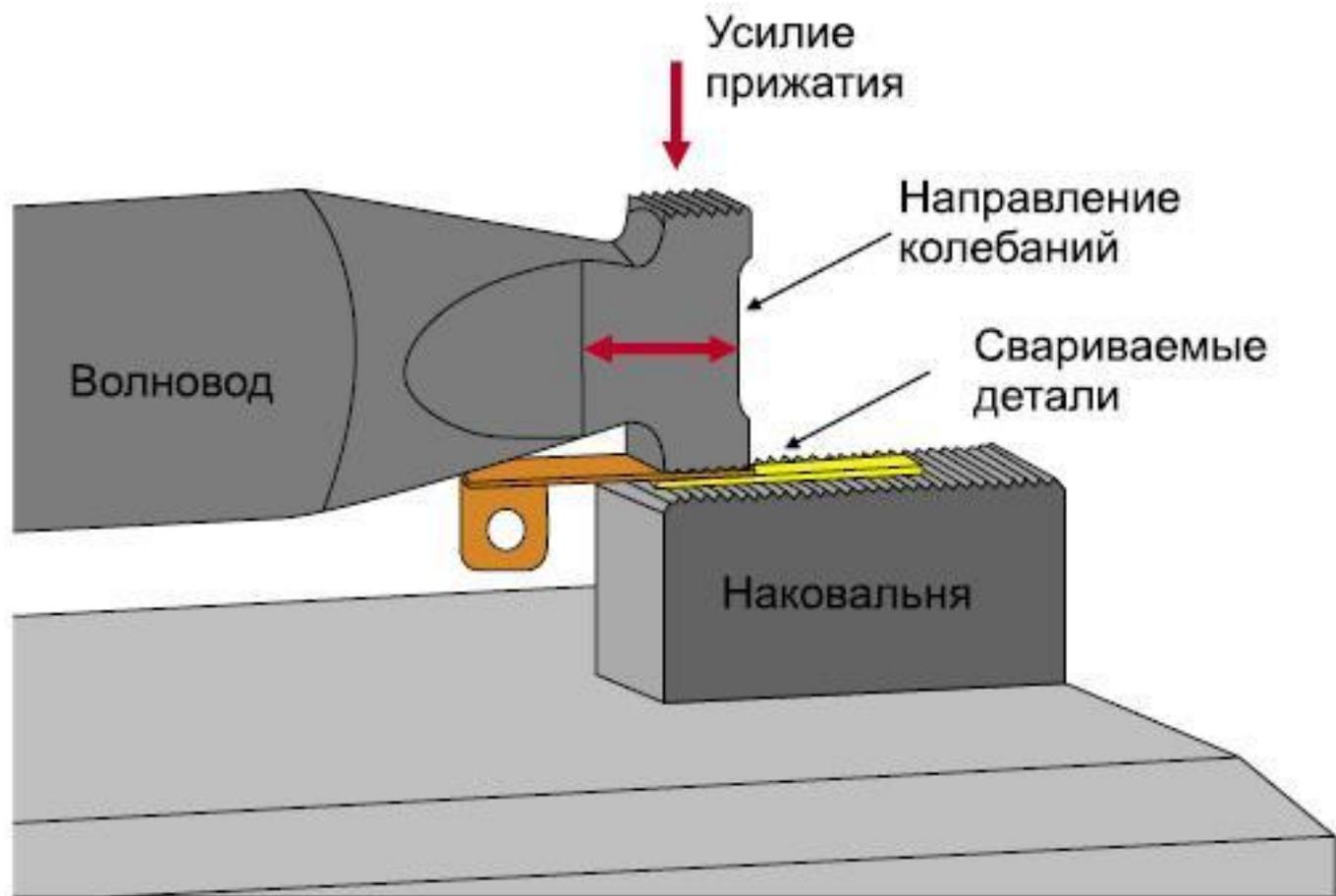
- ▣ **Ультразвук** — упругие колебания в среде с частотой за пределом слышимости человека. Обычно под ультразвуком понимают частоты выше 20 000 Гц.

- Частота ультразвуковых колебаний, применяемых в промышленности и биологии, лежит в диапазоне от нескольких десятков КГц до единиц МГц. Высокочастотные колебания обычно создают с помощью пьезокерамических преобразователей, например, из титанита бария. В тех случаях, когда основное значение имеет мощность ультразвуковых колебаний, обычно используются механические источники ультразвука. Первоначально все ультразвуковые волны получали механическим путем (камертоны, свистки, сирены).

- В природе УЗ встречается как в качестве компонентов многих естественных шумов (в шуме ветра, водопада, дождя, в шуме гальки, перекачиваемой морским прибоем, в звуках, сопровождающих грозные разряды, и т. д.), так и среди звуков животного мира. Некоторые животные пользуются ультразвуковыми волнами для обнаружения препятствий, ориентировки в пространстве и общения (киты, дельфины, летучие мыши, грызуны).

# Применение ультразвука:

- ▣ В медицине (УЗИ)
  - ▣ Применение ультразвука в косметологии
  - ▣ Резка и сварка металла
  - ▣ Приготовление гомогенных смесей
  - ▣ В биологии
  - ▣ Чистка в промышленности и быту
  - ▣ Применение ультразвука в эхолокации
  - ▣ Применение ультразвука в расходомерии
  - ▣ В дефектоскопии
  - ▣ В гальванотехнике
- 



**Рис. 4.** Ультразвуковая сварка металлов

- ▣ **Свисток Гальтона** — акустический излучатель, работающий по принципу свистка (рассечение воздушного потока клином, расположенным рядом с акустическим резонатором). Первое изобретенное устройство для получения ультразвука.