

## Речь человека

- Человек имеет акустический передатчик.
- При образовании звуков речи воздушный поток из легких проходит через трахею, голосовую щель, гортань и затем разветвляется в носоглотку и полость рта.

- Из носоглотки воздушный поток выходит через ноздри, из полости рта через ротовое отверстие.
- При вдохе и выдохе голосовая щель полностью открыта, при произношении некоторых звуков, называемых вокализованными, голосовые связки колеблются (вибрируют), голосовая щель то увеличивается, то уменьшается, то полностью закрывается.

- В результате колебаний голосовых связок, воздушный непрерывный поток, идущий из легких, преобразуется в импульсный, создавая на выходе перепады звукового давления.
- Частоту колебаний голосовых связок называют частотой основного тона.

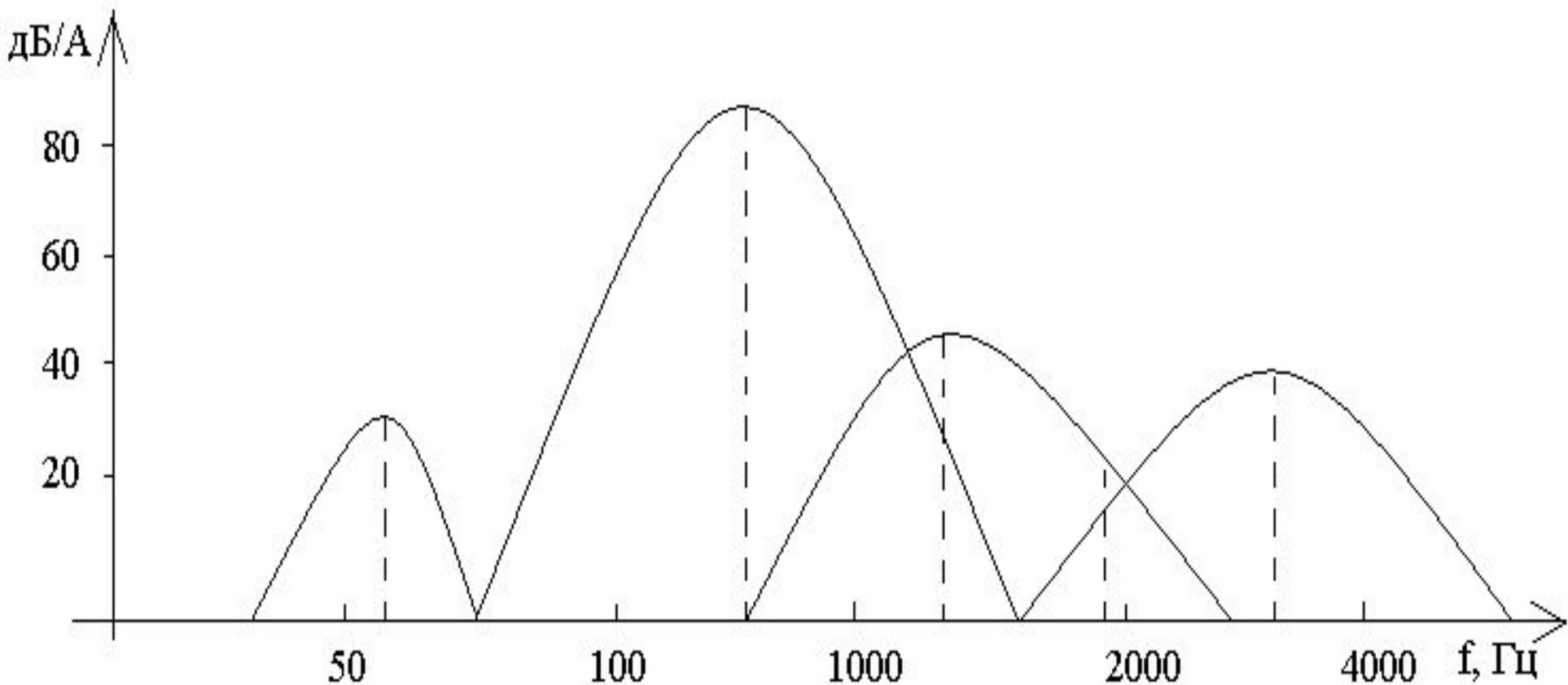
- При произношении глухих согласных звуков, называемых невокализованными, голосовые связки не вибрируют, однако из-за прохождения воздуха между кончиком рта и языка, зубами, губами воздушный поток завихрится, и создается шум.

- Полость рта и носоглотки представляет собой акустические резонаторы, проходя которые одни частоты ослабевают, другие усиливаются.
- Каждому элементарному акустическому звуку, называемому фонемой, соответствует определенная форма акустических резонаторов, обусловленная формой губ, зубов, размером гортани, положением языка и т.д.
- У людей индивидуальный голосовой аппарат и это дает возможность идентифицировать речь человека.

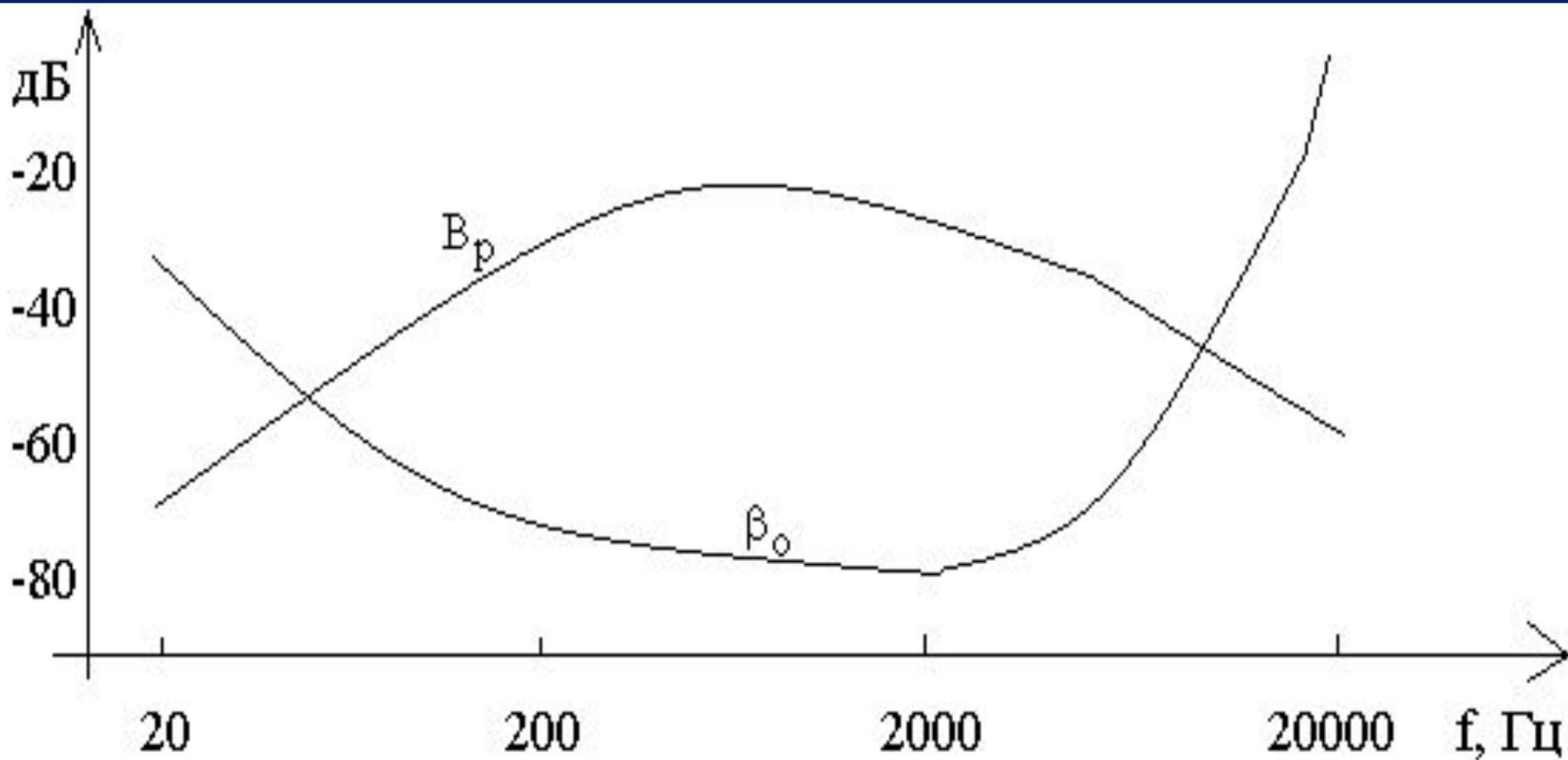
- Каждая фонема (звук речи) имеет характерное для нее распределение энергии по частоте.
- В русском языке 44 фонемы.
- В диапазоне звуковых частот есть участки спектра на которых более высокий уровень спектральных составляющих, чем на соседних частотах. Эти участки спектра называются формантными, а частоты, соответствующие максимальным составляющим – формантными частотами.

- В русской речи обычно наблюдаются от одной до шести формант.
- Взаимное расположение формант, их число и размещение для одних и тех же звуков в различных звукосочетаниях могут значительно различаться.
- Однако взаимное расположение формантных областей имеет в среднем определенное положение. Это дает возможность распознавания речи с помощью ЭВМ.

# Пример формант звука мужского ГОЛОСА



# Нормированный спектр речи - $V_p$ и порог слышимости - $\beta_0$



# ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ

- Звуковой волной называют процесс распространения переменного во времени возмущения в упругой среде в диапазоне частот от единиц Герц до 20 кГц.
- Чаще всего звуковые колебания описывают совокупностью простых волн: плоской, сферической, цилиндрической.

# Плоская волна

■ Энергия не расходится в разные стороны и интенсивность звука зависит лишь от вязкости среды, молекулярного рассеяния, турбулентного затухания и дифракции воли. Если этим пренебречь, то интенсивность звука не будет зависеть от расстояния.

Общее решение волнового уравнения плоской волны содержит два члена – прямую и обратную волны

$$P = \varphi_1(t - x/C) + \varphi_2(t + x/C)$$

где  $C$  – скорость звуковой волны;  
 $x$  – расстояние.

- Для прямой волны давление

$$P = P_m e^{j\omega(t - \frac{x}{c})} = P_m e^{j(\omega t - kx)}$$

где  $k = \frac{\omega}{c}$  – волновое число;

$\omega = 2\pi f$ ;  $P_m$  – амплитуда звукового давления.

# Скорость плоской волны

$$V = V_m e^{j(\omega t - kx)} = V_m e^{j\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)}$$

где  $V_m$  - амплитуда скорости колебаний.

Удельное акустическое сопротивление

$$\delta_a = \frac{P}{V} = \frac{P_m}{V_m} = \rho c.$$

- Для воздуха при  $t = 20 \text{ C}$  и нормальном звуковом давлении удельное акустическое сопротивление будет

$$\delta_a = 413 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^2 \text{с}}$$

# Сферическая волна

- Фронт сферической волны представляет собой сферу, в центре которой источник колебаний, а звуковые лучи являются радиусами сферы.
- Интенсивность звука с удалением источника уменьшается по квадратичному закону

$$I_T = \frac{I_1}{R^2},$$

где  $I_1$  - интенсивность звука на удалении на единицу длины от источника звука

- Звуковое давление уменьшается с расстоянием по гиперболическому закону

$$P_T = \frac{P_1}{R},$$

где  $P_1$  – звуковое давление на расстоянии единицы длины от источника.

- Общее решение волнового уравнения для сферической волны также имеет два члена – прямую и отраженную волны.

- Удельное акустическое сопротивление  $\delta a = \omega a + jga$  при удалении от источника сферической волны изменяется сложно, но по величине не превышает акустического сопротивления плоской волны.

# Цилиндрическая волна

- Фронт имеет круглую цилиндрическую форму. Ось цилиндра совпадает с осью источника звука.
- Интенсивность с удалением на расстояние  $R$  убывает по гиперболическому закону

$I_m = I_1 / R$ , а звуковые давления по закону

$$P_T = \frac{P_1}{\sqrt{R}}.$$