

***Акустические  
каналы утечки  
информации***



Учебный вопрос №1:

**Основные понятия,  
определения и  
единицы измерения в  
акустике**

Звук – колебательное движение упругой среды. Процесс распространения колебательного движения в среде называется звуковой волной. За один полный период колебания  $T$  звуковой процесс распространяется в среде на расстояние, равное длине волны  $\lambda$  (рис. 7).

$$f = \frac{1}{T}, \text{ Гц} \quad \lambda = cT, \text{ м.}$$

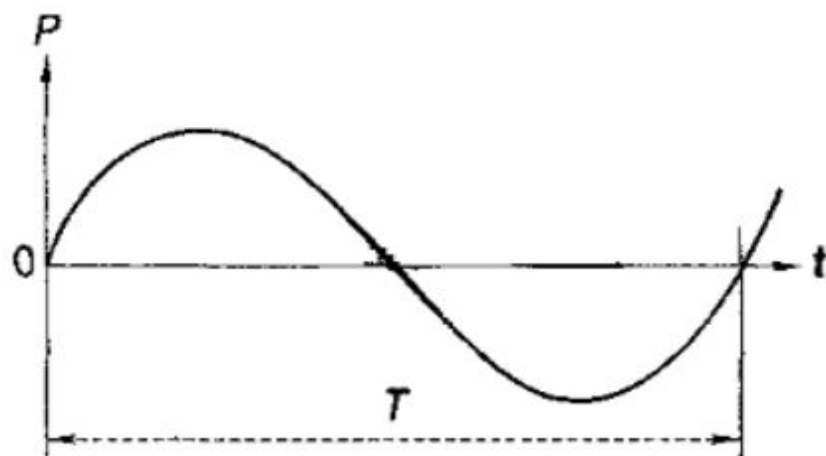


Рис. 1.7. Полный период колебания

**Длина волны зависит от скорости распространения звука в среде.**

$c_{\text{воздух}}$	–	340 м/с.	$c_{\text{вода}}$	–	1490 м/с.
$c_{\text{кирпич}}$	–	2300 м/с.	$c_{\text{бетон}}$	–	3700 м/с.
$c_{\text{сталь}}$	–	5200 м/с.			

Изменения давления в звуковой волне относительно среднего значения называется звуковым давлением  $P$  и измеряется в паскалях. Один паскаль это давление, создаваемое силой в один ньютон, действующей на площадь один квадратный метр.

$$P = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \text{ Па} = \frac{1}{100000} \text{ АТМ}. \quad (1.16)$$

В акустике принято использование относительных единиц измерения уровня звукового давления – децибел.

$$L_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{P}{P_0}. \quad (1.17)$$

В качестве  $P_0$  выбрана величина  $P = P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па, что соответствует минимальному звуковому давлению, воспринимаемому человеческим слухом. При этом изменение уровня звукового давления на 1 дБ является минимальной, различаемой человеческим слухом величиной изменения громкости.

Следует отметить, что в акустике при частотном анализе сигналов используют стандартизированные частотные полосы шириной в 1 октаву, 1/3 октавы, 1/12 октавы. Октава – это полоса частот, у которой верхняя граничная частота в два раза больше нижней граничной частоты.

$$\Delta f = (f_{\text{в}} - f_{\text{н}}) = 1 \text{ окт}, \text{ если } f_{\text{в}} = 2f_{\text{н}}.$$

Центральные частоты стандартных октавных полос соответствуют следующему ряду:

2, 4, 8, 16, 31,5, 63, 125, 250, 500 (Гц), 1, 2, 4, 8, 16 (кГц).



Учебный вопрос №2:

**Основные  
акустические  
параметры и уровни  
речевых сигналов**

## Характеристики октавных полос частотного диапазона речи

<b>Номер полосы</b>	<b>Частотные границы полосы <math>f_H \dots f_B</math>, Гц</b>	<b>Среднегеометрическая частота полосы <math>f_i</math>, Гц</b>	<b>Весовой коэффициент полосы, <math>k_i</math></b>
1	90...175	125	0,01
2	175...355	250	0.03
3	355...710	500	0.12
4	710...1400	1000	0.20
5	1400...2800	2000	0.30
6	2800...5600	4000	0.26
7	5600...11200	8000	0.07

В различных условиях человек обменивается устной информацией с различным уровнем громкости, при этом создаются следующие уровни звукового давления:

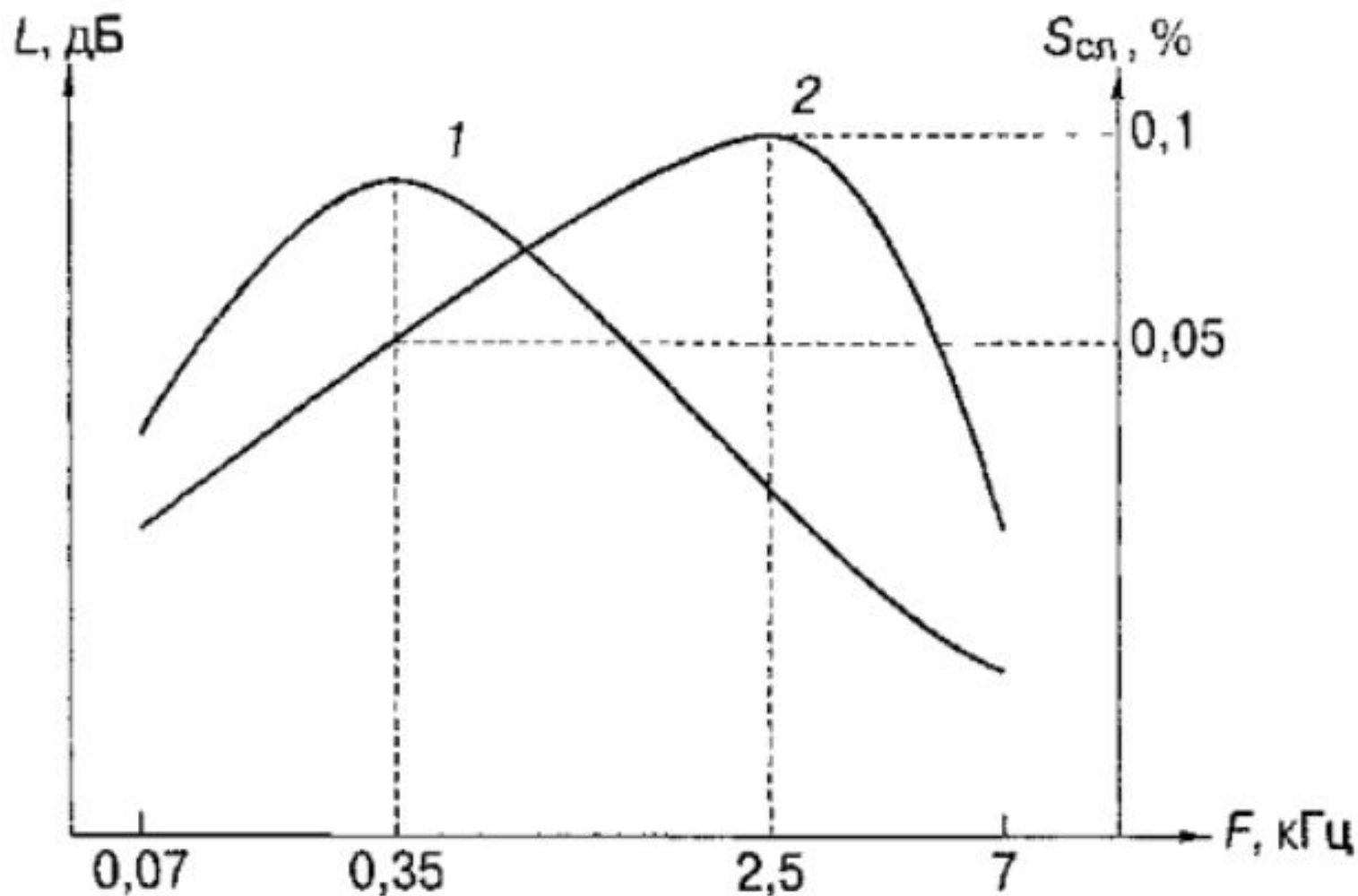
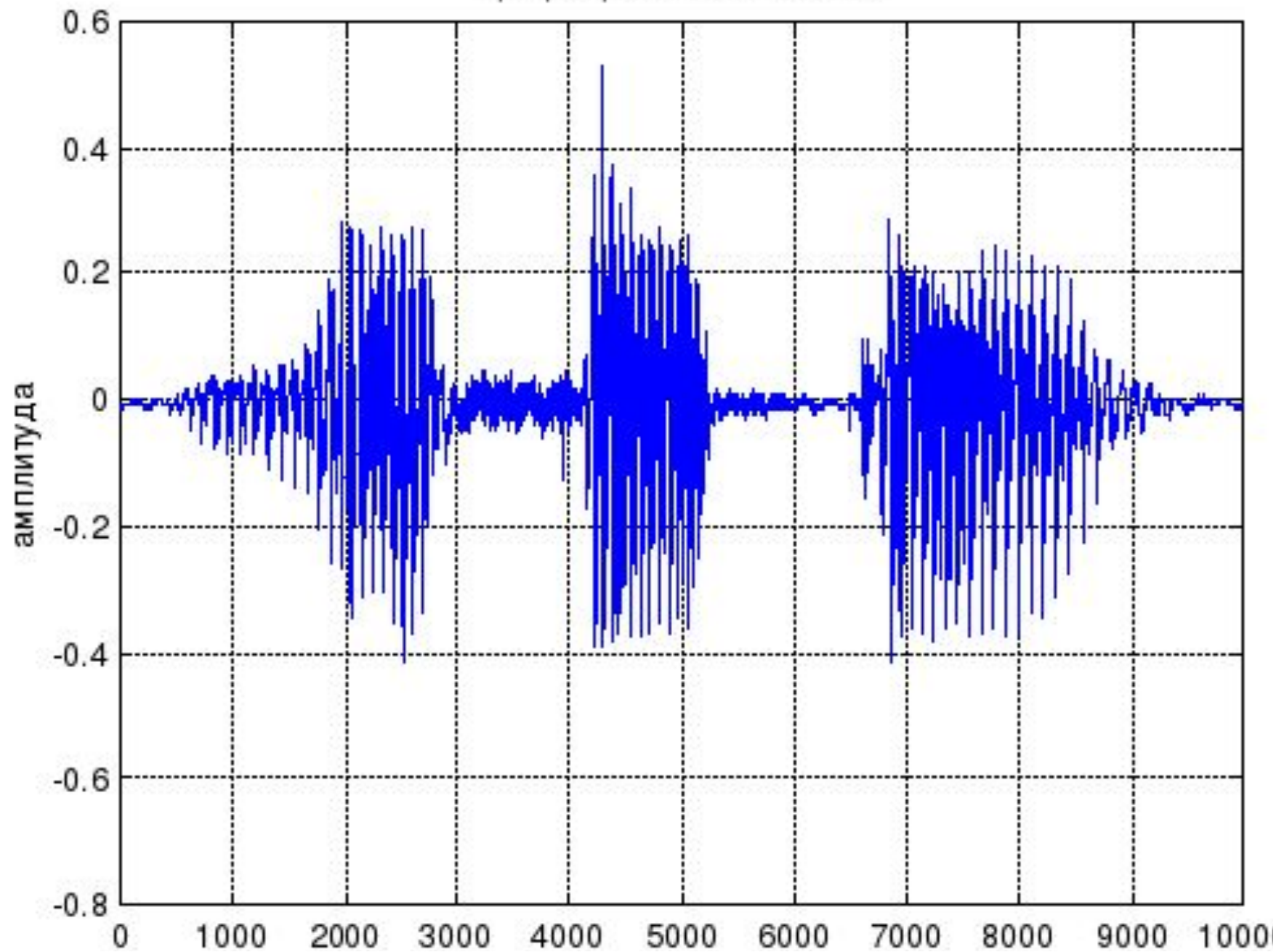
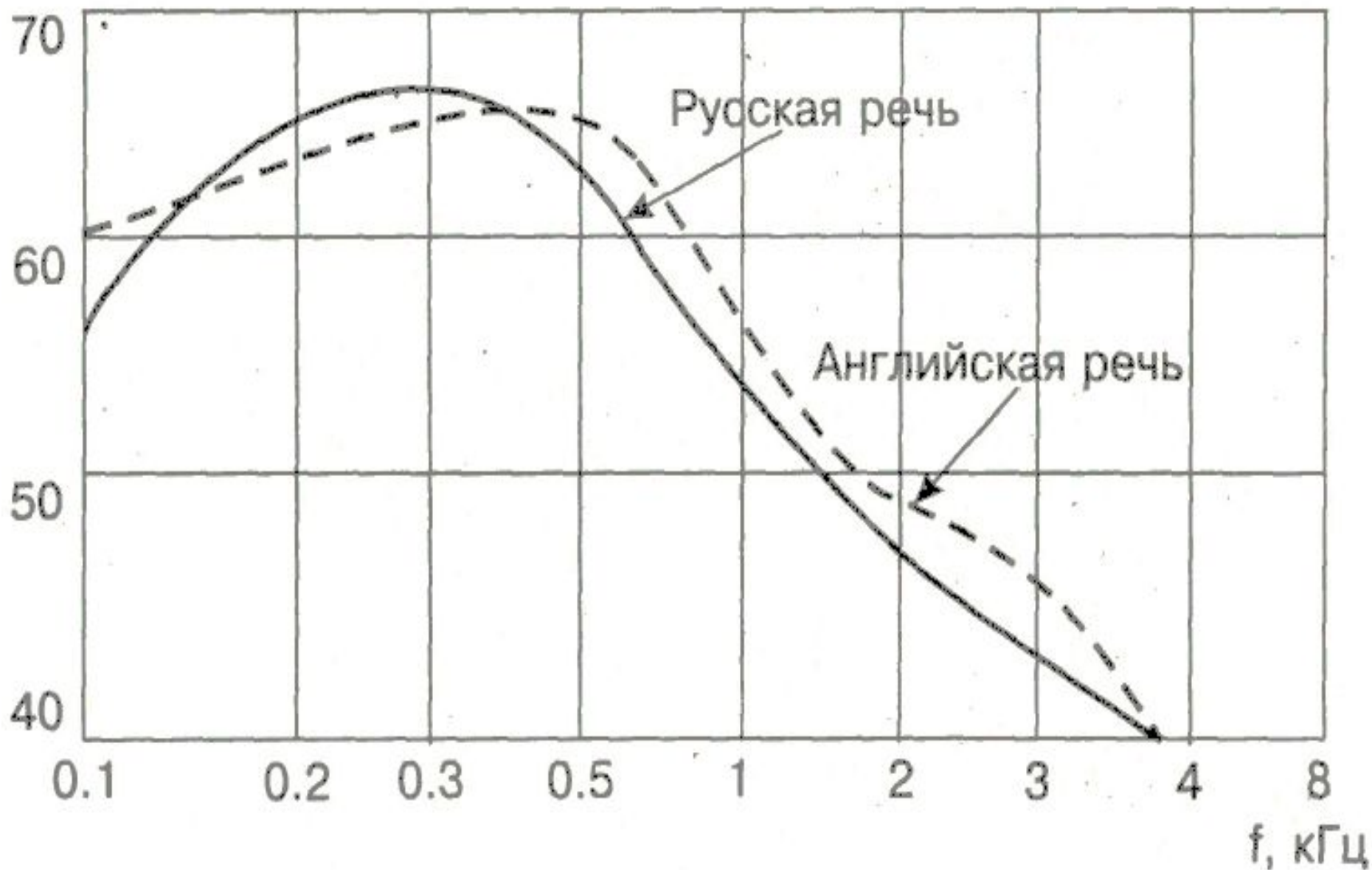




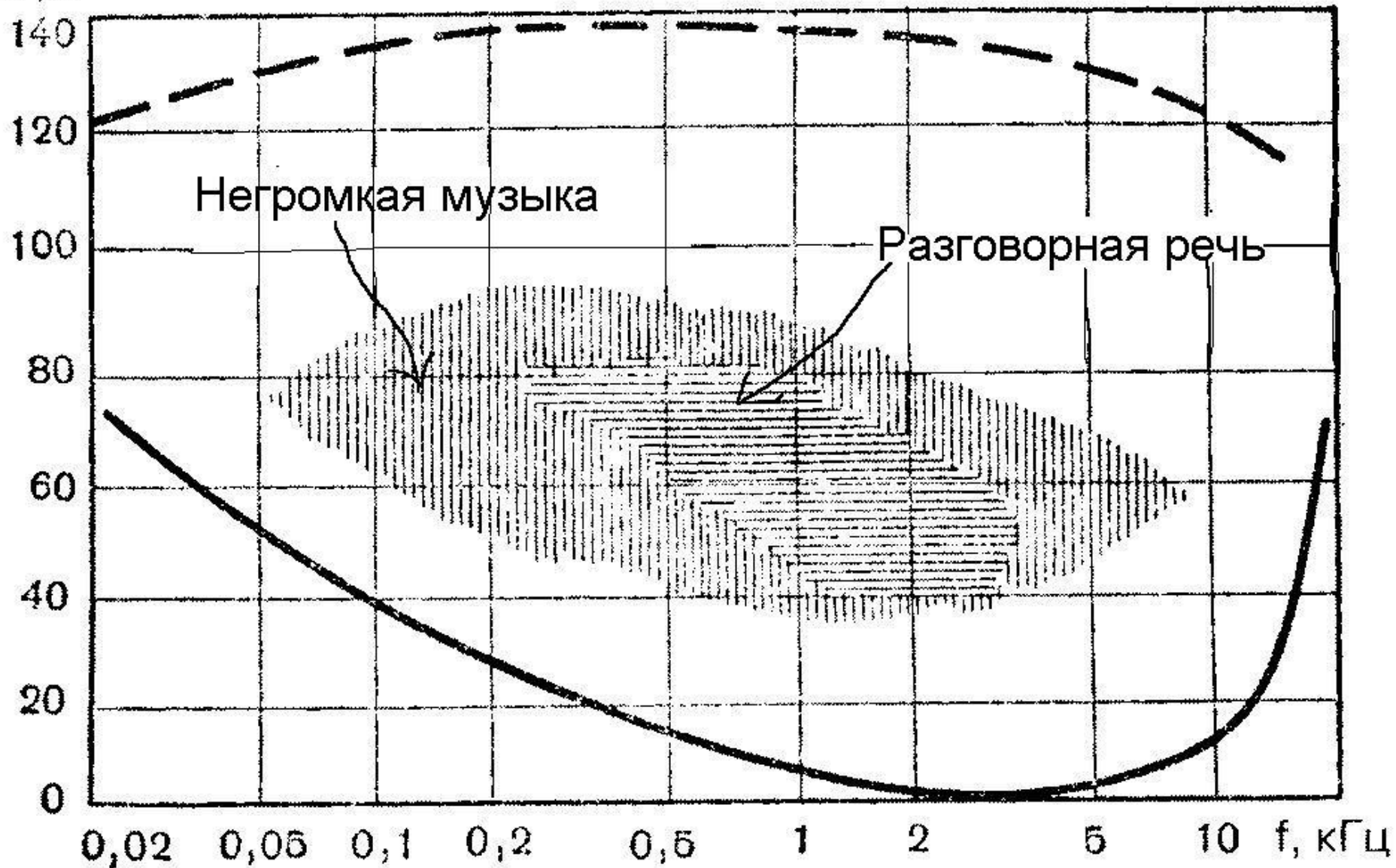
график речевого сигнала



$P, \text{ дБ}$



$N, \text{дБ}$



Плоскость слышимости человеческого уха.

## *Динамический диапазон*

Уровень речи в процессе озвучивания одного сообщения может меняться в значительных пределах. Разность между квазимаксимальными и квазимиимальными уровнями для различных видов речи составляет:

– дикторская речь	25...35 дБ;
– телефонные переговоры	35...45 дБ;
– драматическая речь	45...55 дБ.
– выступление в аудитории без средств звукоусиления	65...70 дБ.

## Ориентировочные значения уровня громкости для некоторых звуков

Оценка громкости звука на слух	Уровень звука, дБ	Источник звука
Очень тихий	0	Усредненный порог чувствительности уха Тихий шепот (1,5м)
	10	
Тихий	20	Тиканье настенных механических часов Шаги по мягкому ковру (3-4м) Тихий разговор
	30	
	40	
Умеренный	50	Легковой автомобиль (10-15м) Улица средней шумности
	60	
Громкий	70	Спокойный разговор (1м) Крик
	80	
Очень громкий	90	Шумная улица Симфонический оркестр
	100	
Оглушительный	110	Пневмомолот Гром над головой Звук воспринимается как боль
	120	
	130	



Учебный вопрос №3:

**Распространение  
акустических сигналов  
в помещениях и  
строительных  
конструкциях**

При своем распространении звуковая волна, доходя до какой-либо преграды (границы двух сред) и взаимодействуя с ней, частично отражается от нее, а частично продолжает распространяться по преграде. Количество акустической энергии, прошедшей из одной среды в другую, зависит от соотношения их акустических сопротивлений (рис. 1.9).

$$\rho_1 C_1 = 41, \text{ (МПа}\cdot\text{с)/м; } \rho_2 C_2 = 30\dots 40 \cdot 10^2, \text{ (МПа}\cdot\text{с)/м.}$$

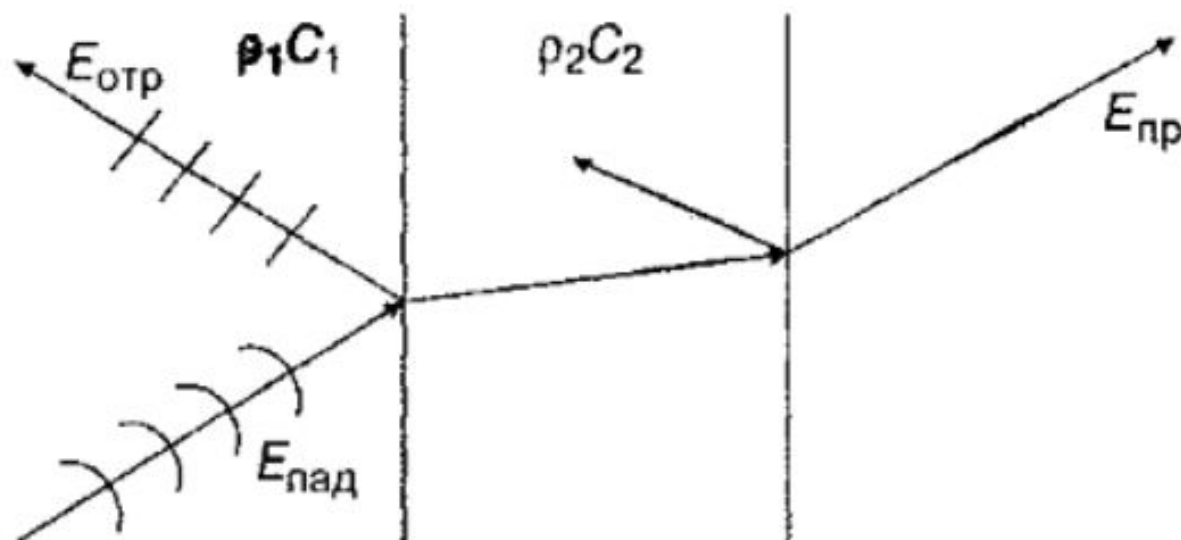


Рис. 1.9. Количество акустической энергии, прошедшей из одной среды в другую

В строительной акустике используются следующие **основные** понятия:

– коэффициент поглощения  $\alpha = \frac{(E_{\text{пад}} - E_{\text{отр}})}{E_{\text{пад}}}$ ;

– коэффициент отражения  $\beta = \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}}$ ;

– коэффициент звукопроницаемости  $\gamma = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}}$ ;

– звукоизоляция  $Q = 10 \lg \frac{E_{\text{пад}}}{E_{\text{пр}}}$ .



## Звукоизоляция основных строительных конструкций, дБ

Тип строительной конструкции	Центральные частоты октавных полос, Гц				
	250	500	1000	2000	4000
Оштукатуренная кирпичная стена толщиной 270 мм	44	51	58	64	65
Железобетонная стена толщиной 100 мм	40	44	50	55	60
Гипсобетонная перегородка толщиной 80 мм	33	37	39	44	44
Перегородка ДСП толщиной 20 мм	26	26	26	26	26



Учебный вопрос №4:

Каналы утечки  
речевой информации

На рис. 1.10 представлены основные варианты возможной утечки речевой информации из объемов выделенных помещений. Все их можно объединить в две группы – это акустические каналы (обозначены буквами а, б, в), т.е. такие каналы, по которым информация может быть перехвачена с помощью микрофонов воздушной проводимости или прослушана непосредственно человеком, и виброакустические каналы (обозначены буквами г, д, е), т.е. каналы, по которым информация может быть зафиксирована с помощью микрофонов твердой среды (виброметров, велосиметров, акселерометров).

Наибольшую опасность представляют технологические окна и каналы с большой площадью поперечного сечения, такие как коробка коммуникаций и воздуховоды вентиляции. Эти объекты являются по сути акустическими волноводами, и звуковые колебания могут распространяться по ним на значительные расстояния. Так, если поперечные размеры короба сравнимы с длиной звуковых волн  $L \approx \lambda$ , затухание при распространении по нему звука составляет  $\delta = 0,01 \dots 1$  дБ/м и зависит от размеров короба, материала стенок и пр.

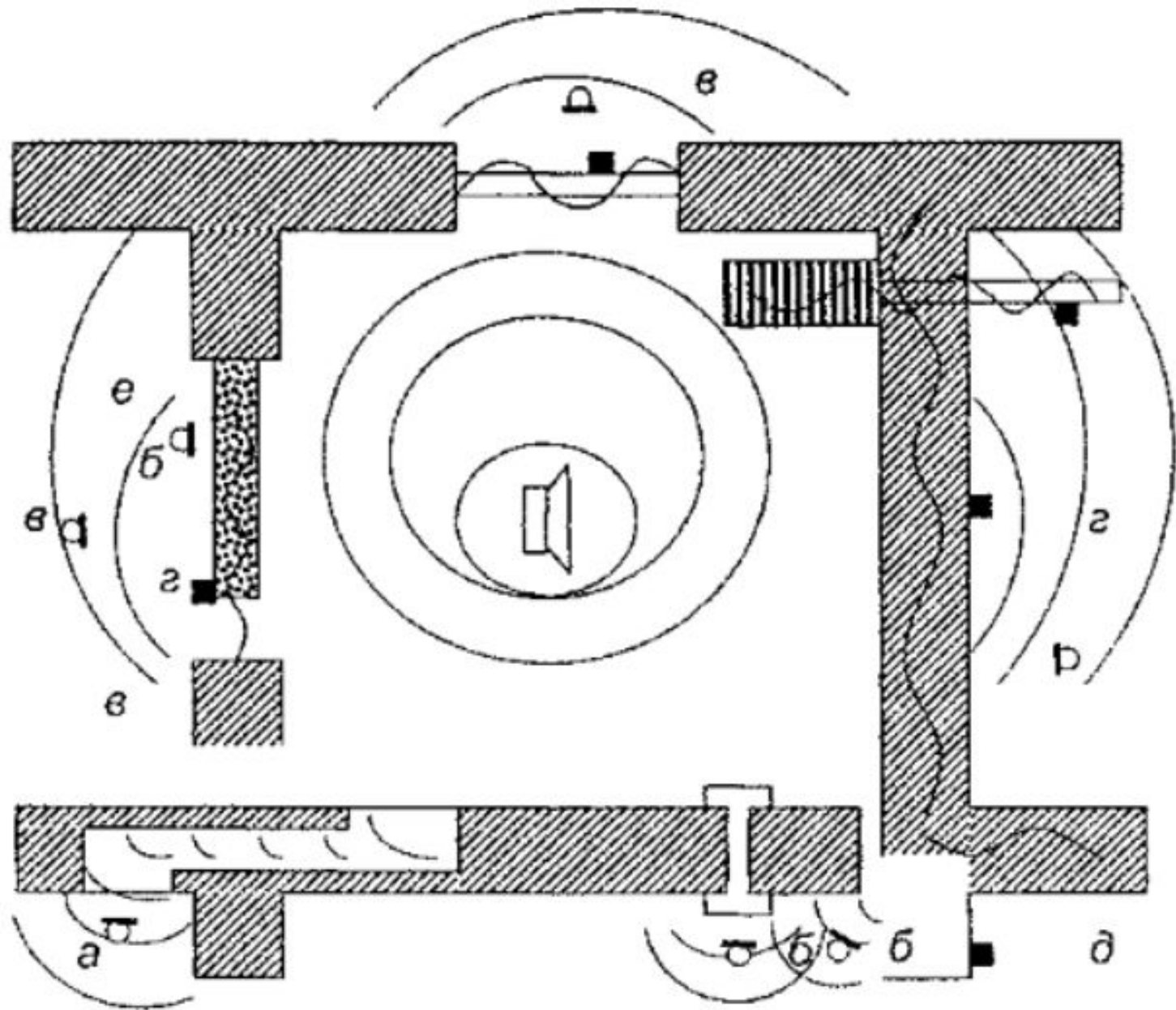


Рис. 1.10. Основные каналы утечки речевой информации

Следующими по степени опасности являются звуководы с размерами значительно меньше длины звуковых волн  $L \ll \lambda$ . Таковыми могут быть отверстия электропроводки, щели и трещины в строительных конструкциях, неплотности дверных и оконных проемов. Затухание звука в таких каналах весьма значительно  $\delta = 1 \dots 20$  дБ/м. Оно определяется вязкостью воздуха и зависит от поперечных размеров отверстий, шероховатости поверхности и продольной конфигурации отверстия.

Несмотря на заметную величину затухания, этого абсолютно недостаточно для обеспечения защиты информации. Так, если в стене толщиной 0,5 м имеется трещина с площадью поперечного сечения  $5 \text{ мм}^2$  и длиной 0,75 м, звукоизоляция в области выхода этой трещины на поверхность будет составлять 18 дБ, в то время как при отсутствии трещины такая стена может обеспечить звукоизоляцию более 65 дБ.

Звуковые колебания могут распространяться за пределы выделенного помещения не только за счет тех или иных воздушных каналов, но и за счет переизлучения колебаний ограждающими строительными конструкциями.

Переизлучение звука за пределы выделенного помещения происходит за счет колебаний строительных конструкций, вызванных падающими на них звуковыми волнами. Так как толщина подавляющего большинства строительных конструкций (стены, полы, потолки, двери, окна) значительно меньше их поперечных размеров, процессы, происходящие в них, хорошо описываются теорией колебания мембран и пластин.

Основные практические выводы, вытекающие из данных положений:

- акустическое сопротивление ограждающих строительных конструкций в направлении, перпендикулярном их поверхности невелико;
- строительные конструкции имеют большое количество собственных мод колебаний.

Последнее явление в строительной акустике носит название «волнового совпадения». Оно возникает, когда длина падающей звуковой волны совпадает с длиной изгибной волны в строительной конструкции и приводит к значительному снижению звукоизоляции. Это проиллюстрировано рис. 1.11.

Так как за счет многократных переотражений звуковой волны в помещении равновероятны любые углы падений, возбуждаются все собственные моды колебаний строительных конструкций, что приводит к существенному снижению звукоизоляции.



Рис. 1.11. Снижение звукоизоляции строительной конструкции



Учебный вопрос №5:

# Виброакустические каналы




Как только что было показано, строительные конструкции совершают значительные колебания под воздействием акустических волн. Чтобы перехватить информацию, переносимую этими колебаниями, не обязательно регистрировать акустические колебания, переизлученные этими конструкциями, достаточно зафиксировать колебания собственно строительных конструкций. Так, например, под воздействием звука  $P_{ак} = 70$  дБ кирпичная стена толщиной 0,5 м совершает вибрационные колебания с ускорением  $a \approx 3 \cdot 10^{-5} g$ . При таких условиях современными средствами может быть прослушан даже шепот. При этом переизлученный акустический сигнал будет  $P_{ак пр} < 10$  дБ, что практически исключает возможность съема информации. Таким образом, вибрационные колебания ограждающих конструкций под воздействием звуковых волн образуют один из наиболее опасных виброакустических каналов утечки информации.

Современные строительные материалы и конструкции (монолитный железобетон, сборные железобетонные конструкции, кирпичная кладка) обладают весьма низкими показателями затухания механических колебаний в области звуковых частот. Это обеспечивает возможность распространения колебаний на значительные расстояния и создает возможность перехвата информации, регистрируя вибрации не только ограждающих конструкций выделенного помещения, но и регистрируя колебания значительно удаленных (1–3 стыка) элементов здания. Например существует реальная возможность перехвата информации по несущей стене из выделенного помещения, расположенного через 1, 2 этажа от места установки аппаратуры съема информации. В общем случае, в зависимости от конструкции здания и качества выполнения стыков между его элементами, затухание на стыках варьируется в пределах от 1...3 дБ до 10...15 дБ. Отсюда следует важная тактическая особенность и повышенная опасность виброакустического канала утечки информации – перехват информации возможен не только из смежных помещений, но и из помещений, значительно удаленных от источника информации.

Некоторые элементы строительных конструкций, как и в случае рассмотрения акустического канала, представляют собой волноводы вибрационных колебаний. К ним относятся трубы различных коммуникаций (отопления, водоснабжения, электропитания и пр.). Как и в случае воздушных волноводов, значительная разница в величинах акустического сопротивления материала труб и окружающей среды составляет

$$\frac{(\rho C)_{\text{ст}}}{(\rho C)_{\text{вет}}} = 4 \dots 8.$$

Создаются условия волноводного распространения сигналов на значительные расстояния. Данный канал становится особенно опасным, если трубопровод соединен с какой-то жесткой и развитой поверхностью, которая играет роль согласующего элемента при передаче энергии из воздуха в трубопровод. Таким согласующим элементом, например, являются современные легкие радиаторы отопления.



Таким образом, учитывая высокую важность речевой информации и рассмотренные возможности ее несанкционированного съема, необходимо рассмотреть всесторонние меры и средства защиты речевой информации.