

## 2.3. Шум

### 2.5.1. Звук и шум; основные характеристики

#### Физические характеристики звука

**Звук** или тон - это акустическое гармоническое колебание с определённой частотой. Он характеризуется:

- частотой колебаний  $f$  (Гц), то есть числом колебаний в секунду;
- звуковым давлением  $p$  (Па) - это разность между мгновенным давлением в волне и атмосферным;
- интенсивностью или силой звука  $I$  (вт/м<sup>2</sup>) равной потоку звуковой энергии, проходящей в единицу времени через 1 м<sup>2</sup> площади.

**Интенсивность пропорциональна квадрату звукового давления.**

По частоте колебаний звуки классифицируются:

**АНВ**

Инфразвук

20 Гц

Слышимый звук

20000 Гц

Ультразвук

## Закон Вебера-Фехнера для звука

Уровень ощущения звука  $L$  пропорционален логарифму интенсивности  $I$ , отнесённой к интенсивности  $I_0$  на пороге слышимости.

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

где  $I, p$  - действующие значения интенсивности и звукового давления;

$I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>,  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па - интенсивность и звуковое давление на пороге слышимости.

Уровень звука  $L$  оценивают в относительных логарифмических единицах - ДЕЦИБЕЛАХ (дБ).

## Шум и его характеристики

Уровень интенсивности звука численно равен уровню звукового давления (УЗД). Эти характеристики - синонимы.

**Шум** - сложное колебание, комплекс звуков разных частот; его оценивают спектром, то есть зависимостью УЗД от частоты.

Наиболее часто шум измеряют в октавных полосах частот. Полоса характеризуется средней частотой, а соотношение этих частот 1/2.

Средние частоты октавных полос

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Гц

45      90      180      355      710      1400      2800      5600      11200

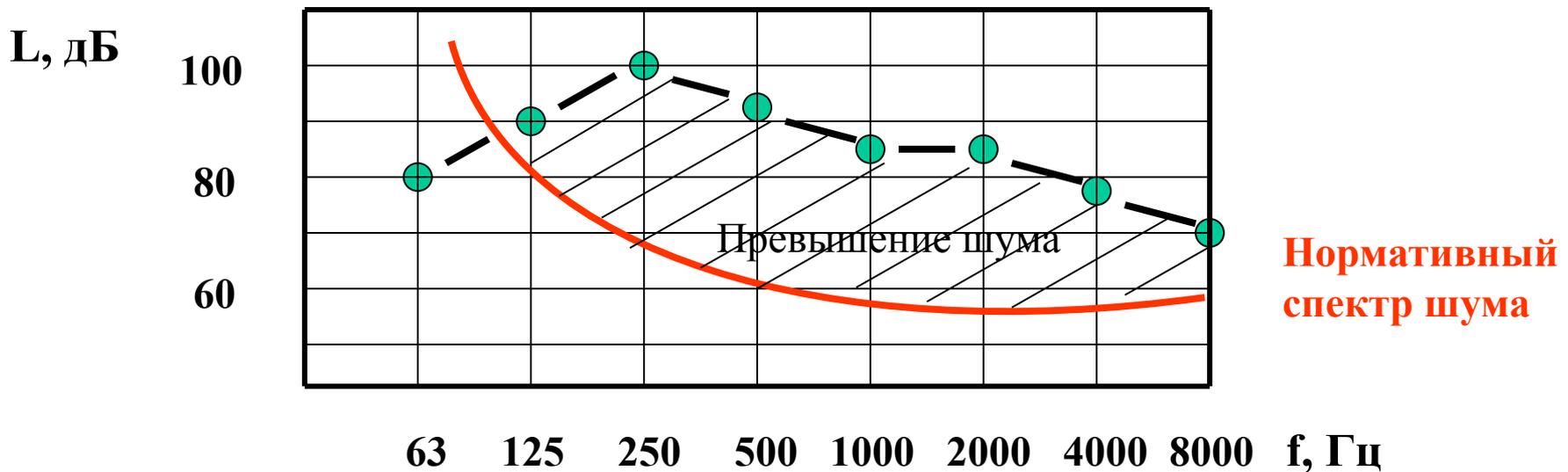
Граничные частоты октавных полос

Анв

Восприятие частоты, также как и силы звука, относительно поэтому средние частоты октавных полос откладываются на графиках в логарифмическом масштабе (через одинаковые промежутки).

## Построение спектра шума

По характеру спектра шумов делят на широкополосные и смешанные, в которых присутствуют тональные составляющие. По временной характеристике их делят на постоянные и непостоянные, а последние оценивают эквивалентным уровнем звука.



Кроме спектральной характеристики шум оценивают одним числом - уровнем звука в дБА. Это общий уровень шума, откорректированный в соответствии с кривой слышимости.

# Суммирование уровней шума

90 дБ + 90 дБ = 93 дБ

80 дБ + 74 дБ = 81 дБ

100 дБ + 40 дБ = 100 дБ

70 дБ + 70 дБ + 70 дБ = 75 дБ



$L_{сум.} = 10lg(2*I / I_0) = 10lg(I / I_0) + 10lg2 = L + 3 \text{ дБ.}$

Уровни шума являются логарифмическими величинами и их нельзя непосредственно складывать. Для этого применяют правило суммирования уровней:

$L_{сум.} = L_{б} + \delta L$

$L_{б}$  - больший из суммируемых уровней  
 $\delta L$  - добавка к большему уровню, определяемая по таблице в зависимости от разности уровней.

Если один из суммируемых уровней меньше другого на 10 дБ, то он не учитывается.

$L_1 - L_2$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	12
$\delta L, \text{ дБ}$	3	2,7	2,2	1,8	1,4	1,2	0,9	0,8	0,7	0,3

Ан

Для  $n$  одинаковых уровней  $L_1$   $L_{сум.} = L_1 + 10 \lg n$

## 2.5.2. Распространение, воздействие и нормирование шума

### Распространение шума в открытом пространстве

Интенсивность шума  $I$  в точке открытого пространства:

$$I = \frac{P_a}{S},$$

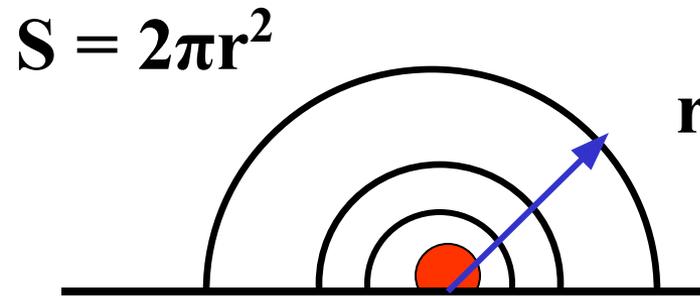
где  $P_a$  - звуковая мощность источника шума, Вт;

$S$  - площадь измерительной поверхности, окружающей источник шума и проходящей через расчётную точку,  $m^2$ .

Простейшей моделью источника шума является точечный источник, излучающий сферическую волну.

## 7 Распространение шума в открытом пространстве (продолжение)

Если источник шума ● со звуковой мощностью  $P_a$  расположен на поверхности, то излучение шума происходит в полусферу  $S$  с радиусом  $r$  (м):



Переходя от абсолютных величин к относительным логарифмическим, уровни интенсивности шума  $L$  (дБ) от источника с уровнем звуковой мощности  $L_p$  (дБ) в точке открытого пространства можно определить по формуле:

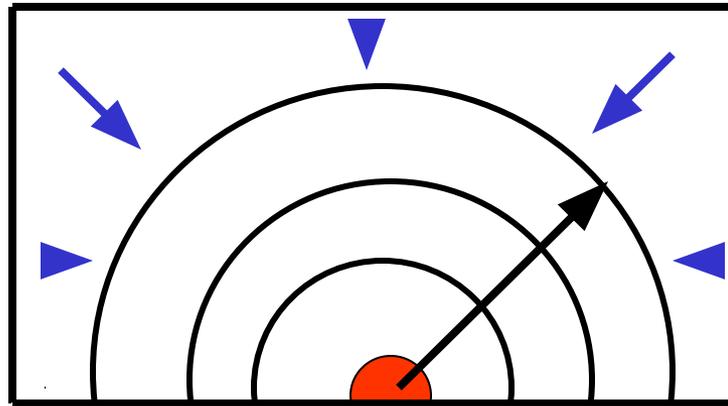
$$L = L_p - 10 \lg 2\pi r^2 ,$$

АНВ

Уровни интенсивности шума при удвоении расстояния уменьшаются на 6 дБ.

## Распространение шума в помещении с источником шума

В помещении, где установлен источник шума, интенсивность шума в любой точке складывается из интенсивности прямого шума  $I_{пр.}$  и шума многократно отражённого от стен помещения  $I_{отр.}$ .



Отражённый шум упрощённо считается диффузным, то есть имеющим одинаковую плотность звуковой энергии во всех точках помещения, а прямой шум спадает с расстоянием от источника.

**Интенсивность суммарного шума**

$$I_{сум.} = I_{пр.} + I_{отр.}$$

## Распространение шума в помещении с источником шума (продолжение)

Статистическая теория звукового поля в помещении, используя аппарат теории вероятностей, даёт зависимость для определения интенсивности отражённого шума:

$$I_{отр.} = \frac{4P_a}{Q}; \quad Q = \frac{\alpha S_n}{1 - \alpha},$$

где  $Q$  - акустическая постоянная помещения ( $m^2$ ), которая характеризует его способность поглощать звуковую энергию;  $\alpha$  - средний коэффициент звукопоглощения;  $S_n$  - полная площадь ограждений помещения,  $m^2$ .

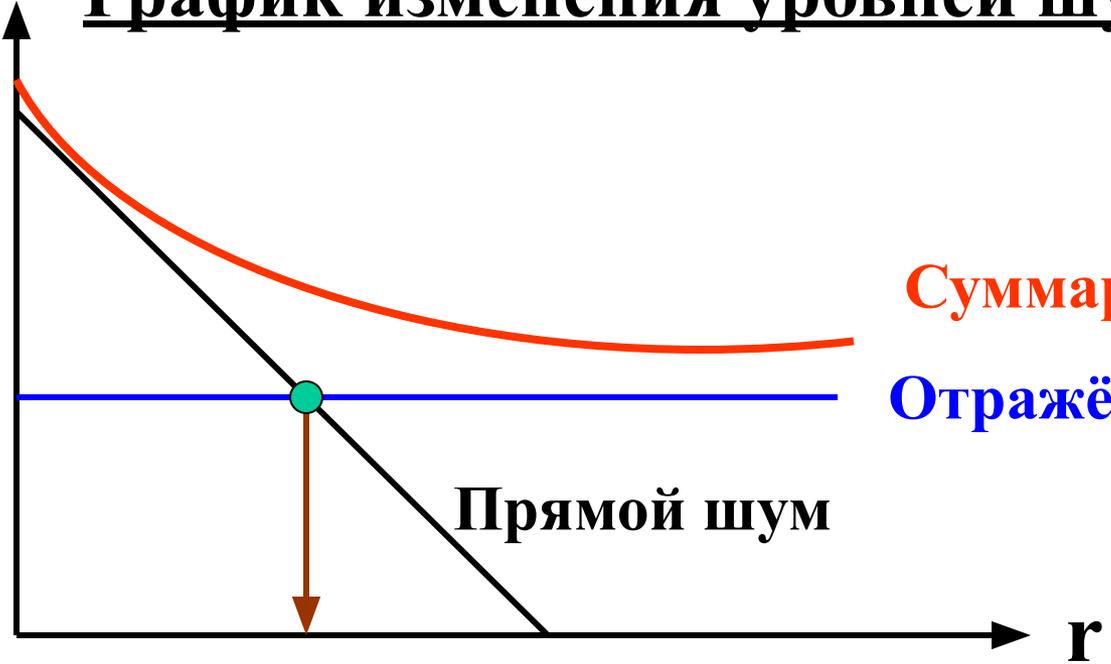
**Уровни шума (дБ) в помещении с источником шума**

$$L = L_p + 10 \lg \left( \frac{1}{2\pi r^2} + \frac{4}{Q} \right)$$

# Распространение шума в помещении с источником шума (продолжение)

График изменения уровней шума

Изменение  
уровней  
шума



**Суммарный шум**  
**Отражённый шум**

Прямой шум

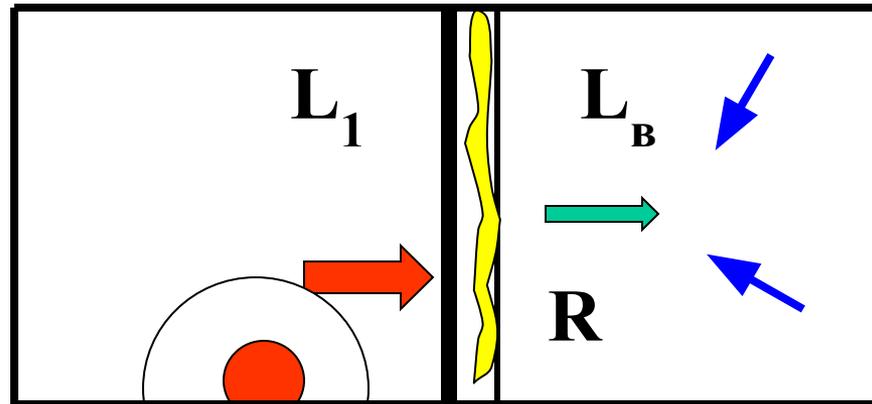
$r$

**Зона  
прямого  
шума**

**Зона  
отражённого  
шума**

Логарифмическая шкала  
расстояний

## Распространение шума в помещение смежное с шумным



 -- звукопоглощающий материал в воздушном промежутке двустенной разделяющей конструкции

**Уровни шума  $L$  (дБ) в смежном помещении**

$$L = L_1 - R + L_\alpha,$$

где  $L_1$  - уровни шума перед разделяющей стенкой, дБ;

$R$  - звукоизоляция разделяющей стенки, дБ;

$L_\alpha$  - величина, учитывающая звукопоглощение в смежном помещении, дБ.

12(доп.)

## Эквивалентный уровень звука

Обычно на человека действует непостоянный шум, который оценивают эквивалентным уровнем  $L_{э}$ , то есть уровнем постоянного шума, оказывающим по энергии такое же воздействие, как и данный непостоянный.

$$L_{э} = L_i + 10 \lg \left( \frac{t_i}{T} \right),$$

где:  $L_i$  - составляющий уровень шума (дБ) при его действии за время  $t_i$  (ч.) при общей экспозиции шума  $T$ .

**Пример** Найти эквивалентный уровень звука, если  $T = 4$ ч,

$$L_1 = 90 \text{ дБА}, t_1 = 2 \text{ ч}, L_2 = 88 \text{ дБА}, t_2 = 2 \text{ ч}.$$

$$L_{э1} = L_1 + 10 \lg \frac{t_1}{T} = 90 + 10 \lg \frac{2}{4} = 87 \text{ дБА}; \quad L_{э2} = 88 + 10 \lg \frac{2}{4} = 85 \text{ дБА}.$$

По правилу сложения уровней при разности между ними 2дБА добавка к большему уровню составляет 2,2 дБА, поэтому эквивалентный уровень звука равняется **89,2дБА**.

# Воздействие шума на человека.

## Нормирование шума

1. Шум высоких уровней отрицательно влияет на ЦНС, желудок, двигательные функции, умственную работу, зрительный анализатор. Изменяется частота и наполнение пульса, кровяное давление, замедляются реакции, ослабляется внимание, ухудшается разборчивость речи.
2. Снижается чувствительность органа слуха, что приводит к временному повышению порога слышимости. При длительном воздействии шума высокого уровня возникают необратимые потери слуха и развивается профессиональное заболевание - тугоухость.

Критерием риска потери слуха считается уровень 90 дБА, при ежедневном воздействии более 10 лет.

**Нормируемые параметры:** уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровень звука в **дБА**.

# Уменьшение шума

## Классификация средств

1. Уменьшение шума в источнике возникновения

**Наиболее рациональное средство, но часто требует серьёзного конструктивного изменения машины.**

2. Организационно-технические мероприятия

**Уменьшение времени воздействия шума (ДУ)**

3. Средства коллективной защиты

**АНВ**

а) Архитектурно-планировочные мероприятия.

б) Конструктивные средства. 

4. Средства индивидуальной защиты (СИЗ)



**Кожухи, экраны, глушители  
звукопоглощающие и  
звукоизолирующие  
конструкции**

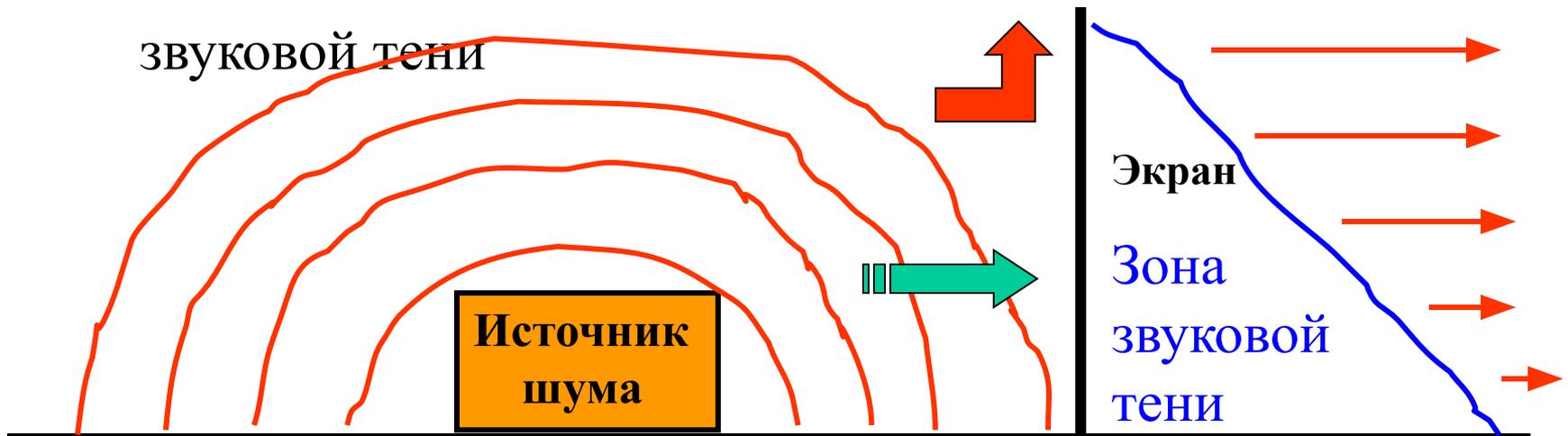
**Наушники, заглушки, шлемы**

# Принципы экранирования, звукоизоляции, звукопоглощения

Конструктивные средства уменьшения шума основаны на использовании этих принципов.

**1. Экранирование** - способность преград создавать зону

звуковой тени

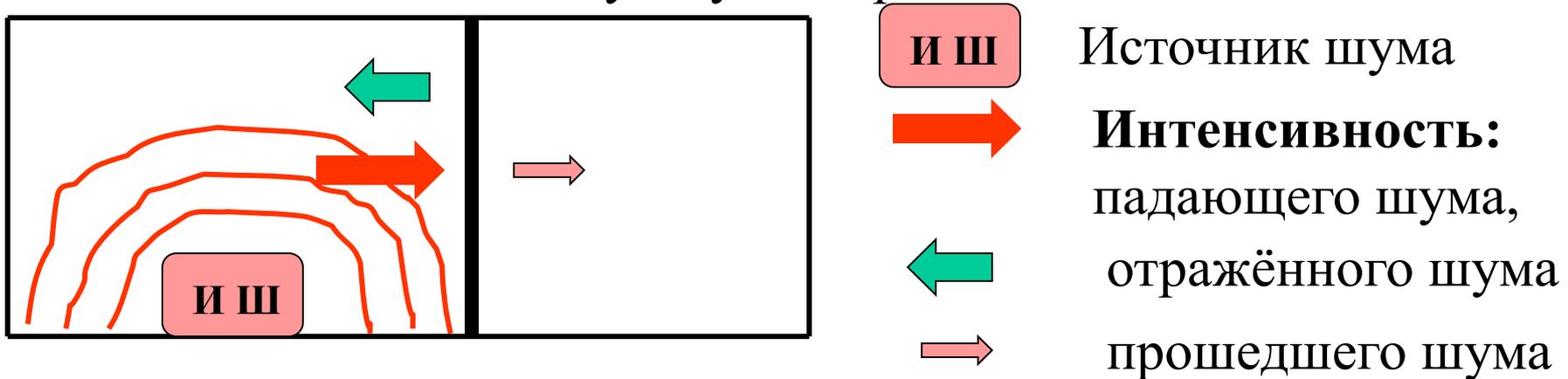


Эффективность экрана зависит от длины звуковой волны по отношению к размерам препятствия, то есть от частоты колебаний. В помещении из-за наличия отражённого шума эффект экрана меньше, чем в открытом пространстве.

# 3

## Принципы экранирования, звукоизоляции, звукопоглощения (продолжение)

2. Звукоизоляция - способность преград отражать звуковую энергию.



Звукоизоляция одностенной конструкции **R** (дБ) определяется

законом «массы»

$$R = A \lg (f \delta) - C,$$

где  $f$  - частота колебаний, Гц;

$\delta$  - поверхностная масса стенки, кг/м<sup>2</sup>;

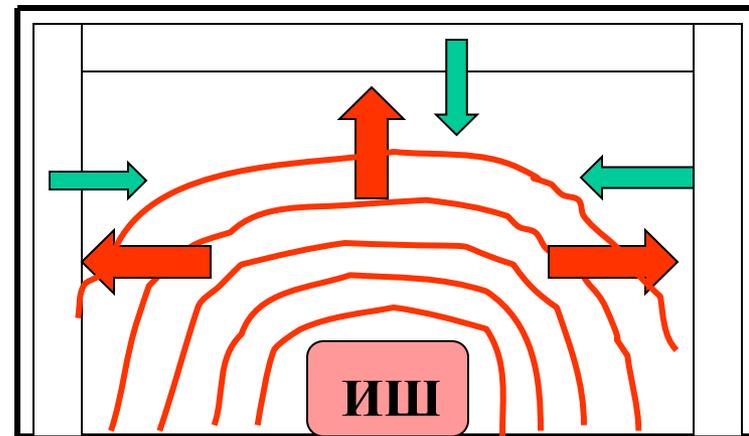
$A, C$  - эмпирические коэффициенты.

**АНВ**

# Принципы экранирования, звукоизоляции, звукопоглощения (продолжение)

**3. Звукопоглощение** - способность пористых и рыхло-волоконнистых материалов, а также резонансных конструкций поглощать звуковую энергию.

В помещении с источником шума уровни шума определяются прямым и отражённым шумом.



Звуко-поглощающий материал

Прямой шум источника   
Отражённый шум 

**Звукопоглощающий материал, установленный на стенах помещения, уменьшает составляющую отражённого шума.**

# Конструктивные средства уменьшения шума

Для уменьшения аэродинамического шума систем вентиляции, шума газотурбонаддува и газовыхлопа двигателей применяют реактивные (рис.21, а) и активные (рис.21, б) глушители.

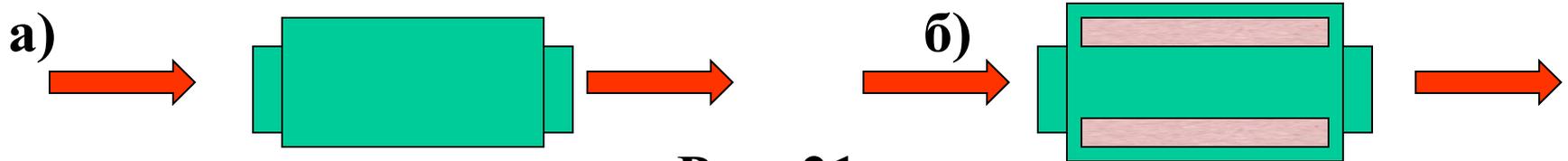


Рис. 21

Расширительная камера

Глушитель со звукопоглотителем

Звукоизоляция источника шума обеспечивается кожухом (рис.22 а), а звукоизоляция рабочего места - изолированной кабиной (рис.22 б)

а) Кожух со звукопоглотителем

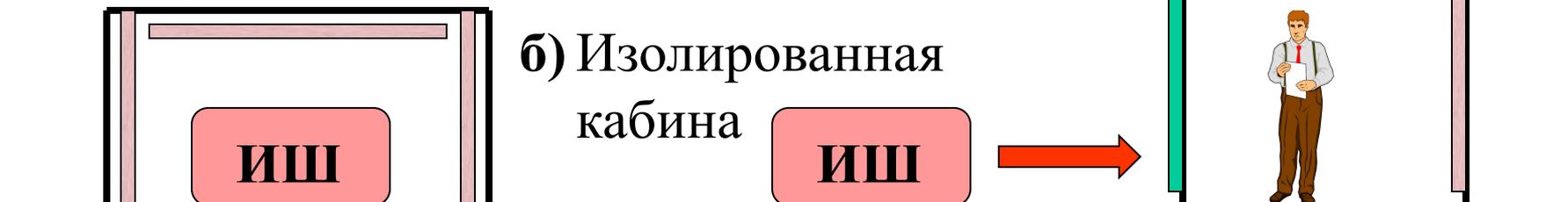
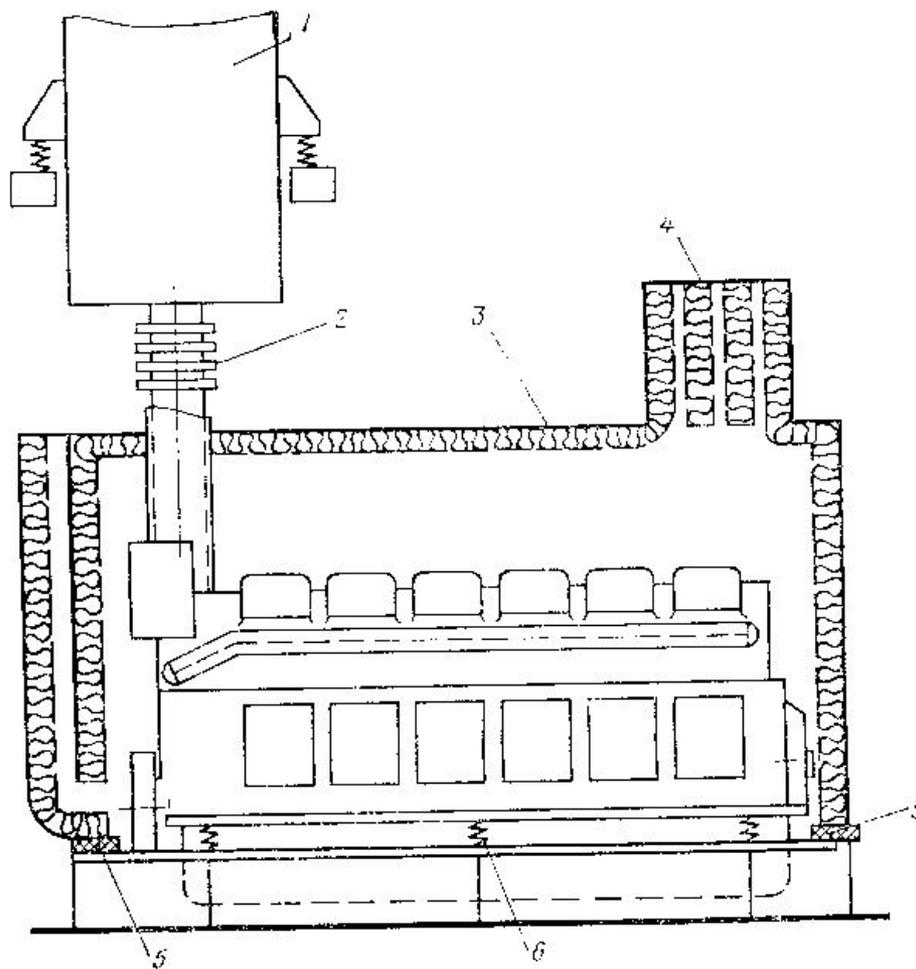
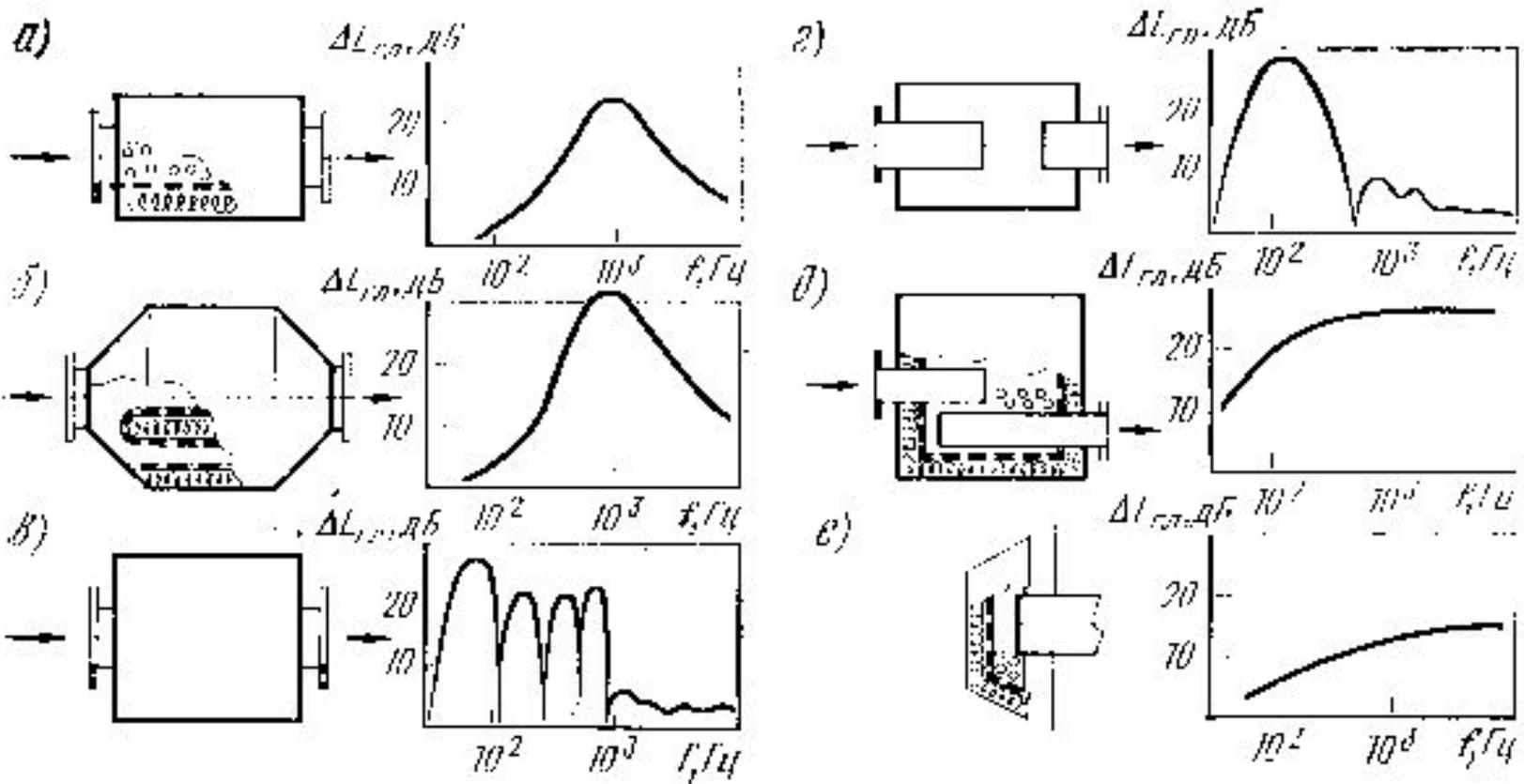


Рис. 22



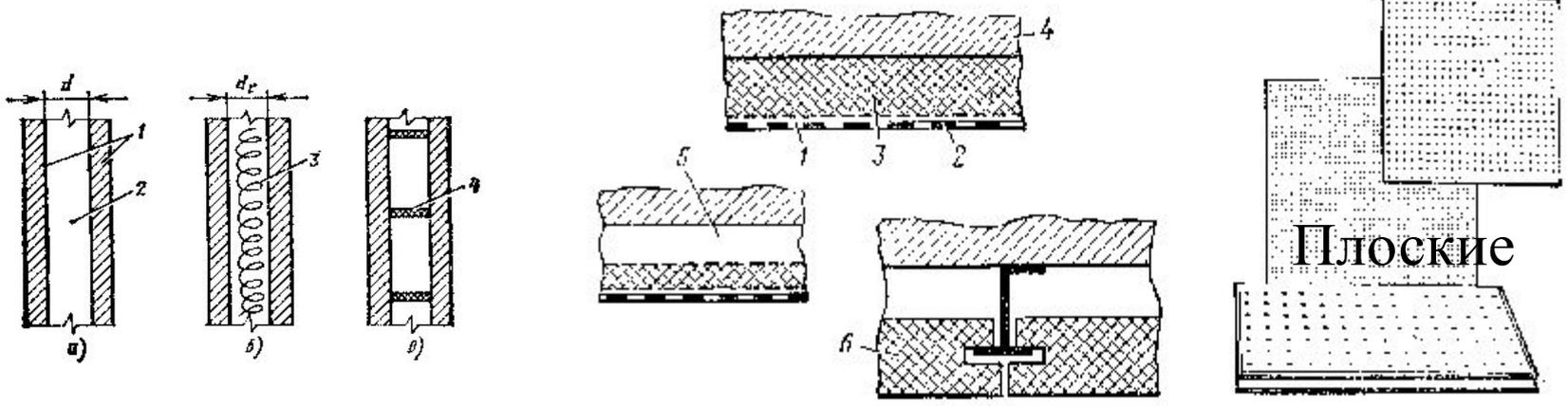
**Рис. 23** Звукоизолирующий кожух, установленный на дизель.

1 - глушитель газовыхлопа; 2 - компенсатор; 3 - звукопоглотитель;  
4 - глушитель воздухоприёма; 5 - резина; 6 - виброизоляторы.



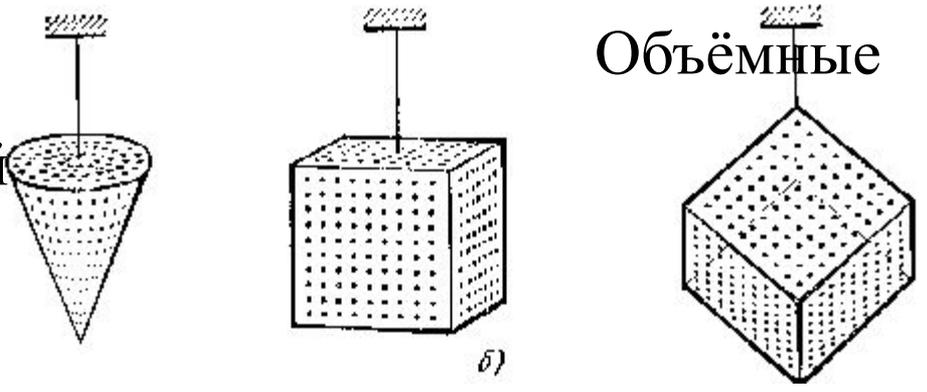
**Рис. 24** Типы глушителей шума и характер заглушаемого ими спектра.

а - звукопоглощающий патрубок; б - пластинчатый; в - камерный; г - камерный с трубами внутри; д - камерный несоосный со звукопоглотителем; е - экранный.



**Рис. 25** Двустенные звуко-изолирующие конструкции

1 - пластины; 2 - воздушный промежуток; 3 - звукопоглотитель; 4 - крепление.



**Рис. 26** Звукопоглощающие конструкции

1 - защитный перфорированный экран; 2 - стеклоткань; 3 - звукопоглощающий материал; 4 - стена или потолок; 5 - воздушный промежуток; 6 - плита из звукопоглощающего материала.

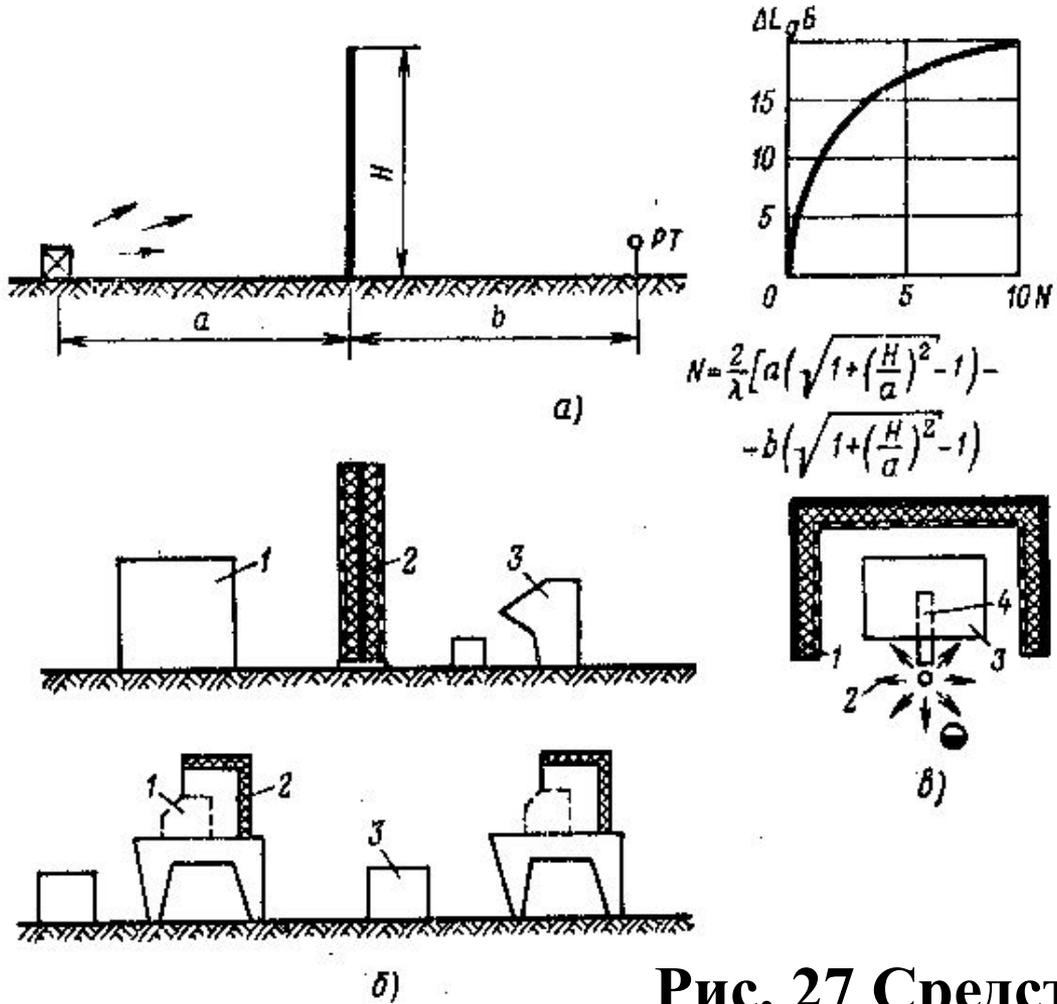


Рис. 27 Средства экранирования

а - схема экрана; б - экранирование нескольких источников шума;  
 в - экранирование источников механического шума; 1 - оборудо-  
 вание; 2 - экран со звукопоглотителем; 3 - рабочее место;  
 4 - дисковая пила.

а)

б)

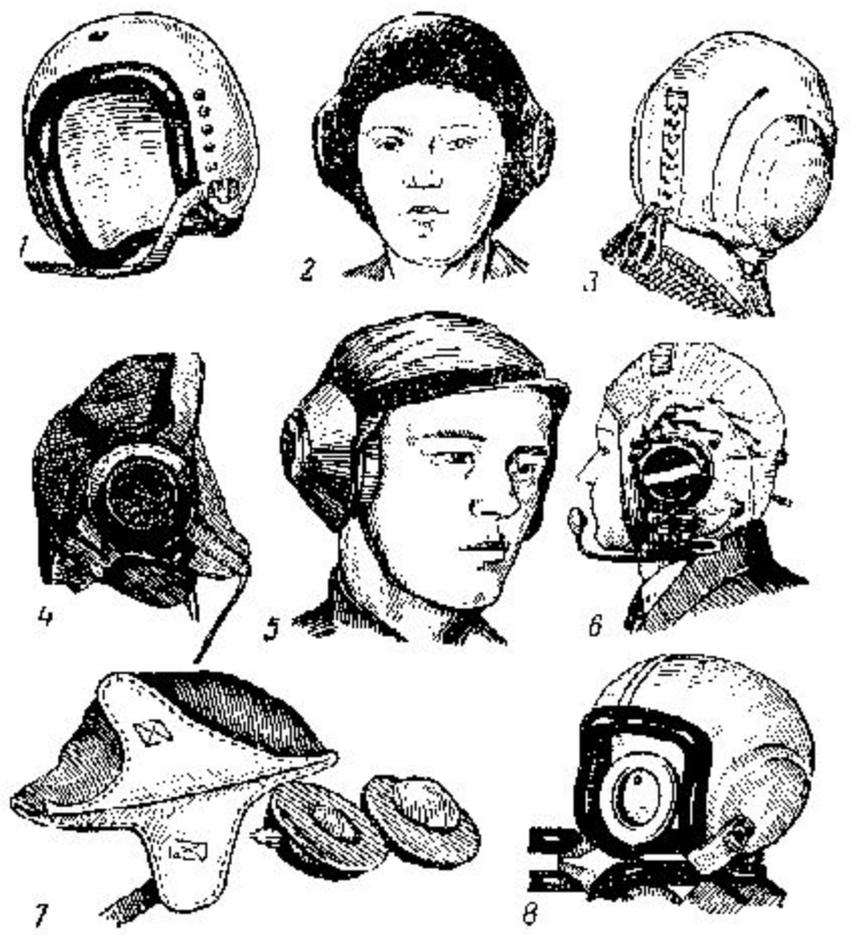
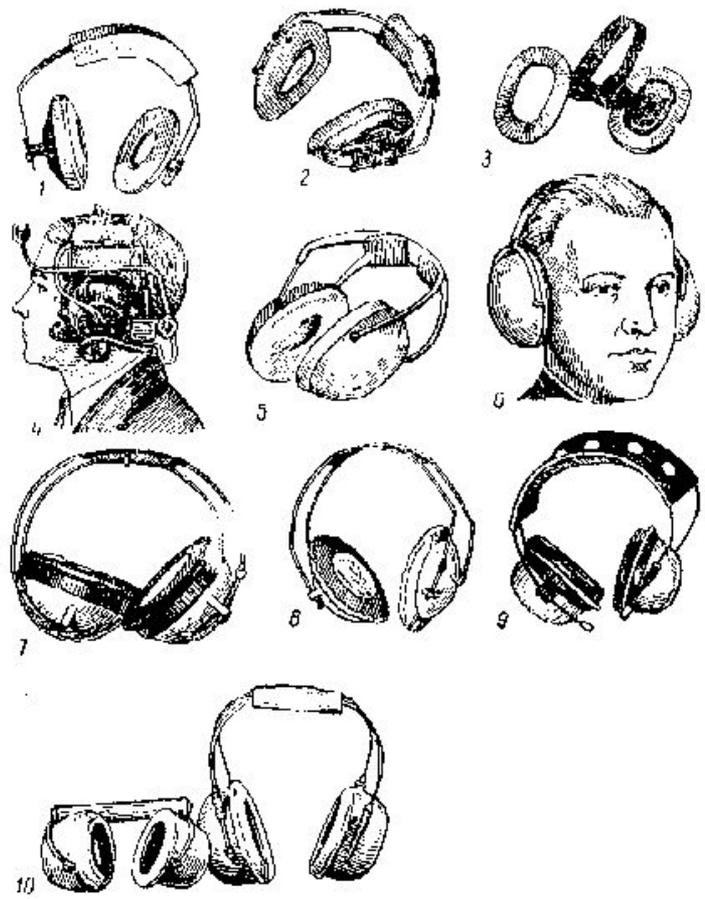


Рис. 28 Средства индивидуальной защиты от шума

а - наушники; б - шумозащитные шлемы.