

# Упругие волны или механические колебания

## План лекции:

1. Классификация упругих волн.
2. Инфразвук.
  - 2.1. Физические характеристики инфразвука.
  - 2.2. Биологическое действие инфразвука.
3. Слышимый звук.
  - 3.1. Физические характеристика звука.
  - 3.2. Биологическое действие звука.
4. Ультразвук.
  - 4.1. Физические характеристики ультразвука.
  - 4.2. Биологическое действие ультразвука.
5. Вибрация.
  - 5.1. Физические характеристики вибрации.
  - 5.2. Биологическое действие вибрации.
6. Гигиеническая регламентация упругих волн.
7. Санитарная оценка интенсивности упругих волн.

# Классификация упругих волн

№№ пп	Упругие волны	Диапазон частот
1	Инфразвук	$<16$ Гц
2	Слышимый звук	$16 - 20\ 000$ Гц
3	Ультразвук	$20\ 000 - 10^9$ Гц
4	Гиперзвук	$>10^9$ Гц
5	Вибрация	$<16$ Гц – $>20\ 000$ Гц



# Инфразвук

# Физические характеристики инфразвука

1. Длина волны составляет десятки и сотни метров в зависимости от частоты инфразвука:

$$\lambda = \frac{V}{f} = (\text{например}) \frac{344 \text{ м/с}}{1 \text{ с}^{-1}} = 344 \text{ м}$$

2. В связи с большой длиной волны инфразвук огибает, практически, все возможные на пути распространения преграды, не задерживаясь, т.е. способен к дифракции.
3. Поэтому он преодолевает расстояния, измеряемые сотнями, десятками и тысячами метров.
4. Сила или интенсивность инфразвука и звуковое давление измеряются в Вт/м<sup>2</sup>, Н/м<sup>2</sup>, эрг/см<sup>2</sup>×сек, Па.
5. Уровень силы инфразвука измеряется в дБ.

# Физические характеристики инфразвука (продолжение таблицы)

6. Спектральный состав (преобладающие частоты и уровни).
7. Временные параметры (постоянный или непостоянный, суммарное время воздействия).
8. Степень выраженности инфразвуковой составляющей: её уровень относительно уровня слышимого шума по их разности.

# Источники инфразвука

Природные источники	Техногенные источники
<p>Турбулентность потоков жидкостей и газов.</p> <p>Штормовые волнения моря.</p> <p>Приливные волны.</p> <p>Движение воздуха над изрезанной горами земной поверхностью.</p> <p>Землетрясения.</p> <p>Извержения вулканов.</p> <p>Взрывы болоидов.</p> <p>Полярные сияния.</p> <p>Сильные грозы.</p> <p>Смерчи.</p>	<p>Компрессоры.</p> <p>Турбины.</p> <p>Промышленные вентиляторы.</p> <p>Дизельные двигатели.</p> <p>Электровозы.</p> <p>Авиационная техника.</p> <p>Космическая техника.</p> <p>Ударный инструмент.</p> <p>Крупногабаритные машины и механизмы.</p>

# Классификация инфразвука по зонам риска для здоровья человека

Номера зон	Наименование зон	Уровень силы
I	Зона смертельных уровней	180-190 дБ
II	Зона экстремальных эффектов	140-150 дБ
III	Зона высокого риска при периодических воздействиях	140-145 дБ
IIIa	Зона высокого риска при кратковременном воздействии	123-134 дБ
IV	Зона выраженного прогрессирования риска	110-120 дБ
V	Зона умеренного риска нарушений здоровья	100-120 дБ
VI	Зона неясных, стёртых, трудно обнаруживаемых эффектов	<90 дБ
VII	Зона экологически неблагоприятного действия на население жилой застройки	109 дБ

# Биологическое действие инфразвука (1-ый слайд)

Гипоталамический криз с сенсорно-  
соматовегетативными  
висцеральными симптомами:

головокружение,  
тошнота,  
ощущение давления на барабанные перепонки,  
заложенность ушей,  
ознобоподобный тремор тела,  
перистальтика кишечника,  
головная боль,  
удушьё,  
кашель,  
чувство страха,  
беспокойство,  
онемение нёба и кожи лица.



# Биологическое действие инфразвука

(2-ой слайд)

Метеолабильные реакции,  
стенокардия,  
вибрация стенок грудной клетки, внутренних органов,  
различные неприятные ощущения в области  
подреберья,  
звон в ушах, модуляция звуков, речи,  
боль при глотании, сухость во рту,  
общее утомление, затруднённое дыхание,  
изменение ритма сердечных сокращений,  
временный сдвиг порога слышимости на звуковых  
частотах,  
пространственная дезориентация,  
понижение тактильной, болевой, температурной  
чувствительности,  
влажность рук, отсутствие аппетита.

# Биологическое действие инфразвука

(3-ий слайд)

В некоторых случаях полная прострация, которую обычно испытывают люди после сильного нервного потрясения.

У крыс – расширение кровеносных сосудов, кровоизлияния в лёгких.

Расстройство нервной системы, пищеварения.

Лётчики и космонавты медленнее решали простые арифметические задачи, нежели обычно.

# Наиболее общие эффекты инфразвуковых колебаний

Эффекты	Симптомы
Общее утомление – основной психологический эффект	Общее болезненное состояние, лёгкое недомогание, резкая слабость
Синдром морской болезни – наиболее общий физиологический эффект	Головокружение, тошнота, потеря аппетита, рвота, нарушение координации движений и т.д.

# Зависимость «точек приложения» и эффектов инфразвука от его частоты

Частота	«Точки приложения» и эффекты
2 – 15 Гц	Эти частоты очень нежелательны из-за резонансных явлений.
5 – 9 Гц	Печень, селезёнка и желудок, болезненные ощущения в нижней части живота и в грудной клетке, ощущение колебания внутренних органов.
7 Гц	Частота совпадает с $\alpha$ -ритмом биотоков мозга – это очень опасно.
>9 Гц	Болезненные симптомы в полости рта, гортани, мочевом пузыре и прямой кишке.

# Гипотеза

Болезни в современном обществе частично порождены неслышимым сверхнизкочастотным звуком.

Население, проживающее в районе, где имеет место круглосуточное воздействие инфразвука с уровнем 109 дБ, предъявляет достоверно больше жалоб, чем население контрольного района.

## Последствия инфразвукового воздействия

не выявляются в виде острых  
заболеваний,  
однако ухудшают самочувствие  
работающих и населения,  
что может проявляться в различных  
хронических соматических и  
психосоматических заболеваниях.



# Эффект совместного действия инфразвука и слышимого звука

1. От инфразвука малой интенсивности можно защититься другими очень сильными звуками с помощью эффекта маскировки.
2. Замаскированный инфразвук менее вреден, чем тональный.
3. Этим объясняется тот факт, что рабочие, находящиеся в шумных цехах, не ощущают влияния инфразвука, образованного дизельными двигателями, промышленными вентиляторами и др.



Слышимый звук (шум)



# Классификация слышимого звука

Частота	Название диапазона звука
$<300$ Гц	Низкочастотный звук
300-800 Гц	Среднечастотный звук
$>800$ Гц	Высокочастотный звук
Непрерывный спектр шириной более одной октавы	Широкополосный шум
В спектре имеются выраженные дискретные тона $>10$ дБ	Тональный шум

# Классификация шумов по временным характеристикам

Постоянные шумы	Непостоянные шумы
Уровень силы шума за рабочий день изменяется не более, чем на 5 дБ	Уровень силы шума за рабочий день изменяется более, чем на 5 дБ.

# Классификация непостоянных шумов

1. Колеблющиеся во времени шумы – уровень звука непрерывно изменяется во времени.
2. Прерывистые шумы – уровень звука ступенчато изменяется (на 5 дБ и более), причём длительность интервалов, в течение которых уровень остаётся постоянным, составляет 1 сек. и более.
3. Импульсные шумы – состоят из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 сек., при этом уровень звука отличается не менее чем на 7 дБ.

# Шум

– сочетание звуков различной частоты и силы, вызывающее неприятные ощущения у человека.

– любой нежелательный для человека звук.



# Единицы измерения интенсивности звука

(силы звука и звукового давления)

$\text{Вт/м}^2$ ,  $\text{Н/м}^2$ ,  $\text{эрг/см}^2 \times \text{сек}$ , Па.



# Интенсивность, звуковое давление и уровень силы звука

Интенсивность, Вт/м <sup>2</sup>	Звуковое давл., Н/м <sup>2</sup>	дБ
100 000 000	200 000	200
10 000 000		190
1 000 000	20 000	180
100 000		170
10 000	2 000	160
1 000		150
100	200	140
10		130
1	20	120
0,1		110
0,01	2	100
0,001		90
0,0001	0,2	80
0,00001		70
0,000001	0,02	60
0,0000001		50
0,00000001	0,002	40
0,000000001		30
0,0000000001	0,0002	20
0,00000000001		10

# Пороги слышимости звука частотой 1000 Гц

Эрг/см<sup>2</sup>×сек    Н/м<sup>2</sup>

10<sup>4</sup>

20

$$\beta = \lg \frac{I}{I_0} = \lg \frac{10^4}{10^{-9}} = \lg 10^{13} = 13B = 130\text{дБ};$$

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0} = 20 \lg \frac{20}{2 \times 10^{-5}} = 20 \lg 10^6 = 20 \times 6 = 120\text{дБ}$$

10<sup>-9</sup>

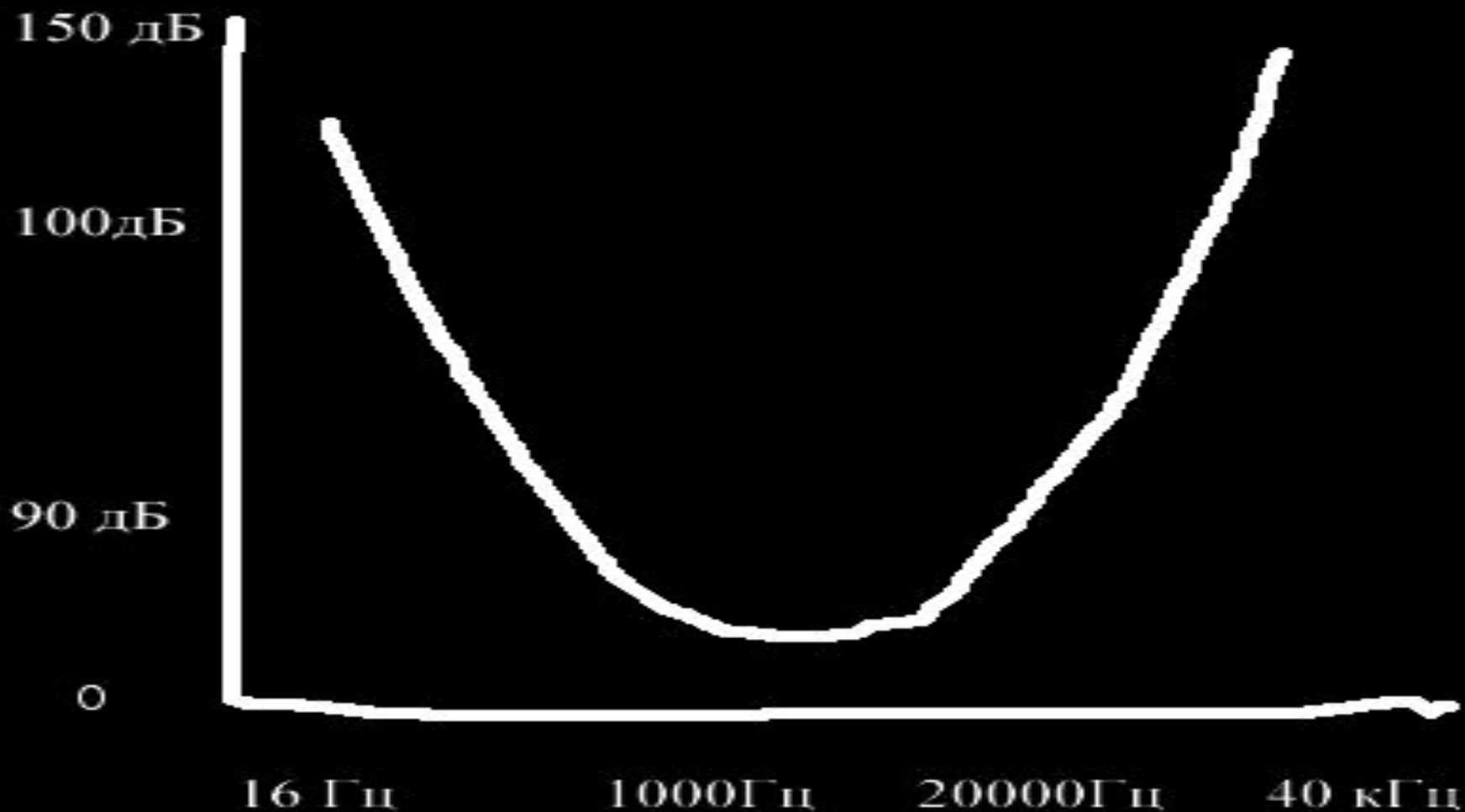
2×10<sup>-5</sup>

# ИНТЕНСИВНОСТЬ ТИПИЧНЫХ ЗВУКОВ

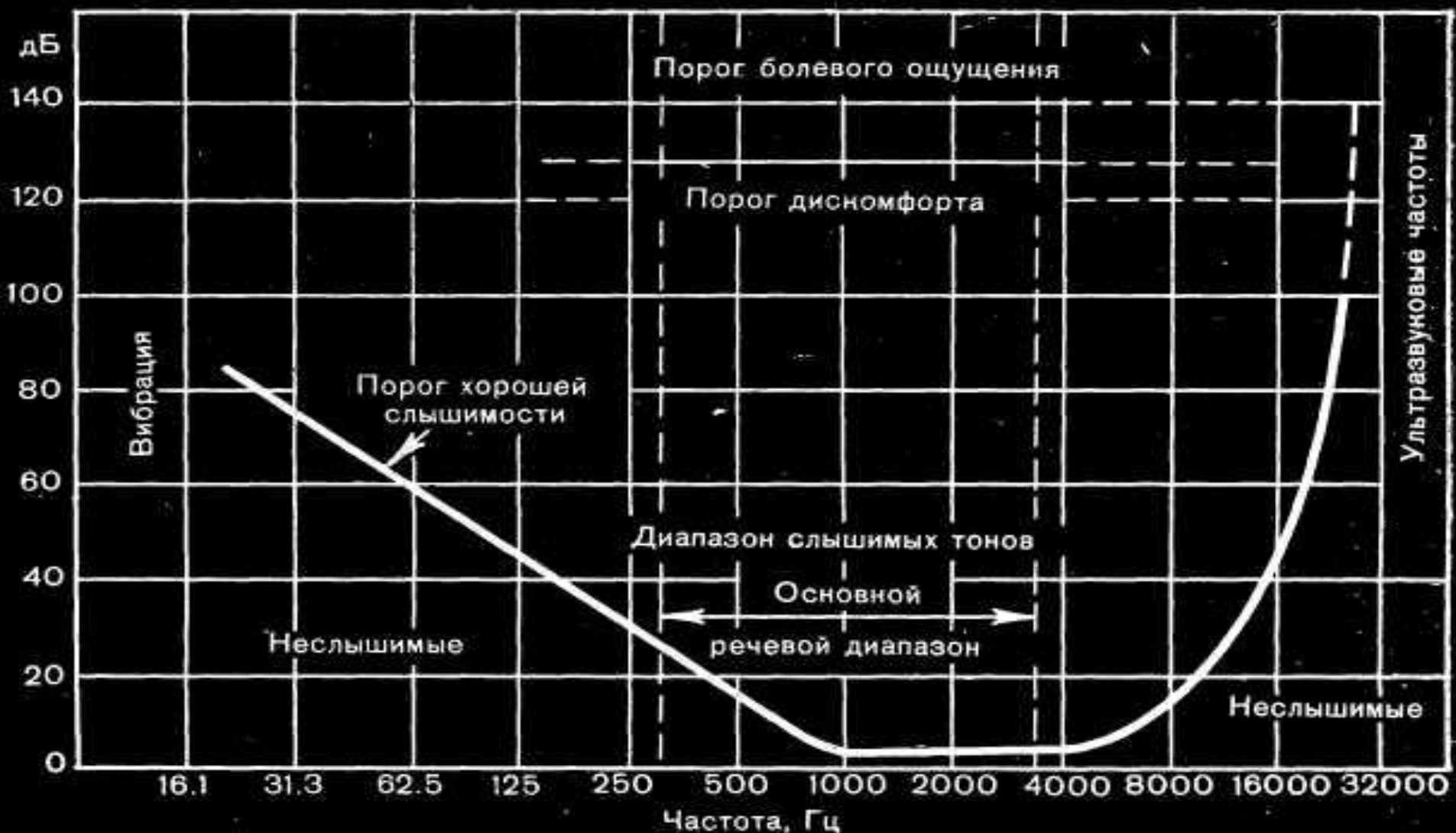
L, дБ	Источник звука и расстояние до него
160	Выстрел из ружья вблизи уха
150	Взлёт лунной ракеты, 100 м
140	Взлёт реактивного самолёта, 25 м
120	Машинное отделение подводной лодки
100	Очень шумный завод
90	Тяжёлый дизельный грузовик, 7 м
80	Звон будильника, 1 м
75	В железнодорожном вагоне
70	Квартирный пылесос, 3 м
65	Машинное бюро, обычный разговор, 1 м
40	Учреждение без спец. источников шума
35	Комната в тихой квартире
25	Сельская местность вдали от дорог



# Пороги восприятия (слышимости) звуков различной частоты



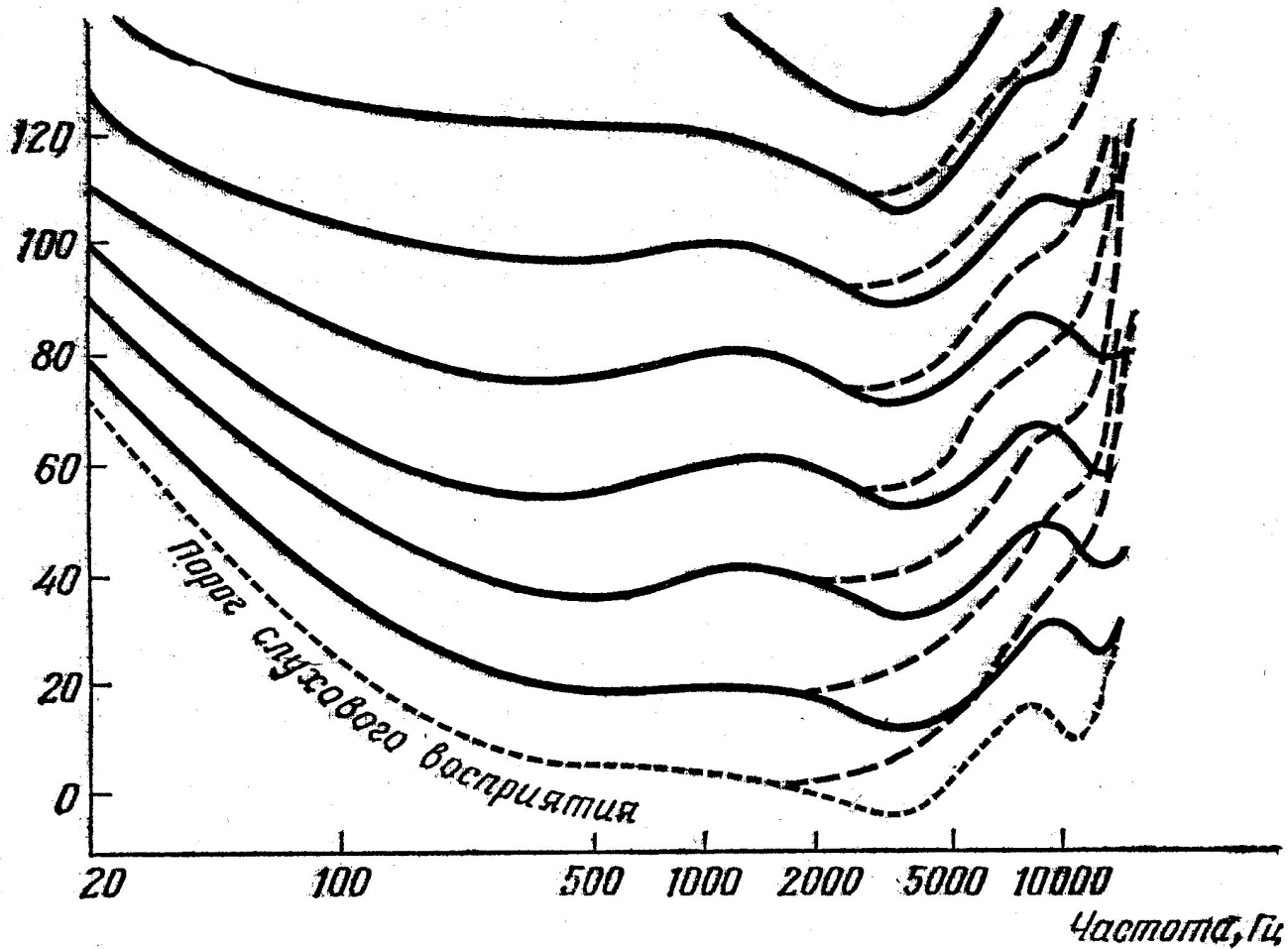
# Слуховой диапазон



# Уровень силы и уровень громкости звука частотой 1000 Гц численно совпадают

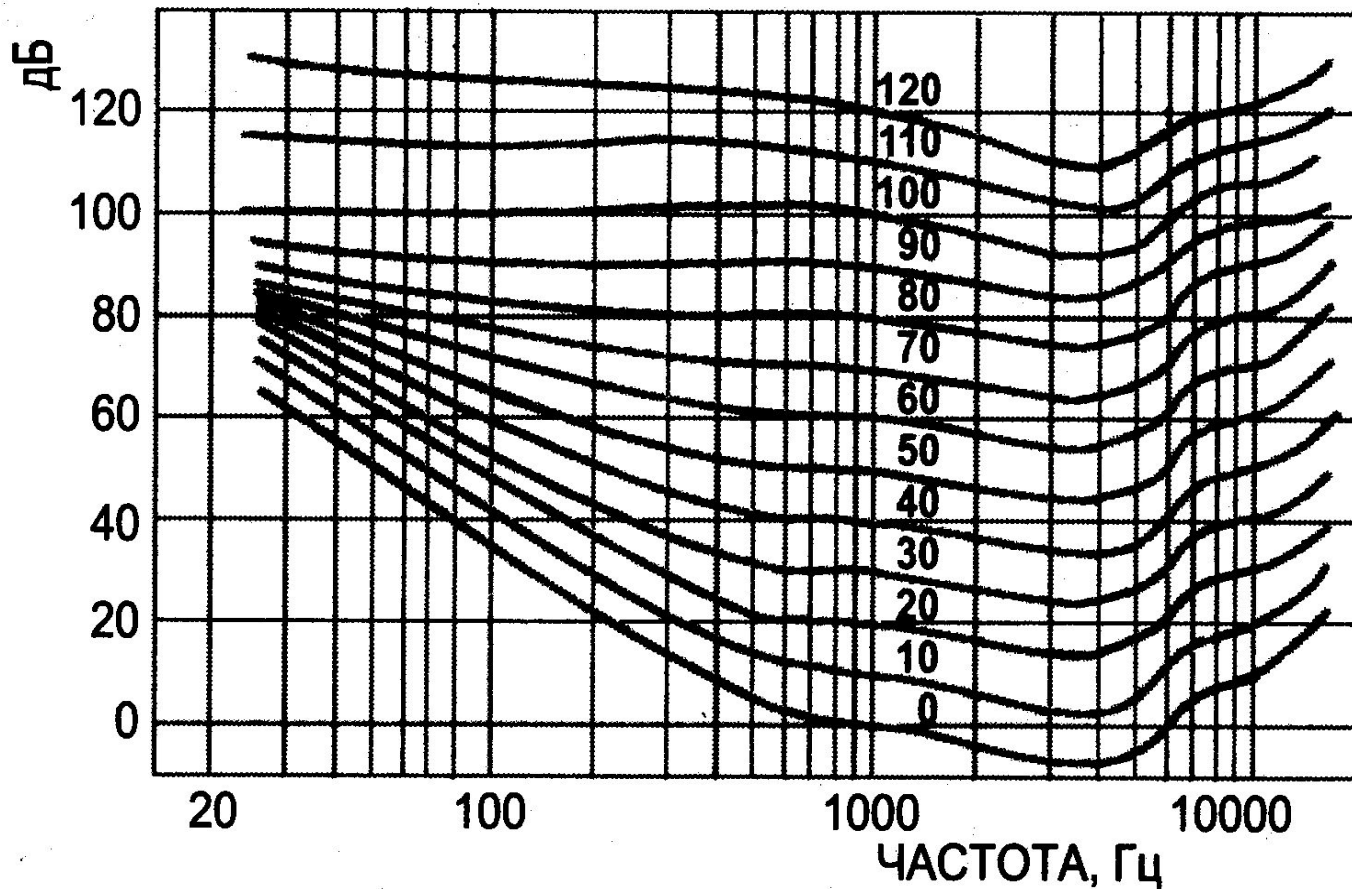
Единицы измерения	1-ый источник звука	2-ой источник звука
Уровень силы звука, L ( $\beta$ ), дБ	<u>60</u>	<u>60</u>
Частота, Гц	1000	100
Уровень громкости, фон	<u>60</u>	<u>40</u>

Уровень давления звука (относительно 2·10<sup>-5</sup> Н/м<sup>2</sup>), дБ



— 20 лет  
- - - 60 лет

Линии равной громкости для чистых тонов (для людей различных возрастов).



*Громкость для КРГ обозначена в фонах. На различных участках диапазона частот одной и той же громкости соответствует различное звуковое давление (уровень громкости) в децибелах. Различие в звуковом давлении особенно выражено при малых громкостях.*

# Биологическое действие шума

Неспецифические изменения  
в виде синдрома неврастения  
и реже в виде  
синдрома вегетососудистой дисфункции  
(нейроциркуляторной дистонии  
преимущественно по гипертоническому типу).

# Жалобы рабочих

Головные боли,  
Несистематические головокружения,  
Повышенная утомляемость,  
Эмоциональная неустойчивость,  
Снижение памяти,  
Нарушение сна,  
Сердцебиения и боли в области сердца,  
Снижение аппетита и т.д.

# Реакция желудка на воздействие шума

Дисфункция желудка,  
нарушение его эвакуаторной функции,  
изменение  
кислотности желудочного сока.



# Реакция иммунной системы на воздействие шума

Снижение иммунологической реактивности,  
снижение общей резистентности организма,  
что проявляется в повышении  
уровня заболеваемости  
с временной утратой трудоспособности  
в 1,2 – 1,3 раза.

Интенсивное шумовое воздействие  
вызывает в слуховом анализаторе  
изменения, составляющие  
специфическую реакцию организма:

медленно прогрессирующее снижение слуха  
по типу кохлеарного неврита.

# Ультразвук

# Классификация ультразвука

Диапазон ультразвука	Частоты
Низкочастотный ультразвук	20 000 – 100 000 Гц
Высокочастотный ультразвук	100 000 – 1 000 000 Гц

# Особенности ультразвука

- ✚ Малая длина волны ( $< 1,5$  см) даёт возможность получать направленный сфокусированный пучок большой энергии;
- ✚ ультразвуковые волны способны давать отчётливую акустическую тень, так как размеры экранов всегда будут соизмеримы или больше длины волны;
- ✚ проходя через границу раздела двух сред, ультразвуковые волны могут отражаться, преломляться и поглощаться;
- ✚ ультразвук, особенно высокочастотный, практически не распространяется в воздухе, так как звуковая волна, распространяясь в среде, теряет энергию пропорционально квадрату частоты колебаний.

# Области использования ультразвука

Очистка деталей,  
коагуляция взвешенных в воздухе частиц,  
активизация химических процессов,  
механическая обработка сверхтвёрдых и хрупких материалов,  
обработка семян и борьба с насекомыми и гусеницами,  
приготовление сухого молока, эмульгирование жиров,  
стерилизация инструментов, материалов, упаковок с пищевыми продуктами, дефектоскопия,  
ультразвуковая диагностика,  
сушка изделий, связь и т.д.

# Применение в медицине для диагностики

Исследование сердца,  
обнаружение инородных тел, камней,  
диагностика опухолей,  
диагностика кистозных образований,  
диагностика отслоений сетчатки,  
диагностика кровоизлияний,  
определение плотности сросшейся и повреждённой  
кости,  
диагностика повреждений звуковоспринимающего  
аппарата и т.д.

# Применение в медицине для лечения

Оказывает болеутоляющее, спазмолитическое, противовоспалительное и бактерицидное действие,  
Улучшает крово- и лимфообращение,  
Стимулирует деятельность нервной и эндокринной систем,  
Усиливает защитные реакции организма,  
Снижает артериальное давление,  
Разрушает опухолевые ткани,  
Способствует сращению переломов,  
Используется для лечения катаракты,  
Используется для борьбы с фантомными болями.



# Действие ультразвука на организм (1-ый слайд)

*Высокочастотный ультразвук*  
обладает главным образом  
локальным действием на организм,  
поскольку передаётся  
при непосредственном контакте  
с ультразвуковым инструментом,  
обрабатываемыми деталями или средами,  
где возбуждаются ультразвуковые колебания.

# Действие ультразвука на организм (2-ой слайд)

Низкочастотный ультразвук,  
распространяющийся воздушным путём,  
вызывает изменения нервной,  
сердечно-сосудистой и  
эндокринной систем,  
слухового и вестибулярного анализаторов,  
гуморальные нарушения.  
Наиболее характерным является наличие  
вегетососудистой дистонии и  
астенического синдрома.

# Действие ультразвука на организм (3-ий слайд)

При действии  
локального ультразвука,  
помимо общецеребральных нарушений,  
возникают явления вегетативного полиневрита  
рук (реже ног) разной степени выраженности,  
вплоть до развития  
пареза кистей и предплечий,  
вегетомиофасцикулита рук и  
вегетативно-сосудистой дисфункции.

# Действие ультразвука на организм (4-ый слайд)

Малые уровни силы и время воздействия  
ультразвука

дают стимулирующий эффект:

микромассаж,

ускорение обменных процессов,

нормализация сосудистых реакций,

снижение артериального давления,

расширение сосудов.

# Вибрация

# Вибрация

— это механическое колебательное движение системы с упругими связями.

Простейшей формой вибрации  
является  
гармоническое колебание.

# Параметры вибрации:

1. Период колебаний – время, в течение которого материальное тело совершает одно полное колебание.
2. Амплитуда – максимальное отклонение тела от положения устойчивого равновесия.
3. Скорость:  $V_{\max} = \pi 2 f a;$
4. Ускорение:  $W = 4\pi f^2 a.$

Относительный уровень  
виброскорости:

$$L_V = 20 \lg \frac{V}{5 \times 10^{-8}} \text{ дБ.}$$



Относительный уровень  
виброускорения:

$$L_W = \lg \frac{W}{3 \times 10^{-4}} \text{ дБ.}$$

# Гигиенически значимые уровни вибрации

Нулевой уровень виброскорости =  $5 \times 10^{-8}$  м/с;

Нулевой уровень виброускорения =  $3 \times 10^{-4}$  м/с<sup>2</sup>;

Эти уровни соответствуют стандартному порогу  
звукового давления, равному  $2 \times 10^{-5}$  Па.

Порог восприятия виброскорости =  $1 \times 10^{-4}$  м/с;

Порог болевого ощущения = 1 м/с.

# Классификация вибрации по способу передачи на человека

1. Местная (локальная) – передаётся на руки работающих.
2. Общая – передаётся через опорные поверхности на тело человека в положении сидя (ягодицы) или стоя (подошвы ног).

# Классификация вибрации по частотному составу

Классы	Октавные полосы частот с преобладанием максимальных уровней вибрации	
	Местная (локальная) вибрация	Общая вибрация
Низкочастотная вибрация	8 Гц и 16 Гц	1 Гц и 4 Гц
Среднечастотная вибрация	31,5 Гц и 63 Гц	8 Гц и 16 Гц
Высокочастотная вибрация	125, 250, 500, 1000 Гц	31,5 Гц и 63 Гц

# Классификация вибрации по временным характеристикам

1. Постоянная вибрация – величина виброскорости изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 1 минуты.
2. Непостоянная вибрация – величина виброскорости изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 1 минуты.

# Источники вибрации

Инструменты: клепальные, рубильные, отбойные молотки, пневмотрамбовки.

Пневматические и электрические перфораторы.

Шлифовальные и сверлильные машины.

Электро- и бензопилы.

Гайковёрты.

Грузовой автотранспорт, землеройные машины, экскаваторы, подъёмные краны, трактора, горнодобывающие машины, виброплатформы, вибростенды, молоты, штампы, прессы и т.д.

# Действие вибрации на организм

Характер, глубина и направленность  
функциональных сдвигов  
со стороны различных систем организма  
определяются прежде всего  
уровнями, спектральным  
составом и  
продолжительностью  
вибрационного воздействия.



Степень распространения колебаний по телу  
зависит от их

1. частоты и
2. амплитуды,
3. площади участков тела,  
соприкасающихся с вибрирующим объектом,
4. места приложения и
5. направления оси вибрационного  
воздействия,
6. демпфирующих свойств тканей,
7. явления резонанса  
и других условий.

При низких частотах  
вибрация  
распространяется по телу  
с весьма малым затуханием,  
охватывая колебательным движением  
всё туловище и голову.

# Резонанс человеческого тела в биодинамике

определяется как явление,  
при котором  
анатомические структуры, органы и системы  
под действием внешних вибрационных сил,  
приложенных к телу,  
получают колебания большей амплитуды.

# Наиболее опасные частоты вибрации

Частоты	Резонирующие органы
3,0 – 30 Гц	Область головы в положении сидя при вертикальной вибрации
1,5 – 2 Гц	Область головы в положении сидя при горизонтальной вибрации
3 – 3,5 Гц	Торакоабдоминальные органы
60 – 90 Гц	Глазные яблоки
4 – 6 Гц	Всё тело в положении сидя.

# Вибрационная болезнь

1. Вибрационная болезнь, вызванная локальной вибрацией.
2. Вибрационная болезнь, вызванная общей вибрацией.

# Гигиеническая регламентация упругих волн

Принцип регламентации  
основан на обнаружении  
пороговых уровней  
различных диапазонов упругих волн,  
по которым  
с помощью коэффициентов запаса  
рассчитываются  
предельно допустимые уровни.

# Санитарная оценка

Имеется ряд нормативов,  
регламентирующих санитарные параметры  
инфразвука,  
слышимого звука,  
ультразвука и  
вибрации,  
в виде ГОСТов,  
многие из которых относятся к  
стандартам системы безопасности труда (ССБТ).

# Документы санитарно-эпидемиологической службы

1. «Санитарные нормы и правила по ограничению вибрации и шума на рабочих местах тракторов, сельскохозяйственных мелиоративных, строительно-дорожных машин и грузового автотранспорта», №1102-73, 18/V-1973 г.
2. «Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах», №1304-75, 13/VI-1975 г.
3. «Методические рекомендации по составлению карт вибрации жилой застройки», №4158-86, 3/XI-1986 г.
4. «Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.2.540-96». Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ.
5. «Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.1.8.562-96». Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
6. «Межгосударственные санитарные правила и нормы. МСанПиН 001-96». Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях.



Конец лекции