

# Тема лекции 15. Производственная вибрация.



## План лекции

1. Физические характеристики вибрации.
2. Классификация вибраций.
3. Нормирование вибрации.
4. Действие вибрации на организм человека.
5. Методы контроля и средства измерения вибрации
6. Системы защиты от вибрации.

**Вибрация** — это механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам.

Вибрация как производственная вредность — это МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ, ВОСПРИНИМАЕМЫЕ ПРИ КОНТАКТЕ С КОЛЕБЛЮЩИМСЯ ТЕЛОМ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Причинами ее возникновения являются **неуравновешенные силовые воздействия**, источниками которых служат:

- **возвратно-поступательные движущиеся системы** (кривошипно-шатунные механизмы, вибротрамбовки и др.);



■ **неуравновешенные  
вращающиеся массы**  
(например, ручные  
электрические  
шлифовальные машины).

В отдельных случаях  
вибрации могут создаваться  
также **ударами деталей**  
(зубчатые зацепления,  
подшипниковые узлы).

Неуравновешенные силы  
появляются в результате  
**дисбаланса**, причиной  
которого может быть  
неоднородность материала  
вращающегося тела,  
несовпадение центра массы  
тела и оси вращения и др.





Основными понятиями теории вибрации являются вибрационные параметры:

- 1) виброперемещение, виброскорость и виброускорение;
- 2) механический импеданс;
- 3) собственная частота.

Вибрации, встречающиеся в технике, как правило, имеют характер, близкий к гармоническому, а имеющие место в ряде случаев периодические процессы можно легко представить как наложение гармонических колебаний, т.е. колебаний, при которых колеблющаяся величина изменяется по закону синуса (косинуса).

Для гармонических колебаний величина отклонения колеблющейся точки от положения равновесия (**виброперемещение  $x$** ) определяется по формуле:

$$x = x_T \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $x_T$  — амплитуда виброперемещения;  $\varphi$  — начальная фаза колебаний в момент времени  $t = 0$ ;  $\omega = 2\pi f$  — круговая частота;  $f$  — частота колебаний.

|          |          |           |            |               |         |            |          |
|----------|----------|-----------|------------|---------------|---------|------------|----------|
| $\alpha$ | $\beta$  | $\gamma$  | $\delta$   | $\varepsilon$ | $\zeta$ | $\eta$     | $\theta$ |
| АЛЬФА    | БЕТА     | ГАММА     | ДЕЛЬТА     | Э ПСИЛОН      | ДЗЕТА   | ЭТА        | ТЕТА     |
| $\iota$  | $\kappa$ | $\lambda$ | $\mu$      | $\nu$         | $\xi$   | $\omicron$ | $\pi$    |
| НОТА     | КАППА    | ЛАМЕДА    | МИ         | НИ            | КСИ     | О МИКРОН   | ПИ       |
| $\rho$   | $\sigma$ | $\tau$    | $\upsilon$ | $\phi$        | $\chi$  | $\psi$     | $\omega$ |
| РО       | СИГМА    | ТАУ       | И ПСИЛОН   | ФИ            | ХИ      | ПСИ        | О МЕГА   |

## ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

|   |   |         |   |   |         |
|---|---|---------|---|---|---------|
| Α | α | альфа   | Ν | ν | ню      |
| Β | β | бета    | Ξ | ξ | кси     |
| Γ | γ | гамма   | Ο | ο | омикрон |
| Δ | δ | дельта  | Π | π | пи      |
| Ε | ε | эпсилон | Ρ | ρ | ро      |
| Ζ | ζ | дзета   | Σ | σ | сигма   |
| Η | η | эта     | Τ | τ | тау     |
| Θ | θ | тета    | Υ | υ | ипсилон |
| Ι | ι | йота    | Φ | φ | фи      |
| Κ | κ | каппа   | Χ | χ | хи      |
| Λ | λ | ламбда  | Ψ | ψ | пси     |
| Μ | μ | мю      | Ω | ω | омега   |

**Виброскорость ( $v$ ) и виброускорение ( $a$ )** являются соответственно первой и второй производной по времени от виброперемещения, в связи с чем определяются из следующих соотношений:

$$v = \omega x_T \cos(\omega t + \varphi) = v_T \cos(\omega t + \varphi);$$
$$a = -\omega^2 x_T \sin(\omega t + \varphi) = -a_T \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $v_T$ ,  $a_T$  — максимальные значения соответственно виброскорости и виброускорения колеблющейся точки.

**Уровни виброскорости ( $L_v$ ) и виброускорения ( $L_a$ )** определяются по формулам:

$$L_v = 20 \cdot \lg \frac{v}{v_0};$$
$$L_a = 20 \cdot \lg \frac{a}{a_0},$$

где  $v$  и  $a$  — соответственно средние квадратичные значения виброскорости (м/с) и виброускорения (м/с<sup>2</sup>);  $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  — опорное значение виброскорости, м/с;  $a_0 = 1 \cdot 10^{-6}$  — опорное значение виброускорения, м/с<sup>2</sup>.



Механический импеданс ( $Z$ ) определяется как отношение вынуждающей силы ( $F$ ), приложенной к системе, к результирующей колебательной скорости  $v$  в точке приложения силы

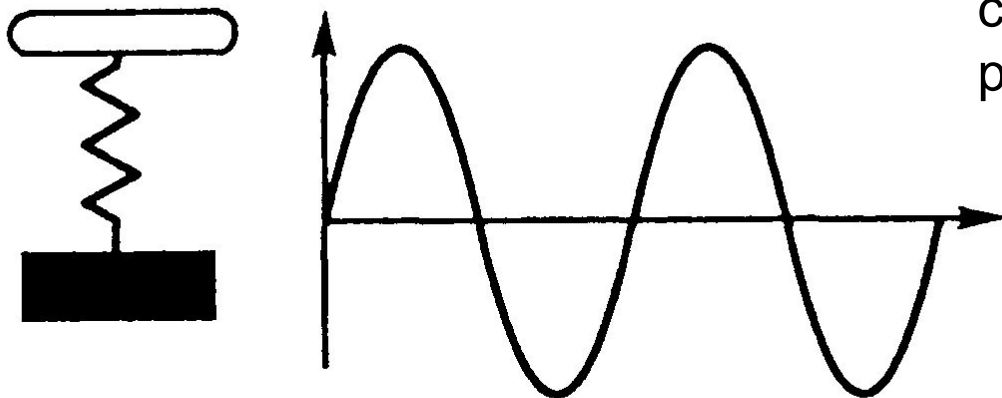
$$Z = \frac{F}{v}.$$

Собственная частота ( $f_0$ ) — это частота свободных колебаний системы, т.е. колебаний без переменного внешнего воздействия и поступления энергии.

Собственная частота колебаний системы ( $f_0$ ), представленной на рис. определяется по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}},$$

где  $K$  — жесткость пружины;  
 $M$  — масса груза.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ВИБРАЦИЙ

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» вибрация, воздействующая на человека, классифицируется следующим образом:

## По способу передачи:

- **общая вибрация**, передающаяся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- **локальная вибрация**, передающаяся через руки человека, на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов.

Характерные случаи передачи вибрации телу человека с указанием опорных поверхностей приведены на рис.

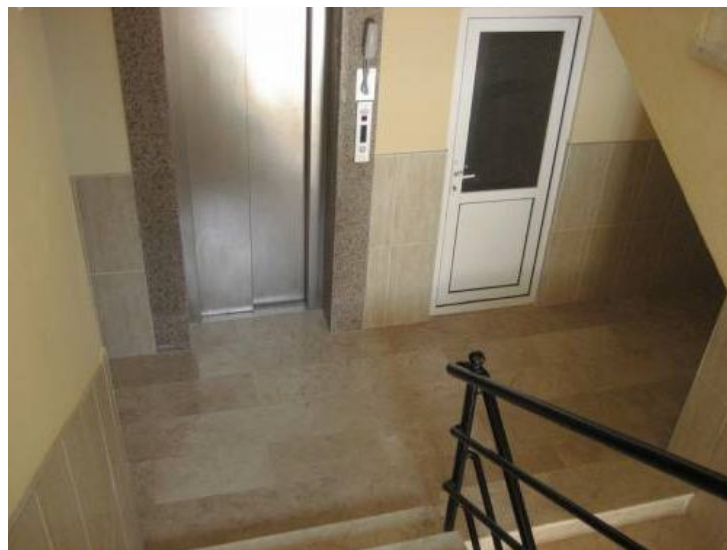
|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <p>Человек-оператор</p>  | <p>Автомобили,<br/>строительные<br/>машины,<br/>сельско-<br/>хозяйственные<br/>машины,<br/>поезда,<br/>самолеты, суда</p> | <p>Человек-оператор</p>  | <p>Металло-<br/>обрабатывающие<br/>машины,<br/>текстильные<br/>машины,<br/>виброплатформы,<br/>металлургические<br/>машины</p> |
|   |   |   |  |
| <p>Человек-оператор</p>  | <p>Ручные машины</p>  | <p>Пассажир</p>  | <p>Транспортные<br/>средства</p>   |
|  |   |  |  |

## По источнику возникновения:

- общая в жилых помещениях и общественных зданиях:

- > от внешних источников (городского рельсового транспорта и автотранспорта; промышленных предприятий и передвижных промышленных установок);

- > от внутренних источников (инженерно-технологического оборудования зданий и бытовых приборов (лифты, вентиляционные системы, холодильники и т.д.)



- общая на производстве:

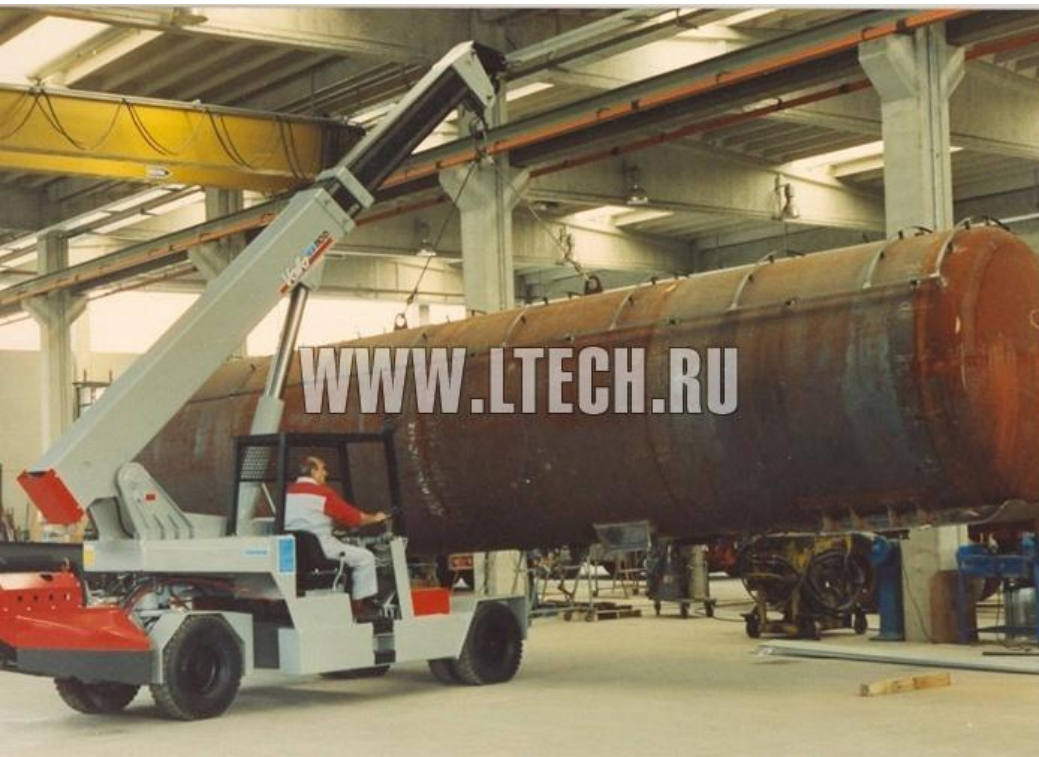
- > 1 категории - транспортная вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: тракторы с/х и промышленные, самоходные с/х и промышленные машины, автомобили грузовые, снегоочистители.





- общая вибрация на производстве:  
> 1 категории

>2 категории — транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы, краны промышленные и строительные, напольный производственный транспорт.



> 3 категории — технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло- и деревообрабатывающие, электрические машины, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин и др.



Металлорежущий станок



**Общая вибрация категории 3** по месту действия подразделяется на следующие типы:

- а) **на постоянных рабочих местах** производственных помещений предприятий;
- б) **на рабочих местах** на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, **где нет машин, генерирующих вибрацию;**
- в) **на рабочих местах** в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;



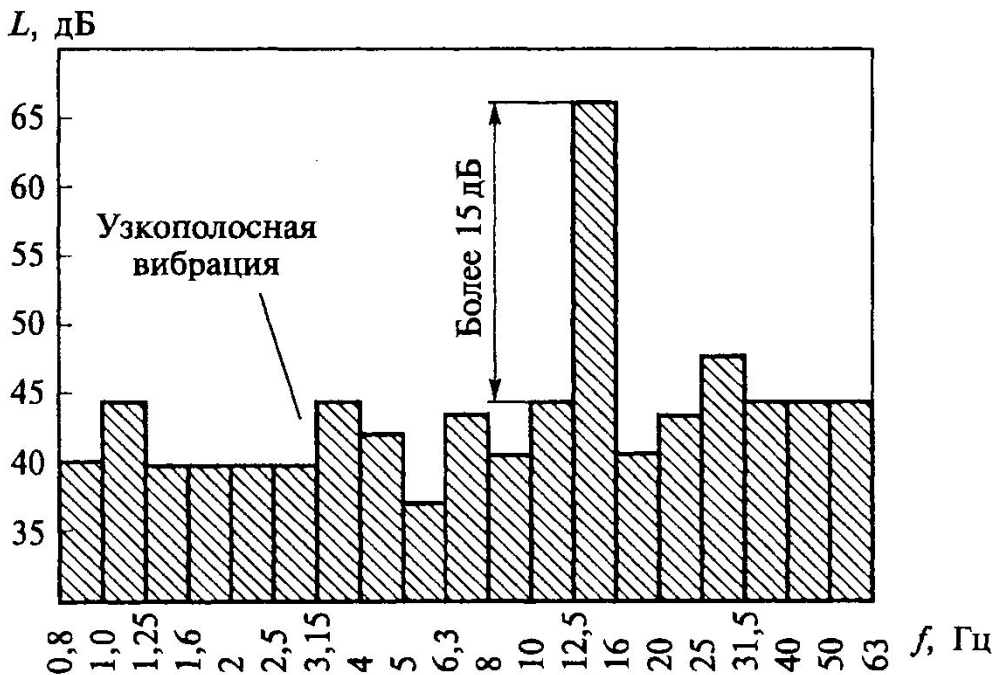
- **локальная на производстве:**

- > локальная вибрация, передающаяся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;

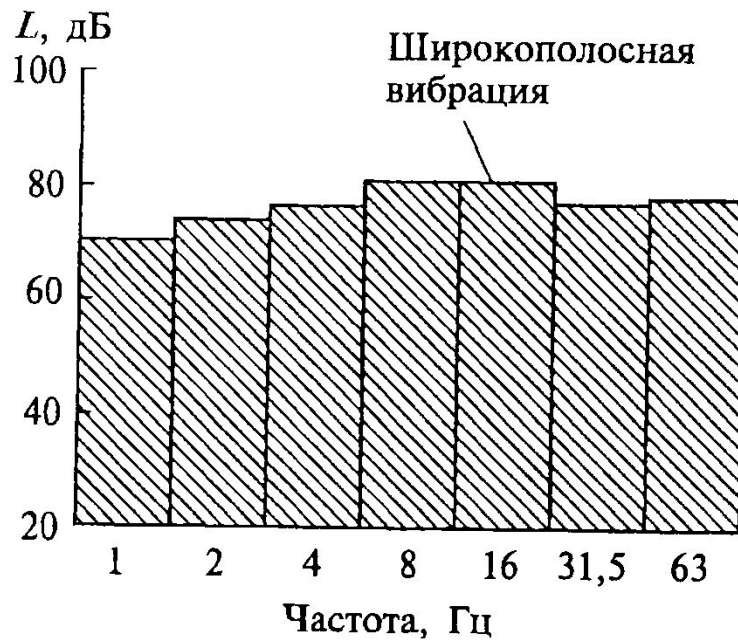
- > локальная, передающаяся человеку от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей)



## По характеру спектра



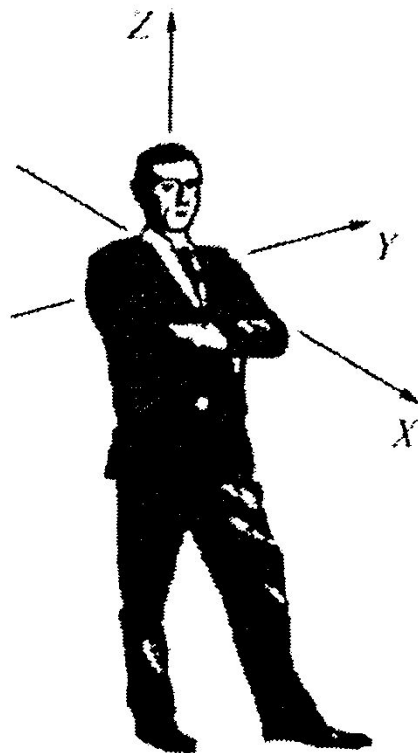
**Узкополосная**, у которой контролируемые параметры в одной третьоктавной полосе частот более, чем на 15 дБ превышают значения в соседних третьоктавных полосах



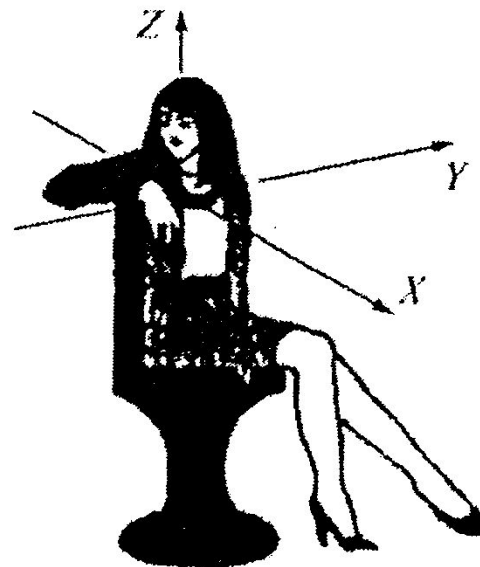
**Широкополосная** — с непрерывным спектром более одной октавы.

## По направлению действия:

в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат (X, Y, Z)

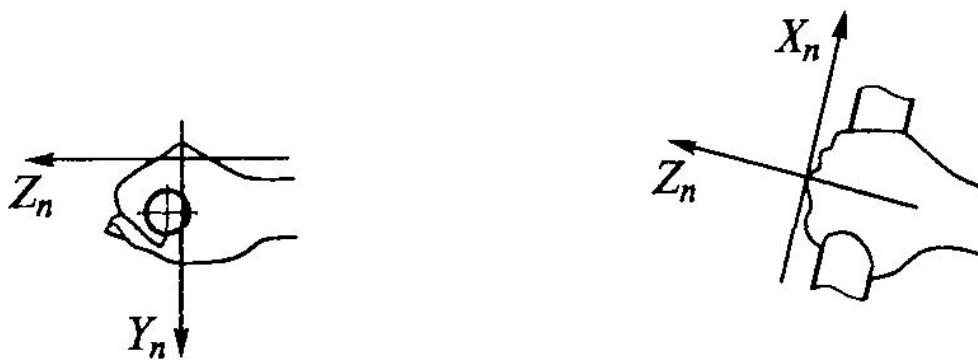


*a*



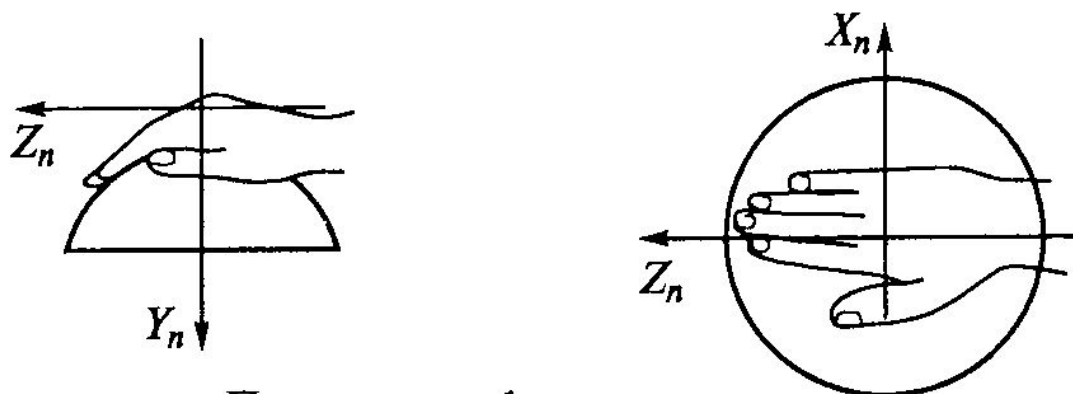
*б*

Направление координатных осей при действии общей вибрации: *a* — положение стоя; *б* — положение сидя



При охвате цилиндрических,  
торцовых и близких к ним  
поверхностей

*a*

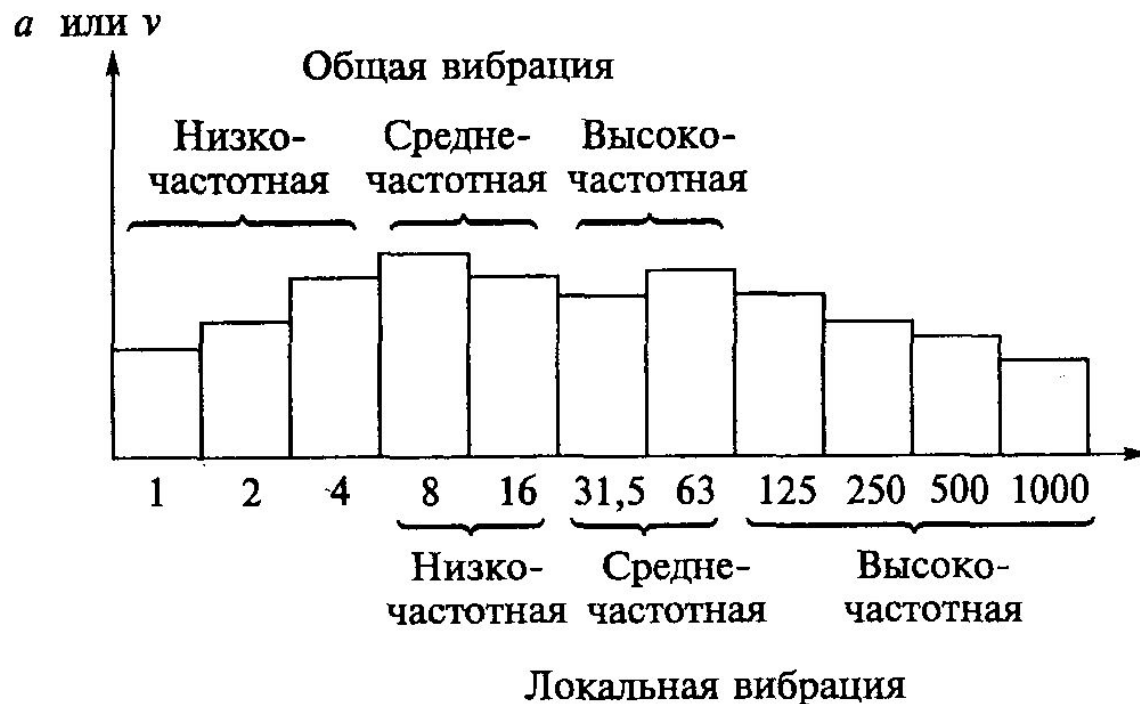


При охвате сферических  
поверхностей

*б*

Направление координатных осей при действии локальной вибрации

## По частотному составу



- **Низкочастотная** (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1 - 4 Гц для общих вибраций, 8 - 16 Гц — для локальных вибраций).
- **Среднечастотная** (8-16 Гц — для общих вибраций, 31,5-63 Гц — для локальных вибраций).
- **Высокочастотная** (31,5-63 Гц — для общих вибраций, 125-1000 Гц — для локальных вибраций).

По временным характеристикам:

- **Постоянная** вибрация, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем на 6 дБ за время наблюдения.
- **Непостоянная** - величина нормируемых параметров изменяется более, чем на 6 дБ за время наблюдения не менее 10 мин.

Непостоянная вибрация (изменение скорректированного значения вибрации за время наблюдения более 10 мин превышает 6 дБ, при измерении с характеристикой «Медленно»)



## Непостоянные вибрации:

- а) колеблющиеся во времени вибрации, для которых величина нормируемых параметров **непрерывно изменяется во времени**;
- б) прерывистые вибрации, когда контакт человека с источником вибрации **прерывается**, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет **более 1 с**;
- в) **импульсные вибрации**, состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), **каждый длительностью менее 1 с**.



## **НОРМИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ**

Нормирование производственной вибрации осуществляется на основании **СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»**.

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации в соответствии с указанным нормативным документом может производиться тремя методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

**При частотном (спектральном) анализе** нормируемыми параметрами вибрации являются измеряемые в октавных или 1/3 октавных полосах частот **средние квадратические значения виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни ( $L_v$ ,  $L_a$ ).**

**При интегральной оценке по частоте** нормируемым параметром является **корректированное значение виброскорости или виброускорения ( $U$ ) или их логарифмические уровни ( $L_u$ ),** измеряемые с помощью корректирующих фильтров или вычисляемые по формулам:

В СН 2.2.4/2.1.8.566-96 установлены предельно допустимые величины нормируемых параметров локальной и общей вибрации 1, 2 и 3 (а, б, в) категорий при длительности вибрационного воздействия **480 мин (8 ч)**. В качестве примера в табл. приведены предельно допустимые величины параметров локальной вибрации

| Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц                        | Предельно допустимые значения по осям $X_L, Y_L, Z_L$ |     |               |     |
|--|---|-----|---------------|-----|
|  | Виброускорения  |     | Виброскорости |     |
|  | м/с <sup>2</sup>                                      | дБ  | м/с           | дБ  |
| 8  | 1,4   | 123 | 2,8           | 115 |
| 16   | 1,4   | 123 | 1,4           | 109 |
| 31,5   | 2,8   | 129 | 1,4           | 109 |
| 63   | 5,6   | 135 | 1,4           | 109 |
| 125  | 11,0  | 141 | 1,4           | 109 |
| 250  | 22,0  | 147 | 1,4           | 109 |
| 500  | 45,0  | 153 | 1,4           | 109 |
| 1000   | 89,0  | 159 | 1,4           | 109 |
| Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни | 2,0   | 126 | 2,0           | 112 |

| Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц                        | Предельно допустимые значения по осям $X_0, Y_0, Z_0$ |              |              |              |                      |              |              |              |
|--|---|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
|  | Виброускорения  |              |              |              | Виброскорости        |              |              |              |
|  | м/с <sup>2</sup>                                      |              | дБ           |              | м/с·10 <sup>-2</sup> |              | дБ           |              |
|  | в 1/3 октаве  | в 1/1 октаве | в 1/3 октаве | в 1/1 октаве | в 1/3 октаве         | в 1/1 октаве | в 1/3 октаве | в 1/1 октаве |
| 1,6  | 0,089   |              | 99           |              | 0,89                 |              | 105          |              |
| 2,0  | 0,079   | 0,14         | 98           | 103          | 0,63                 | 1,30         | 102          | 108          |
| 2,5  | 0,070   |              | 97           |              | 0,45                 |              | 99           |              |
| 3,15   | 0,063   |              | 96           |              | 0,32                 |              | 96           |              |
| 4,0  | 0,056   | 0,10         | 95           | 100          | 0,22                 | 0,45         | 93           | 99           |
| 5,0  | 0,056   |              | 95           |              | 0,18                 |              | 91           |              |
| 6,3  | 0,056   |              | 95           |              | 0,14                 |              | 89           |              |
| 8,0  | 0,056   | 0,10         | 95           | 100          | 0,11                 | 0,22         | 87           | 93           |
| 10,0   | 0,070   |              | 97           |              | 0,11                 |              | 87           |              |
| 12,5   | 0,089   |              | 99           |              | 0,11                 |              | 87           |              |
| 16,0   | 0,110   | 0,20         | 101          | 106          | 0,11                 | 0,20         | 87           | 92           |
| 20,0   | 0,140   |              | 103          |              | 0,11                 |              | 87           |              |
| 25,0   | 0,180   |              | 105          |              | 0,11                 |              | 87           |              |
| 31,5   | 0,220   | 0,40         | 107          | 112          | 0,11                 | 0,20         | 87           | 92           |
| 40,0   | 0,280   |              | 109          |              | 0,11                 |              | 87           |              |
| 50,0   | 0,350   |              | 111          |              | 0,11                 |              | 87           |              |
| 63,0   | 0,450   | 0,79         | 113          | 118          | 0,11                 | 0,20         | 87           | 92           |
| 80,0   | 0,560   |              | 115          |              | 0,11                 |              | 87           |              |
| Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни |   | 0,10         |              | 100          |                      | 0,20         |              | 92           |

## Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 «технологической а»

## **ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью.

Клиническая картина вибрационной болезни, обусловленная общей или локальной вибрацией, складывается из:

- нейрососудистых нарушений;
- поражений нервно-мышечной системы;
- опорно-двигательного аппарата;
- изменений обмена веществ.

У рабочих вибрационных профессий отмечены головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вегетативная неустойчивость, нарушения зрительной функции, снижение болевой, тактильной и вибрационной чувствительности и другие отклонения в состоянии здоровья.

# Частота и особенности клинических проявлений заболеваний, вызванных воздействием вибрации, зависят главным образом от:

- спектрального состава вибрации;
- продолжительности воздействия;
- индивидуальных особенностей человека;
- направления вибрационного воздействия;
- места приложения;
- явлений резонанса;
- условий воздействия вибрации (факторов производственной среды, усугубляющих вредное воздействие вибрации на организм человека).

**Воздействие низкочастотной общей вибрации** приводит к поражению преимущественно нервно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата. Такая форма вибрационной патологии встречается, например, у формовщиков, бурильщиков и др.



Патология со стороны опорно-двигательного аппарата объясняется тем, что общая вибрация приводит к прямому микротравмирующему действию на позвоночник (особенно толчкообразная вибрация) вследствие нагрузок на межпозвоночные диски, которые ведут себя как фильтры низких частот. Подобное воздействие приводит к развитию дегенеративно-дистрофических нарушений позвоночника (остеохондрозу).









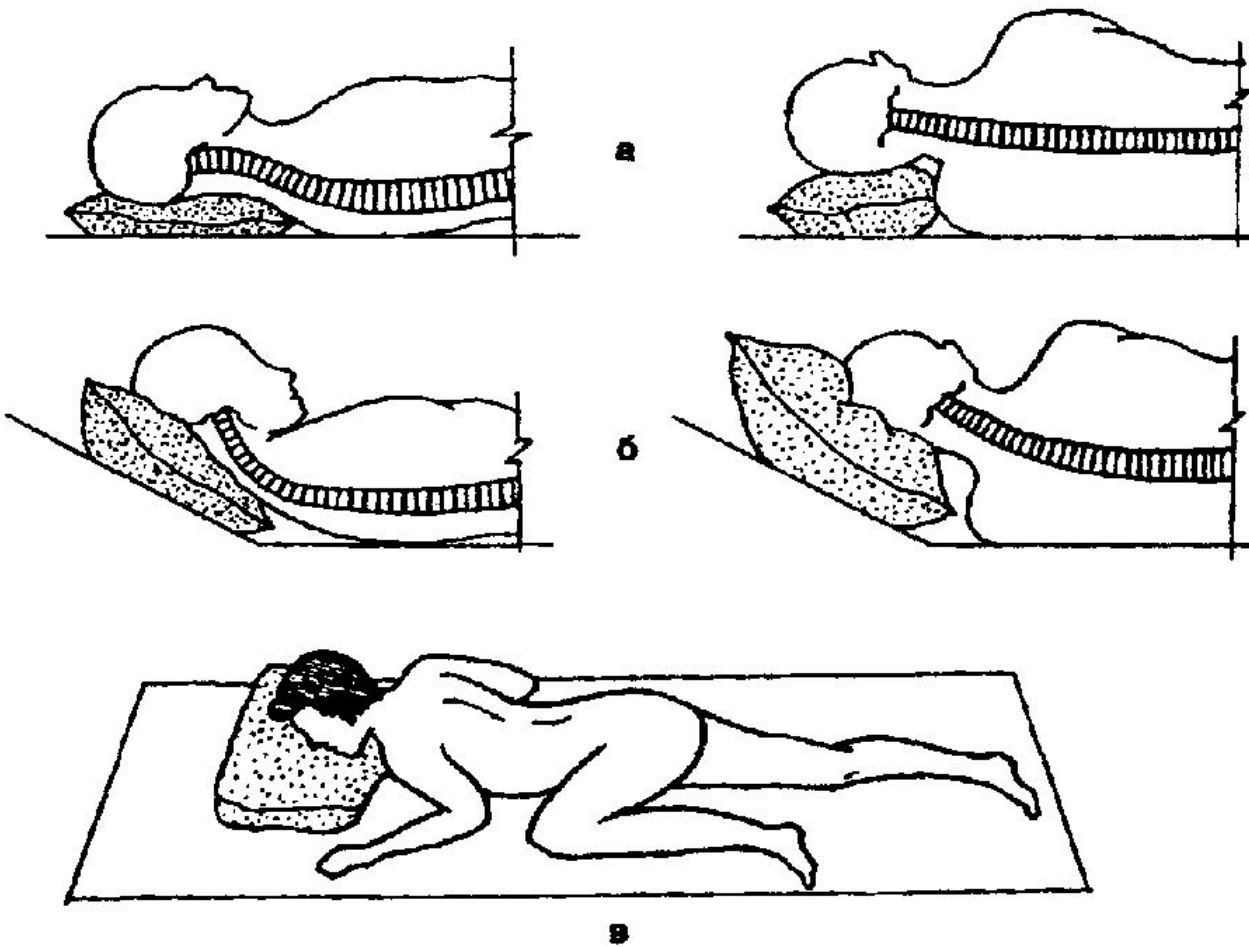


Рис. Положение тела во время сна:  
*а* — правильное, *б* — неправильное, *в* — поза «крокодила»



Средне- и высокочастотная вибрация вызывает, в первую очередь, различные по степени тяжести сосудистые и костно-суставные нарушения. Например, серьезные сосудистые нарушения наблюдаются при работе со шлифовальными машинами, являющимися источниками высокочастотной вибрации.



Колебания высоких частот вызывают спазм сосудов. В некоторых случаях сосудистые нарушения при вибрационной болезни могут привести к постепенному развитию хронической недостаточности мозгового кровообращения.



Воздействию локальной вибрации подвергаются главным образом люди, работающие с ручным механизированным инструментом. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов кисти, предплечий, нарушая снабжение конечностей кровью, что способствует развитию профессионального заболевания (например, **синдрома, связанного с побелением пальцев рук**). Кроме сосудистой патологии, возникают и невротические расстройства, а воздействие локальной вибрации на мышечные и костные ткани приводит к снижению кожной чувствительности, отложению солей в суставах пальцев, деформации и уменьшению подвижности суставов.

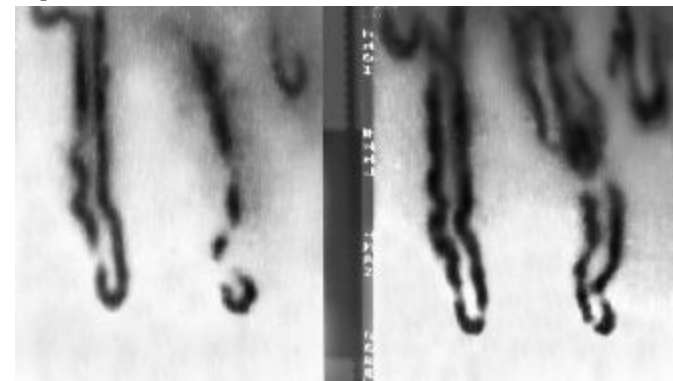


# Микроскоп для капилляроскопии

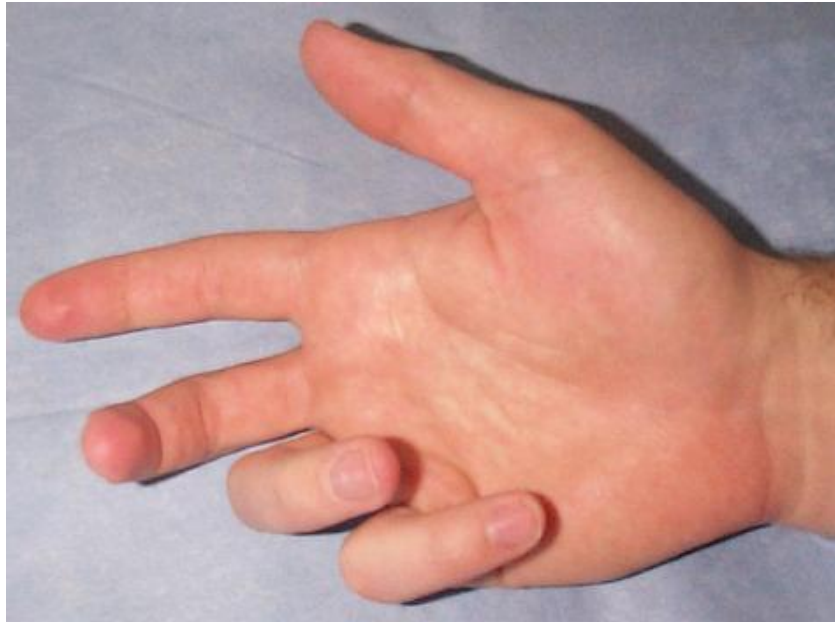


Микрофотограмма  
ногтевого ложа IV пальца

капилляров







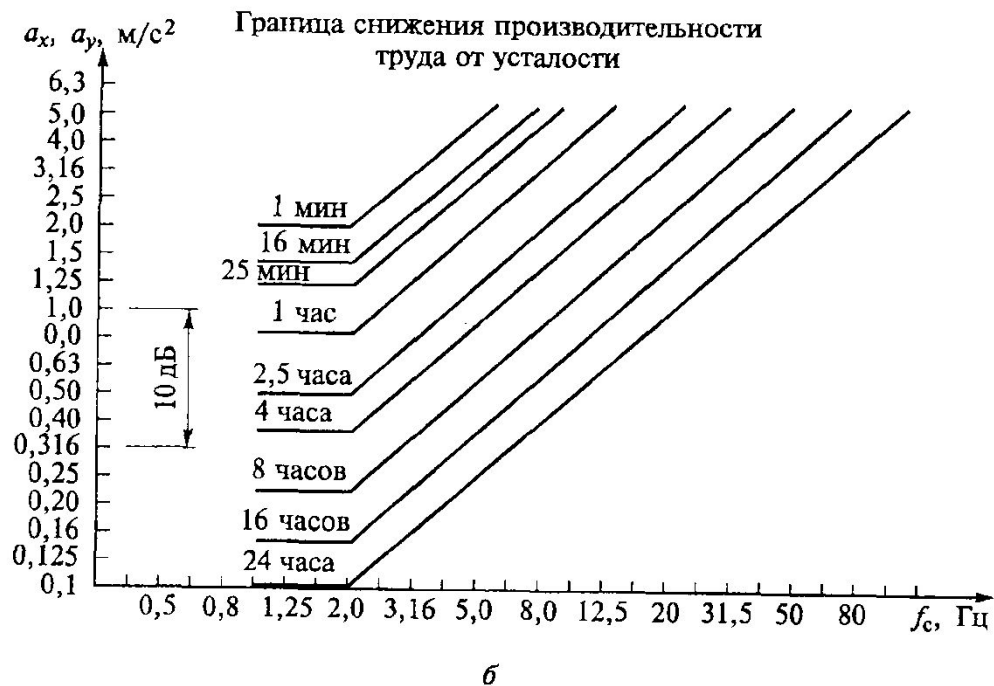
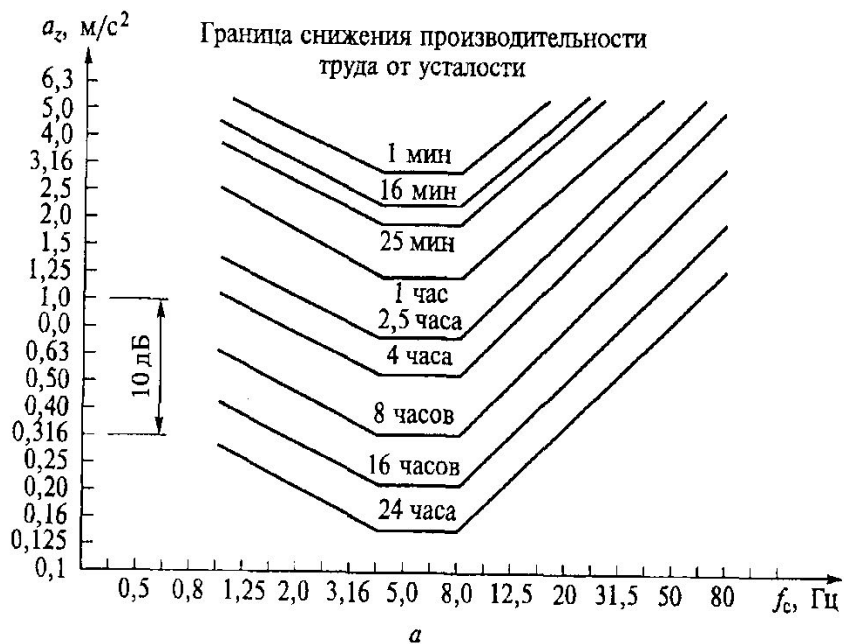
Усугубляющими вредное воздействие вибрации являются факторы производственной среды, такие как чрезмерные мышечные и нервно-эмоциональные нагрузки, неблагоприятные микроклиматические условия, шум высокой интенсивности. В частности, охлаждение рук приводит к усилению сосудистых реакций и, как следствие, к более интенсивному развитию вибрационной болезни. При совместном действии шума и вибрации наблюдается взаимное усиление эффекта в результате его суммации, а возможно и потенцирования. Сопутствующие факторы могут увеличить риск вибрационной болезни в 5... 10 раз.



Показатели заболеваемости вибрационной болезнью среди основных виброопасных профессий за последние годы и средние значения латентного (скрытого) периода представлены в табл.

| Профессиональная группа       | Коэффициент заболеваемости в виброопасных профессиях (на 1000 чел) | Латентный период (годы) |
|-------------------------------|--|-------------------------|
| Обрубщик литья                | 5,4  | 10,8 ± 0,3              |
| Наждачник                     | 2,6  | 12,1 ± 0,7              |
| Вальщик леса                  | 4,0  | 14,4 ± 0,4              |
| Заточник                      | 3,9  | 14,7 ± 1,0              |
| Слесарь механосборочных работ | 0,3  | 16,8 ± 0,6              |
| Горнорабочий очистного забоя  | 2,2  | 17,8 ± 0,5              |
| Бурильщик                     | 5,9  | 17,9 ± 0,8              |
| Проходчик (телескопы)         | 23,4   | 17,9 ± 0,9              |

Влияние вибрации на производительность труда работников показано с помощью графиков зависимости границы снижения производительности труда от усталости от виброускорения, приведенных на рис.



Снижение производительности труда при воздействии вертикальной (а) и Горизонтальной вибрации (б) на человека

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ

Контроль за соответствием параметров вибрации требованиям действующих санитарных норм осуществляется на основании **ГОСТ 12.1.012-90(96) «Вибрационная безопасность. Общие требования»**

Согласно этому нормативному документу контроль вибрации осуществляется на производстве при аттестации рабочих мест и периодически: **локальная вибрация** должна контролироваться **не реже двух раз в год**, а также **после периодического ремонта оборудования**, общая — **ежегодно**.

Оценка вибрации проводится также по требованию санитарных служб и технической инспекции профсоюзов.

Контроль нормируемых параметров вибрации должен производиться в реальных условиях производства при типовых условиях эксплуатации оборудования или машин, при которых в соответствии с областью их применения на работающего воздействует максимальная вибрация.

Измерение вибрации проводится с использованием виброизмерительных приборов, состоящих из:

- вибропреобразователей (как правило, пьезокристаллических);
- виброметров;
- вспомогательных приборов (самописцев уровня, магнитофонов и т. п.);
- полосовых фильтров;

Приборы, применяемые для измерения вибрации, должны соответствовать требованиям **ГОСТ 12.4.012-83 (86) «ССБТ. Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования».**

ГОСТ ИСО 8041-2006 "Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений" (М.: Стандартинформ, 2008; ИУС, N 7, 2009; ИУС, N 2, 2016).

ГОСТ Р 8.714-2010 (МЭК 61260:1995) "Фильтры полосовые октавные и на доли октавы. Технические требования и методы испытаний" (М.: Стандартинформ, 2012).

Основные технические характеристики некоторой применяемой виброизмерительной аппаратуры приведены в табл.

| Тип прибора                | ВМ-1 (ПН-19) | ВШВ-003М2           | 2511 (фирма «Брюль и Кьер», Дания) |
|----------------------------|--------------|---------------------|------------------------------------|
| Динамический диапазон, дБ: |              |                     |                                    |
| — виборускорение           | 10–130       | 20–130              | 16–130                             |
| — виброскорость            | 50–136       | 55–166              | 30–166                             |
| Частотный диапазон, Гц     |              |                     |                                    |
| — виброускорение           | 1,4–8000     | 1–10 000            | 0,3–15 000                         |
| — виброскорость            | 1,4–2800     | 1–10 000            | 1,0–15 000                         |
| Постоянная времени, с      | 1; 10        | Быстро,<br>медленно | 1; 10                              |
| Тип фильтра                | ФЭ-2         | Встроенные          | 1618, 1621,<br>1623                |



## СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

В тех случаях, когда фактические значения гигиенических характеристик вибрации превышают допустимые значения, применяются средства защиты от вибрации.

Классификация средств и методов защиты от вибрации определена **ГОСТ 26568-85 «Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация».**

Средства защиты от вибрации по организационному признаку делятся на коллективные и индивидуальные.

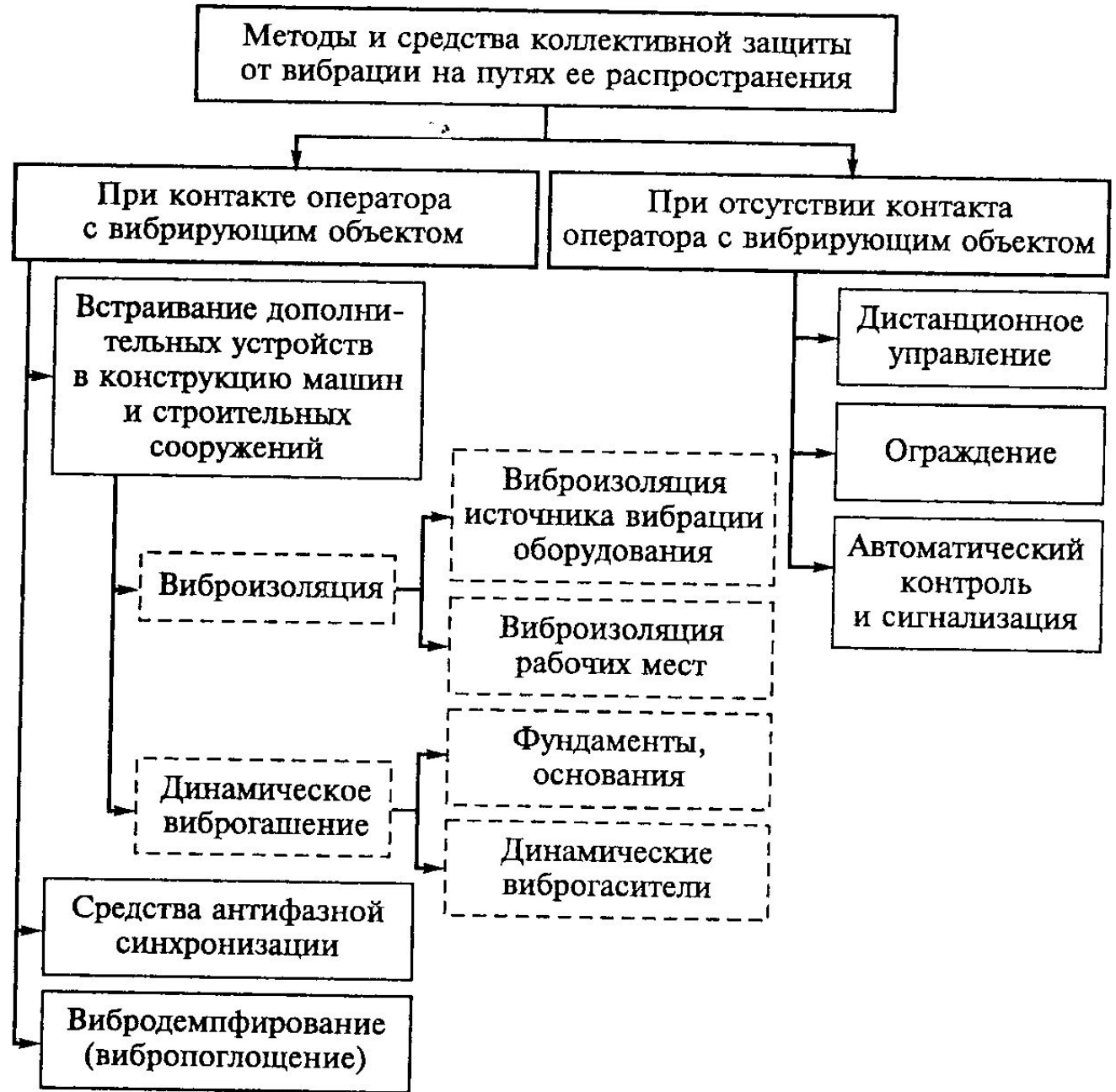
По отношению к источнику возбуждения вибрации **методы коллективной защиты** подразделяются на:

- методы, снижающие параметры вибрации воздействием **на источник возбуждения** (динамическое уравнивание, антифазная синхронизация, изменение характера возмущающих воздействий, изменение конструктивных элементов источника возбуждения, изменение частоты колебаний и др. );

- методы, снижающие параметры вибрации на **путях ее распространения от источника возбуждения.**

Средства защиты от вибрации на путях ее распространения, представленные на след. слайде могут быть заложены в проекты машин и оборудования, а могут быть применены на этапе их эксплуатации.

# Методы и средства защиты от вибрации



**Вибродемпфирование** — это процесс уменьшения уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний системы в другие виды энергии.

Увеличение потерь энергии в системе может быть достигнуто:

- использованием конструктивных материалов с большим внутренним трением;
- нанесением слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение;
- использованием поверхностного трения.

С точки зрения снижения вибраций наиболее предпочтительным является использование в качестве конструктивных материалов: пластмассы, дерева, резины. Так используются шестерни из капролона, текстолита. В некоторых случаях оказывается возможным также использовать шестерни из твердой резины. В результате происходит снижение вибраций оснований машин, а, следовательно, снижается вибрация рабочих мест.

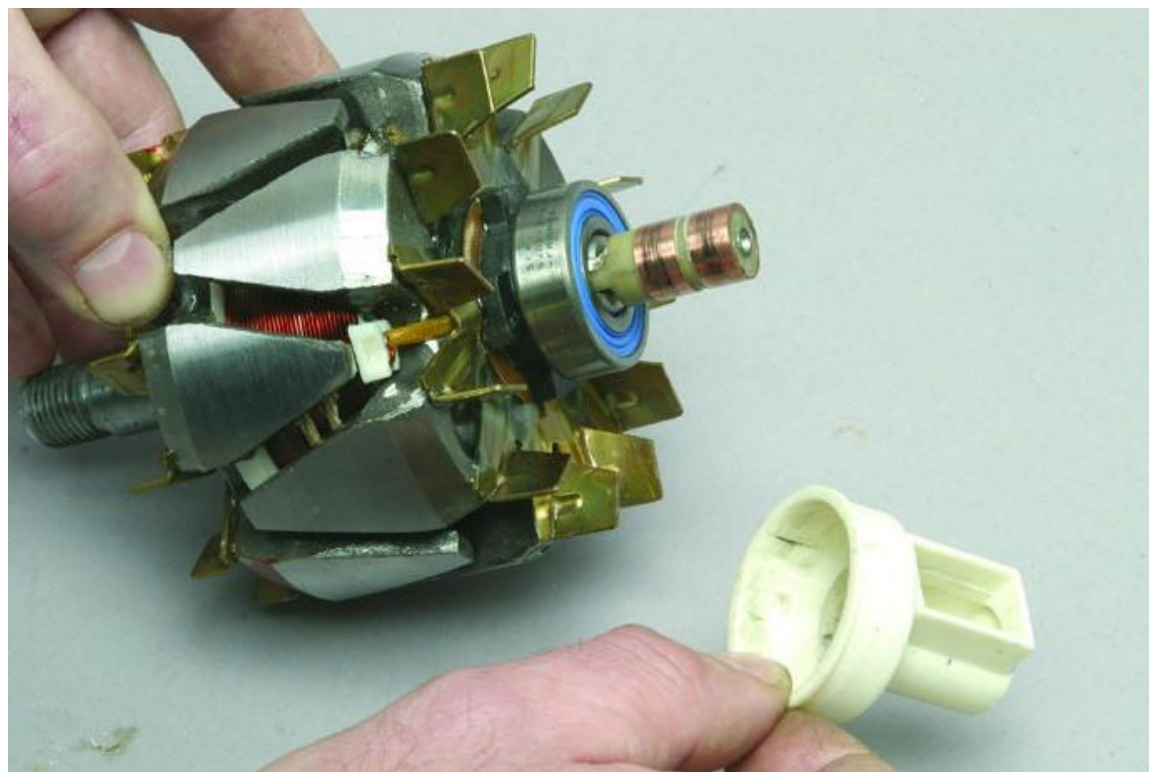


В настоящее время начат выпуск ручного механизированного инструмента в корпусах из полимерных материалов. Это в значительной мере ослабляет воздействие вибраций на руки работающих.



На многих видах оборудования внедряется постановка в подшипниковые узлы вибродемпфирующих втулок, что значительно снижает уровень вибраций.

Кроме того, установка таких подшипниковых узлов значительно повышает срок их службы (иногда в 10 раз).



Использование в качестве конструкционных материалов пластмасс позволяет снизить уровень вибрации по виброскорости на 8-10дБ.





В том случае, когда применение полимерных покрытий в качестве конструктивных не представляется возможным, для снижения вибраций используют **вибродемпфирующие покрытия**.

Действие жестких покрытий проявляется главным образом на низких и средних частотах, мягких — на высоких.

В качестве жестких покрытий используются вязкоупругие материалы (твердые пластмассы, битуминизированный войлок, различные полимерные смеси).

В качестве мягких — мягкие пластмассы, материалы типа резины, пенопласты, поливинилхлоридные пластики.

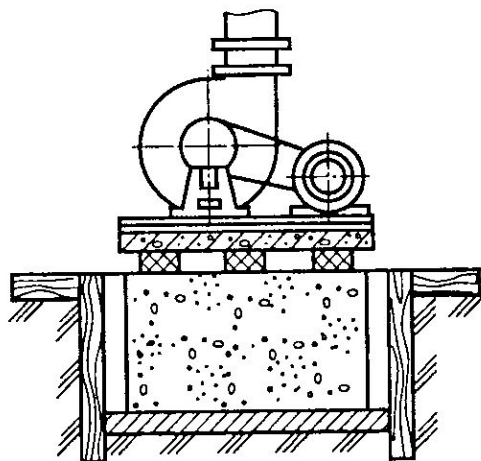
Хорошо демпфируют колебания смазочные материалы. Например, консистентные смазки в подшипниковых узлах, а также масляные ванны в редукторах.



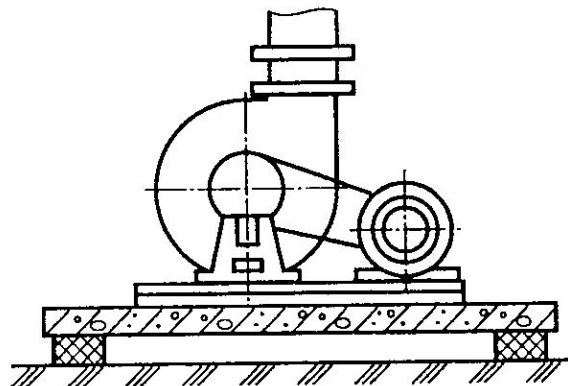
Пластичные смазки SKF для подшипников.

**Под виброгашением** понимают уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем введения в систему дополнительных реактивных импедансов, т.е. сопротивлений упругого или инерционного типа.

Чаще всего виброгашение реализуется путем установки агрегатов на самостоятельные фундаменты.



а



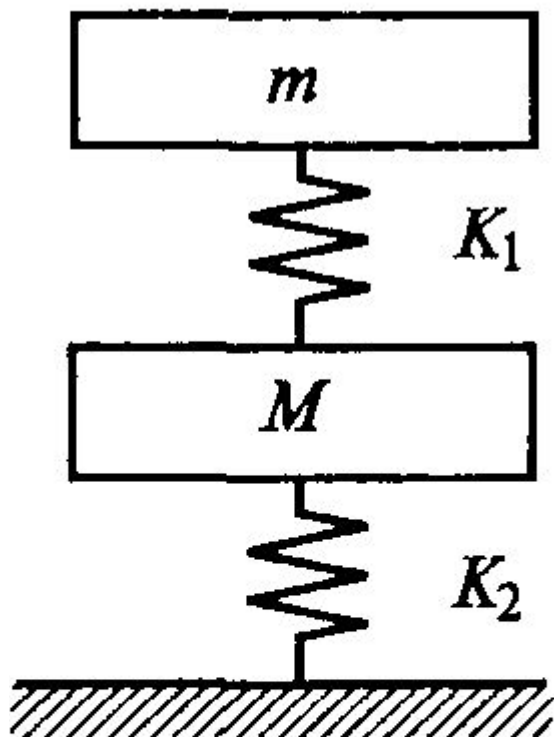
б

Установка агрегатов на виброгасящем основании  
а) на фундаменте и грунте  
б) на опорной плите

Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента в любом случае не превышала 0,1-0,2 мм, а для особо ответственных сооружений - 0,005 мм. Для небольших объектов между основанием и агрегатом устанавливают массивную опорную плиту.

Кроме такого способа, изменение реактивного сопротивления системы может быть достигнуто путем установки виброгасителей. Динамические виброгасители представляют собой дополнительную колебательную систему.

На рис. представлен агрегат массой  $M$  и жесткостью  $K_2$  имеющий частоту колебаний  $f$ . Виброгаситель подбирается по характеристикам массы  $m$  и жесткости  $K_1$  так, чтобы его собственная частота колебаний  $f_0$  была равна частоте  $f$ :





Гасители колебаний служат для гашения (демпфирования) колебаний



Виброгаситель жестко крепится на вибрирующем агрегате, поэтому в нем в каждый момент времени возбуждаются колебания, находящиеся в противофазе с колебаниями агрегата.

**Недостатком** динамического виброгасителя является то, что он **действует только при определенной частоте, соответствующей его резонансному режиму колебаний.**

Виброгашение связано с ослаблением колебаний посредством присоединения к системе дополнительных реактивных импедансов. Поэтому оно может быть осуществлено также путем изменения упругих характеристик колебательной системы. Увеличение жесткости системы достигают соответствующим изменением конструкции и, в частности, введением ребер жесткости.

Виброизоляция — это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем уменьшения передачи колебаний этому объекту от источника колебаний

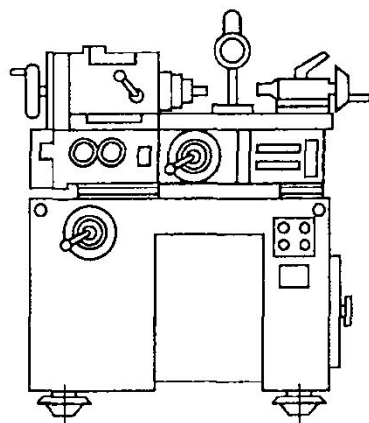


Рис. .... Виброизоляция станка

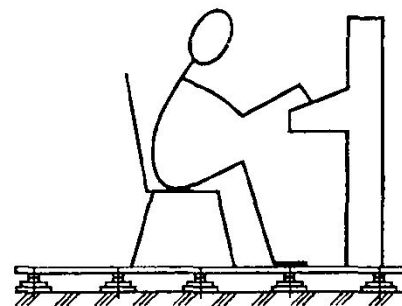


Рис. .... Виброизоляция рабочего места

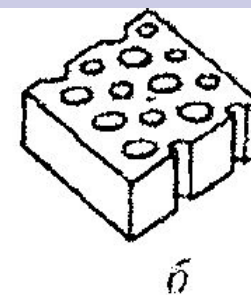
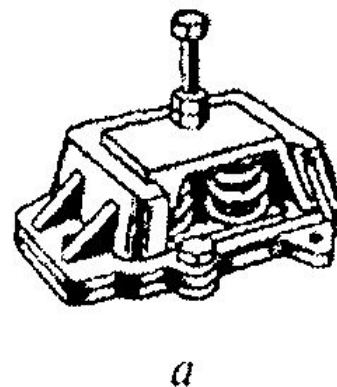
Виброизоляция достигается путем установки агрегатов на специальные упругие устройства (опоры), обладающие малой жесткостью.



Для виброизоляции машин с вертикальной возмущающей силой применяют виброизолирующие опоры 3-х типов: резиновые, пружинные и комбинированные. Пружинные по сравнению с резиновыми имеют ряд преимуществ. Они могут применяться для изоляции как низких, так и высоких частот (обеспечивают любую деформацию), дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хорошо противостоят действию масел и высокой температуры, относительно малогабаритны. Однако металлические пружины имеют тот недостаток, что будучи спроектированы на низкую частоту, они пропускают более высокие.

Резина имеет малую плотность, хорошо крепится к деталям, ей легко придать любую форму и она обычно используется для виброизоляции машин малой и средней массы (электродвигателей и т.п.). В виброизоляторах резина работает на сдвиг и (или) сжатие.

Виброизолирующие опоры: а) пружинные, б) резиновые







В качестве СИЗ рук от вибрации применяются антивибрационные рукавицы. Основными требованиями, сформулированными в нормативной документации, являются: эффективность, которая регламентируется в частотном диапазоне 8...2000Гц при фиксированной силе нажатия 50... 200 Н; максимальная толщина упругодемпфирующего материала 5... 10 мм.

В зависимости от области применения средства защиты ног подразделяются на обувь, подметки и наколенники. В них используются специальные вибродемпфирующие материалы, которые ослабляют вибрацию в диапазоне частот 11... 90 Гц.

Для защиты тела оператора используются нагрудники, пояса и специальные костюмы. Все виды защиты снижают вибрацию максимум на 10 дБ.





<http://sklad.prom.ua>











Регламентированные перерывы: **Первый**  
продолжительностью **20 мин.** через 1-2 часа после  
начала смены;

Второй **30 мин.** через 2 часа после обеденного  
перерыва;

Предусмотрены для активного отдыха, проведения  
производственной гимнастики, физиопроцедур





# ЗАДАЧА



Виброграф



**Задание 1. Произвести расшифровку и дать гигиеническую оценку полученной виброграммы.** Число пиков между двумя отметками времени на виброграмме, полученной при записи с вибрирующего инструмента, составляет 8. Среднее расстояние между верхним и нижним пиками равно 24 мм, коэффициент вибрографа без насадки – 6. По результатам расшифровки виброграммы укажите 1) класс вибрации; 2) значение вычисленной виброскорости и 3) ее превышение гигиенической нормы; 4) рекомендации по снижению вибрации инструмента.

| Класс вибрации | Частота вибрации,<br>Гц | Характеристика вибрации       |
|----------------|-------------------------|-------------------------------|
| I              | До 5                    | Низкочастотная нерезонансная  |
| II             | 5-10                    | Низкочастотная резонансная    |
| III            | 10-30                   | Среднечастотная резонансная   |
| IV             | 30-50                   | Среднечастотная нерезонансная |
| V              | Свыше 50                | Высокочастотная               |

| Виброскорость        | Октавные полосы со среднегеометрическими частотами,<br>Гц |     |      |     |     |     |     |      |
|----------------------|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
|                      | 8   | 16  | 31.5 | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 |
| $M/c \times 10^{-2}$ | 2.8   | 1.4 | 1.4  | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4  |
| дБ                   | 115   | 109 | 109  | 109 | 109 | 109 | 109 | 109  |

$$V_{\text{макс}} = 2\pi \cdot f \cdot a,$$

где  $V_{\text{макс}}$  — скорость вибрации, см/с;  $f$  — частота колебаний, Гц;  $a$  — амплитуда колебаний, см.



Число пиков между двумя отметками времени 8, следовательно частота вибрации 8 Гц, согласно данным таблицы (СН - 96), класс вибрации II, характеристика вибрации низкочастотная резонансная.

| Класс вибрации | Частота вибрации,<br>Гц | Характеристика вибрации       |
|----------------|-------------------------|-------------------------------|
| I              | До 5                    | Низкочастотная нерезонансная  |
| II             | 5-10                    | Низкочастотная резонансная    |
| III            | 10-30                   | Среднечастотная резонансная   |
| IV             | 30-50                   | Среднечастотная нерезонансная |
| V              | Свыше 50                | Высокочастотная               |

Среднее расстояние ( $S$ ) между верхним и нижним пиками равно 24 мм, или 2,4 см.

$a = S / k \cdot 2$ , где  $a$  – амплитуда колебаний,  $S$  – среднее расстояние между верхним и нижним пиком,  $k$  – коэффициент вибрографа без насадки, 2 – деление полного размаха колебательного движения пополам

$$a = 2,4 / 6 \cdot 2 = 0,2$$

$$V_{\text{макс}} = 2\pi \cdot f \cdot a,$$

где  $V_{\text{макс}}$  — скорость вибрации, см/с;  $f$  — частота колебаний, Гц;  $a$  — амплитуда колебаний, см.

$$V_{\text{макс}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 0,2 = 10,048 \text{ см}$$

$$= 10,48 \cdot 10^{-2} \text{ (в -2 степени) М/с}$$

## Сравниваем с нормативами (СН-96)

| Виброскорость        | Октавные полосы со среднегеометрическими частотами, Гц |     |      |     |     |     |     |      |
|----------------------|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
|                      | 8  | 16  | 31.5 | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 |
| М/с×10 <sup>-2</sup> | 2.8  | 1.4 | 1.4  | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4  |
| дБ                   | 115  | 109 | 109  | 109 | 109 | 109 | 109 | 109  |

**Получаем превышение в 3,7 раз**