

## Тема 5. ЗАЩИТА ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ВИБРАЦИИ

### 5.1. Основные понятия и физические характеристики

**Вибрация** – это механические колебания материальных точек и тел. *Источниками вибрации* в производственных условиях являются работающие машины, электродвигатели, различные устройства.

*Вредной воздействие вибрации* приводит к повреждению тканей организма, вибрация вызывает головную боль, ухудшает зрение и слух, вызывает чувство неудобства и раздражительности, ухудшает работоспособность и повышает утомляемость. Особенно вредной является вибрация с частотой, приближающейся к собственной частоте тела человека.

**Чувствительность к вибрации** - субъективное восприятие человеком наличия воздействующей на него вибрации [3].

**Порог чувствительности к вибрации** - низший уровень вибрации, при котором человек еще способен ощущать ее воздействие [3].

**Комфорт** - субъективное ощущение хорошего самочувствия в условиях воздействия внешних факторов, включая вибрацию и удар.

**Болезнь движения** – состояние человека, характеризующееся общим недомоганием, появлением дискомфорта в органах пищеварения, потерей аппетита, тошнотой, холодного пота, головокружением.

**Укачивание** - процесс воздействия низкочастотных колебаний на человека, способный привести к болезни движения [3].

На рисунке 5.1 показаны направление воздействия вибрации на тело оператора. Вибрации могут воздействовать на сидящего оператора не только поступательной вибрации X, Y и Z, но и угловой вибрации r (вращение вокруг осей X, Y и Z соответствуют раскачиванию с бока на бок, наклонами вперед – назад, поворотами из стороны в сторону).

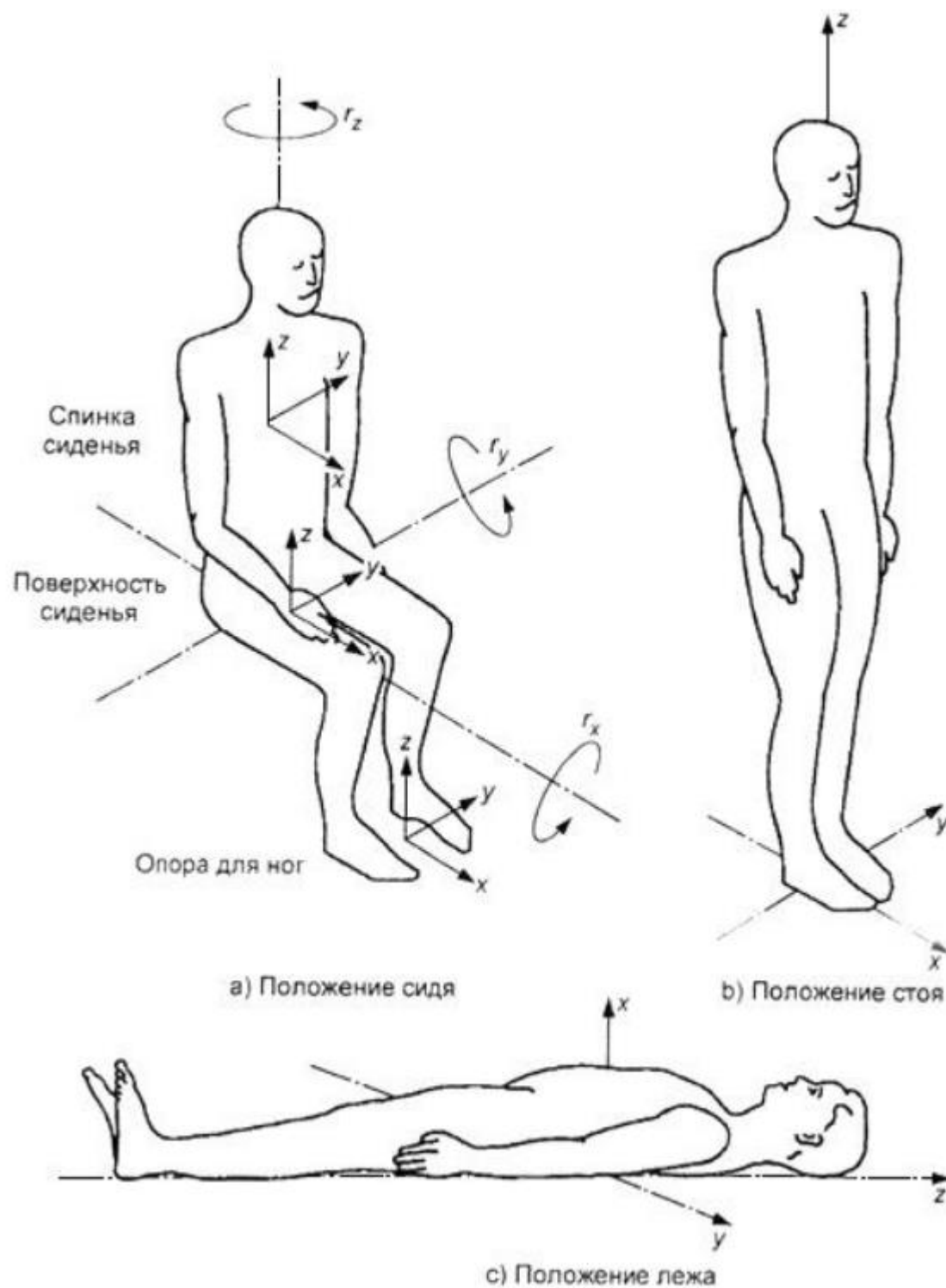


Рисунок 5.1. – Направление воздействия вибрации на тело оператора

Для стоящего на вибрирующей поверхности имеется два резонансных пика: 5-12 Гц и 17-25 Гц.

Для сидящего на вибрирующей поверхности резонансный пик составляет 4-6 Гц.

Область резонанса в положении сидя:

- для головы – 20-30 Гц;
- для органов зрения – 60-90 Гц;
- для органов, расположенных в грудной клетке и брюшной полости – 3-3,5

Гц.

Вибрационная патология стоит на втором месте (после загрязнения воздуха) по профессиональным заболеваниям.

**Параметрами**, характеризующими вибрацию, являются:

- частота колебаний, Гц;
- амплитуда смещения, м;
- скорость колебаний (виброскорость), м/с;
- ускорение колебаний (виброускорение), м/с<sup>2</sup>.

Частотная область вибрации, так как и шума условно разделяются на октавные полосы, в которых  $f_v/f_n = 2$ , где

$f_v$  – частота верхней границы полосы,

$f_n$  – частота нижней границы полосы.

Полоса характеризуется среднегеометрической частотой

$$f_{с.г} = \sqrt{f_v \times f_n} .$$

Вибрация характеризуется следующим *частотным интервалом*:

- Граничные частоты шести октавных полос, Гц:

1,4 – 2,8; 2,8 – 5,6; 5,6 – 11,2; 11,2 – 22,4; 22,4 – 45; 45 – 90.

- Среднегеометрические частоты, Гц:

2; 4; 8; 16; 31,5 63.

**По способу передачи на человека выделяют:**

1) *общую вибрацию*, передаваемую на тело через опорные поверхности: для стоящего - через ступни ног, для сидящего - через ягодицы, для лежащего человека - через спину и голову;

2) *локальную вибрацию*, передающуюся через руки, ступни ног сидящего человека и на предплечья.

***По источнику возникновения вибраций различают [1]:***

1) *локальную вибрацию*, передающуюся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;

2) *локальную вибрацию*, передающуюся человеку от ручного немеханизированного инструмента (например, молотков), приспособлений и обрабатываемых деталей;

3) *общую вибрацию 1 категории* - транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах подвижного состава железнодорожного транспорта, членов экипажей воздушных судов, 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 сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и так далее); снегоочистители, самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт;

4) *общую вибрацию 2 категории* - транспортно-технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, машины для загрузки (завалочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; горные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

5) *общую вибрацию 3 категории* - технологическую вибрацию, воздействующую 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, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические и энергетические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и другое оборудование.

*Общую вибрацию категории 3 по месту действия* подразделяют на следующие типы:

- 1) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;
- 2) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;
- 3) на рабочих местах в помещениях офисов, конструкторских бюро, лабораторий, учебных помещениях, вычислительных центров и других помещениях для работников умственного труда.

## **5.2. Нормирование вибрации**

Нормирование вибрации осуществляется в двух направлениях:

- *санитарно-гигиеническое нормирование*, когда обеспечивается защита человека от вибрации;
- *техническое нормирование*, когда обеспечивается снижение вибрации в системах (машинах).

Эти два направления тесно связаны.

Нормирование основных физических характеристик проводится в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, равными:

- а) для общей вибрации – полосы со среднегеометрическими частотами 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц;

б) для локальной вибрации - 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц.

Основными нормативными документами при санитарно-гигиеническом нормировании вибрации являются санитарные нормы СанПиН 2.2.4.3359-16 [1].

При нормировании уровня вибрации на рабочем месте учитываются следующие факторы:

- вид вибрации;
- частота;
- фактическое время действия вибрации.

**Нормируемым показателем вибрации** на рабочем месте являются **эквивалентное скорректированное виброускорение за рабочую смену**,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$  [1].

**Эквивалентное скорректированное виброускорение** за рабочую смену определяется по формуле:

$$a = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n a_i^2 T_i}{T_0}},$$

где  $T_0$  - нормативная продолжительность рабочей смены (8 часов);

$T_i$  - продолжительность  $i$ -го интервала воздействия вибрации, ч;

$a_i$  - эквивалентное (среднеквадратичное) значение виброускорения, измеренное на  $i$ -м интервале воздействия вибрации,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ .

При расчетах и нормировании вибрации так же используется логарифмический показатель, который носит название **«логарифмический уровень значения колебательной скорости»** (виброскорости) и записывается в следующем виде:

$$L_v = 20 \cdot \lg\left(\frac{V}{V_0}\right), \text{ дБ}$$

где  $V$  – значение колебательной скорости в точке измерения в соответствующей полосе, м/с;

$V_0$  – пороговое значение колебательной скорости, м/с ( $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ ).

Нормируемый логарифмический уровень виброскорости *с учетом*

времени фактического действия вибрации ( $L_{vt}$ ) записывается в следующем виде:

$$L_{vt} = L_v + 10 \cdot \lg\left(\frac{480}{t}\right),$$

где  $L_v$  – уровень виброскорости при времени действия вибрации в течение 8 ч (480 мин);

$t$  – время действия вибрации.

Видно, что если осуществить *защиту временем*, то допустимый уровень виброскорости может быть увеличен. Например, если время работы уменьшить в два раза, то:  $t = 240$  мин,  $\lg 2 = 0,3$ , а  $L_{vt} = L_v + 3$  дБ, т.е. норму можно увеличить.

В области очень низких частот и низких уровней вибрации измеряемой величиной может быть виброскорость, которая затем должна быть преобразована в виброускорение.

Предельно допустимые величины эквивалентного корректированного виброускорения за рабочую смену производственной вибрации приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

### Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Нормативные эквивалентные корректированные значения и уровни виброускорения	
			м/с <sup>2</sup>	дБ
Локальная		Хл, Yл, Zл	2,0	126
Общая	1	Хо, Yo, Zo	0,40 - 0,56	112 - 115
	2	Хо, Yo, Zo	0,2 - 0,28	106 - 109
	3а	Хо, Yo, Zo	0,071 - 0,1	97 - 100
	3б	Хо, Yo, Zo	0,028 - 0,04	89 - 92
	3в	Хо, Yo, Zo	0,0099 - 0,014	80 - 83

Вибрацию измеряют в направлении осей системы координат с центром в точке контакта тела человека с вибрирующей поверхностью. Основные базицентрические системы координат показаны на рисунке 5.1.

### 5.3. Мероприятия по защите от вибрации

Выбор способа снижения вибрации базируется на анализе уравнений, описывающих колебательный процесс системы (машины).

В первую очередь следует снижать вибрацию вблизи резонансных пиков системы (машины). Снижение вибрации системы (машины) сводится к *уменьшению скорости вибрации*. Зависимость скорости вибрации от различных параметров системы (машины) имеет строгое математическое выражение, которое имеет сложный вид. После ряда допущений выражение для определения скорости вибрации системы (машины) имеет следующий вид:

$$V = \frac{F}{\sqrt{\mu + 2\pi f m - \frac{c}{2\pi f}}},$$

где  $F$  – сила, действующая на систему (машину), Н;

$\mu$  – коэффициент сопротивления системы (машины), Н/ (м/с);

$f$  – частота вибрации системы (машины), Гц;

$c$  – коэффициент жесткости системы, Н/м.

На основании анализа представленного выражения разрабатывают и реализуют следующие *способы снижения скорости вибрации системы (машины)*.

1. Снижение виброактивности системы  $F$ , которая достигается изменением технологического процесса (снижение ударов при переходе отковки к штамповке); применением систем (машин) с такими кинематическими схемами, при которых динамические процессы, вызываемые ударами, исключены или сведены к минимуму (например, замена прямозубых зубчатых колес на косозубые и шевреные колеса).

2. Увеличение коэффициента сопротивления системы (машины)  $\mu$ , которое достигается увеличением сил трения между отдельными элементами системы, рассеивающих колебательную энергию в тепловую (нанесение на вибрирующую поверхность слоя упруговязких материалов (мастика, резина,



пенопласт)).

3. Увеличение массы системы  $m$  за счет установки машины на массивные фундаменты. Этот способ нашел применение при установке тяжелого оборудования (прессов, насосов, вентиляторов). Этот способ применим при средних и высоких частотах вибрации.

4. Увеличение жесткости системы  $c$  за счет установки ребер жесткости в системе. Этот способ применим при низких частотах.

*Организационно-административные мероприятия* предусматривают:

- рациональный режим труда и отдыха (через каждые 2 ч работы 20 минут перерыв);

- своевременный плановый ремонт системы (машины) с обязательным контролем параметров вибрации;

- увеличение расстояния от источника вибраций до рабочего места;

- при локальной вибрации – массаж рук, гидропроцедуры рук в воде при температуре 35 – 40 °С.

*Технические мероприятия:*

- изменений, уравнивание отдельных узлов механизма и отстройка от резонансных явлений);

- виброизоляция, т.е. установка между источником вибрации и рабочим местом упругой связи (это различные пружины, упругие прокладки, гидро- и пневмоцилиндры);

- виброгашение, т.е. снижение вибраций за счет увеличения массы оборудования и повышения жесткости оборудования (установка оборудования на отдельный фундамент и введение ребер жесткости);

- вибропоглощение, т.е. уменьшение вибраций путем перевода энергии в тепловую энергию (вибродемпфирование). Достигается этот метод двумя способами:

- а) за счет использования материалов с высокими коэффициентами внутренних потерь (медь-никель, медь-хром, чугун и др. сплавы);

- б) путем нанесения на поверхность материалов с высокими

коэффициентами внешних потерь, т.е. с высоким коэффициентом трения;

- применение защитной сигнализации и блокировок;

- установка оборудования в отдельное помещение, применение дистанционного управления;

- применение средств индивидуальной защиты (рукавицы, перчатки специальные, обувь, наколенники с упругими накладками).

### **Дополнительная литература**

1. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

2. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда.

Вибрационная безопасность. Общие требования

3. ГОСТ 31191.1-2004 Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования