

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

### Виброизоляция. Расчет пружинных амортизаторов

#### 1. Основные теоретические положения

Под вибрацией понимается движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты.

Принято различать общую и локальную вибрацию. Общая вибрация действует на весь организм человека через опорные поверхности (пол, сиденье); локальная – оказывает действие на отдельные части тела.

Реакция организма наиболее выражена на частоте, близкой к частоте собственных колебаний тела и его органов. Для всего тела, головы и органов брюшной полости резонансные частоты лежат в диапазоне 6-9 Гц. Степень воздействия вибраций на физиологические ощущения человека изменяется от едва ощутимой до безусловно вредной и зависит от частоты. Так, при частоте вибрации 50 Гц едва ощутимы колебания с амплитудой около 1 мкм, а безусловно вредны при амплитуде около 20 мкм. При частоте 1 Гц эти величины соответственно составят 0,2 мм и 1000 мм.

Кроме частоты колебаний  $f$  (Гц) вибрация характеризуется как абсолютными, так и относительными параметрами.

Абсолютными параметрами вибрации являются амплитуда смещения  $A$ , м; виброскорость (максимальное из значений скорости)  $v$ , м/с; виброускорение  $a$ , м/с<sup>2</sup>.

Абсолютные параметры связаны между собой следующими соотношениями:

$$v = A * 2\pi f; \quad a = A*(2\pi f)^2.$$

При оценке интенсивности вибрации кроме абсолютных (размерных) величин используют логарифмические уровни вибрации

$$L_w = 20 \lg \frac{\omega}{\omega_0},$$

где  $\omega$ ,  $\omega_0$  - соответственно кинематический параметр вибрации и его пороговое значение, равное среднеквадратичной величине данного параметра при стандартном пороге звукового давления ( $2 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>); для тона частотой 1000 Гц  $v_0 = 5 \cdot 10^8$  м/с;  $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$  м/с<sup>2</sup>;  $A_0 = 8 \cdot 10^{-12}$  м.

Нормируются параметры вибрации в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.094-80 «ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности». Нормируемыми параметрами вибрации являются средние квадратические значения виброскоростей, их логарифмические уровни или виброускорения в октавных полосах частот (для общей и локальной вибрации) и в 1/3 октавных полосах (для общей вибрации).

Допустимые уровни вибрации установлены при продолжительности воздействия в течение восьмичасового рабочего дня для ряда рабочих мест приведены в табл. 1.

Основным способом защиты от вибрации является виброизоляция, которая заключается в уменьшении передачи колебаний от источника возбуждения к защищаемому объекту за счет введения в колебательную систему дополнительной упругой связи (амортизаторов). В качестве амортизаторов используют стальные пружины, прокладки из упругих материалов (например, резины, войлока, асбеста и т.п.) и различные их комбинации.

Вид вибрации	Направление по которому формируется вибрация	Уровень виброскорости, дБ в октавных полосках со средними геометрическими частотами, Гц												
		1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	
транспортная	По вертикальной оси	132	123	114	108	107	107	107	-	-	-	-	-	-
Транспортно - технологическая	По вертикальной и горизонт. осям	117	108	102	101	101	101	101	-	-	-	-	-	-
Технологическая на постоянных рабочих местах	То же	108	99	93	92	92	92	92	-	-	-	-	-	-
В производств. Помещениях, в заводоуправлениях, лабораториях; КБ и вычислительных центрах	То же	-	91	82	76	75	75	75	-	-	-	-	-	-
Местная	По каждой из осей	-	-	-	120	120	117	114	108	105	102	99	-	-

Предельно допустимые уровни колебательной скорости в зависимости от средней геометрической частоты активных полос (по ГОСТ 12.4.094 – 80 «Вибрация. Общие требования безопасности»).

Следует отметить, что прокладки из упругих материалов хорошо задерживают распространение вибраций сравнительно высокой (звуковой) частоты, возникающих при большом числе оборотов (2-3 тысячи оборотов и выше).

Большинство источников вибрации имеют низкочастотный спектр, в этом случае прокладки могут приводить даже к усилению вибрации, поэтому необходимо применять пружинные амортизаторы, гибкость которых может изменяться в широких пределах.

**Цель работы** – закрепление полученных теоретических знаний и приобретение практических навыков расчета параметров пружинных амортизаторов, обеспечивающих необходимый уровень виброзащиты.

Основным показателем, определяющим качество виброизоляции, является коэффициент амортизации  $K$  (коэффициент вибропередачи). Он указывает, какая доля динамической силы от общей силы передается амортизаторами основанию, и определяется по формуле (1)

$$K = \frac{1}{\sqrt{(1 - f^2/f_0^2) + (f\mu)^2/f_0^2}} \quad (1)$$

где:  $f, f_0$  – соответственно частота возмущающей силы и собственных колебаний, Гц;

$\mu$  – коэффициент трения.

Т.к.  $\mu \ll 1$ , то в обычных случаях трением можно пренебречь. Тогда

$$K = \frac{1}{f^2/f_0^2 - 1} \quad (2)$$

В случае, если частота возбуждающих колебаний мала, по сравнению с частотой собственных колебаний,  $K \approx 1$ , сила действует как статистическая и целиком передается основанию. При  $f = f_0$  наступает резонанс ( $K \gg 1$ ) с большим увеличением амплитуды колебаний и силы, передаваемой основанию. При  $f/f_0 = 2$  резонансное усилие исчезает ( $K=1$ ), и при дальнейшем снижении  $f_0$  передача вибраций на основание снижается.

На практике отношение этих частот принимается в пределах 2,5 – 5,0. Эффективность виброизоляции при этом составляет 80 – 96 %. Установка агрегата на амортизаторы, может привести к увеличению амплитуды вибраций самого агрегата. Для уменьшения амплитуды вибрации агрегата вместо жесткого крепления его к основанию увеличивают его массу.

Расчет амортизатора заключается в определении параметров пружины, которая под действием веса агрегата должна обеспечивать прогиб, соответствующий заданному значению коэффициента амортизации.

При расчете амортизаторов важное значение имеет соотношение между частотой собственных колебаний  $f_0$  любого тела, укрепленного на упругой опоре, и величиной статической осадки опоры под действием веса этого тела.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{X_{ст}}} \quad (3)$$

где:  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$X_{ст}$  – статистическая осадка, м.

Снижение относительных параметров вибрации в результате установки агрегата на амортизаторы приближенно можно определить по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{K}, \text{ дБ.} \quad (4)$$

На практике задача сводится к определению основных параметров пружины амортизатора: диаметра проволоки  $d$  и числа рабочих витков  $n_b$ .

Исходными данными для расчета являются: частота источника вибрации, логарифмический уровень виброскорости, масса оборудования, количество амортизаторов, средний радиус витка пружины.

## 2. Методика расчета

1. По заданной величине снижения уровня виброскорости, преобразовав формулу (4), определяем необходимый коэффициент вибропередачи:

$$K = 10^{-L/20} \quad (5)$$

2. Определяется частота собственных колебаний агрегата

$$f_0 = \frac{f}{60\sqrt{(1/K)+1}}, \text{ Гц} \quad (6)$$

3. Для этой частоты определяется статистическая осадка виброизолятора

$$X_{ст} = \frac{g}{(2\pi f_0)^2}, \text{ м} \quad (7)$$

4. Определяется суммарная жесткость пружин амортизаторов

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n M_i \frac{g}{X_{ст}}, \text{ Н/м} \quad (8)$$

где  $M_i$  – вес отдельных частей виброизолированного места.

5. Определяется жесткость пружины каждого амортизатора

$$\Gamma_1 = \frac{q}{N}, \text{ Н/м,} \quad (9)$$

6. Определяются основные параметры пружины амортизатора, т.е. диаметр проволоки  $d$  и число рабочих витков  $n_b$ :

$$d = \sqrt[3]{16P_1 \cdot \frac{r}{\pi \cdot R_S}}, \text{ м} \quad (10)$$

$$n_b = d^4 \cdot \frac{G}{64r^3 \cdot T_1}, \quad (11)$$

где:  $R_S$  – допускаемое напряжение на кручение (для пружинной стали  $R_S = 4,22 \cdot 10^8$  кг/см<sup>2</sup>);

$G$  – модуль сдвига,  $G = 7,85 \cdot 10^{10}$ , Н/м<sup>2</sup>);

$P_1$  – нагрузка на одну пружину, с учетом запаса прочности

$$P_1 = 1,1 \sum M_i \cdot \frac{g}{N}, \text{ Н} \quad (12)$$

$r$  – средний радиус витка пружины (м), который выбирается из конструктивных соображений. Обычно отношение  $\frac{r}{d}$  находится в диапазоне от 2 до 5.

7. Полное число витков пружины  $n_s = n_b + n_1$ , где  $n_1 = 1,5$  при  $n_b < 7$ ;  $n_1 = 2,5$  при  $n_b \geq 7$ .

8. Шаг витка пружины  $h = 0,5r$ , м (13)

9. Высота ненагруженной пружины

$$H_0 = n_s \cdot h + (n_1 - 0,5)d, \text{ м} \quad (14)$$

10. Длина проволоки, необходимая для навивки пружины

$$I = 2\pi r(n_s + 0,25) \quad (15)$$

При расчете пружин, работающих на сжатие, отношение высоты ненагруженной пружины к ее диаметру должно удовлетворять условию (16)

$$\frac{H_0}{2r} < 2,0 \quad (16)$$

При несоблюдении этого условия возникает опасность потери устойчивости системы, и поэтому необходимо пересчитать параметры пружины, увеличив радиус витка на 15-20%.

Варианты исходных данных представлены в табл. 2.

### Пример расчета

На общей раме весом 100 кг смонтирован электродвигатель и комплект дополнительного оборудования. Вес электродвигателя 130 кг, число оборотов – 970 об/мин. Вес оборудования – 460 кг. Уровень виброскорости – 95 дБ, допустимое значение – 75 дБ. Число амортизаторов – 4.

1. Определяем величину коэффициента передачи по формуле (5).

$$K = 10^{\frac{90-75}{20}} = 0,1$$

2. Частота собственных колебаний (6)

$$f_0 = \frac{970}{60\sqrt{10+1}}$$

3. Статистическая осадка виброизолятора (7)

$$X_{cm} = \frac{9,81}{(2\pi \cdot 5)^2}$$

4. Жесткость пружин амортизаторов (8)

$$T = (130 + 100 + 460) \cdot \frac{9,81}{0,01} = 676,9 \text{ кН / м}$$

5. Жесткость одного амортизатора (9) и нагрузка на одну пружину

$$T_1 = 169,2 \text{ кН/м}, \quad P = \frac{1,1(130 + 100 + 460)}{n} \cdot 9,81 = 1861 \text{ Н.}$$

6. Определяем основные параметры пружины с учетом того, что средний радиус витка составляет  $r=0,048$  м:

$$d = \sqrt[3]{16 \cdot 1861 \cdot \frac{0,048}{\pi \cdot 4,22 \cdot 10^8}} \approx 10^{-2} \text{ м,}$$

$$n_b = (1 \cdot 10^{-2})^4 \cdot \frac{7,85 \cdot 10^{10}}{64 \cdot 0,048^3 \cdot 169,2 \cdot 10^3} \approx 4$$

7. Полное число витков (12)

$$n_s = 4 + 1,5 = 5,5.$$

8. Шаг витка пружины  $h=0,5r = 8,8 \cdot 10^{-2} = 2,8 \cdot 10^{-2}$  м.

9. Высота ненагруженной пружины

$$H_0 = 5,5 \cdot 2,8 \cdot 10^{-2} + (1,5-0,5) \cdot 10^{-2} = 16,4 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

10. Длина проволоки составит

$$l = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,048 \cdot (5,5+0,25) \approx 1,7 \text{ м}$$

11. Проверка на устойчивость по условию (16)

$$\frac{H_0}{2 \cdot r} = \frac{16,4 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 4,8 \cdot 10^{-2}} = 1,7 < 2$$

т.е. требование по устойчивости выполняется.

Результаты расчетов сводятся в табл. 3.

Таблица 2

### 3. Варианты заданий

№	Характеристика виброисточника		Характеристика рабочего места		Параметры виброизолируемого места			
	n об/мин	m, кг	L, дБ	Вид работ	Вес плиты, кг	Вес оборудования, кг	Кол-во пружин	Средний радиус витка, м
1	970	120	100	Дежурн.	100	400	4	0,02
2	1320	100	92	КБ	100	520	4	0,02
3	1050	150	90	Лаб.	100	600	6	0,022
4	1390	90	88	Лаб.	100	360	4	0,018
5	1180	140	91	Лаб.	100	460	4	0,018
6	1260	140	99	Склад.	120	400	4	0,022
7	1420	110	89	ВЦ	100	360	6	0,02
8	960	160	101	Склад.	120	640	4	0,024
9	1390	140	92	Лаб.	100	580	4	0,021
10	1240	130	90	Лаб.	100	480	4	0,02

Таблица 3

№ варианта	Коэффициент передачи	Собственная частота, Гц	Величина статической осадки, м	Диаметр прутка, м	Полное число витков	Шаг витка, м	Высота ненагруженной пружины	Проверка устойчивости
	0,1	5	0,01	$10^{-2}$	5,5	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$16,4 \cdot 10^{-2}$	1,7

### 4. Отчет и выводы по работе

Основные результаты расчета сводятся в табл. 3. При сдаче отчета студент должен знать:

- какие параметры характеризуют вибрацию;

- цель работы;
- что такое относительные параметры и пороговое значение;
- влияет ли частота вибрации на физиологические ощущения человека;
- какие параметры вибрации являются нормируемыми;
- какой параметр определяет эффективность виброизоляции и как он зависит от частоты вибрации;
- каковы условия резонанса.