

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/с².

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 ω , ω_0 - соответственно кинематический параметр вибрации и его пороговое значение, равное среднеквадратичной величине данного параметра при стандартном пороге звукового давления ($2 \cdot 10^5$ Н/м²); для тона частотой 1000 Гц $v_0 = 5 \cdot 10^8$ м/с; $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с²; $A_0 = 8 \cdot 10^{-12}$ 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;

μ – 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/см²);

G – модуль сдвига, $G = 7,85 \cdot 10^{10}$, Н/м²);

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.