



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»

**Методические указания
к практической работе**
по дисциплине
«Безопасность жизнедеятельности»

**«РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ
ВИБРАЦИИ»**

Авторы
Холодова С.Н.,
Богданова И.В.,
Курочкина В.А.

Ростов-на-Дону
2023

Аннотация

Методические указания к практической работе предназначены для студентов всех форм обучения технических направлений при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Авторы

доцент кафедры «БЖиЗОС» Холодова С.Н.

доцент кафедры «БЖиЗОС» Богданова И.В.

магистрант кафедры «БЖиЗОС» Курочкина В.А.



Оглавление

1.1	Основные понятия и определения	4
1.2	Расчет резиновых виброизоляторов	9
	Методика расчета резиновых виброизоляторов	9
	Задача 1.2.....	10
1.3	Расчет пружинных виброизоляторов	11
	Методика расчета пружинных виброизоляторов	11
	Задача 1.2.....	14
	ЛИТЕРАТУРА.....	15

1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Вибрация, возникающая при работе машин, механизмов и их элементов, носит характер сложного (иногда импульсного) колебания. Сложный периодический колебательный процесс можно представить в виде суммы гармонических функций:

$$x(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cdot \cos\left(2\pi i \frac{t}{T} - \varphi_i\right), \quad (1.1)$$

где A_i , φ_i – амплитуда и фаза i -й гармоники;

t – время;

T – период колебаний.

Вибросмещение на основной (несущей) частоте:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t - \varphi_i), \quad (1.2)$$

где $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ – угловая частота колебаний.

Виброскорость и **виброускорение** – соответствуют первой и второй производным по времени вибросмещения. Амплитудные значения виброскорости и виброускорения соответственно равны:

$$V_m = 2\pi f_0 A; \quad a_m = 4\pi^2 f_0^2 A \quad (1.3)$$

Для оценки воздействия вибраций на организм человека проводят спектральный анализ, рассматривая зависимости средних квадратических значений амплитуд виброскоростей и виброускорений от частоты. Для удобства построения спектрограмм вибрации весь интересующий интервал делят на октавные или третьоктавные полосы частот.

Октавная полоса частот (октава), это полоса частот, верхняя f_B и нижняя f_H частоты которой связаны соотношением $f_B = 2 \cdot f_H$.

Третьоктавная полоса частот (третьоктава) – такая полоса частот, верхняя и нижняя частоты которой связаны соотношением 3 в $f_B = \sqrt[3]{2} \cdot f_H$. Средняя частота полосы f_{cp} определяется как среднегеометрическая из значений граничных частот. Ввиду широких пределов изменения параметров вибраций используют логарифмические уровни (в дБ) виброскорости L_V и виброускорения L_a :

$$L_V = 20 \lg(V/V_0); \quad L_a = 20 \lg(a/a_0), \quad (1.4)$$

где $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с и $a_0 = 10^{-6}$ м/с² – опорные значения виброскорости и виброускорения.

Гигиеническую оценку вибрации, воздействующей на человека в производственных условиях, необходимо производить согласно ГОСТ 12.1.012–2004 [1] и СН 2.2.4/2.1.8.566–96 [2].

По способу передачи на человека вибрация подразделяется на:

а) общую, передающуюся через опорные поверхности сидящего или стоящего человека;

б) локальную, передающуюся через руки человека.

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратичные значения виброскорости V или виброускорения a и их логарифмические уровни – для локальной вибрации в октавных полосах частот, а для общей вибрации в октавных или третьоктавных полосах частот.

Общую вибрацию в зависимости от условий труда подразделяют на три категории: 1 – транспортная, 2 – транспортно-технологическая, 3 – технологическая [1]. В табл. 1.1 приведены предельно допустимые параметры вибрации рабочих мест категории 3 – технологической типа «а», воздействующей на операторов стационарных машин и оборудования или передающейся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Таблица 1.1

Допустимые значения вибрации рабочих мест категории «3 а»

Среднегеометрическая частота, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
	Третьоктава	Октава	Третьоктава	Октава	Третьоктава	Октава	Третьоктава	Октава
1,6	0,089	0,14	99	103	0,89	1,30	105	108
2,0	0,079		98		0,63		102	
2,5	0,070		97		0,45		99	
3,15	0,063	0,10	96	100	0,32	0,45	96	99
4,0	0,056		95		0,22		93	
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056	0,10	95	100	0,14	0,22	89	93
8,0	0,056		95		0,11		87	

Продолжение таблицы 1.1

10,0	0,070		97		0,11		87	
12,5	0,089		99	106	0,11	0,20	87	92
16,0	0,110		101		0,11		87	
20,0	0,140		103		0,11		87	
25,0	0,180		105	112	0,11	0,20	87	92
31,5	0,220		107		0,11		87	
40,0	0,280		109		0,11		87	
50,0	0,350		111	118	0,11	0,20	87	92
63,0	0,450		113		0,11		87	
80,0	0,560		115		0,11		87	

В помещениях для работников умственного труда предельно допустимые значения вибрации на рабочих местах категории 3 типа «в» приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Допустимые значения вибрации рабочих мест категории «3 а»

Среднегеометрическая частота, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
	Третьоктава	Октава	Третьоктава	Октава	Третьоктава	Октава	Третьоктава	Октава
1,6	0,0130	0,020	82	86	0,130	0,180	88	91
2,0	0,0110		81		0,089		85	
2,5	0,0100		80		0,063		82	
3,15	0,0089	0,014	79	83	0,045	0,063	79	82
4,0	0,0079		78		0,032		76	
5,0	0,0079		78		0,025		74	
6,3	0,0079	0,014	78	83	0,020	0,032	72	76
8,0	0,0079		78		0,016		70	
10,0	0,0100		80		0,016		70	
12,5	0,0130	0,028	82	89	0,016	0,028	70	75
16,0	0,0160		84		0,016		70	
20,0	0,0200		86		0,016		70	

Продолжение таблицы 1.2

25,0	0,0250	0,05 6	88	95	0,016	0,02 8	70	75
31,5	0,0320		90		0,016		70	
40,0	0,0400		92		0,016		70	
50,0	0,0500	0,11 0	94	101	0,016	0,02 8	70	75
63,0	0,0630		96		0,016		70	
80,0	0,0790		98		0,016		70	

Вибрация, удовлетворяющая гигиеническим нормам, ни в одной из октавных (или третьоктавных) полос не должна превышать приведенные значения.

Нормы вибрации установлены для производственных помещений при длительности воздействия на человека 8 ч.

Для снижения воздействия вибрации оборудования до нормируемых значений применяют следующие методы виброзащиты: виброизоляция, динамическое гашение колебаний, демпфирование и др. Одной из наиболее эффективных мер является виброизоляция. Этот метод реализуется путем введения дополнительной упругой связи между источником вибрации и защищаемым объектом.

Степень реализации виброзащиты можно охарактеризовать коэффициентом динамичности (коэффициентом передачи) α . Зависимость α от частотного отношения η имеет вид:

$$\alpha = |1 - \eta^2|^{-1}, \quad (1.5)$$

где $\eta = \omega_1 / \omega_0$; ω_1, ω_0 – угловые частоты колебаний соответственно вынуждающей силы и собственных колебаний агрегата.

Графически зависимость (1.5) представлена на рис. 1.1:

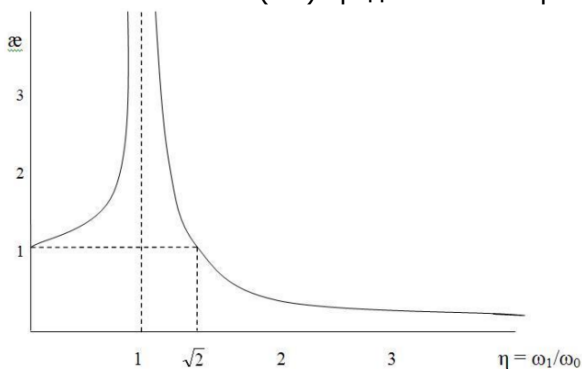


Рис. 2.1. Зависимость коэффициента динамичности

от частотного отношения

Из графика рис. 2.1 следует:

- 1) если $\omega < \omega_1$, то $\alpha \rightarrow 1$, т.е. вынуждающая сила действует как статическая, полностью передаваясь основанию;
- 2) при $\omega = \omega_1$ имеет место резонанс, который может стать причиной аварийной или предаварийной ситуации;
- 3) при $\omega \geq \omega_2$; $\alpha \leq 1$ и эффективность виброизолятора возрастает с увеличением η . Поэтому условием хорошей работы виброизоляторов является $\omega > \sqrt{2}$. Опытом установлено, что при $\eta = 2,5 \dots 5$ эффективность виброизоляторов составляет 81...96 %.

Приближенно **эффективность виброизоляторов** $U(\%)$ определяют через коэффициент динамичности α по формуле:

$$U = 100 \cdot (1 - \alpha), \quad (1.6)$$

ослабление уровня вибрации ΔL (дБ) выражают через коэффициент динамичности α формулой:

$$\Delta L = 20 \log \frac{1}{\alpha} \quad (1.7)$$

Серийно выпускаемые виброизоляторы классифицируются по виду материала упругого элемента или способу введения демпфирования. Используются следующие виды виброизоляторов:

1. типа упругих прокладок из резины, дерева, войлока (при скоростях вращения оборудования $n > 1800$ об/мин). Такие виброизоляторы имеют форму ребристых и дырчатых плит, их форма допускает свободное растягивание в стороны. Недостатком резиновых виброизоляторов является их недолговечность. Резина становится жестче со временем и такие виброизоляторы через 5 – 7 лет необходимо заменять. Срок службы виброизоляторов из войлока еще меньше: 2 – 3 года, поскольку со временем он слеживается. Наиболее долговечным виброизолирующим материалом является пробка.

2. в виде стальных пружин (при $n < 1800$ об/мин и неблагоприятных условий эксплуатации (высокие температуры, наличие масел, паров, кислот, щелочей)). Пружины дольше сохраняют упругие свойства во времени. Они долговечны, малогабаритны, хорошо противостоят действию высоких температур, при антикоррозионных покрытиях не боятся сырости.

3. на практике (в промышленности) используют комбинированные виброизоляторы, когда в резиновую втулку вставляется пружина.

1.2 РАСЧЕТ РЕЗИНОВЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Область применения резиновых виброизоляторов – виброизоляция оборудования, имеющего скорость вращения $n > 1800$ об/мин при отсутствии агрессивных сред. Расчет сводится к определению параметров комплекта виброизоляторов технологического оборудования: материал упругого элемента, толщина виброизолятора, форма горизонтального сечения, диаметр (или стороны) одного виброизолятора и их количество.

Методика расчета резиновых виброизоляторов

1. Определяют частоту колебаний вынуждающей силы f_1 (Гц) источника вибраций по известному значению скорости вращения n : $f_1 = n / 60$ и частоту собственных колебаний f_0 (Гц) по заданному или вычисленному значению частного отношения η : $f_0 = f_1 / \eta$.

2. Статическая осадка виброизолятора $x_{ст}$ (м) под действием нагрузки массой m (кг) определяется по формуле:

$$x_{ст} = \frac{g}{\omega_0^2}, \quad (1.8)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; $\omega_0 = 2\pi f_0, c^{-1}$.

3. Для выбранного материала упругого элемента виброизолятора определяют отношение динамического модуля упругости материала, E (H/m^2) к допустимой нагрузке на сжатие материала σ (H/m^2) (например, из табл. 1.3) и рассчитывают его толщину h (м):

$$h = x_{ст} \frac{E}{\sigma} \quad (1.9)$$

Таблица 1.3

Упругие свойства виброизолирующих материалов

Матерал	$E, H/m^2 \cdot 10^5$	$\sigma, H/m^2 \cdot 10^5$	E / σ
Резина марки 112А	43	1,72	25
Резиновые ребристые плиты	49	0,98	50
Резина средней мягкости	200...250	3...4	64
Резина мягкая	50	0,80	63
Войлок мягкий	20	0,25	80
Резина губчатая	30	0,30	100

4. Общую площадь системы виброизоляторов определяют по формуле:

$$S = \frac{m \cdot g}{\sigma} \quad (1.10)$$

5. Исходя из площади и конфигурации оборудования – источника вибраций, определяют минимально необходимое число виброизоляторов N . Тогда площадь одного виброизолятора составит $S_i = S / N$.

6. Толщина упругого элемента h должна удовлетворять двум условиям:

а) отсутствие условия возникновения резонансных явлений в упругом элементе:

$$h < \lambda \cdot 0,5, \quad (1.11)$$

где $\lambda = c / f_1$ – длина волны колебаний в материале упругого элемента, м,

c – скорость распространения колебаний в упругом элементе; для материалов, представленных в табл. 1.3, изменяется в пределах от 40 до 60 м/с.

б) отсутствие сдвига в горизонтальной плоскости в материале упругого элемента:

$$h < a / 4, \quad (1.12)$$

где a – меньшая сторона (диаметр) одного виброизолятора, м.

Если параметры упругого элемента виброизоляторов с выбранным материалом оказываются неприемлемыми, то выбирается другой материал, либо изменяется число виброизоляторов.

Задача 1.2

Производственное оборудование массой m и скоростью вращения n создает вибрацию, заданную одним из параметров a , V или L_v в третьоктавном спектре, как в производственном помещении (рабочие места категории «3 а»), так и в помещении управления (рабочие места категории «3 в»). Определить геометрические размеры виброизоляторов, которые необходимо установить под оборудование для снижения вибрации до нормативных значений, при известном материале виброизоляторов, количестве и форме их сечения. Варианты исходных данных представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Варианты исходных данных к задаче 2.1

№ вар.	m , кг	n , об/мин	a , м/с ²	V , м/с·10 ⁻²	L_v , дБ	Тип помещения*	Материал виброизолятора	N , шт	Форма сечения
1	400	3360	–	–	108,0	П	Резина марки 112А	2	круг
2	1000	4320	–	0,08	–	У	Резиновые ребристые плиты	4	квадрат
3	160	3600	2,40	–	–	П	Резина марки 112А	4	квадрат
4	300	2352	–	–	80	У	Войлок	2	круг
5	350	2950	–	0,50	–	П	Резина губчатая	2	квадрат

*) Тип помещения: П – производственное помещение; У – помещение управления.

1.3 РАСЧЕТ ПРУЖИННЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Цель расчета – определить следующие параметры пружинных виброизоляторов: материал и количество виброизоляторов, диаметр и число витков каждого из них для снижения вибраций на рабочих местах до нормативных значений.

Методика расчета пружинных виброизоляторов

1. Определяют частоту колебаний вынуждающей силы f_1 (Гц) источника вибраций по известному значению скорости вращения n : $f_1 = n / 60$ и частоту собственных колебаний f_0 (Гц) по заданному или вычисленному значению частного отношения η : $f_0 = f_1 / \eta$.

2. Необходимую общую жесткость комплекта виброизоляторов в вертикальном направлении c_0 (Н/м) определяют в соответствии с известным соотношением $\omega_0 = \sqrt{c/m}$ по формуле:

$$c_0 = m\omega_0^2, \quad (1.13)$$

а жесткость одного из N виброизоляторов, расположенных симметрично относительно вертикальной оси, проведенной через центр масс: $c_1 = c_0 / N$.

3. Амплитуду вертикальных колебаний объекта x_0 (м) для гармонической возмущающей силы рассчитывают по формуле:

$$x_0 = \frac{m \cdot g}{m \cdot \omega_1^2 - c_0} \quad (1.14)$$

где $\omega_1 = 2 \pi f_1 = \pi n / 30$, c^{-1} .

4. Максимальную рабочую нагрузку на одну пружину P_I (Н) определяют по формуле:

$$P_I = P_{ст} + k_1 P_{дин1}, \quad (1.15)$$

где $P_{ст1} = mg / N$ – статическая нагрузка на одну пружину, Н;

$P_{дин1} = x_0 c_1 = -$ динамическая нагрузка на одну пружину в рабочем режиме изолируемого объекта, Н;

$k_I = 1,5$ – коэффициент, учитывающий усталость материала пружины.

5. Диаметр проволоки пружины d (мм) может изменяться в широких пределах (3...40 мм) его определяют по формуле:

$$d \geq 1,6 \cdot \sqrt{P_I \cdot k \nu / \tau_d}; \quad (1.16)$$

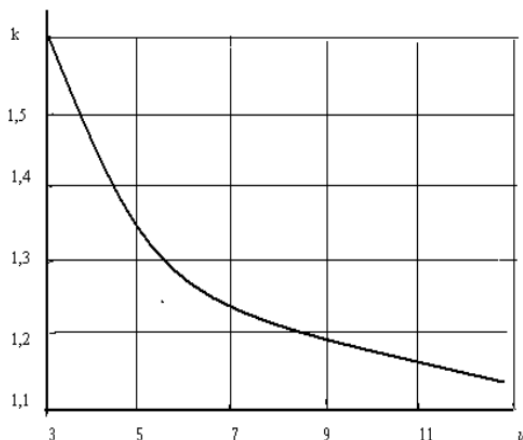
В формуле (1.16): $\nu = D / d$ – индекс пружины, значение ν рекомендуется принимать от 4 до 10, в зависимости от максимальной рабочей нагрузки на пружину P_I :

$$\begin{aligned} \text{при } P_I \leq 440 \text{ Н} & \quad \nu = 10; \\ \text{при } 440 < P_I \leq 1290 \text{ Н} & \quad \nu = 9; \\ \text{при } P_I > 1290 \text{ Н} & \quad \nu = 8. \end{aligned} \quad (1.17)$$

где D – средний диаметр пружины, мм;

k – коэффициент сжимаемости пружины, определяется по графику рис. 1.2 в зависимости от индекса пружины ν ;

τ_d – допустимое напряжение сдвига при кручении материала пружины, значения τ_d (Н/мм²) для марок сталей, рекомендуемых для изготовления пружин, приведены в табл. 2.5.


 Рис. 1.2. Определение коэффициента k

6. Полное число витков пружины $i = i_p + i_m$, где i_p – число рабочих витков (округляют в большую сторону до целого витка),

$$i_p = \frac{d \cdot G}{8 \cdot v^3 \cdot c_1} \quad (1.18)$$

где G – модуль сдвига материала пружины, Н/м^2 (табл. 1.5); i_m – число мертвых витков, принимаемое:

$$i_m = 1,5 \text{ при } i_p < 7; \quad i_m = 2,5 \text{ при } i_p \geq 7. \quad (1.19)$$

Таблица 1.5

Параметры пружинных сталей

Марка	$G, \text{Н/м}^2 \cdot 10^{10}$	Режим работы*	$\tau_d, \text{Н/м}^2 \cdot 10^8$	Назначение	
				$P_1, \text{Н}$ при $d, \text{мм}$	
70	7,83	легкий средний тяжелый	4,11 3,73 2,74	менее 940	неболее 8
55С2 60С2 63С2А	7,45	легкий средний тяжелый	5,49 4,41 3,43	более 1200	более 9
50ХФА	7,70	легкий средний тяжелый	5,49 4,90 3,92	более 2400	более 12,5

Примечание: Режим работы пружинных виброизоляторов:

– **легкий:**

1) пассивная виброизоляция объектов (при кинематическом возбуждении) чувствительных к вибрациям;

- 2) активная виброизоляция (при силовом возбуждении) машин:
- а) I категория динамичности (КД) (по табл. 2.6), $n > 400$ об/мин;
- б) II КД, $n > 2000$ об/мин;
- **средний: активная виброизоляция машин:**
- а) II КД, $400 < n < 2000$ об/мин;
- б) III КД, $n > 2000$ об/мин;
- **тяжелый: активная виброизоляция машин:**
- а) III КД, $400 < n < 2000$ об/мин;
- б) IV КД.

Таблица 1.6

Зависимость категории динамичности от рабочей нагрузки

Категория динамичности	I	II	III	IV
Рабочая нагрузка P_1 , Н	до 98	98–980	980–9800	более 9800

Задача 1.2

Производственное оборудование массой m и скоростью вращения n создает вибрацию, заданную одним из параметров a , V или L_V в третьоктавном спектре, как в производственном помещении (рабочие места категории «3 а»), так и в помещении управления (рабочие места категории «3 в»). Определить полное число витков пружины и диаметр проволоки пружины для комплекта пружинных виброизоляторов, который необходимо установить под оборудование для снижения вибрации до нормативных значений, при известном материале виброизолятора и количестве виброизоляторов N .

Таблица 1.7

Варианты исходных данных к задаче 2.2

№ вар.	m , кг	n , об/мин	a , м/с ²	V , м/с·10 ⁻²	L_V , дБ	Тип помещения*	Материал виброизолятора	N , шт
1	110	924	–	–	92,8	У	Сталь 70	4
2	800**	1976	–	0,80	–	П	Сталь 63С2А	6
3	150	1470	0,126	–	–	У	Сталь 70	8
4	2000	480	–	–	110,0	П	Сталь 50ХФА	6
5	130	1200	–	0,150	–	У	Сталь 70	8

*) Тип помещения: П – производственное помещение; У – помещение управления

**) Агрегат работает при наличии агрессивных сред или повышенных температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2010.
2. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.