

## Тема 4. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

Воздействие вибраций на окружающую среду происходит вследствие передачи вибраций от источников опорным конструкциям (полам, опорным плитам, фундаментам) и далее непосредственно по грунту фундаментам рядом расположенных жилых и административных зданий. Основные источники вибраций для жилой застройки и общественных зданий – кузнечно-прессовое оборудование, насосные и компрессорные станции, транспортные магистрали (особенно метрополитен).

Виброизоляция – один из наиболее распространенных методов защиты от вибраций – реализуется путем введения дополнительной упругой связи (виброизоляторов) между источниками вибрации и защищаемым объектом.

Установка машин и агрегатов на виброизолирующие опоры приводит к ослаблению передачи вибраций от этих машин основанию (фундаменту), что, в свою очередь, обуславливает снижение уровня вибраций рабочих мест, регламентируемых нормами.

При устройстве виброизоляции стационарного технологического оборудования с целью улучшения условий труда в качестве виброизоляторов практически всегда используют пружины или резиновые прокладки. При низкочастотных вибрациях, а также неблагоприятных условиях эксплуатации (наличие высоких температур, масел, паров, кислот, щелочей, конструктивных ограничений по высоте виброизоляторов) рекомендуется использование пружин, при высокочастотной вибрации и нормальных условиях эксплуатации – резиновых прокладок. При этом следует иметь в виду, что пружины дольше сохраняют упругие свойства во времени. Однако в ряде случаев, и в частности у компрессоров, в спектре вибраций имеются значительные по величине составляющие как в низко-, так и в высокочастотном диапазоне частот. Это делает необходимым использование комбинированной виброизоляции. Последняя может быть выполнена по схеме с кустовым расположением пружин и резиновых элементов (рис. 4.1, а) и по схеме с раздельным расположением пружин и резиновых элементов (рис. 4.1, б).

В системах виброизоляции рабочих мест операторов вибростендов на участках проведения вибрационных испытаний машин и оборудования, учитывая наличие интенсивных составляющих в низкочастотной части спектра вибраций, обычно используют пружинные виброизоляторы. Расположение виброизоляторов зависит от направления действия возмущающих сил. Принципиальные схемы расположения виброизоляторов открытых площадок, на которых располагаются операторы, представлены на рис. 4.2. Виброизоляция рабочих мест может применяться при гармонических и негармонических колебаниях основания.

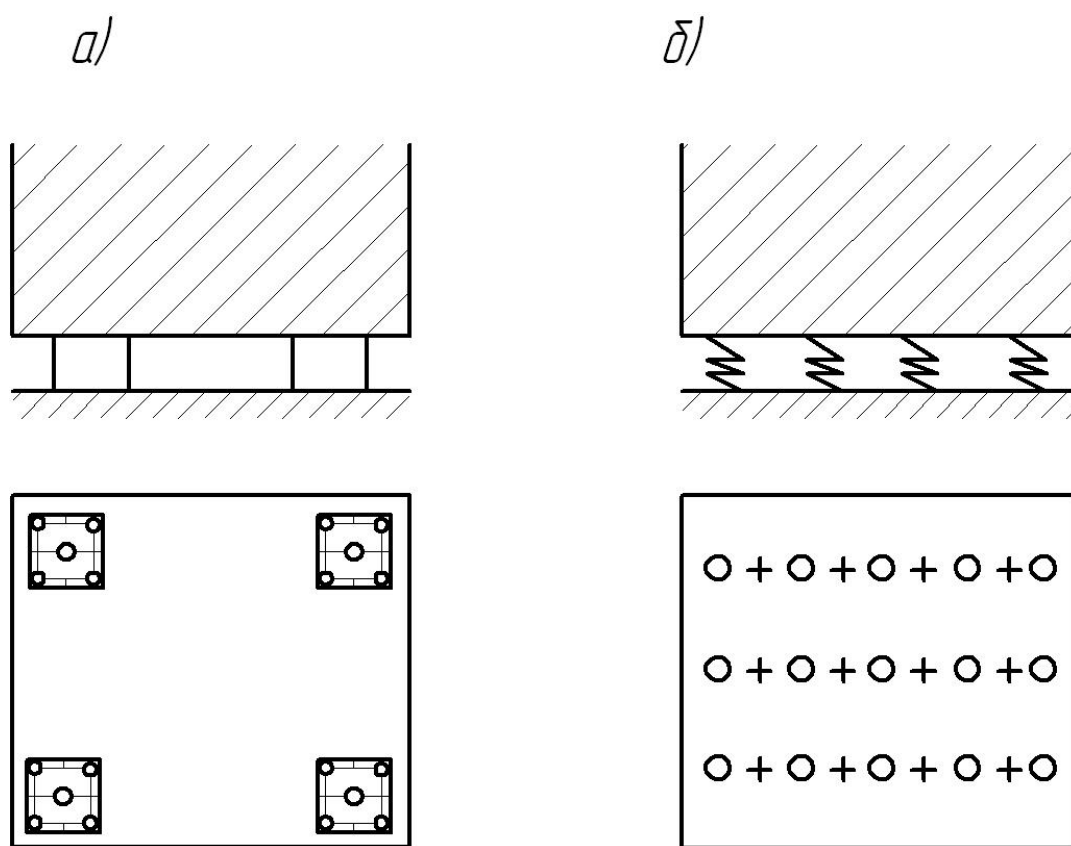


Рис. 4.1. Схемы комбинированных виброизоляторов: а - кустовое расположение пружин и резиновых элементов (кустовые комбинированные виброизоляторы) ; б - раздельное расположение пружин и резиновых элементов; + пружины; 0 - резиновые элементы

Цель расчета – определение числа виброизоляторов и их геометрических характеристик, обеспечивающих значения коэффициента передачи вибраций (КП), при котором вибрация рабочего места оператора снижает-

ся до допустимой величины (ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования).

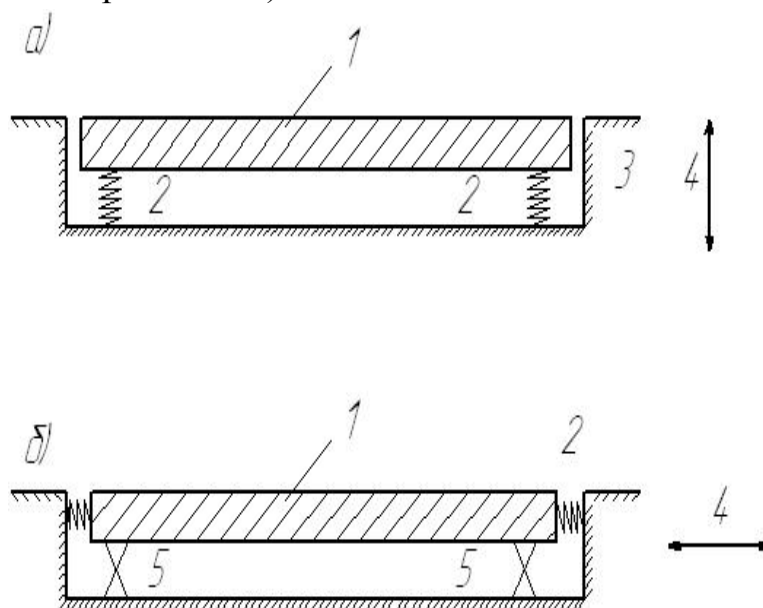


Рис. 4.2 Принципиальные схемы виброизоляции площадок: а – при вертикальных колебаниях основания; б – при горизонтальных колебаниях основания (опорный вариант); 1- виброизолированная плита; 2 – виброизоляторы; 3 – колеблющееся основание; 4 – направление колебаний; 5 – опорные стержни (каток)

Если известен тип механического оборудования, которое создает вибрацию, то для обоснования выбора и расчета изоляторов может быть задана требуемая акустическая эффективность виброизоляции (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Требуемая акустическая эффективность виброизоляции

Оборудование	$\Delta L$ , Дб
Центробежные компрессоры	34
Поршневые компрессоры, виброплощадки	17...26
Центробежные насосы	26
Вентиляторы с числом оборотов в минуту более 800	26
500...800	20...26
350...500	17...20

Акустическая эффективность виброизоляции  $\Delta L$  связана с коэффициентом передачи КП следующим соотношением, дБ

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \left( \frac{1}{\text{КП}} \right).$$

В качестве виброизоляционных устройств наиболее часто используют упругие материалы: стальные пружины, резину и др.

Пружинные виброизоляторы обладают высокой виброизолирующей способностью и долговечностью, однако они плохо рассеивают энергию колебаний, и поэтому затухание происходит через 15...20 периодов.

Резиновые виброизоляторы следует применять, когда необходимо уменьшить время затухания собственных колебаний и амплитуды колебаний в резонансных режимах. Они позволяют обеспечить виброизоляцию с коэффициентом КП = 0,5 и ниже при частоте вынужденных колебаний от 20 Гц и более.

Эффективность работы виброизоляторов будет зависеть от свойств материала резины. Для некоторых типов резин эти свойства приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Основные характеристики резины

Марка резины	Динамический модуль упругости $E_d$ , МПа	Статический модуль упругости $E_{ст}$ , Па	Коэффициент неупругого сопротивления $\gamma$
3311	2,5	160	0,038
2959	6,3	300	0,14
112А	6,0	440	0,16
1992	10,0	370	0,19
2462	17,0	520	0,31
2566	3,8	240	0,11

Для обеспечения устойчивой работы резиновых виброизоляторов необходимо, чтобы они были выполнены в виде коротких элементов, у которых высота  $H$  и поперечный размер  $A$  отвечают условию  $H \geq A/4$ . Только при этом условии обеспечивается необходимая статическая осадка виброизолятора и достаточно низкое значение частоты собственных колебаний виброизолированной системы.

Требуемая общая площадь поперечного сечения виброизоляторов  $S$ , м<sup>2</sup>, и рабочая высота каждого виброизолятора  $H_p$ , м, могут быть рассчитаны по формулам

$$S = \frac{Q}{\sigma},$$

$$H_p = \frac{E_d \cdot S}{K},$$

где  $Q$  – общий вес виброизолированной установки, Н;

$\sigma$  – расчетное статическое напряжение в резине, Па;

$E_d$  – динамический модуль упругости резины, Па;

$K$  – требуемая суммарная жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении, которая может быть определена по формуле, Н/м,

$$K = \frac{4 \cdot p^2 \cdot f_0^2 \cdot Q}{g}.$$

Эффективность виброизоляции оценивается коэффициентом передачи КП, который показывает, какая часть динамической силы, возбуждающей систему, передается через виброизоляторы на основание. Если пренебречь затуханием в виброизоляторах, то коэффициент передачи КП может быть рассчитан по формуле

$$КП = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}.$$

Коэффициент передачи можно рассчитать и по формуле

$$КП = \frac{F_0}{F} = \frac{K \cdot x}{F};$$

где  $F_0$  – динамическая сила, передаваемая на основание через виброизоляторы, Н;

$F$  – динамическая сила, возбуждающая систему, Н;

$K$  – жесткость виброизолятора, Н/м;

$x$  – амплитуда виброперемещения, м.

Количество поглощаемой виброизоляторами энергии будет зависеть от соотношения частоты возбуждения  $f$  и собственной частоты колебаний системы  $f_0$ . При этом снижение передаваемых динамических нагрузок будет только при выполнении условия

$$\frac{f}{f_0} > 2.$$

Собственная частота колебаний системы определяется выражением, Гц,

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{R}{m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{K \cdot g}{Q}} \approx \frac{5}{\sqrt{\lambda_{ст}}},$$

где  $m$  – масса изолируемого от вибрации объекта, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$Q$  – силовая нагрузка на виброизоляторы, Н;

$\lambda_{\text{ст}}$  – статическая деформация виброизоляторов, м.

Зная коэффициент передачи и виброскорость от источника вибрации  $V$ , можно определить реальную виброскорость на рабочем месте и сравнить ее с допустимым значением виброскорости  $V_{\text{доп}}$ . Необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\text{КП} \cdot V \leq V_{\text{доп}}.$$

При создании новых производственных участков на территории предприятий рядом со сложившейся жилой застройкой обеспечить необходимое для снижения вибраций расстояние от машин с динамическими нагрузками до ближайших жилых и административных зданий часто не представляется возможным. При этом предусматривается виброизоляция машин – источников вибрации от фундаментов или виброизоляция фундаментов этих машин от грунта.

В качестве средств виброизоляции фундаментов машин с динамическими нагрузками используются цилиндрические пружины, рессоры, прокладки, пневматические системы и комбинированные виброизоляторы. Виброизоляция в этом случае выполняется по опорному варианту (рис. 4.3, а). При виброизоляции фундаментов, как правило, используются виброизоляторы рессорного типа, позволяющие, как и пружины, изолировать колебания низких частот. Система виброизоляции в последнем случае может быть выполнена по опорному и по подвесному вариантам (рис. 4.3, б, в).

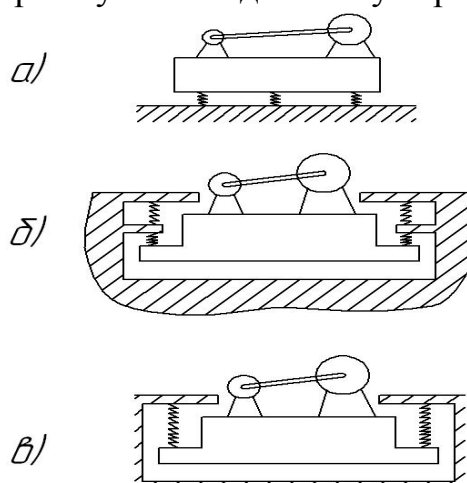


Рис. 4.3. Виброизоляция машин: а – опорный вариант; б и в – разновидности подвесного варианта

**Задача 4.1.** Рассчитать виброизоляцию железобетонной виброгасящей плиты с расположенным на ней рабочим местом оператора мощного вибростенда. Испытания проводятся при гармонических колебаниях, имеющих частоту  $f$ , Гц, и амплитуду  $A$ , м. Масса плиты составляет  $M$ , кг. Динамическая сила, возбуждающая систему, 50 Н.

**Рекомендации к решению задачи**

1. По табл. 4.3 находим допустимое значение амплитуды перемещения при гармонических колебаниях с частотой  $f$ , Гц. Принимая коэффициент запаса, равный 3, получим допустимое значение амплитуды смещения.

Таблица 4.3

Допустимое значение амплитуды перемещения

Частота, Гц	1,4	1,6	2	2,5	2,8	3,2	4,0
Амплитуда перемещения, $A \cdot 10^{-3}$ м	3,11	2,22	1,28	0,73	0,61	0,44	0,28
Частота, Гц	8,0	10	12,5	16	20	22,4	25
Амплитуда перемещения, $A \cdot 10^{-3}$ м	0,056	0,045	0,036	0,028	0,0225	0,02	0,018
Частота, Гц	31,5	40	45	50	63	80	90
Амплитуда перемещения, $A \cdot 10^{-3}$ м	0,014	0,013	0,01	0,009	0,0072	0,0056	0,005

*Примечание:* значения амплитуд перемещения даны для случая гармонических колебаний.

2. Определяем значение коэффициентов передачи вибраций

$$КП = \frac{A_{\text{норм}}}{A_{\text{осн}}} = \frac{1}{(f/f_0)^2 - 1},$$

где  $f_0$  - собственная частота виброизолируемого рабочего места, включая оператора, опорную плиту и виброизоляторы.

3. Соответствующее значение собственных вертикальных колебаний опорной плиты составит

$$f_0 = \frac{F}{\sqrt{\frac{1}{КП} + 1}},$$

где  $F$  - динамическая сила, возбуждающая систему, Н ( $F = F_0/KП$ ,  $F_0$  – динамическая сила, передаваемая на основание через виброизоляторы, Н).

4. Вычисляем суммарную жесткость виброизоляторов  $q_{z\Sigma}$  в вертикальном направлении с учетом массы плиты и оператора на ней (массу оператора принимаем равной 80 кг, а массой рабочего места пренебрегаем), Н/м,

$$q_{z\Sigma} = \frac{M_{\Sigma}g}{x_{ст}},$$

где  $M_{\Sigma} = M + m + m_{об}$  - суммарная масса плиты, оператора и оборудования, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$x_{ст}$  – статическая осадка,  $x_{ст} = g / (2\pi f_0)^2$ .

5. Определяем вертикальную жесткость  $q_{z1}$  одного виброизолятора, принимая общее число пружин  $N$ , равное 8 (по 2 на каждый угол опорной плиты), Н/м,

$$q_{z1} = \frac{q_{z\Sigma}}{N},$$

где  $N$  – число виброизоляторов (выбираем исходя из требования обеспечения устойчивости опорной плиты), шт.

6. Находим расчетную нагрузку на одну пружину с учетом возможности неравномерного распределения нагрузки на пружины при перемещении оператора

$$P_1 = \frac{Mg}{N} + 1,5 \frac{mg}{n},$$

где  $n$  – минимальное число пружин, воспринимающих массу оператора при работе (масса тела человека в худшем случае распределяется в процессе работы на 2 пружины, т.е.  $n=2$ ).

7. Определяем геометрические размеры пружинных виброизоляторов:

$$\text{а) диаметр прутка пружины} \quad d = 1,6 \sqrt{\frac{K \cdot P_1 c}{[\tau]}},$$

где  $c=D/d$  – индекс пружины, принимаем равным от 4 до 10,  $D$  - диаметр пружины;  $\tau = 4,41 \cdot 10^8$  – допустимое напряжение материала пружины (сталь) на срез, Н/м<sup>2</sup>;  $K$  – коэффициент деформации пружины (определяется по рис. 4.4) Для  $c=8$  значение коэффициента  $K$  составит 1,18;



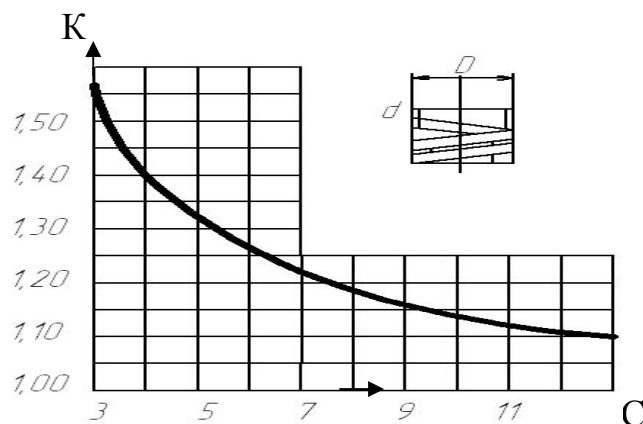


Рис. 4.4. График для определения коэффициента деформации пружины

б) диаметр пружины  $D = c \cdot d$ ;

в) число рабочих витков

$$i_1 = \frac{Gd}{8 \cdot q_{z1} \cdot c^3},$$

где  $G$  - модуль сдвига для стали ( $G = 7,85 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ );

г) полное число витков пружины  $i_{\Sigma} = i_1 + i_2$ ,

где нерабочее число витков пружины  $i_2 = 1,5$  при  $i_1 < 7$  и  $i_2 = 2$  при  $i_1 \geq 7$ ;

д) шаг витка  $h = 0,25D$ ;

е) высота ненагруженной пружины  $H_0 = i_{\Sigma} h (i_2 + 0,5) d$ . При расчете пружин, работающих на сжатие, отношение высоты нагруженной пружины к ее диаметру должно быть не более двух. В противном случае возникает опасность потери устойчивости виброизолированной системой.

Проверяем выполнение требования

$$\frac{H_0}{D} < 2,0.$$

*Варианты для самостоятельной работы*

Номер варианта	М, кг	$f$ , Гц	$A, \cdot 10^{-3}$ , м
1	220	50	0,195
2	300	63	0,15
3	200	80	0,05
4	220	90	0,01
5	300	50	0,195
6	200	63	0,15
7	220	80	0,05
8	300	90	0,01
9	200	40	0,3
10	220	45	0,4

**Задача 4.2.** Рассчитать пассивную виброизоляцию рабочего места оператора бетоносмесительного узла (БСУ). На рабочем месте оператора максимальное значение виброскорости по данным измерений составляет 10 мм/с на частоте 31,5 Гц.

Пульт управления оператора БСУ массой  $M$ , кг, расположен на стальной плите габаритными размерами  $a \times b \times c$ , м. Плотность стали  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ .

### **Рекомендации к решению задачи**

1. Масса плиты составит, кг,

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} \cdot \rho.$$

Здесь  $V_{\text{пл}}$  - объем плиты,  $\text{м}^3$ .

2. Общий вес пульта управления, стальной плиты и человека на плите составит, Н,

$$Q = (m_{\text{пл}} + m_{\text{ч}} + M)g,$$

где  $m_{\text{ч}}$  - средняя масса человека (оператора), кг.

3. Для виброизоляции рабочего места оператора БСУ в качестве виброизоляционного материала выберем резину на каучуковой основе КР-407, для которой допустимое напряжение на сжатие  $\sigma = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .

4. Определяем общую требуемую площадь поперечного сечения всех виброизоляторов,  $\text{м}^2$ ;

$$S = Q / \sigma.$$

5. Принимаем, что плита будет опираться на  $n$  резиновых виброизоляторов. Тогда площадь в поперечном сечении каждого виброизолятора составит,  $\text{м}^2$ ,

$$S_1 = \frac{S}{n}.$$

6. Собственная частота колебаний системы определяется по формуле, Гц,

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{\lambda_{\text{ст}}}}.$$

В соответствии с рекомендациями для изоляторов виброплощадок значение  $\lambda_{\text{ст}}$  может быть принято в пределах 0,3...0,5 см.

7. Суммарную жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении определим по формуле, Н/м,

$$K = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot Q}{g}.$$

### *Варианты для самостоятельной работы*

Номер варианта	М, кг	$a \cdot b \cdot c$ , м	$m_{\text{ч}}$ , кг
1	30	$1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,015$	80
2	25	$2 \cdot 2 \cdot 0,02$	100
3	20	$1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,015$	60
4	30	$2 \cdot 2 \cdot 0,02$	70
5	25	$1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,015$	90
6	20	$2 \cdot 2 \cdot 0,02$	80
7	30	$1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,015$	100
8	25	$2 \cdot 2 \cdot 0,02$	60
9	20	$1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,015$	70
10	30	$2 \cdot 2 \cdot 0,02$	90

**Задача 4.3.** Рассчитать комбинированную виброизоляцию вертикального двухцилиндрового компрессора. Число оборотов компрессора  $n=450$  об/мин, вертикальная составляющая неуравновешенных сил инерции  $F_z = 66640$  Н, масса компрессора 8800 кг. Комбинированные виброизоляторы состоят из стандартных пружин и резиновых прокладок (варианты в таблице для самостоятельной работы).

#### ***Рекомендации к решению задачи***

Расчет виброизоляторов сводится к определению их упругости и геометрических параметров: высоты, площади и числа резиновых прокладок или диаметра, числа витков и радиуса проволоки пружины. Исходной предпосылкой для расчета является необходимость выполнения условия  $f/f_0 = 3 \div 4$ , где  $f$  - частота колебаний возбуждающей силы;  $f_0$  - собственная частота колебаний машины, установленной на виброизоляцию. По известному значению  $f$  определяют  $f_0$ .

Применительно к комбинированной виброизоляции расчет обычно сводится к определению требуемых значений параметров резиновых прокладок исходя из известной суммарной жесткости пружин, в качестве которых принимаются типовые пружины заводского изготовления со стандартными геометрическими и жесткостными характеристиками (табл. 4.4).

Таблица 4.4

## Параметры пружин

Величина	Марка пружины						
	ДО38	ДО39	ДО40	ДО41	ДО43	ДО44	ДО45
$P_{qon}$	117,6	215,6	333,2	539	940,8	1 646,4	3 724
$f_0$	3	2,7	2,5	2,4	2,1	1,5	1,8
$q_z \cdot 10$	4,6	6,2	8,3	12,6	30	36,4	45
$d \cdot 10^{-3}$	3	4	5	6	10	12	15
$D \cdot 10^{-3}$	30	40	50	54	80	96	120
$i$ (число раб. витков)	6,5	6,5	6	6,5	6,5	6,5	6,5
$H_0 \cdot 10^{-3}$	65	84	102	114	171	202	245
$H \cdot 10^{-3}$	68	88	107	123	186	220	276
$h \cdot 10^{-3}$	10	13	17	18	27	32	40
$l \cdot 10^{-3}$	752	1 015	1 185	1 370	2 020	2 424	3 032

В табл. 4.4:  $P_{qon}$  - допустимая рабочая нагрузка на пружину, Н;  $f_0$  - собственная частота вертикальных колебаний установки при нагрузке  $P_{\max}$ , Гц;  $q_z$  - жесткость пружины в вертикальном направлении, Н/м;  $D$  - диаметр пружины, м;  $H_0$  - высота пружины в нагруженном состоянии, м;  $H$  - полная высота пружины в ненагруженном состоянии, м;  $h$  - шаг ненагруженной пружины, м;  $l$  - полная длина проволоки (без учета технологического припуска), м;  $d$  - диаметр проволоки пружин, м; для всех пружин  $H/D=2$ .

В большинстве случаев применительно к стационарному технологическому оборудованию, и в частности к компрессорам, виброизоляторы рассчитываются на действие вертикальных возмущающих сил.

Расчет комбинированных виброизоляторов компрессоров ведется в следующей последовательности.

1. Определяем основную частоту возмущающей силы.

$$f = \frac{n \cdot z}{60}, \text{ Гц,}$$

где  $n$  - число оборотов компрессора,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $z$  - число рабочих цилиндров.

2. Находим требуемую собственную частоту компрессора при установке на виброизолирующие опоры

$$f_0 = \frac{f}{3 \div 4}, \text{ Гц,}$$

3. Рассчитываем значение суммарной жесткости системы виброизоляции

$$q_{\Sigma} = m\omega_0^2, \text{ Н/м},$$

где  $m$  - масса компрессора (в случае установки компрессора на опорные плиты и основания  $m$  - суммарная масса компрессора основания, т.е. масса виброизолируемой системы),  $\omega_0 = 2\pi f_0$  - собственная круговая частота виброизолируемой системы,  $\text{с}^{-1}$ .

4. Определяем амплитуду колебаний виброизолированного компрессора

$$A = \frac{F_z}{m\omega^2}, \text{ м},$$

где  $F_z$  - вертикальная составляющая неуравновешенных сил инерции, Н;  $\omega = 2\pi f$  - круговая частота виброизолированной системы,  $\text{с}^{-1}$ .

5. Из условий прочности находится потребное число пружин

$$N_{\text{пр}} = \frac{P}{P_{\text{доп}}},$$

где  $P$  - вес виброизолируемой системы, Н;  $P_{\text{доп}}$  - допустимая нагрузка на пружину, Н (определяется по табл. 4.4 для выбранного типа пружин).

6. Определяем суммарную жесткость пружинных виброизоляторов

$$q_{\text{пр}\Sigma} = q_z \cdot N, \text{ Н/м},$$

где  $q_z$  - жесткость одной пружины, Н/м (определяется по табл. 4.4 для выбранного типа пружин).

7. Находим суммарную жесткость резиновых прокладок

$$q_{\text{рез}\Sigma} = q_{\Sigma} - q_{\text{пр}\Sigma}, \text{ Н/м}.$$

8. Рассчитываем вес виброизолированной системы, приходящийся на резиновые прокладки

$$P_{\text{рез}} = A \cdot q_{\text{рез}\Sigma}, \text{ Н}.$$

9. Находим вес виброизолированной установки, приходящийся на пружинные виброизоляторы  $P_{\text{пр}}$

$$P_{\text{пр}} = P - P_{\text{рез}}, \text{ Н}.$$

10. Определяем статическую осадку пружины

$$X_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{пр}}}{q_{\text{пр}\Sigma}}, \text{ м}.$$

11. Вычисляем суммарную площадь поперечного сечения резиновых виброизоляторов

$$S_{\text{рез}\Sigma} = \frac{P_{\text{рез}}}{\delta_{\text{доп}}}, \text{ м}^2,$$

где  $\delta_{\text{доп}}$  - допустимое напряжение сжатия, Н/м (определяется по табл. 4.5 для выбранного материала прокладки).

Таблица 4.5

Характеристика материалов виброизоляторов

Материал	Допустимое напряжение на сжатие $\delta_{\text{доп}} \times 10^5, \text{ Н/м}^2$	Динамический модуль упругости $E_d \times 10^5, \text{ Н/м}^2$
Резина: губчатая	2,34	30
мягкая	7,85	50
в виде ребристых плит с отверстиями	7,85-9,81	40
Резина специальных сортов	29,4-39,2	100
Пробка натуральная	14,7-19,62	30
Плиты из пробковой крошки	5,89-9,81	60
Войлок жесткий прессованный	13,7	90
Войлок с прослойкой пробки	19,62	80

12. Рассчитываем рабочую высоту резиновых прокладок

$$H_0 = \frac{E \cdot S_{\text{рез}\Sigma}}{q_{\text{рез}\Sigma}}, \text{ м},$$

где  $E$  – динамический модуль упругости материала прокладки, Н/м<sup>2</sup> (определяется по табл. 4.5 для выбранного материала прокладок).

13. Находим полную высоту резиновых прокладок

$$H = H_0 + B/8, \text{ м},$$

где  $B$  - ширина квадратной прокладки (задается самостоятельно исходя из неравенства  $H_0 \leq B \leq 8H_0$  ).

14. Определяем число резиновых прокладок

$$N_p = \frac{S_{\text{рез}\Sigma}}{B^2}.$$

Варианты для самостоятельной работы

Вариант	Марка пружины	Материал резинового виброизолятора
1	ДО38	Резина: губчатая
2	ДО39	мягкая
3	ДО40	в виде ребристых плит с отверстиями
4	ДО41	Резина специальных сортов
5	ДО43	Пробка натуральная
6	ДО44	Плиты из пробковой крошки
7	ДО45	Войлок жесткий прессованный
8	ДО38	Войлок с прослойкой пробки
9	ДО39	Резина: губчатая
10	ДО40	То же

**Задача 4.4.** Для уплотнения бетона используется виброплощадка, у которой вес плиты ( $P_{пл}$ ) с числом пружин ( $n$ ) на одном виброизоляторе, на плите одновременно при укладке бетона находятся рабочие  $N_n$ , весом каждый по 80 кг. Вибраторы приводятся в движение от электрического двигателя со скоростью  $V$ , м/с. Пружины изготовлены из круглого металла диаметром  $d$ , мм, а диаметр пружины –  $D$ , мм. Допустимое напряжение на срез для материала пружины составляет  $\tau$ , кг/см<sup>2</sup>.

#### **Рекомендации к решению задачи**

1. Определяем суммарную жесткость пластин  $K_c$ , Н/м,

$$K_c = \frac{P_{пл}}{\lambda},$$

где  $P_{пл}$  – вес плиты с оборудованием, Н;

$\lambda$  – величина статического прогиба, м.

2. Находим жесткость одной пружины  $K$ , Н/м:

$$K = \frac{K_c}{n},$$

где  $K_c$  – суммарная жесткость;

$n$  – число пружин.

3. Определяем расчетную нагрузку на одну пружину  $R$  ( вес одного человека - 800Н)

$$R = \frac{[P_{пл} + (N_n - 1)800 \cdot 1,5]}{n + 1,5 \left( \frac{800}{n} + K \cdot V \right)},$$

где  $N_n$  – число людей на плите;

$V$  – скорость двигателя, м/с;

4. Рассчитываем диаметр прутка пружины  $d$ , м:

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{K \cdot R \cdot C}{\tau}},$$

где  $C = D/d$ , оптимальное отношение которого от 4 до 10 (определяется по рис 4.4 в зависимости от значения  $K$ );

$R$  – расчетная нагрузка на одну пружину;

$\tau$  – допустимое напряжения материала пружины на срез, Н/м<sup>2</sup> ( для стали  $4.41 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>).

5. Определяем число рабочих витков пружины  $i$ .

$$i = \sigma \cdot d / (8 \cdot K \cdot C^3),$$

где  $\sigma$  – модуль упругости на сдвиг (для стали=80 МПа).

6. Вычисляем число мертвых витков пружины  $i_1$ . Число мертвых витков принимается, если  $i \leq 7, i_1 = 1,5$ , если  $i > 7, i_1 = 2$ .

7. Полное число витков пружины

$$i_2 = i + i_1.$$

8. Находим высоту ненагруженной пружины  $H_0$ .

$$H_0 = i \cdot h + (i_1 + 0,5) \cdot d,$$

где  $h$  – шаг пружины.

9. Определяем устойчивость пружины, которая должна выполнять условие

$$\frac{H_0}{D} \leq 2,$$

если условие не выполняется, то пружина неустойчива.

#### Варианты для самостоятельной работы

Вариант	$V, \text{м/с}$	$\lambda, 10^{-2} \text{ м.}$	$P_{\text{пл}}, \text{Н}$	$n, \text{шт.}$	$N_n, \text{чел.}$	$h, \text{мм}$
1	0,078	0,18	2 000	2	10	$0,25 \cdot D$
2	0,079	0,20	2 500	3	9	$0,28 \cdot D$
3	0,081	0,22	3 000	4	8	$0,30 \cdot D$
4	0,083	0,24	3 500	5	7	$0,32 \cdot D$
5	0,085	0,26	4 000	6	6	$0,34 \cdot D$
6	0,087	0,28	4 500	7	5	$0,38 \cdot D$
7	0,078	0,18	2 000	2	8	$0,30 \cdot D$
8	0,079	0,20	2 500	3	7	$0,32 \cdot D$
9	0,081	0,22	3 000	4	6	$0,34 \cdot D$
10	0,083	0,24	3 500	5	5	$0,38 \cdot D$

**Задача 4.5.** Рассчитать пружинные виброизоляторы двухцилиндрового компрессора, установленного на расстоянии  $r$ , м от жилой застройки. Число оборотов компрессора  $n$ , об/мин, вертикальная составляющая неуравновешенных сил инерции первого порядка  $F = 67708 \text{ Н}$ . Масса компрессора  $m = 8,63 \cdot 10^3 \text{ кг}$ , масса фундамента  $m_f$ , кг. Компрессор работает в ночное время. Вибрация по характеру постоянна. Основание фундамента – мощный слой среднезернистого песка. Опорная площадь фундамента  $S, \text{м}^2$ .

#### Рекомендации к решению задачи

1. Определяем нормативное значение амплитуды вибраций для жилых зданий при частоте колебаний компрессора

$$f = \frac{n}{60}, \text{Гц.}$$



2. По табл. 4.6 находим значение уровня колебательного вибро смещения  $La$  соответствующей октавной полосы частот. С учетом ночного времени работы компрессора и непостоянного характера вибраций в соответствии с табл. 4.7 в нормативное значение вносится поправка.

Таблица 4.6

Допустимые величины уровней вибрации в жилых помещениях

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Уровни виброскорости	79	73	67	67	67	67
Уровни виброускорения	25	25	25	31	37	43
Уровни вибро смещения	133	121	109	103	97	91

Таблица 4.7

Поправки к нормам допустимых величин уровней вибрации в жилых помещениях, учитывающие характер, время и длительность воздействия

Влияющий фактор	Условия	Поправки, дБ
Характер вибрации	Постоянная	0
	Непостоянная	-10
Время суток	Ночь (23....7ч)	0
	День (7....23ч)	+5
Длительность воздействия	Суммарная длительность, %	
Вибрации в дневное время за наиболее интенсивные 30 мин	56...100	0
	18-56	+5
	6..18	+10
	Менее 6	+15

3. Определяем значение вибро смещения  $A_{\text{норм}}$  по формуле, м;

$$A_{\text{норм}} = 8 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{La/20},$$

где  $La$  - нормативное значение уровня вибро смещения с поправками, дБ.

4. По номограмме рис. 4.5 находим величину ослабления вибраций  $\beta$ , учитывая, что

$$r_0 = \sqrt{S/3,14}, \text{ м.}$$

5. Рассчитываем величину допустимой амплитуды колебания грунта под фундаментом компрессора по формуле

$$A_{\phi} = \frac{A_{\text{норм}}}{\beta}, \text{ Н/м}.$$

6. Рассчитываем жесткость системы "машина-фундамент-основание"  $q_z$  в вертикальном направлении для случая среднезернистого песка исходя из суммарной величины массы машины и ее фундамента  $m_{\Sigma}$  по формуле, Н/м

$$q_z = m_{\Sigma} \cdot \omega_0^2 = m_{\Sigma}(2\pi f)^2,$$

где  $\omega_0$  - значение собственной угловой частоты виброизолированной системы.

7. Находим значение фактической амплитуды колебаний фундамента компрессора по формуле

$$A_{m\phi} = \frac{F_m}{q_z - m_{\Sigma}\omega^2},$$

где  $F_m$  - амплитуда возмущающей силы, Н;

$m_{\Sigma}$  - суммарная масса машины и ее фундамента, кг;

$\omega$  - угловая частота колебаний машины, Гц.

8. Вычисляем требуемое значение коэффициента передачи системы виброизоляции фундамента компрессора

$$\text{КП} = A_{\phi}/A_{m\phi}.$$

9. Определяем собственную частоту виброизолированного компрессора

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{1/\text{КП} + 1}}.$$

10. Определяем требуемую суммарную жесткость системы виброизоляции фундамента компрессора  $q_{z\phi}$ , Н/м

$$q_{z\phi} = m_{\Sigma} \cdot \omega_0^2 = m_{\Sigma}(2\pi f_0)^2.$$

11. Тип виброизоляторов выбираем с учетом частоты вибраций, а их геометрию по стандартам на виброизоляторы, выборки из которых даны в

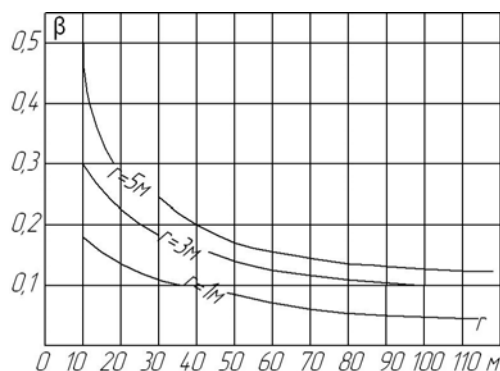


Рис. 4.5. Номограмма ослабления вибраций при их передаче по грунту от фундамента машин к фундаментам жилых зданий

табл. 4.4. Виброизоляторы должны обеспечивать требуемую суммарную жесткость системы виброизоляции и гарантировать прочность и устойчивость виброизоляционной системы в целом.

12. Определяем общее число пружин

$$N = \frac{q_z}{q_{z1}},$$

где  $q_z$  - жесткость системы "машина-фундамент-основание", Н/м;

$q_{z1}$  - жесткость пружины в вертикальном направлении, Н/м.

13. Проверяем условие прочности виброизоляции

$$P_1 < P_{доп};$$

$$P_1 = \frac{m_{\Sigma}g}{N},$$

где  $P_{доп}$  – допустимая нагрузка на один виброизолятор (определяется по табл. 4.4).

14. Находим высоту пружин в нагруженном состоянии

$$H_H = H - X_{ст} = H - \frac{m_{\Sigma}g}{q_{zф}}.$$

15. Проверяем условие устойчивости системы виброизоляции

$$\frac{H_H}{D} \leq 2.$$

#### *Варианты для самостоятельной работы*

Вариант	$r$ , м	$n$ , об/мин	$S$ , м <sup>2</sup>	$m_l$ , кг
1	100	330	15	$6 \cdot 10^4$
2	200	330	20	$7.5 \cdot 10^4$
3	50	330	10	$4.5 \cdot 10^4$
4	25	330	15	$6 \cdot 10^4$
5	100	330	20	$7.5 \cdot 10^4$
6	200	330	10	$4.5 \cdot 10^4$
7	50	330	15	$6 \cdot 10^4$
8	25	330	20	$7.5 \cdot 10^4$
9	100	330	10	$4.5 \cdot 10^4$
10	200	330	15	$6 \cdot 10^4$