ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

СИСТЕМА СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

ВИБРАЦИЯ.
МАШИНЫ СТАЦИОНАРНЫЕ

РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

ГОСТ 12.4.093—80

Издание официальное

Цена 15 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН

Государственным комитетом СССР по стандартам
Государственным комитетом СССР по делам строительства
Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности, Всесоюзным Центральным Советом Профессиональных Союзов
Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР

ИСПОЛНИТЕЛИ

Е. Л. Хейнман; В. Б. Логинов, канд. техн. наук; **В. А. Ивович,** д-р техн. наук; **В. А. Ильичев,** д-р техн. наук; **А. В. Синев,** канд. техн. наук; **Ю. М. Васильев,** канд. техн. наук; **Э. А. Келлер,** канд. техн. наук (руководители темы); **Н. Г. Владыкин,** канд. техн. наук; **Г. Л. Кедрова,** канд. техн. наук; **Л. С. Максимов,** канд. техн. наук; **М. Н. Голубцова,** канд. техн. наук; **О. Я. Шехтер,** канд. техн. наук; **В. Н. Залесов,** канд. техн. наук; **А. Н. Рыбаков; Л. И. Сасина; М. Н. Бибиков,** канд. техн. наук

ВНЕСЕН Государственным комитетом СССР по стандартам

Зам. председателя **В. В. Ткаченко**

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 июня 1980 г. № 3267

© Издательство стандартов, 1981

УДК 534.1.001.24 : 006.354 Группа Т58

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

Система стандартов безопасности труда

ВИБРАЦИЯ. МАШИНЫ СТАЦИОНАРНЫЕ

Расчет виброизоляции поддерживающей конструкции

Occupational safety standard system. Vibration. Stationary machines. Calculation of support constraction vibroisolation

ГОСТ 12.4.093—80

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 июня 1980 г. № 3267 срок введения установлен

с 01.07 1981 г.

1. Настоящий стандарт распространяется на стационарные машины (далее — машины), монтируемые на отдельных фундаментах и поддерживающих конструкциях зданий и сооружений (далее — поддерживающие конструкции), и устанавливает основные положения и методы расчета силовой виброизоляции поддерживающих конструкций от динамических воздействий машин.

Стандарт не распространяется на машины, в которых вибрация используется для выполнения технологического процесса.

2. Расчет выполняют на стадии проектирования машин или их монтажа в производственных помещениях для определения значений параметров виброизоляции, ограничивающих значение вибрации поддерживающих конструкций для удовлетворения санитарно-гигиенических и технологических требований и обеспечения прочности строительных конструкций.

3. Цель расчета — определение значений динамических сил, передающихся поддерживающей конструкции от машины через виброизоляторы, и значение вибрации последней, а также значений параметров вибрации самой машины, и сравнение полученных результатов с критерием качества виброизоляции.

4. Для проведения расчета виброизоляции необходимо:

выбрать критерий качества виброизоляции;

построить расчетную схему системы виброизоляции;

выбрать методику расчета виброизоляции;

установить исходные параметры расчетной схемы.

4.1. Критериями качества виброизоляции поддерживающей конструкции являются:

Издание официальное **Перепечатка воспрещена**

★

© Издательство стандартов, 1981

нормы вибрации на рабочих местах, определяемые согласно ГОСТ 12.1.012—78;

нормы шума на рабочих местах, определяемые согласно ГОСТ 12.1.003—76 (если причиной шума является вибрация поддерживающей конструкции);

допустимые значения динамических сил, воздействующих на поддерживающую конструкцию;

допустимые значения параметров вибрации технологического прецизионного оборудования, воспринимающего вибрацию поддерживающей конструкции;

допустимые значения параметров вибрации заданных точек машины.

4.2. Расчетная схема системы виброизоляции должна содержать:

схему установки машины на виброизоляторах, включая относительное расположение и число опорных точек машины;

составные элементы виброизоляторов;

относительное расположение центра масс машины и центра жесткости виброизоляторов (виброизоляторы должны быть расположены таким образом, чтобы центр жесткости находился на одной вертикали с центром масс);

расположение осей координат (начало координат помещают в центр масс машины);

направления действия и места приложения динамической нагрузки;

относительное расположение центров масс машины и поддерживающей конструкции (в случае конечного значения податливости последней).

Примечание. При расчете принимают, что виброизоляторы являются безмассовыми линейными элементами, обладающими жесткостью и демпфированием.

4.3. Выбор методики расчета виброизоляции определяется типом поддерживающей конструкции, видом динамической нагрузки и направлением ее действия.

4.3.1. Поддерживающую конструкцию принимают или абсолютно жесткой, когда ее первая собственная частота в десять и более раз выше собственной частоты машины на виброизоляторах по одним и тем же координатам, или с конечным значением податливости.

4.3.2. Динамические нагрузки, генерируемые машинами, могут быть:

гармоническими;

полигармоническими;

случайными стационарными;

импульсными.

4.4. Исходными параметрами расчетной схемы являются:
характеристика динамических нагрузок;
характеристика машины;
характеристика поддерживающей конструкции.

4.4.1. Характеристику динамических нагрузок задают:
при гармоническом и полигармоническом возбуждении — амплитудами нагрузок, их частотами и фазами (в эксплуатационном режиме машины); скоростью нарастания или убывания угловой частоты возбуждения (в пускоостановочном режиме машины);
при возбуждении типа случайного стационарного процесса — средними квадратическими значениями нагрузок и их спектральными плотностями;
при импульсном возбуждении — импульсами сил.

4.4.2. Характеристикой машины является:
масса машины;
радиусы инерции машины относительно центральных осей;
положение центра масс машины (машину принимают как абсолютно жесткое тело).

Примечание. Машину, станина которой состоит из нескольких отдельных частей, следует устанавливать на жесткий постамент.

4.4.3. Характеристику поддерживающей конструкции в случае конечного значения ее податливости задают:
геометрическими размерами;
массой;
жесткостью в месте расположения машины;
демпфированием;
импедансом.

5. Обозначения величин, применяемых при расчете, приведены в справочном приложении 1.

6. Для абсолютно жесткой поддерживающей конструкции расчет виброизоляции производят:
при действии гармонической и полигармонической нагрузок — по обязательному приложению 2;
при действии случайной стационарной нагрузки — по обязательному приложению 3.

6.1. Оптимальный синтез системы виброизоляции при действии случайной стационарной и импульсной нагрузок приведен в рекомендуемом приложении 4.

6.2. При действии нагрузки в виде нескольких случайных стационарных процессов, связанных между собой, методика расчета виброизоляции приведена в рекомендуемом приложении 5.

7. Для поддерживающей конструкции с конечным значением податливости при действии импульсной нагрузки расчет виброизоляции производят по обязательному приложению 6.

7.1. Для того же типа поддерживающей конструкции при дей-

ствии гармонической и полигармонической нагрузок методика расчета виброизоляции приведена в рекомендуемом приложении 7.

8. Для любого типа поддерживающей конструкции в случае отсутствия значений исходных параметров расчетной схемы при действии полигармонической и случайной стационарной нагрузок определение значений параметров виброизоляции производят экспериментальным путем по методике, приведенной в обязательном приложении 8.

9. Классификация средств виброзащиты, используемых для виброизоляции поддерживающей конструкции, установлена ГОСТ 12.4.046—78.

9.1. Расчет значений конструктивных параметров пружинных, резиновых и равножестких виброизоляторов производят по обязательному приложению 9.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ

f — частота, Гц.
ω — угловая частота, рад/с.
j — мнимая единица, $j=\sqrt{-1}$.
g — ускорение свободного падения, м/с^2.
X, Y, Z — линейные координаты.
φ_X, φ_Y, φ_Z — угловые координаты.

Характеристика возбуждения

ψ — фазовый угол, рад.
P — амплитуда силы, Н.
M — амплитуда момента, Н·м.
$S_P(\omega)$ — спектральная плотность силы, Н^2·с.
$S_P(\omega)$ — оценка спектральной плотности силы, Н^2·с.
I — импульс силы, Н·с.
p — константа $S_P(\omega)$, Н^2·с.
ω_0 — характерная угловая частота $S_P(\omega)$, рад/с.
τ — длительность импульса силы, с.
t — время, с.
σ_P — среднее квадратическое значение силы P, Н.
σ_{ll} — среднее квадратическое значение нагрузки (силы, Н; момента, Н·м).
$\sigma_{l_1 l_2}$ — взаимное среднее квадратическое значение нагрузок (двух сил, Н; двух моментов, Н·м; силы и момента, Н·м$^{1/2}$).
$\sigma^{(c)}_{l_1 l_2}$ — синфазная составляющая $\sigma_{l_1 l_2}$.
$\sigma^{(кв)}_{l_1 l_2}$ — квадратурная составляющая $\sigma_{l_1 l_2}$.
l — номер нагрузки.
$*$ — знак сопряженного комплексного выражения,
k — номер гармоники в полигармоническом возбуждении.
ε — скорость нарастания (убывания) частоты вращения ротора машины, рад/с^2.
N — число ударов рабочего органа машины в мин.
m_0 — масса падающих частей рабочего органа машины, кг.
ν — коэффициент восстановления скорости рабочего органа машины при ударе.

Параметры системы виброизоляции

m — масса машины вместе с постаментом, кг.
η_M — импеданс машины, Нс/м.
r — радиус инерции машины, м.
$l_п$ — длина подвеса, м.
b_X, b_Y, b_Z — координаты опорной точки машины, м.
a_X, a_Y, a_Z — координаты заданной точки машины, м.
C — линейная жесткость виброизолятора, Н/м.
C_φ — угловая жесткость в системе виброизоляции, Н·м/рад.
α — коэффициент вязкого трения, Н·с/м.

$a_{кр}$ — критический коэффициент вязкого трения, Н·с/м.

$\gamma_в$ — коэффициент внутреннего трения материала виброизолятора.

δ — логарифмический декремент, $\delta = 2\pi \frac{a}{a_{кр}}$, $\delta = \pi\gamma_в$.

$m_{п.д}$ — приведенная масса механизма преобразования движения, кг.

Примечание. Приведенная масса — масса инерционного элемента механизма преобразования движения, умноженная на квадрат его передаточного отношения.

Q — сила, передающаяся от машины на поддерживающую конструкцию через виброизоляторы, Н.

σ_{Q_z} — среднее квадратическое значение силы Q_z, Н.

X_0, Y_0, Z_0 — амплитуда колебаний центра масс машины, м.

φ_X, φ_Y, φ_Z — угловые амплитуды колебаний машины вокруг координатных осей X, Y, Z, рад.

x, y, z — амплитуды колебаний точки машины по осям координат, м.

$x_т$, $y_т$, $z_т$ — амплитуды колебаний опорной точки машины, по осям координат, м.

ω_X, ω_Y, ω_Z — собственные угловые частоты несвязанных колебаний машины по осям координат, рад/с.

$\omega_{\varphi X}$, $\omega_{\varphi Y}$, $\omega_{\varphi Z}$ — собственные угловые частоты несвязанных колебаний машины вокруг осей координат, рад/с.

ω'_{XOZ}, ω''_{XOZ} — собственные угловые частоты (первая и вторая) связанных колебаний машины в плоскости XOZ, рад/с.

ω'_{YOZ}, ω''_{YOZ} — собственные угловые частоты (первая и вторая) связанных колебаний машины в плоскости YOZ, рад/с.

f_Z — собственная частота несвязанных колебаний машины по оси Z, Гц.

σ_Z — среднее квадратическое значение виброперемещения машины вдоль оси Z, м.

$W(\omega)$ — оптимальная передаточная функция.

$T(\omega)$ — передаточная функция.

$|\ |$ — знак модуля комплексного выражения.

ω_c — обобщенный параметр системы виброизоляции, рад/с.

$m_{п.к}$ — масса поддерживающей конструкции, кг.

$m_{п.к}$ — расчетная масса поддерживающей конструкции, кг.

$h_{п.к}$ — толщина поддерживающей конструкции, м.

$a_{п.к}$ — длина поддерживающей конструкции, м.

$b_{п.к}$ — ширина поддерживающей конструкции, м.

$C_{цил}$ — цилиндрическая жесткость поддерживающей конструкции на изгиб, Н·м.

$C_{п.к}$ — жесткость поддерживающей конструкции, Н/м.

$E_{п.к}$ — модуль упругости материала поддерживающей конструкции. Н/м^2.

μ — коэффициент Пуассона материала.

$\eta_{п.к}$ — импеданс поддерживающей конструкции, Н·с/м.

$z_{п.к}$ — виброскорость поддерживающей конструкции в направлении оси Z, м/с.

$z_{п.к}$ — виброперемещение поддерживающей конструкции в направлении оси Z, м.

$\eta_в$ — импеданс виброизолятора, Н·с/м.

$\omega'_{п.к}$, $\omega''_{п.к}$ — условные собственные угловые частоты колебаний поддерживающей конструкции, рад/с.

$F_{п.к}$ — площадь поддерживающей конструкции, м².

Θ — коэффициент передачи при виброизоляции.

$K_{гр}$ — коэффициент упругого сжатия грунта, Н/м³.

Параметры оценки системы виброизоляции

n — номер частотной полосы.

$\omega_н$ — нижняя граница частотной полосы, рад/с.

$\omega_в$ — верхняя граница частотной полосы, рад/с.

$\omega_{ср}$ — среднегеометрическая частота частотной полосы, рад/с.

$f_н$ — нижняя граница частотной полосы, Гц.

$f_в$ — верхняя граница частотной полосы, Гц.

$f_{ср}$ — среднегеометрическая частота частотной полосы, Гц.

Φ — критерий выбора.

Q — весовой коэффициент.

A_n — допустимая амплитуда параметра колебаний в n-й частотной полосе в абсолютных единицах.

L_n — допустимый логарифмический уровень вибрации в n-й частотной полосе, дБ.

A_{min} — наименьшая допустимая амплитуда параметра колебаний по частотным полосам в абсолютных единицах.

L_{min} — наименьший допустимый логарифмический уровень вибрации по частотным полосам, дБ.

Z_{max} — допустимая амплитуда колебаний заданной точки машины при ее пуске (останове) в направлении оси Z, м.

Параметры виброизоляторов

P — силовая нагрузка на виброизолятор, Н.

λ — рабочая деформация пружины, м.

H — высота пружины при рабочей деформации, м.

$\lambda_{кр}$ — критическая деформация пружины при потери устойчивости, м.

H_0 — высота пружины в свободном состоянии, м.

d — диаметр проволоки пружины, м.

D_0 — средний диаметр пружины, м.

$C_{вт}$ — жесткость одного витка пружины, Н/м.

$t_п$ — шаг пружины, м.

L_0 — длина рабочей части пружины, м.

$i_{раб}$ — число рабочих витков пружины.

$i_п$ — полное число витков пружины.

i_1, i_2 — число витков пружины в заделке.

Δ_{max} — максимальная деформация рабочей части пружины, м.

$E_д$ — динамический модуль упругости резины, Н/м².

$G_д$ — динамический модуль сдвига резины, Н/м².

$F_{р.э}$ — площадь резинового виброизолятора, м².

$h_{раб}$ — рабочая высота резинового виброизолятора, м.

$h_{р.э}$ — полная высота резинового виброизолятора, м.

$\gamma_{пр}$ — коэффициент внутреннего трения материала пружины.

$\gamma_р$ — коэффициент внутреннего трения резины.

σ — статическое напряжение в резине, Н/м².

$S_{р.э}$ — толщина резинового элемента, м.

$l_{р.э}$ — длина образующей резинового элемента, м.

$a_{р.э}$ — наименьший диаметр резинового элемента, м.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ АБСОЛЮТНО ЖЕСТКОЙ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ И ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Варианты установки машины показаны на черт. 1. Вариант *а* — обычный вариант установки машины на виброизоляторах; вариант *б* — установка с постаментом, применяемая с целью сближения центра масс машины с центром жесткости виброизоляторов и уменьшения амплитуд колебаний машины; вариант *в* — подвесная установка, применяемая при действии значительных горизонтальных сил.

Расчетные схемы виброизоляции показаны на черт. 2 *а*, *б*, *в*. Начало координат помещено в центре масс машины. Опорные точки машины расположены в одной горизонтальной плоскости. Действующие динамические силы и моменты приведены к центру масс машины. По схеме варианта *а* виброизоляторы расположены таким образом, чтобы центр их жесткости находился на одной вертикали с центром масс машины, т. е.

$$\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}\, b_{Xi}=0,\ b_{Y1}=b_{Y2},\ b_{Y3}=b_{Y4},\ b_{Y(n-1)}=b_{Yn}$$

(n — число виброизоляторов).

По схеме варианта *б* все подвесы одинаковой длины, а точки их крепления расположены симметрично относительно центра масс машины.

По схеме варианта *в* при помощи постамента центр жесткости виброизоляторов совмещен с центром масс машины ($b_Z=0$).

1. Гармоническое возбуждение

Цель расчета

Определение Q_X, Q_Y, Q_Z; сравнение их с допустимыми значениями.

Исходные данные

$$m,\ r_X,\ r_Y,\ r_Z,\ b_X,\ b_Y,\ b_Z,\ P_Z \sin(\omega t+\psi_1),\ P_X \sin(\omega t+\psi_2),$$
$$P_Y \sin(\omega t+\psi_3),\ M_Z(\omega t+\psi_4),\ M_X \sin(\omega t+\psi_5),\ M_Y \sin(\omega t+\psi_6).$$

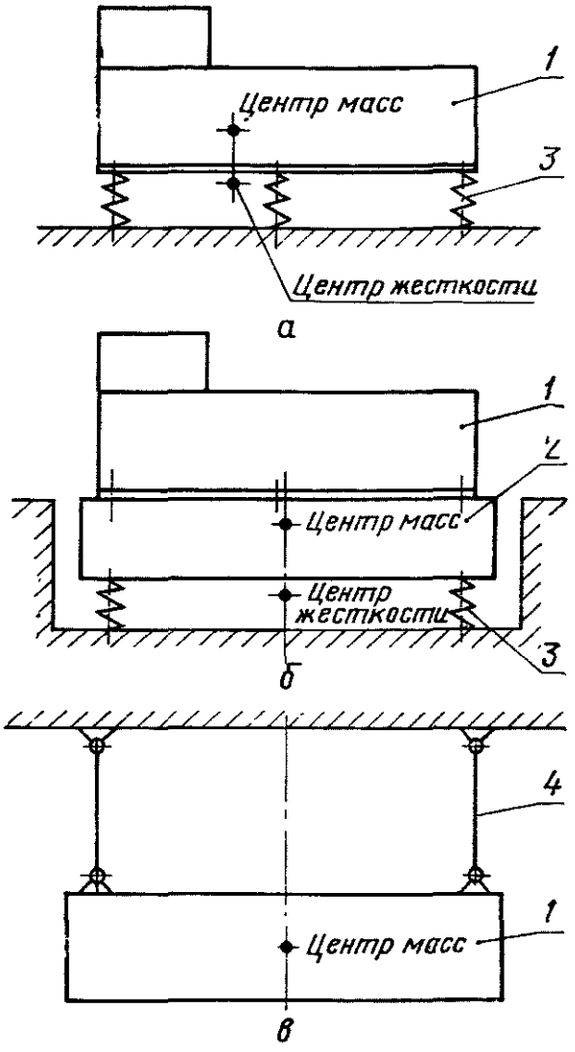
Порядок расчета

1.1. Предварительно определяют C_Z, C_X, C_Y, $C_{\varphi Z}$, $C_{\varphi X}$, $C_{\varphi Y}$ по формулам

$$C_Z \leqslant m\frac{\omega^2}{16},\ C_X \leqslant m\frac{\omega^2}{6{,}25},\ C_Y \leqslant m\frac{\omega^2}{6{,}25},$$
$$C_{\varphi Z} \leqslant mr_Z^2\frac{\omega^2}{6{,}25},\ C_{\varphi X} \leqslant mr_X^2\frac{\omega^2}{6{,}25},\ C_{\varphi Y} \leqslant mr_Y^2\frac{\omega^2}{6{,}25}. \qquad (1)$$

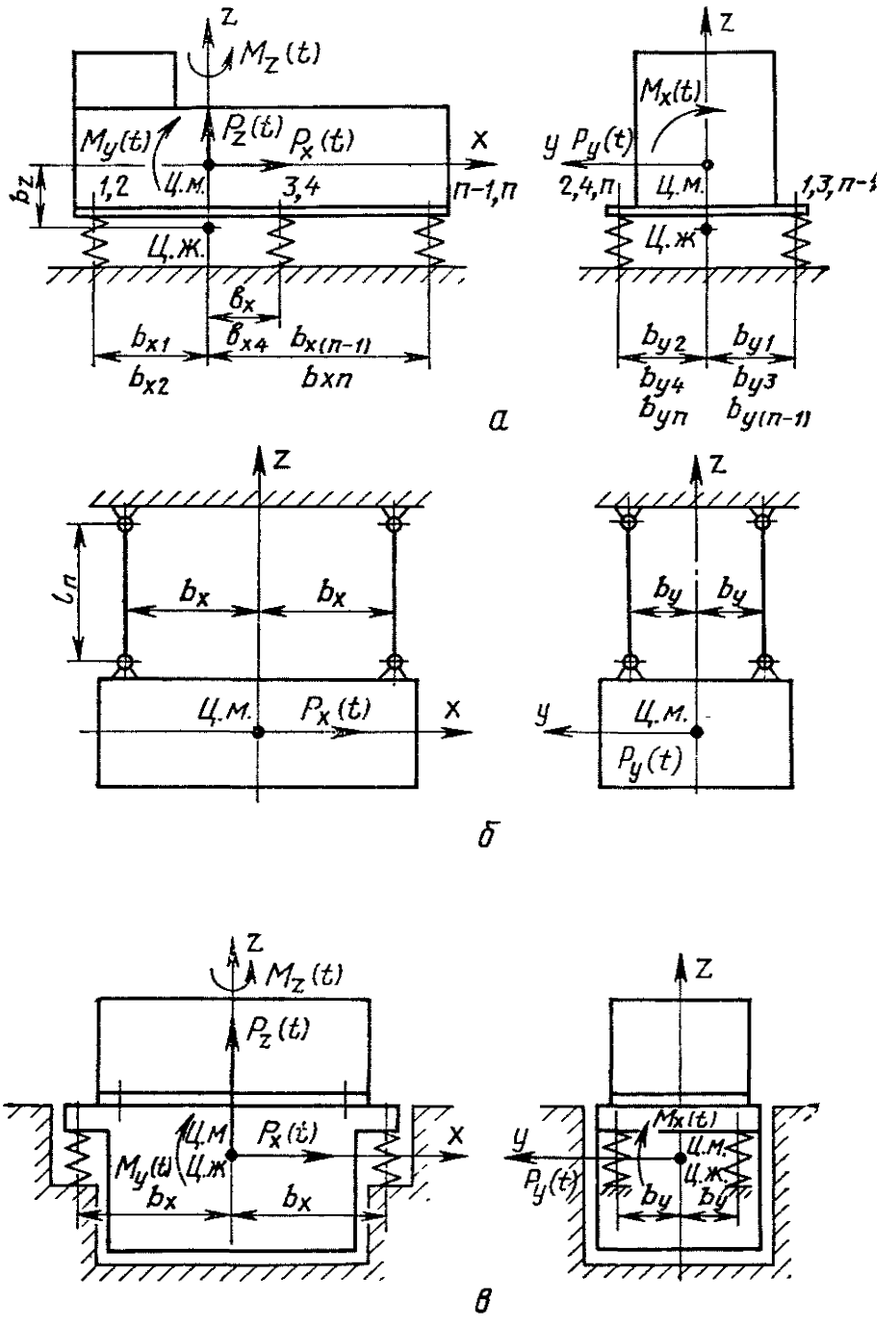
Примечание. Для тихоходных машин со скоростью вращения рабочего органа до 500 об/мин C_Z определяют по формуле

$$C_Z \leqslant m\frac{\omega^2}{9}.$$



1—машина; 2—постамент; 3—виброизолятор; 4—стержневой подвес

Черт. 1


z
$M_z(t)$
$M_y(t)$
$P_z(t)$
$P_x(t)$
x
1,2
Ц.м.
3,4
n-1,n
b_z
Ц.ж.
b_x
b_{x1}
b_{x4}
$b_{x(n-1)}$
b_{x2}
b_{xn}
а
$M_x(t)$
y
$P_y(t)$
2,4,n
1,3,n-1
b_{y2}
b_{y1}
b_{y4}
b_{y3}
b_{yn}
$b_{y(n-1)}$
l_n
b_x
b_y
б
в

Черт. 2

1.2. Определяют жесткости виброизоляторов, исходя из рекомендаций п. 1.1. В случае расчетной схемы виброизоляции *а* (черт. 2) C_{Zi}, C_{Xi}, C_{Yi} связаны с C_Z, C_X, C_Y, $C_{\varphi Z}$, $C_{\varphi X}$, $C_{\varphi Y}$ следующими соотношениями

$$C_Z=\sum_{i=1}^{n} C_{Zi},\ C_X=\sum_{i=1}^{n} C_{Xi};\ C_Y=\sum_{i=1}^{n} C_{Yi};\ C_{\varphi Z}=\sum_{i=1}^{n}(C_{Yi}\ b_{Xi}^2+C_{Xi}\ b_{Yi}^2);\quad (2)$$

$$C_{\varphi X}=\sum_{i=1}^{n}(C_{Zi}\ b_{Yi}^2+C_{Yi}\ b_{Zi}^2);\qquad C_{\varphi Y}=\sum_{i=1}^{n}(C_{Xi}\ b_{Zi}^2+C_{Zi}\ b_{Xi}^2).$$

Для расчетной схемы виброизоляции *б* (черт. 2)

$$C_X=C_Y=\frac{mg}{l_{\text{п}}};\ C_{\varphi Z}=\frac{mg\ (b_X^2+b_Y^2)}{l_{\text{п}}};\ C_{\varphi X}=C_Z\ b_Y^2,\ C_{\varphi Y}=C_Z\ b_X^2.\quad (3)$$

Если значения $C_{\varphi Z}$, $C_{\varphi X}$, $C_{\varphi Y}$ более рассчитанных по формулам (1), то меняют расположение виброизоляторов (значения b_Z, b_X, b_Y).

1.3. Определяют ω_Z, ω'_{XOZ}, ω''_{XOZ}, ω'_{YOZ}, ω''_{YOZ}, $\omega_{\varphi Z}$ используя рассчитанные параметры виброизоляции по формулам
для расчетной схемы виброизоляции *а* (рис. 2)

$$\omega_Z=\sqrt{\frac{C_Z}{m}};\quad \omega'_{XOZ}=\omega_Z\sqrt{K_X-\sqrt{K_X^2+R_X}};$$

$$\omega''_{XOZ}=\omega_Z\sqrt{K_X+\sqrt{K_X^2+R_X}};\quad \omega'_{YOZ}=\omega_Z\sqrt{K_Y-\sqrt{K_Y^2+R_Y}};$$

$$\omega''_{YOZ}=\omega_Z\sqrt{K_Y+\sqrt{K_Y^2+R_Y}};\quad \omega_{\varphi Z}=\sqrt{\frac{C_{\varphi Z}}{mr_Z^2}};\quad (4)$$

$$K_X=\frac{1}{2}\left(\frac{C_X}{C_Z}+\frac{C_{\varphi Y}}{r_Y^2 C_Z}\right);\ K_Y=\frac{1}{2}\left(\frac{C_Y}{C_Z}+\frac{C_{\varphi X}}{r_X^2 C_Z}\right);$$

$$R_X=-\frac{C_X}{C_Z}\ \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}\ b_{Xi}^2}{r_Y^2\ C_Z},\ R_Y=-\frac{C_Y}{C_Z}\ \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}\ b_{Yi}^2}{r_X^2\ C_Z}$$

для расчетной схемы виброизоляции *б* (рис. 2)

$$\omega_Z=\sqrt{\frac{C_Z}{m}};\ \omega_X=\omega_Y=\sqrt{\frac{g}{l_{\text{п}}}};\ \omega_{\varphi X}=\sqrt{\frac{C_Z\ b_Y^2}{mr_X^2}};\ \omega_{\varphi Y}=\sqrt{\frac{C_Z\ b_X^2}{mr_X^2}};$$

$$\omega_{\varphi Z}=\sqrt{\frac{g\ (b_X^2+b_Y^2)}{r_Z^2\ l_{\text{п}}}}.\quad (5)$$

1.4. После определения собственных частот колебаний машины на виброизоляторах проверяют соблюдение соотношений

$$\frac{\omega}{\omega_Z} \geqslant 4;\ \frac{\omega}{\omega'_{XOZ}} \geqslant 2{,}5\ \left(\text{или } \frac{\omega}{\omega_X} \geqslant 2{,}5\right);\ \frac{\omega}{\omega''_{XOZ}} \geqslant 2{,}5\left(\text{или } \frac{\omega}{\omega_{\varphi Y}} \geqslant 2{,}5\right);$$

$$\frac{\omega}{\omega'_{YOZ}} \geqslant 2{,}5\left(\text{или } \frac{\omega}{\omega_Y} \geqslant 2{,}5\right);\ \frac{\omega}{\omega''_{YOZ}} \geqslant 2{,}5\left(\text{или } \frac{\omega}{\omega_{\varphi X}} \geqslant 2{,}5\right),\ \frac{\omega}{\omega_{\varphi Z}} \geqslant 2{,}5 \quad (6)$$

(для тихоходных машин $\frac{\omega}{\omega_Z} \gg 3$).

Если соотношения не выдерживаются, то меняют параметры виброизоляции и расчет повторяют.

1.5. Определяют z_i, x_i, y_i i-й точки машины по формулам:

$$z_i = \sqrt{z_O^2 + \varphi_Y^2 a_{Xi}^2 + \varphi_X^2 a_{Yi}^2 - 2 z_O \varphi_Y a_{Xi} \cos(\psi_1 - \psi_6) + 2 z_O \varphi_X a_{Yi} \cos(\psi_1 - \psi_5) - 2 \varphi_Y \varphi_X a_{Xi} a_{Yi} \cos(\psi_6 - \psi_5)};$$

$$x_i = \sqrt{x_O^2 + \varphi_Y^2 a_{Zi}^2 + \varphi_Z^2 a_{Yi}^2 + 2 x_O \varphi_Y a_{Zi} \cos(\psi_2 - \psi_6) - 2 x_O \varphi_Z a_{Yi} \cos(\psi_2 - \psi_4) - 2 \varphi_Y \varphi_Z a_{Zi} a_{Yi} \cos(\psi_6 - \psi_4)}; \quad (7)$$

$$y_i = \sqrt{y_O^2 + \varphi_X^2 a_{Zi}^2 + \varphi_Z^2 a_{Xi}^2 - 2 \varphi_O \varphi_X a_{Zi} \cos(\psi_3 - \psi_5) + 2 y_O \varphi_Z a_{Xi} \cos(\psi_3 - \psi_4) - 2 \varphi_X \varphi_Z a_{Zi} a_{Xi} \cos(\psi_5 - \psi_4)};$$

$$z_0 = \frac{P_Z}{m\omega^2 - C_Z};\ x_0 = \frac{P_X}{m\omega^2 - C_X};\ y_0 = \frac{P_Y}{m\omega^2 - C_Y};$$

$$\varphi_Z = \frac{M_Z}{\omega^2 m r_Z^2 - C_{\varphi Z}};\ \varphi_X = \frac{M_X}{\omega^2 m r_X^2 - C_{\varphi X}};\ \varphi_\varphi = \frac{M_Y}{\omega^2 m r_Y^2 - C_{\varphi Y}}. \quad (8)$$

Если значения z_i, x_i, y_i более допустимых, то увеличивают m и r_X, r_Y, r_Z машины путем введения постамента при неизменных ω_Z, ω'_{XOZ}, ω''_{XOZ}, ω'_{YOZ}, ω''_{YOZ}, $\omega_{\varphi Z}$ (см.п. 1.4) и заново производят расчет.

1.6. Для уменьшения амплитуды колебаний машины в пускоостановочном режиме определяют γ_3 по графику черт. 3 в зависимости от соотношений ε/ω_Z и z_{max}/z_0.

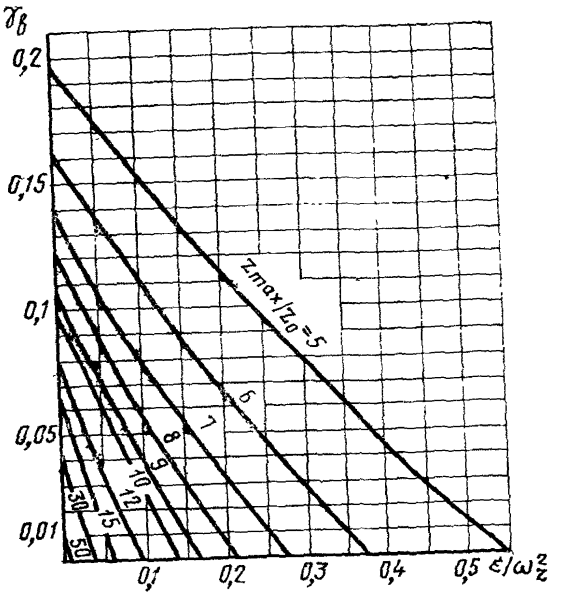
1.7. Определяют X_T, Y_T, Z_T i-й опорной точки машины, заменив в формулах (7) a_{Xi}, a_{Yi}, a_{Zi} на b_{Xi}, b_{Yi}, b_{Zi}.

1.8. Определяют Q_Z, Q_X, Q_Y, передающиеся на поддерживающую конструкцию через i-й виброизолятор по формулам

$$Q_{Zi} = C_{Zi} Z_{Ti},\ Q_{Xi} = C_{Xi} X_{Ti},\ Q_{Yi} = C_{Yi} y_{Ti},$$

$$Q_Z = \sum_{i=1}^{n} Q_{Zi},\ Q_X = \sum_{i=1}^{n} Q_{Xi},\ Q_Y = \sum_{i=1}^{n} Q_{Yi}. \quad (9)$$

В случае значений Q_z, Q_x, Q_y выше допустимых уменьшают C_z, C_x, C_y и расчет повторяют.



Черт. 3

179. При пускоостановочном режиме $Q_{z\max}$ определяют по формуле

$$Q_{Z\ \max}=z_{\max}\cdot C_Z. \qquad (10)$$

2. Полигармоническое возбуждение

Цель расчета

Определение Q_z, Q_x, Q_y для каждой из гармонических составляющих полигармонического возбуждения и сравнение с допустимыми значениями.

Исходные данные

$$m,\ r_X,\ r_Y,\ r_Z,\ b_Z,\ b_X,\ b_Y,\ P_{Zk}\sin(\omega_{kt}+\psi_{1k}),\ P_{Xk}\sin(\omega_{kt}+\psi_{2k}),$$

$$P_{Yk}\sin(\omega_{kt}+\psi_{3k}),\ M_{Zk}\sin(\omega_{kt}+\psi_{4k}),\ M_{Xk}\sin(\omega_{kt}+\psi_{5k}),$$

$$M_{Yk}\sin(\omega_{kt}+\psi_{6k}).$$

Порядок расчета

2.1. Для наиболее интенсивной гармонической составляющей возбуждения расчет ведут в соответствии с разд. 1 данного приложения. При этом необходимо следить за тем, чтобы ω_z, ω'_{XOZ}, ω''_{XOZ}, ω_{YOZ}, ω''_{YOZ}, $\omega_{\varphi Z}$ отличались от ω_k.

2.2. Для остальных гармонических составляющих возбуждения производят поверочный расчет по определению x_i, y_i, z_i и Q_{xi}, Q_{yi}, Q_{zi} согласно рекомендациям разд. 1 данного приложения.

2.3. В случае значений x_i, y_i, z_i и Q_{Xi}, Q_{Yi}, Q_{Zi} более допустимых дополнительно к рекомендациям пп. 1.5 и 1.8 увеличивают значение $\gamma_в$ и расчет повторяют, используя вместо формул (8) следующие зависимости

$$z_{Ok}=P_{Zk}\sqrt{\frac{1}{(m\omega_k^2-C_Z)^2+\gamma_в^2C_Z^2}};$$

$$x_{Ok}=P_{Xk}\sqrt{\frac{1}{(m\omega_k^2-C_X)^2+\gamma_в^2C_X^2}};$$

$$y_{Ok}=P_{Yk}\sqrt{\frac{1}{(m\omega_k^2-C_Y)^2+\gamma_в^2C_Y^2}};$$

$$\varphi_{Zk}=M_{Zk}\sqrt{\frac{1}{(mr_Z^2\omega_k^2-C\varphi_Z)^2+\gamma_в^2C\varphi_Z^2}};$$

$$\varphi_{Xk}=M_{Xk}\sqrt{\frac{1}{(mr_X^2\omega_k^2-C\varphi_X)^2+\gamma_в^2C\varphi_X^2}};$$

$$\varphi_{Yk}=M_{Yk}\sqrt{\frac{1}{(mr_Y^2\omega_k^2-C\varphi_Y)^2+\gamma_в^2C\varphi_Y^2}}. \qquad (11)$$

3. Равночастотная система виброизоляции (черт. 2, *в*)

3.1. Расчет виброизоляции ведут в соответствии с рекомендациями разд. 1 или 2 данного приложения.

3.2. Условия равночастотности ($\omega_Z=\omega'_{XOZ}=\omega''_{XOZ}=\omega'_{YOZ}=\omega''_{YOZ}=\omega_{\varphi Z}$):

использование равножестких виброизоляторов ($C_{Xi}=C_{Yi}=C_{Zi}=C_i$);

реализация следующих соотношений геометрических и жесткостных параметров системы виброизоляции

$$\sum_{i=1}^{n}C_ib_{Yi}^2=r_X^2\sum_{i=1}^{n}C_i;\quad \sum_{i=1}^{n}C_ib_{Xi}^2=r_Y^2\sum_{i=1}^{n}C_i;\quad \sum_{i=1}^{n}C_i\,b_{Xi}^2+\sum_{i=1}^{n}C_ib_{Yi}^2=r_Z^2\sum_{i=1}^{n}C_i. \qquad (12)$$

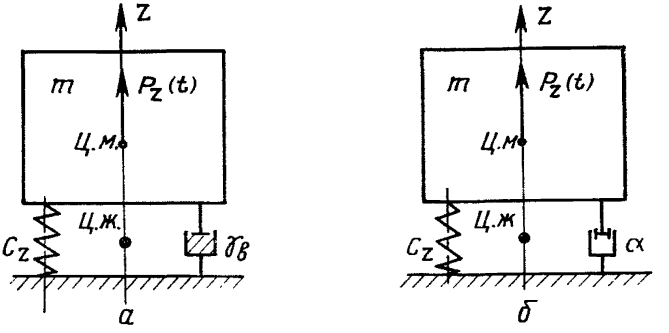
3.3. Собственные угловые частоты колебаний машины на виброизоляторах для всех направлений определяют по формуле

$$\omega_{сб}=\frac{\sum_{i=1}^{n}C_i}{m}. \qquad (13)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ АБСОЛЮТНО ЖЕСТКОЙ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ СЛУЧАЙНОМ СТАЦИОНАРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Расчетная схема виброизоляции показана на черт. 1.



Черт. 1

Цель расчета: определение $\sigma_{Q_Z n}$ и $\sigma_{z n}$ для каждой нормированной частотной полосы. Сравнение с допустимыми значениями.

Исходные данные: m, $\tilde{S}_{P_Z}(\omega)$.

Порядок расчета

1. Подсчитывают $\sigma_{P_Z n}$ для каждой нормированной частотной полосы по формуле

$$\sigma_{P_Z n} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\omega_н}^{\omega_в} \tilde{S}_{P_Z}(\omega)\, d\omega} \qquad (1)$$

2. Определяют C_z по частотной полосе, в которой значение $\sigma_{P_Z n}$ максимально, и f_z по формулам

$$C_Z \leqslant \frac{\omega_{ср}^2}{16}, \quad f_Z = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C_Z}{m}} \qquad (2)$$

3. Задаваясь значением $\gamma_в$ определяют σ_{Zn} для каждой частотной полосы по формулам

$$\sigma_{Zn}=\sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\omega_н}^{\omega_в}|T_Z(\omega)|^2\tilde{S}_{P_Z}(\omega)d\omega}, \qquad (3)$$

где $$|T_Z(\omega)|^2=\frac{1}{C_Z^2\left(\frac{f^4}{f_Z^4}-2U_в\frac{f^2}{f_Z^2}+1\right)};$$

$$U_в=\frac{4-\gamma_в^2}{4+\gamma_в^2};\quad f=\frac{\omega}{2\pi}.$$

Если значения σ_{Zn} превышают допустимые, то увеличивают m при неизменной f_Z путем введения постамента (или увеличения его массы) или увеличивают $\gamma_в$ и расчет повторяют.

4. Определяют σ_{Q_Zn} для каждой частотной полосы по формулам

$$\sigma_{Q_Zn}=\sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\omega_н}^{\omega_в}|T_{P_Z}(\omega)|^2\tilde{S}_{P_Z}(\omega)d\omega}, \qquad (4)$$

где $$|T_{P_Z}(\omega)|^2=\frac{1}{\frac{f^4}{f_Z^4}-2U_в\frac{f^2}{f_Z^2}+1}.$$

Полученные результаты сравнивают с допустимыми значениями. В случае необходимости снижения σ_{Q_Zn} в какой-либо частотной полосе уменьшают C_Z или увеличивают $\gamma_в$.

5. Если невозможно реализовать на практике уменьшение C_Z или увеличение $\gamma_в$, то переходят к применению демпферов вязкого трения. В этом случае $|T_Z(\omega)|^2$ и $|T_{P_Z}(\omega)|^2$ вычисляют по формулам

$$|T_Z(\omega)|^2=\frac{1}{C_Z^2\left[\left(1-\frac{f^2}{f_Z^2}\right)^2+4\frac{\alpha^2}{\alpha_{кр}^2}\frac{f^2}{f_Z^2}\right]}; \qquad (5)$$

$$|T_{P_Z}(\omega)|^2=\frac{1+4\frac{\alpha^2}{\alpha_{кр}^2}\frac{f^2}{f_Z^2}}{\left(1-\frac{f^2}{f_Z^2}\right)^2+4\frac{\alpha^2}{\alpha_{кр}^2}\frac{f^2}{f_Z^2}}. \qquad (6)$$

Определяют σ_{Q_Zn} для каждой частотной полосы по формуле (6) с использованием (9), задаваясь некоторым значением $\alpha/\alpha_{кр}$. Варьируя $\alpha/\alpha_{кр}$, добиваются снижения значений σ_{Q_Zn} в тех частотных полосах, где эти значения превышают допустимый уровень.

6. Пересчитывают σ_{Zn} с учетом выбранной величины $\alpha/\alpha_{кр}$ по формуле (3) с использованием (8). Если значения σ_{Zn} окажутся больше (или много меньше) допустимых значений, то увеличивают (уменьшают) m при неизменном f_Z и вновь уточняют σ_{Zn}.

Пример расчета

Исходные данные

$m=15000$ кг; $\widetilde{S}_{P_Z}(\omega)$ задана в табл. 2 и на черт. 2; $\sigma_{Q_{Z\,\text{доп}}}$ и $\sigma_{Z\,\text{доп}}$ заданы в табл. 1.

Таблица 1

n	1	2	3	4	Общий уровень
$f_{ср}$, Гц	2	4	8	16	
$f_н \div f_в$, Гц	1,4÷2,8	2,8÷5,6	5,6÷11,2	11,2÷22,4	1,4÷22,4
$\sigma_{Q_{Z\,\text{доп}}}$, Н	1500	1500	1500	1500	2500
$\sigma_{Z\,\text{доп}} \cdot 10^{-6}$, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7

Таблица 2

f, Гц	$\widetilde{S}_{P_Z}(\omega)\times 10^{-6}$, Н²·с	f, Гц	$\widetilde{S}_{P_Z}(\omega)\times 10^{-6}$, Н²·с	f, Гц	$\widetilde{S}_{P_Z}(\omega)\times 10^{-6}$, Н²·с	f, Гц	$\widetilde{S}_{P_Z}(\omega)\times 10^{-6}$, Н²·с	f, Гц	$\widetilde{S}_{P_Z}(\omega)\times 10^{-6}$, Н²·с
1,6	1,0	5,8	26,0	10,0	50,0	14,2	85,5	18,4	14,0
1,8	1,0	6,0	29,5	10,2	51,0	14,4	78,5	18,6	13,0
2,0	1,5	6,2	32,5	10,4	52,5	14,6	72,5	18,8	12,0
2,2	1,5	6,4	36,5	10,6	55,0	14,8	67,0	19,0	11,0
2,4	2,0	6,6	41,0	10,8	59,0	15,0	62,0	19,2	9,5
2,6	2,5	6,8	46,5	11,0	63,0	15,2	57,0	19,4	8,5
2,8	3,0	7,0	52,0	11,2	67,5	15,4	53,0	19,6	7,5
3,0	3,5	7,2	58,0	11,4	74,0	15,6	49,5	19,8	6,5
3,2	4,0	7,4	63,0	11,6	80,5	15,8	45,0	20,0	5,5
3,4	5,0	7,6	66,5	11,8	87,0	16,0	41,0	20,2	5,0
3,6	6,0	7,8	69,5	12,0	94,5	16,2	37,5	20,4	4,0
3,8	7,0	8,0	70,0	12,2	101,0	16,4	34,5	20,6	3,5
4,0	8,0	8,2	69,5	12,4	107,0	16,6	32,0	20,8	3,0
4,2	9,5	8,4	67,5	12,6	113,5	16,8	29,0	21,0	2,5
4,4	11,0	8,6	64,5	12,8	119,5	17,0	26,5	21,2	2,0
4,6	12,5	8,8	60,5	13,0	122,5	17,2	24,5	21,4	2,0
4,8	14,0	9,0	57,0	13,2	122,5	17,4	22,0	21,6	1,5
5,0	16,0	9,2	54,0	13,4	120,0	17,6	20,5	21,8	1,0
5,2	18,0	9,4	52,0	13,6	114,0	17,8	19,0	22,0	1,0
5,4	20,5	9,6	50,5	13,8	103,0	18,0	17,0		
5,6	23,0	9,8	50,0	14,0	93,5	18,2	15,5		

Порядок расчета

1. Результаты определения $\sigma_{P_{Z}n}$ приведены в табл. 3.

Таблица 3

n	1	2	3	4	Общий уровень
$f_{ср}$, Гц	2	4	8	16	—
$\sigma_{P_{Z}n}$, Н	811	3070	9746	12590	16230

Значение $\sigma_{P_{Z}n}$ максимальное в октавной полосе с $f_{ср}=16$ Гц.

2. Согласно формуле (2) следует принять

$$C_Z \leqslant 15000\frac{(2\pi 16)^2}{16} = 9{,}47\times 10^6 \text{ Н/м}.$$

Принимаем $C_Z = 9\times 10^6$ Н/м.

$$f_Z = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{9\times 10^6}{15\times 10^3}} = 3{,}90 \text{ Гц}.$$

3. Принимаем $\gamma_в=0{,}1$. Результаты вычисления σ_{Zn} помещены в табл. 4 (этап 3а). Так как σ_{Z2} превышает допустимое значение, то увеличиваем m при сохранении $f_Z=3{,}90$ Гц. Результаты повторного определения σ_{Zn} приведены в табл. 4 (этап 3б).

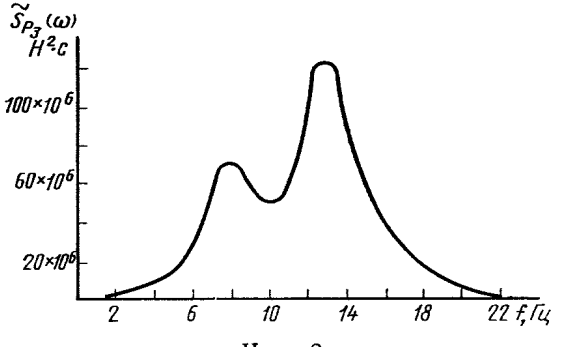
4. Результаты вычисления $\sigma_{Q_{Z}n}$ помещены в табл. 4 (этап 4а). Так как $\sigma_{Q_{Z}2}$ и $\sigma_{Q_{Z}3}$ превышают допустимые значения, то уменьшаем C_Z. Результаты повторного вычисления $\sigma_{Q_{Z}n}$ помещены в табл. 4 (этап 4б). При повторном вычислении выявляется, что теперь $\sigma_{Q_{Z}1}$ превышает допустимое значение. Дальнейшее уменьшение C_Z или увеличение $\gamma_в$ нежелательно по различным практическим соображениям. Переходим к следующему этапу (применению демпферов вязкого трения).

5. Принимаем $\alpha/\alpha_{кр}=0{,}5$. Результаты определения $\sigma_{Q_{Z}n}$ помещены в табл. 4 (этап 5а). $\sigma_{Q_{Z}2}, \sigma_{Q_{Z}3}, \sigma_{Q_{Z}4}$ превышают допустимые значения. Уменьшаем $\alpha/\alpha_{кр}$. Результаты повторного вычисления приведены в табл. 4 (этап 5б).

6. Результаты пересчета σ_{Zn} помещены в табл. 4 (этап 6а). Так как наибольшее из полученных значений σ_{Zn} (σ_{Z1}) существенно ниже допустимого, то уменьшаем m при неизменной $f_Z=1{,}95$ Гц и вычисление σ_{Zn} повторяем. Результаты помещены в табл. 4 (этап 6б).

Таблица 4

Этапы вычислений		3а	3б	4а	4б	5а	5б	6а	6б
$m\times10^{-3}$, кг		15	40	40	40	40	40	40	20
$C_Z\times10^{-6}$, Н/м		9	24	24	6	6	6	6	3
f_Z, Гц		3,90	3,90	3,90	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
$\gamma_в$		0,1	0,1	0,1	0,1	—	—	—	—
$\alpha/\alpha_{кр}$		—	—	—	—	0,50	0,24	0,24	0,24
$\sigma_{Zn}\times10^3$, м	$n=1$	0,146	0,055	—	—	—	—	0,201	0,403
	$n=2$	1,295	0,485	—	—	—	—	0,139	0,278
	$n=3$	0,380	0,142	—	—	—	—	0,105	0,210
	$n=4$	0,128	0,048	—	—	—	—	0,045	0,089
	Общий уровень	1,363	0,511	—	—	—	—	0,270	0,540
$\sigma_{Q_Z n}$, Н	$n=1$	—	—	1310	3150	996	1370	—	—
	$n=2$	—	—	11600	893	1640	1160	—	—
	$n=3$	—	—	3420	637	2470	1340	—	—
	$n=4$	—	—	1160	269	1830	917	—	—
	Общий уровень	—	—	12300	3350	3620	2420	—	—

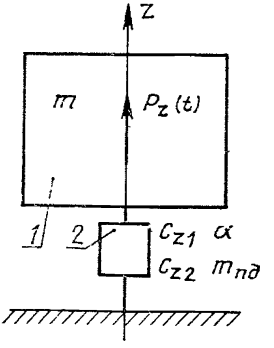


Черт. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

ОПТИМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ АБСОЛЮТНО ЖЕСТКОЙ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ СЛУЧАЙНОМ СТАЦИОНАРНОМ И ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Расчетная схема системы виброизоляции показана на чертеже. Виброизолятор может представлять собой сочетание упругих элементов, демпфера вязкого трения и механизма преобразования движения. Рассматриваются два случая динамического воздействия.



1—машина; *2*—виброизолятор

1. $P_z(t)$ в виде случайного стационарного процесса.

Цель расчета: определение σ_{Q_z} или σ_{z_O}, сравнение с допустимыми значениями.

Исходные данные: m, $S_{P_z}(\omega)$.

Порядок расчета

1.1. Решают зависимости для σ_{Q_z} и σ_{z_O}

$$\sigma_{Q_z} = \sqrt{\int_0^\infty W(\omega) \cdot W^*(\omega) \cdot S_{P_z}(\omega) d\omega}, \qquad (1)$$

$$\sigma_{z_O} = \sqrt{\int_0^\infty [1 - W(\omega)][1 - W^*(\omega)] \frac{S_{P_z}(\omega)}{m^2 \omega^4} d\omega}. \qquad (2)$$

Формулы $W(\omega)$ для трех видов S_{P_z} приведены в табл. 1.

Таблица 1

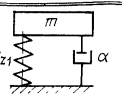
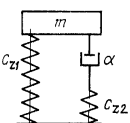
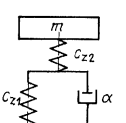
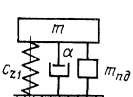
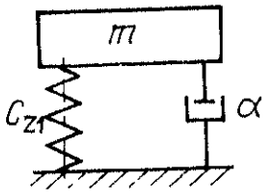
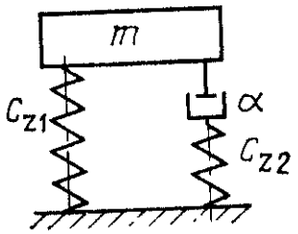
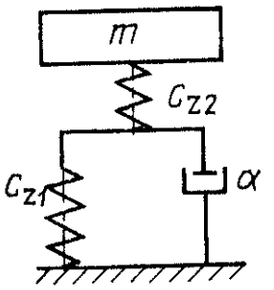
$S_{P_Z}(\omega)$	$W(\omega)$	Структурная схема	C_{Z1}, C_{Z2}, α, $m_{пд}$
$\frac{P^2}{2\pi}$	$W(\omega)=\frac{\omega_c^2+j\omega\omega_c\sqrt{2}}{\omega_c^2-\omega^2+j\omega\omega_c\sqrt{2}}$		$C_{Z1}=m\omega_c^2$ $\alpha=m\omega_c\sqrt{2}$
$\frac{P^2}{2\pi}\ \frac{\omega^2+\omega_0^2}{\omega_0^2}$	$W(\omega)=\frac{\omega_c^2\omega_0+j\omega\,(\omega_c^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2})}{\omega_c^2\omega_0-\omega^2(\omega_0+\omega_c\sqrt{2})+j\omega(\omega_c^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2}+\omega^2)}$		$C_{Z1}=m\frac{\omega_c^2\omega_0}{\omega_0+\omega_c\sqrt{2}}$ $C_{Z2}=m\frac{\omega_c\sqrt{2}\,(\omega_c^2+\omega_c\omega_0)\sqrt{2}+\omega_0^2)}{\omega_0+\omega_c\sqrt{2}}$ $\alpha=m\frac{\omega_c\sqrt{2}\,(\omega_c^2+\omega_c\omega_0)\sqrt{2}+\omega_0^2)}{(\omega_0+\omega_c\sqrt{2})^2}$
			$C_{Z1}=\frac{1}{\sqrt{2}}m\frac{\omega_c\omega_0(\omega_c^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2})}{\omega_0^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2}+\omega_c^2}$ $C_{Z2}=m(\omega_c^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2})$ $\alpha=\frac{1}{\sqrt{2}}m\frac{(m_c^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2})^2}{\omega_c(\omega_c^2+\omega_c\omega_0)\sqrt{2}+\omega_0^2)}$
$\frac{P^2}{2\pi}\ \frac{\omega_0^2}{\omega^2+\omega_0^2}$	$W(\omega)=\frac{\omega_c^2-\frac{\omega^2(\omega_c^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2})}{\omega_c^2+\omega_c\omega_0\sqrt{2}+\omega_c^2}+j\omega\omega_c\sqrt{2}}{\omega_c^2-\omega^2+j\omega\omega_c\sqrt{2}}$		$C_{Z1}=m\omega_c^2$ $\alpha=m\omega_c\sqrt{2}$ $m_{пд}=m\frac{\omega_c^2+\omega_c\omega_0)\sqrt{2}+\omega_0^2}{\omega_c^2+\omega_c\omega_0)\sqrt{2}+\omega_0^2}$

Таблица 2

I	$S_{P_Z}(\omega)$	$W(\omega)$	Структурная схема	C_{Z1}, C_{Z2}, α
$P_Z\tau$	$\frac{P^2}{2\pi}$	$W(\omega)=\frac{\omega_c^2+j\omega\omega_c\sqrt{2}}{\omega_c^2-\omega^2+j\omega\omega_c\sqrt{2}}$		$C_{Z1}=m\omega_c^2$ $\alpha=\sqrt{2}\,m\omega_c$
	$\frac{P^2}{2\pi}\ \frac{\omega^2}{\omega_0^2}$	$W(\omega)=\frac{\omega_c^3+j\omega\omega_c^2 2}{\omega_c^3-2\omega^2\omega_c+j\omega(2\omega_c^2-\omega^2)}$		$C_{Z1}=\frac{1}{2}m\omega_c^2$ $C_{Z2}=\frac{3}{2}m\omega_c^2$ $\alpha=\frac{3}{4}m\omega_c$
				$C_{Z1}=\frac{2}{3}m\omega_c^2$ $C_{Z2}=2m\omega_c^2$ $\alpha=\frac{4}{3}m\omega_c$

1.2. В зависимости от критерия качества виброизоляции:

ограничивая σ_{Q_Z} допустимым значением, определяют ω_c из формулы (1) и, подставляя найденное значение ω_c в формулу (2), вычисляют минимальное значение σ_{Z_0};

ограничивая σ_{Z_0} допустимым значением, определяют ω_c из формулы (2) и, подставляя найденное значение ω_c в формулу (1), вычисляют минимальное значение σ_{Q_Z}.

1.3. По формулам, приведенным в табл. 1, определяют C_{Z1}, C_{Z2}, α, $m_{\text{п.д.}}$

2. $P(t)$ в виде сочетания стационарного случайного процесса и импульса силы.

Цель расчета

Определение σ_{Q_Z} или z_0 и сравнение с допустимыми значениями.

Исходные данные

m, $S_{P_Z}(\omega)$, I.

Порядок расчета

2.1. Решают зависимости для z_0 и σ_{Q_Z}

$$z_0 = \frac{2}{3\pi}\omega_c \int_0^{\infty} [1-W(\omega)][1-W^*(\omega)]\frac{I^2}{m^2\omega^4}d\omega \qquad (3)$$

σ_{Q_Z} определяют по формуле (1) приложения.

Формулы $W(\omega)$ для сочетания I с двумя видами $S_{P_Z}(\omega)$, приведены в табл. 2 .

2.2. В зависимости от критерия качества виброизоляции:

ограничивая σ_{Q_Z} допустимым значением, определяют ω_c из формулы (1) и, подставляя найденное значение ω_c в формулу (3), вычисляют минимальное значение z_0;

ограничивая z_0 допустимым значением, определяют ω_c из формулы (3) и подставляя найденное значение ω_c в формулу (1), вычисляют минимальное значение σ_{Q_Z}.

2.3. По формулам, приведенным в табл. 2, определяют C_{Z1}, C_{Z2}, α.

Пример расчета

Цель расчета: Определение σ_{Q_Z}.

Исходные данные:

$m=1000$ кг, $S_{P_Z}(\omega)=S_0=\frac{10^4}{2\pi}$ Н^2 с, $\sigma_{Z_O}\leqslant 3\times 10^{-4}$ м, $\sigma_{Q_{Z\text{доп}}}=10^3$ Н.

Вид действующей нагрузки соответствует первому случаю нагружения (табл. 1).

Порядок расчета

$$1.\ \sigma_{Q_Z}=\sqrt{S_0\int_0^{\infty}\left[\frac{\omega_c^2+j\omega_c\omega\sqrt{2}}{\omega_c^2-\omega^2+j\omega_c\omega\sqrt{2}}\right]\left[\frac{\omega_c^2-j\omega_c\omega\sqrt{2}}{\omega_c^2-\omega^2-j\omega_c\omega\sqrt{2}}\right]d\omega}=\sqrt{\frac{3\pi\omega_c S_0}{\sqrt{2}}},$$

$$\sigma_{z_O}=\sqrt{\frac{S_0}{m^2}\int_0^{\infty}\left[1-\frac{\omega_c^2+j\omega_c\omega\sqrt{2}}{\omega_c^2-\omega^2+j\omega_c\omega\sqrt{2}}\right]\left[1-\frac{\omega_c^2-j\omega_c\omega\sqrt{2}}{\omega_c^2-\omega^2-j\omega_c\omega\sqrt{2}}\right]\frac{d\omega}{\omega^4}}=$$

$$=\sqrt{\frac{\pi S_0}{m^2\omega_c^3\sqrt{2}}}.$$

$$2.\ \omega_c=\sqrt[3]{\frac{\pi S_0}{m^2\sigma_{z_O}^2\sqrt{2}}}=\sqrt[3]{\frac{10^4}{2\cdot10^6\cdot9\cdot10^{-8}\sqrt{2}}}=34\ \text{рад/с},$$

$$\sigma_{Q_Z}=\sqrt{\frac{3\pi\cdot34\cdot10^4}{2\pi\sqrt{2}}}=600\ \text{Н}<10^3\ \text{Н}.$$

$$3.\ C_{Z1}=m\omega_c^2=10^3\cdot34^2=1{,}16\cdot10^6\ \text{Н/м},$$

$$\alpha=m\omega_c\sqrt{2}=10^3\cdot34\cdot\sqrt{2}=48\cdot10^4\ \text{Н}\cdot\text{с/м}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ АБСОЛЮТНО ЖЕСТКОЙ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ В ВИДЕ НЕСКОЛЬКИХ СЛУЧАЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ

Расчетная схема виброизоляции представлена на черт. 2а обязательного приложения 2. Колебания по оси X и вокруг оси Y, по оси Y и вокруг оси X попарно связаны между собой; колебания по остальным координатам являются независимыми. Динамическое возбуждение задано в виде среднеквадратических полосовых значений, соответствующих спектральным плотностям и взаимным спектральным плотностям сил и моментов, приведенных к центру масс машины. Частотные полосы, в которых заданы средние квадратические значения сил и моментов, должны соответствовать частотным полосам критерия качества виброизоляции.

Данная методика предназначена для расчета на электронно-вычислительной машине.

Цель расчета: определение $\sigma_{Q_{Xn}}, \sigma_{Q_{Yn}}, \sigma_{Q_{Zn}}$ для каждой частотной полосы. Сравнение с допустимыми значениями.

Исходные данные: m, r_X, r_Y, r_Z, b_{Xi}, b_{Yi}, b_Z, данные по нагрузке приведены в табл. 1.

Порядок расчета

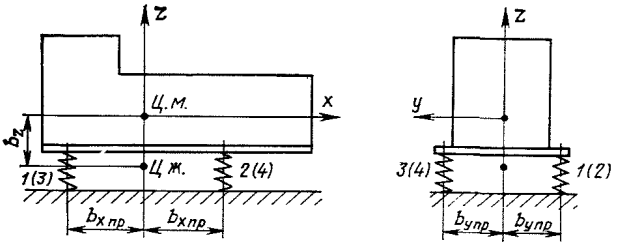
1. Исходную расчетную схему приводят к эквивалентной схеме с четырьмя виброизоляторами одинаковой жесткости, расположенными симметрично отно-

сительно осей X и Y. Эквивалентная схема виброизоляции показана на чертеже.

Определяют приведенные значения $b_{X\text{пр}}$, $b_{Y\text{пр}}$, C_i по формулам.

Таблица 1

l_1	l_2					
	1(P_X)	2(M_Y)	3(P_Y)	4(M_X)	5(P_Z)	6(M_Z)
1(P_X)	σ_{n11}	$\sigma^{(c)}_{n12}$	$\sigma^{(c)}_{n13}$	$\sigma^{(c)}_{n14}$	$\sigma^{(c)}_{n15}$	$\sigma^{(c)}_{n16}$
2(M_Y)	$\sigma^{(кв)}_{n12}$	σ_{n22}	$\sigma^{(c)}_{n23}$	$\sigma^{(c)}_{n24}$	$\sigma^{(c)}_{n25}$	$\sigma^{(c)}_{n26}$
3(P_Y)	$\sigma^{(кв)}_{n13}$	$\sigma^{(кв)}_{n23}$	σ_{n33}	$\sigma^{(c)}_{n34}$	$\sigma^{(c)}_{n35}$	$\sigma^{(c)}_{n36}$
4(M_X)	$\sigma^{(кв)}_{n14}$	$\sigma^{(кв)}_{n24}$	$\sigma^{(кв)}_{n34}$	σ_{n44}	$\sigma^{(c)}_{n45}$	$\sigma^{(c)}_{n46}$
5(P_Z)	$\sigma^{(кв)}_{n15}$	$\sigma^{(кв)}_{n25}$	$\sigma^{(кв)}_{n35}$	$\sigma^{(кв)}_{n45}$	σ_{n55}	$\sigma^{(c)}_{n56}$
6(M_Z)	$\sigma^{(кв)}_{n16}$	$\sigma^{(кв)}_{n26}$	$\sigma^{(кв)}_{n36}$	$\sigma^{(кв)}_{n46}$	$\sigma^{(кв)}_{n56}$	σ_{n66}



$$b_{X\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}\, b_{Xi}^2}{\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}}}, \quad b_{Y\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}\, b_{Yi}^2}{\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}}}; \qquad (1)$$

$$C_{Xi\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{Xi}}{4}, \quad C_{Yi\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{Yi}}{4}, \quad C_{Zi\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{Zi}}{4}, \qquad (2)$$

2. Определяют наиболее интенсивную частотную полосу исходя из максимального значения σ_{nll}. Предварительно определяют C_X, C_Y, C_Z, $C_{\varphi X}$, $C_{\varphi Y}$, $C_{\varphi Z}$ по формулам (1) обязательного приложения 2, принимая $\omega=\omega_{ср}$, где $\omega_{ср}$ является средней геометрической частотой наиболее интенсивной частотной полосы.

3. Предварительно выбирают значение $\gamma_в=0{,}1$.

4. Определяют для каждой частотной полосы σ_{Xni}, σ_{Yni}, σ_{Zni} для заданной i-й точки машины по формулам

$$\sigma_{Xni}=\sqrt{\sum_{l=1}^{6}|T_{Xil}|^2\sigma_{nll}^2+\sum_{l_1=1}^{6}\sum_{\substack{l_2=1\\ l_1\neq l_2}}^{6}T_{Xil_1}^{*}\cdot T_{Xil_2}\,\sigma_{nl_1l_2}^2};$$

$$\sigma_{Yni}=\sqrt{\sum_{l=1}^{6}|T_{Yil}|^2\sigma_{nll}^2+\sum_{l_1=1}^{6}\sum_{\substack{l_2=1\\ l_1\neq l_2}}^{6}T_{Yil_1}^{*}\,T_{Yil_2}\,\sigma_{nl_1l_2}^2}; \qquad (3)$$

$$\sigma_{Zni}=\sqrt{\sum_{l=1}^{6}|T_{Zil}|^2\,\sigma_{nll}^2+\sum_{l_1=1}^{6}\sum_{l_2=1}^{6}T_{Zil_1}^{*}\,T_{Zil_2}\,\sigma_{nl_1l_2}^2};$$

$$\sigma_{nl_1l_2}^2=\left(\sigma_{nl_1l_2}^{(с)}\right)^2+j\left(\sigma_{nl_1l_2}^{(кв)}\right)^2,\quad \sigma_{nl_2l_1}^2=\left(\sigma_{nl_1l_2}^{*}\right)^2.$$

Значения T_{Xil}, T_{Yil}, T_{Zil} приведены в табл. 2.

Если полученные значения σ_{Xni}, σ_{Yni}, α_{Zni} выше допустимых, то увеличивают m, r_X, r_Y, r_Z путем введения постамента, сохраняя при этом значения ω_Z, ω_{XOZ}, ω_{YOZ}, $\omega_{\varphi Z}$ соответствующие выбранным в п. 2 значениям C_X, C_Y, C_Z, $C_{\varphi X}$, $C_{\varphi Y}$, $C_{\varphi Z}$, или также увеличивают $\gamma_в$ и расчет повторяют.

5. Определяют σ_{Q_Xni}, σ_{Q_Yni}, σ_{Q_Zni}, передающиеся от машины через i-й виброизолятор на поддерживающую конструкцию для каждой частотной полосы по формулам

$$\sigma_{Q_Xni}=\sqrt{\sum_{l=1}^{6}|T_{Q_Xl}|^2\sigma_{nll}^2+\sum_{l_1=1}^{6}\sum_{\substack{l_2=1\\ l_1\neq l_2}}^{6}T_{Q_Xl_1}^{*}\,T_{Q_Xl_2}\,\sigma_{nl_1l_2}^2};$$

$$\sigma_{Q_Yni}=\sqrt{\sum_{l=1}^{6}|T_{Q_Yl}|^2\sigma_{nll}^2+\sum_{l_1=1}^{6}\sum_{\substack{l_2=1\\ l_1\neq l_2}}^{6}T_{Q_Yl_1}^{*}\,T_{Q_Yl_2}\,\sigma_{nl_1l_2}^2}; \qquad (4)$$

$$\sigma_{Q_Zni}=\sqrt{\sum_{l=1}^{6}|T_{Q_Zl}|^2\sigma_{nll}^2+\sum_{l_1=1}^{6}\sum_{l_2=1}^{6}T_{Q_Zl_1}^{*}T_{Q_Zl_2}\,\sigma_{nl_1l_2}^2}.$$

Значения T_{Q_Xl}, T_{Q_Yl}, T_{Q_Zl} приведены в табл. 3.

В случае значений σ_{Q_Xni}, σ_{Q_Yni}, σ_{Q_Zni}, выше допустимых, уменьшают значения C_X, C_Y, C_Z или увеличивают $\gamma_в$ и расчет повторяют.

Таблица 2

Координата	l					
	1(P_X)	2(M_Y)	3(P_Y)	4(M_X)	5(P_Z)	6(M_Z)
X	$T_{X1} + a_{Zl}\, T_{\varphi Y1}$	$T_{X2} + a_{Zl} T_{\varphi Y2}$	—	—	—	$-a_{Yl} T_{\varphi Z6}$
Y	—	—	$T_{Y3} - a_{Zl} T_{\varphi X3}$	$T_{Y4} - a_{Zl} T_{\varphi X4}$	—	$a_{Xl} T_{\varphi Z6}$
Z	$-a_{Xl} T_{\varphi Y1}$	$-a_{Xl} T_{\varphi Y2}$	$a_{Yl} T_{\varphi X3}$	$a_{Yl} T_{\varphi X4}$	T_{Z5}	—

Примечание. Значения T_X, $T_{\varphi Y}$, T_Y, $T_{\varphi X}$, T_Z, $T_{\varphi Z}$ приведены в табл. 4.

Таблица 3

Координата	i					
	1(P_X)	2(M_Y)	3(P_Y)	4(M_X)	5(P_Z)	6(M_Z)
X	$\frac{C_X}{4}(1+j\gamma_в)\times$ $\times(T_{X1}+b_Z T_{\varphi Y1})$	$\frac{C_X}{4}(1+j\gamma_в)\times$ $\times(T_{X2}+b_Z T_{\varphi Y2})$	—	—	—	$-\frac{C_X}{4}(1+$ $+j\gamma_в)b_{Y\text{пр}}T_{\varphi Z6}$
Y	—	—	$\frac{C_Y}{4}(1+j\gamma_в)\times$ $\times(T_{Y3}+b_Z T_{\varphi X3})$	$\frac{C_Y}{4}(1+j\gamma_в)\times$ $\times(T_{Y4}+b_Z T_{\varphi X4})$	—	$\frac{C_Y}{4}(1+$ $+j\gamma_в)b_{X\text{пр}}T_{\varphi Z6}$
Z	$-\frac{C_Z}{4}(1+$ $+j\gamma_в)b_{X\text{пр}}T_{\varphi Y1}$	$-\frac{C_Z}{4}(1+$ $+j\gamma_в)b_{X\text{пр}}T_{\varphi Y2}$	$\frac{C_Z}{4}(1+$ $+j\gamma_в)b_{Y\text{пр}}T_{\varphi X3}$	$\frac{C_Z}{4}(1+$ $+j\gamma_в)b_{Y\text{пр}}T_{\varphi X4}$	$\frac{C_Z}{4}(1+j\gamma_в)T_{Z5}$	—

Таблица 4

Координата	i					
	1(P_X)	2(M_Y)	3(P_Y)	4(M_X)	5(P_Z)	6(M_Z)
X	$\frac{A_{11}}{\Delta_X}$	$-\frac{A_{21}}{\Delta_X}$	—	—	—	—
φ_Y	$-\frac{A_{21}}{\Delta_X}$	$\frac{A_{22}}{\Delta_X}$	—	—	—	—
Y	—	—	$\frac{B_{11}}{\Delta_Y}$	$-\frac{B_{21}}{\Delta_Y}$	—	—
φ_X	—	—	$-\frac{B_{21}}{\Delta_Y}$	$\frac{B_{22}}{\Delta_Y}$	—	—
Z	—	—	—	—	$\frac{1}{\Delta_Z}$	—
φ_Z	—	—	—	—	—	$\frac{1}{\Delta_{\varphi Z}}$

Примечание. Значения A_{11}, A_{21}, A_{22}, B_{11}, B_{21}, B_{22}, Δ_X, Δ_Y, Δ_Z, $\Delta_{\varphi Z}$ приведены в табл. 5.

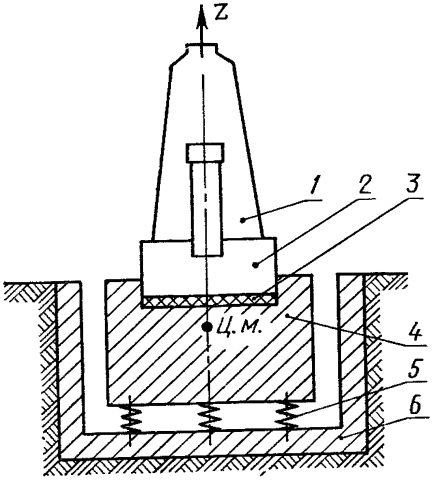
Таблица 5

A_{11}	$-mr_Y^2\omega^2+C_{\varphi Y}(1+j\gamma_в)$	B_{22}	$-m\omega^2+C_Y(1+j\gamma_в)$
A_{21}	$C_X b_Z(1+j\gamma_в)$	Δ_X	$A_{22}A_{11}-A_{21}^2$
A_{22}	$-m\omega^2+C_X(1+j\gamma_в)$	Δ_Y	$B_{22}\ B_{11}-B_{21}^2$
B_{11}	$-mr_X^2\omega^2+C_{\varphi X}(1+j\gamma_в)$	Δ_Z	$-m\omega^2+C_Z(1+j\gamma_в)$
B_{21}	$C_{Yb_Z}(1+j\gamma_в)$	$\Delta_{\varphi Z}$	$-mr_Z^2\omega^2+C_{\varphi Z}(1+j\gamma_в)$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Обязательное

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С КОНЕЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ ПОДАТЛИВОСТИ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Расчетная схема виброизоляции показана на чертеже. Машину (например, штамповочный молот) устанавливают на специальном постаменте.



1—станина; *2*—шабот; *3*—подшаботная прокладка; *4*—постамент; *5*—виброизолятор; *6*—поддерживающая конструкция (короб)

Поддерживающей конструкцией является короб, опирающийся на грунт. В расчете учитывают массу падающих частей, создающих импульсную нагрузку, массу неподвижных частей машины с постаментом (станины, шабота, постамента), а также упругие свойства грунта.

Цель расчета: определение $z_{п.к}$, сравнение с допустимым значением

Исходные данные: m_0, ν, $K_{гр}$, I, N, $\gamma_в$, $F_{п.к}$, z_o

Порядок расчета.

1. Задают ω_Z исходя из условий:

$$\omega_Z \leqslant 12\pi \text{ при } m_0 \leqslant 10^4 \text{ кг};$$

$$\omega_Z \leqslant 8\pi \text{ при } m_0 > 10^4 \text{ кг}.$$

При постоянном числе ударов в минуту рабочего органа машины, но не менее 100, соблюдают дополнительное условие

$$\omega_Z = \frac{\pi N}{30}(i+0{,}5),\ i=0;\ 1;\ 2;\ 3;\ 4;\ 5.$$

2. Определяют m по формуле

$$m = \frac{(1+\nu)I\beta}{z_O\ \omega_Z}.$$

Значение β принимают по таблице в зависимости от $\gamma_в$ и $\eta_к > \frac{30\ \omega_Z}{\pi N_{max}}$ (ближайшее целое число). Для постоянного N значение β принимают таким же, как при $\eta_k \geqslant 8$.

$\gamma_в$	β при η_k							
	1	2	3	4	5	6	7	>8
0,10	3,42	1,97	1,51	1,29	1,16	1,09	1,03	0,92
0,14	2,50	1,52	1,21	1,07	1,00	0,96	0,93	0,89
0,18	1,99	1,27	1,05	0,96	0,91	0,89	0,87	0,86
0,22	1,66	1,10	0,95	0,88	0,85	0,84	0,83	0,83
0,26	1,42	0,99	0,87	0,83	0,81	0,80	0,79	0,79
0,30	1,25	0,90	0,81	0,78	0,77	0,77	0,76	0,76
0,34	1,12	0,83	0,76	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73
0,38	1,01	0,77	0,72	0,71	0,71	0,70	0,70	0,70

3. Определяют C_Z по формуле

$$C_Z = m\omega_Z^2.$$

4. Определяют $z_{п.к}$ по формуле

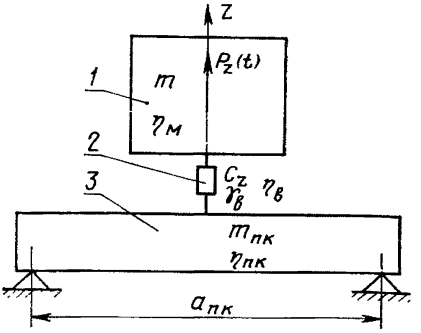
$$z_{пк} = \frac{(1+\nu)\ I\omega_Z\beta}{K_{гр}F_{пк}(0{,}5+0{,}03\omega_Z)}.$$

При значениях $z_{п.к}$ выше допустимого увеличивают $\gamma_в$ или $F_{пк}$ или уменьшают ω_Z и расчет повторяют.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Рекомендуемое

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С КОНЕЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ ПОДАТЛИВОСТИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ И ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Расчетная схема виброизоляции показана на чертеже. Поддерживающая конструкция является перекрытием этажа многоэтажного здания. Принимается, что поддерживающая конструкция это плита, опирающаяся по концам и совершающая колебания под действием динамической нагрузки.



1—машина; *2*—виброизолятор; *3*—поддерживающая конструкция

Цель расчета: определение Q_z, $z_{п.к}$ и сравнение с допустимыми значениями.
Исходные данные: m, $m_{п.к}$, $a_{пк}$, $b_{п.к}$, $h_{п,к}$ $E_{пк}$, μ, $P_z \sin \omega t$
Порядок расчета
1. Определяют $\eta_м$ по формуле

$$\eta_м = j\omega m.$$

2. Определяют следующие параметры перекрытия

$$C_{цил} = \frac{E_{пк}\, h^3_{п.к}}{12\,(1-\mu^2)}, \quad m'_{п.к} = \frac{1}{4}\, m_{п.к}, \quad C_{п.к} = 100\,\frac{C_{цил}}{a_{п.к} b_{п.к}},$$

$$\omega'_{пк} = \frac{\pi^2}{a^2_{пк}} \sqrt{\frac{C_{цил} a_{пк}\, b_{пк}}{m_{п.к}}}, \quad \omega''_{п.к} = 36\, \omega'_{п.к}.$$

3. Определяют $\eta_{пк}$ по формулам

при $\omega \leqslant \omega_{пк}$

$$\eta_{пк} = j\left(\omega\, m'_{п.к} - \frac{C_{пк}}{\omega}\right);$$

при $\omega \geqslant \omega''_{пк}$

$$\eta_{пк}=8\sqrt{\frac{C_{цил}m_{пк}}{a_{пк}b_{пк}}};$$

при $\omega'_{п.к}<\omega<\omega''_{пк}$ $\eta_{п.к}$ определяют экспериментальным путем.

4. Выбирают C_Z, $\gamma_в$ согласно разд. 1 обязательного приложения 2.

5. Определяют $\eta_в$ по формуле

$$\eta_в=(1+j\gamma_в)\frac{C_Z}{\omega}.$$

6. Определяют Θ_Z по формуле

$$\Theta_Z=\left|\frac{1}{1+\dfrac{1}{\eta_в\left(\dfrac{1}{\eta_{п.к}}+\dfrac{1}{\eta_м}\right)}}\right|.$$

7. Определяют Q_Z по формуле

$$Q_Z=\Theta_Z P_Z.$$

8. Определяют $\dot{z}_{пк}$ по формуле

$$\dot{z}_{пк}=\frac{Q_Z}{\eta_{пк}}.$$

9. При значениях Q_Z, $\dot{z}_{пк}$ больше допустимых уменьшают C_Z и расчет повторяют.

10. Определяют z_0 по формуле

$$z_0=\Theta_Z\frac{P_Z}{C_Z}.$$

При значениях z_0 выше допустимых увеличивают m путем введения постамента и во столько же раз C_Z и расчет повторяют.

11. В случае полигармонического возбуждения все параметры определяют для каждой гармоники нагрузки по формулам данного приложения, используя рекомендации разд. 2 обязательного приложения 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
Обязательное

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ЛЮБОГО ТИПА ПРИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОМ И СЛУЧАЙНОМ СТАЦИОНАРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Экспериментальное определение параметров виброизоляции осуществляется путем регулирования C_z, b_x (b_y), определяющих частоты собственных колебаний машины на виброизоляторах.

Регулирование C_z обеспечивается набором резиновых виброизоляторов (ковриков) разной жесткости по ГОСТ 17725—72 или виброизоляторами с регулируемой жесткостью на основе равночастотных виброизолирующих опор по ГОСТ 17712—72. Коврики и равночастотные виброизолирующие опоры имеют постоянное значение отношения вертикальной и горизонтальной жесткостей и определенное значение демпфирования.

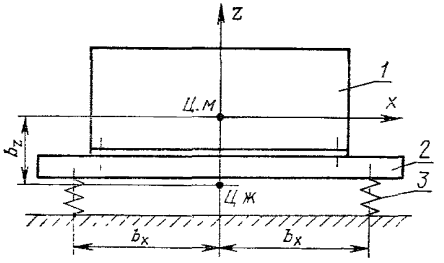
Регулирование b_x (b_y) обеспечивается использованием переходной рамы с большим числом опорных точек для крепления виброизоляторов. Масса рамы должна быть не более 0,1 m, вертикальная жесткость рамы при установке на ней машины — не менее 10 C_z. Виброизоляторы располагают под рамой симметрично относительно центра масс машины, число виброизоляторов 4.

Схема установки машины показана на чертеже.

Цель проведения работы

Определение C_z, b_x (b_y), обеспечивающих допустимые значения параметров вибрации поддерживающей конструкции и самой машины.

Регулирование производят в направлении вертикальной и одной из горизонтальных осей. При необходимости (наличие значительных динамических нагрузок по двум горизонтальным направлениям) регулирование параметров производят также по второй горизонтальной оси. В этом случае объем измерений возрастает пропорционально числу сменных опорных точек в направлении второй горизонтальной оси.



1—машина; *2*—переходная рама; *3*—виброизолятор

Порядок проведения работы

1. Определяют ряд C_{Zi} для одной опорной точки исходя из ряда (7; 10; 12,5; 16; 20; 25; 30 Гц) по формуле

$$C_{Zi}=\pi^2 f_Z^2 m.$$

2. Определяют ряд b_X по формуле

$$b_{X(i+1)}=b_{Xi}\sqrt{\frac{0{,}625}{1+0{,}375\dfrac{C_{Zi}}{C_{Xi}}\dfrac{b_{Xi}^2}{b_Z^2}}}.$$

Первый член ряда b_X выбирают, исходя из устойчивости положения машины во время работы. Значение последнего члена ряда определяется практическими соображениями (максимально возможным выходом рамы за пределы габаритов машины).

3. Под опорными точками рамы последовательно располагают виброизоляторы в направлении осей Z и X согласно значениям C_{Zi} и b_{Xi} (см. пп. 1 и 2 приложения) и для каждого варианта опорных точек производят измерения параметров вибрации поддерживающей конструкции или машины в соответствии с критерием качества виброизоляции. Результаты измерений заносят в таблицу

b_X	Направление измерений	C_Z					
		1	2	3	4	5	6
b_{X1}	Z						
	X						
b_{X2}	Z						
	X						
b_{X3}	Z						
	X						

и т. д.

4. Результаты измерений сравнивают с предельно допустимыми значениями и выбирают вариант установки машины, при которых уровень параметров вибрации ниже допустимых.

5. При наличии нескольких вариантов установки машины с допустимыми значениями параметров вибрации наилучший вариант определяют следующим образом:

определяют равнодействующую параметров вибрации направлений Z и X по формулам:

для параметров вибрации в абсолютных единицах

$$A_n=\sqrt{A_{Xn}^2+A_{Zn}^2};$$

для параметров вибрации в логарифмических единицах

$$L_n=10\ \lg(10^{0{,}1L_{Xn}}+10^{0{,}1L_{Zn}});$$

определяют Φ по формулам:
для параметров вибрации в абсолютных единицах

$$\Phi=\sqrt{\varrho_1^2A_1^2+\varrho_2^2A_2^2+\cdots+\varrho_n^2A_n^2};$$

$$\varrho_n=\frac{A_{\min}}{A_n}$$

для параметров вибрации в логарифмических единицах

$$\Phi=10\ \lg\ (\varrho_1^2\ 10^{0,1L_1}+\varrho_2^2\ 10^{0,1L_2}+\cdots+\varrho_n^2\ 10^{0,1L_n}),$$

$$\varrho_n=10^{0,05(L_{\min}-L_n)}.$$

Выбирают вариант установки машины, для которого Φ имеет минимальное значение.

6. Для реализации выбранного варианта установки машины подбирают виброизоляторы с требуемыми жесткостными характеристиками и демпфированием, а также монтируют на машине опорные точки в соответствии с установленным значением b_X.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9
Обязательное

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Цель расчета
Определение конструктивных параметров
Исходные данные

$$P,\ C_{Zi},C_{Xi},\ C_{Yi}$$

1. Виброизоляторы пружинные цилиндрические сжатия.

Порядок расчета

1.1. Конструктивные размеры и C_{Zi} определяют согласно ГОСТ 13765—68.

1.2. C_{Xi} и C_{Yi} пружины рассчитывают по формуле

$$C_{Xi}=C_{Yi}=\frac{C_{Zi}\left(3{,}5-1{,}5\ \frac{\lambda}{H}\right)}{\left(1+\frac{\lambda}{H}\right)\left(1{,}3+\frac{H^2}{D_3^2}\right)}$$

1.3. Пружины проверяют на устойчивость в случаях, указанных в табл. 1. Там же даны формулы для расчета $\lambda_{кр}$. Принимают λ не более $(0{,}4\div0{,}5)\ \lambda_{кр}$.

Таблица 1

Вид закрепления пружины	$\lambda_{кр}$	$\frac{H_0}{D_0}$
	$\frac{5}{6} H_0\left[1-\sqrt{1-6{,}5\left(\frac{D_0}{H_0}\right)^2}\right]$	$>2{,}55$
	$\frac{5}{6} H_0\left[1-\sqrt{1-26\left(\frac{D_0}{H_0}\right)^2}\right]$	$>5{,}1$

2. Виброизоляторы резиновые

Порядок расчета

2.1. Определяют F по формуле (исходя из условия прочности)

$$F \geqslant \frac{P}{\sigma}.$$

2.2. Определяют $h_{раб}$ по формуле

$$h_{раб} = \frac{E_д F}{C_Z}.$$

2.3. Определяют $h_{рв}$ по формуле

$$h_{р.\,в} = h_{раб} + \frac{1}{8} B$$

$h_{рв}$ должно быть не менее 0,375 B и не более 1,8 B.

2.4. Значения B в зависимости от типа поперечного сечения виброизолятора определяют по формулам табл. 2.

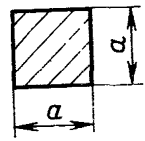
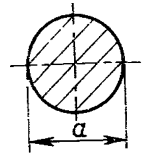
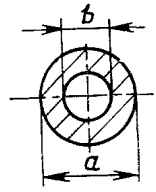
2.5. Определяют для квадратного, круглого и кольцевого сечения виброизолятора C_X, C_Y по формуле

$$C_X = C_Y = \frac{F G_д}{h_{р.\,в}}.$$

3. Виброизоляторы составные.

3.1. Виброизоляторы в виде концентрических пружин сжатия.

Таблица 2

Тип поперечного сечения виброизоляторов	B
	$B=a$
	$B=a$
	$B=a\left(1-\frac{b^2}{a^2}\right)$

Порядок расчета

3.1.1. Условия согласованной работы концентрических пружин:

одинаковая высота пружин в предельно сжатом состоянии;

одинаковые напряжения кручения;

одинаковые индексы пружин.

3.1.2. Определяют суммарную вертикальную жесткость составного виброизолятора по формуле

$$\Sigma C_Z = \sum_{i=1}^{n} C_{Zi}$$

3.1.3. Определяют рабочую нагрузку, воспринимаемую каждой пружиной, из следующих соотношений

$$P_1 : P_2 : \cdots P_n = C_{Z1} : C_{Z2} : \cdots C_{Z_n}$$

3.2. Виброизоляторы пружинно-резиновые.

Порядок расчета

3.2.1. Определяют вертикальные жесткости пружин и резиновых элементов виброизолятора по формулам:

при параллельном соединении

$$C_{Z\text{п}} = C_Z - C_{Z\text{р}},$$

$$C_{Z\text{р}} = C_Z \frac{\gamma_\text{в} - \gamma_\text{п}}{\gamma_\text{р} - \gamma_\text{п}},$$

при последовательном соединении

$$C_{Zp}=C_Z\frac{\gamma_p-\gamma_п}{\gamma_в-\gamma_п},$$

$$C_{Zп}=\frac{C_Z\ C_{Zp}}{C_{Zp}-C_Z}.$$

3.2.2. Рабочие нагрузки, воспринимаемые пружиной и резиновым элементом виброизолятора, определяют по формулам:

при параллельном соединении

$$P_п:P_p=C_{Zп}:\ C_{Zp},$$

$$P_п+P_p=P;$$

при последовательном соединении

$$P_п=P_p=P.$$

3.2.3. При параллельном соединении элементов виброизолятора верхние торцы пружины и резинового элемента в эксплуатационном состоянии должны располагаться по высоте на одном уровне.

4. Виброизоляторы равножесткие ($C_{Zi}=C_{Xi}=C_{Yi}=C_i$).

4.1. Виброизоляторы с резиновым упругим элементом (черт. 1)

Порядок расчета

4.1.1. Определяют F согласно п. 2.1 настоящего приложения.

4.1.2. Определяют $S_{р.э}$ по формуле

$$S_{рэ}=\sqrt{0{,}751\ d^2_{р.э}+\frac{F}{1{,}813}}-0{,}866\ d_{р.э}$$

Примечание. Значение $d_{р.э}$ определяется конструктивными размерами опорной точки машины.

4.1.3. Определяют $l_{рэ}$ по формуле

$$l_{рэ}=(2{,}75\div 2{,}85)\frac{G_д\ F}{C_i}.$$

4.2. Виброизоляторы с пружинным упругим элементом (черт. 2).

Порядок расчета

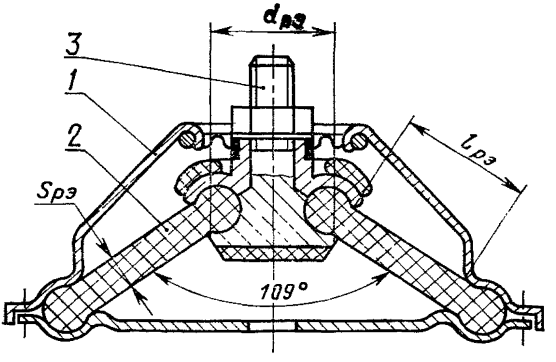
4.2.1. Выбирают параметры пружины D, d, $C_в$ по рекомендациям ГОСТ 13766-68—ГОСТ 13776-68 исходя из условия

$$P\leqslant P_3,$$

P_3 — сила пружины при максимальной деформации.

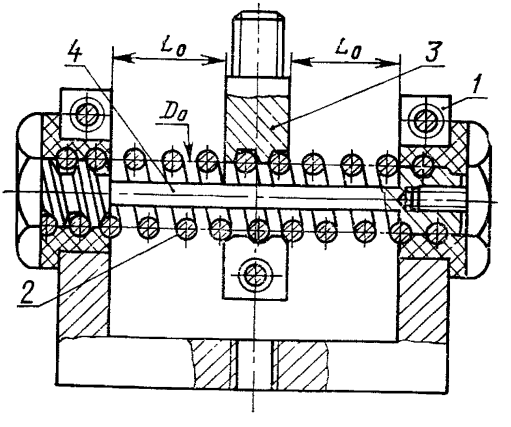
4.2.2. Определяют $i_{раб}$ по формуле

$$i_{раб}=(0{,}97\div 1{,}04)\left(\frac{D}{d}-1\right)$$



1—корпус; *2*—упругий элемент; *3*—шток

Черт. 1



1—корпус; *2*—упругий элемент; *3*—шток; *4*—ограничитель

Черт. 2

4.2.3. Определяют жесткость пружины по формуле

$$C_{\text{п}} = \frac{C_{\text{в}}}{i_{\text{раб}}} \leqslant \frac{C_i}{2}.$$

Если полученное значение $C_{\text{п}}$ меньше $^1/_2\ C_i$ более чем на 20%, то переходят к другому номеру пружины и расчет по пп. 4.2.1—4.2.3 повторяют.

4.2.4. Определяют D_0 по формуле $D_0 = D - d$.

4.2.5. Определяют L_0 по формуле $L_0 = (1{,}45 \div 1{,}55) D_0$.

4.2.6. Определяют $t_{\text{п}}$ по формуле $t_{\text{п}} = 1{,}5\ d$.

4.2.7. Определяют $i_{\text{п}}$ по формуле $i_{\text{п}} = 2i_{\text{раб}} + 2_{i_1} + i_2$, $i_1 = i_2 = 2 \div 3$.

4.2.8. Определяют $\Delta_{\max}$ по формуле $\Delta_{\max} = (i_{\text{раб}} - 1)(t_{\text{п}} - d)$.

Редактор *Е. И. Глазкова*
Технический редактор *Н. П. Замолодчикова*
Корректор *Н. Л. Шнайдер*

Сдано в наб. 29.07.80 Подп. в печ. 05.02.81 2,5 п. л. 2,37 уч.-изд. л. Тир. 40000 Цена 15 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, Новопресненский пер., 3.
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 1258

gost.e-ecolog.ru